



Guide de la valorisation des sargasses :

Une ressource pour les chercheurs, les entrepreneurs et les
responsables politiques des Caraïbes



Anne Desrochers,
Shelly-Ann Cox, Hazel A. Oxenford,
Brigitta van Tussenbroek

Guide de la valorisation des sargasses :

**Une ressource pour les chercheurs, les
entrepreneurs et les responsables politiques des
Caraïbes**

Auteur principal

Anne Desrochers

Auteurs contributeurs

Shelly-Ann Cox, Hazel A. Oxenford

Brigitta van Tussenbroek

Financé par

l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

Produit par

le Centre pour la gestion des ressources et d'études environnementales
(CERMES)

University of West Indies, Campus de Cave Hill, Barbade



Rapport final

Octobre 2020

AVERTISSEMENT ET DROITS D'AUTEUR

Cette communication a été assistée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Tous les droits de propriété intellectuelle, y compris les droits d'auteur, sont conférés à la FAO. La FAO a accordé à l'UWI-CERMES une licence non exclusive sans droit d'auteur pour l'utilisation, la publication et la distribution de cette production à des fins non commerciales, à condition que la FAO soit citée comme la source et le titulaire des droits. Comme il est d'usage dans les publications de la FAO, les désignations employées et la présentation de contenus dans ce document d'information n'implique pas l'expression d'une opinion quelle qu'elle soit de la part de la FAO concernant le statut légal ou l'état de développement d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une région, ou de ses autorités, ou concernant la délimitation de ses frontières. L'allusion à des sociétés ou à des produits de fabricants spécifiques, qu'ils soient brevetés ou non, ne signifie pas que ces sociétés ou produits ont été approuvés ou recommandés par la FAO en référence à d'autres d'une nature semblable qui ne sont pas mentionnés. Les opinions exprimées dans ce document d'information sont celles de l'auteur/des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions ou les politiques de la FAO. Ce travail est mis à disposition dans le cadre de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'utilisation commerciale - Partage dans les mêmes conditions 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0).

REMERCIEMENTS

Le développement de ce document d'information a bénéficié du généreux soutien du projet Adaptation au changement climatique dans le secteur de la pêche de la Caraïbes orientale, CC4FISH, de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), financé par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM).

Plus particulièrement, nous saluons la générosité de tous les acteurs commerciaux du secteur des sargasses, des entrepreneurs et des chercheurs à travers les Caraïbes, qui ont pris le temps de partager leur expérience et leurs connaissances avec nous afin que ce guide soit aussi exhaustif et utile que possible. Nous remercions également Iris Monnereau (FAO) pour ses contributions importantes et son aide, ainsi que Carla Daniel (UWI) pour son travail initial sur ce sujet.

Citation : Desrochers, A., S-A. Cox, H.A. Oxenford et B. van Tussenbroek. 2020. *Guide sur les utilisations des sargasses : une ressource pour les chercheurs, les entrepreneurs et les responsables politiques des Caraïbes*. Rapport financé par et préparé pour le projet Adaptation au changement climatique du secteur de la pêche dans les Caraïbes orientales (CC4FISH) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Centre pour la gestion des ressources et les études environnementales (CERMES), Université West Indies, campus de Cave Hill. Bridgetown : Barbade. Rapport technique CERMES n°97, 201 pages.

Notes :

- Le présent document a été traduit en français par l'ADEME (Agence française de la Transition Ecologique), Marine MARIE-CHARLOTTE et Anne DESROCHERS.
- Un document technique sur les pêches et l'aquaculture basé sur ce projet est en cours d'impression.

Couverture : photographies prises par les auteurs.

RÉSUMÉ

L'année 2011 a marqué le début d'afflux massifs et répétés de sargasses pélagiques dans les Caraïbes. Ces événements continuent d'avoir des impacts négatifs sur les économies nationales et les moyens de subsistances côtiers. Rapidement, l'utilisation des sargasses échouées a suscité de plus en plus d'intérêt à travers les Caraïbes car cette ressource permettrait de développer des applications durables et de transformer ainsi cet aléa en opportunité. De nombreux entrepreneurs et équipes de recherches de toute la région ont longuement travaillé au cours des dernières années pour lever des fonds et développer des activités et des projets innovants qui tirent profit de cette algue, et, en parallèle, pour contribuer à atténuer les dommages causés par les échouages répétés, et à compenser les coûts de collecte et de traitement.

Les informations concernant ces initiatives sont dispersées et ne sont pas bien documentées ou facilement accessibles sur internet. C'est pourquoi nous avons entrepris une étude minutieuse sur les utilisations actuelles et potentielles des sargasses dans les Caraïbes pour partager les progrès et les retours d'expérience, et fournir un répertoire de chercheurs, d'innovateurs et d'entreprises qui travaillent actuellement avec les sargasses dans le but de développer des produits et des solutions économiquement viables.

Le but de ce guide sur les utilisations des sargasses est de constituer une ressource pour les chercheurs, les entrepreneurs et les responsables politiques, en présentant, dans un même ouvrage, les nombreuses utilisations actuelles des sargasses dans les Caraïbes et les défis rencontrés jusqu'à présent. Ce guide donne également un aperçu des utilisations potentielles en se basant sur des exemples et des recherches menées dans d'autres régions du monde, sur d'autres espèces de sargasses et d'autres algues.

La première partie de ce guide décrit le contexte dans lequel il a été développé et présente brièvement la sargasse pélagique, sa biologie de base et sa composition chimique, ainsi que des informations utiles pour développer l'exploitation de cette biomasse. Cette section comporte des diagrammes qui illustrent le profil de composition des sargasses et les nombreuses utilisations possibles pour les différents composants présents dans ces algues.

La section 2 présente les utilisations potentielles des sargasses en se fondant sur des recherches et des exemples d'utilisation des microalgues en général (et des algues brunes en particulier), et en mettant en évidence, le cas échéant, les études qui concernent les espèces de sargasses. De cette manière, nous apportons des explications techniques détaillées et des exemples d'utilisation prouvée ou potentielle des sargasses dans quinze secteurs différents, de l'agriculture à l'alimentation, en passant par les biocarburants, la mode, les cosmétiques, le papier, les bioplastiques, la construction, l'industrie pharmaceutique, l'électrochimie, la purification de l'eau et de l'air, la dépollution environnementale, entre autres.

Des avertissements sont donnés pour certaines utilisations dont l'innocuité pour les humains et l'environnement n'a pas encore été suffisamment prouvée. Cette section comporte aussi les résumés des différentes initiatives qui sont actuellement menées à travers la région caribéenne et qui utilisent les sargasses. Nous avons développé un « Indice Biomasse Sargasses » (Sargassum Biomass Index, SBI) et nous le présentons dans cette section pour estimer approximativement la quantité de produits finaux pouvant être produite avec une quantité donnée de sargasses fraîches. Nous nous basons à la fois sur le poids (tonne métrique) et sur le volume (mètre cube) pour mesurer les sargasses fraîches. La section 2 se

conclut avec un diagramme de synthèse du SBI, qui donne un aperçu du nombre de produits utiles pouvant être développés avec une tonne de sargasses, et un tableau qui synthétise l'état actuel des connaissances concernant les utilisations potentielles des sargasses pélagiques et les actuels défis spécifiques à ces produits.

La section 3 décrit de nombreuses études de cas, des projets que nous avons eu l'opportunité de connaître, de voir, avec lesquels nous avons pu interagir et dont les porteurs ont accepté de partager leur histoire. Dans leur souhait de développer et de multiplier les opportunités que représentent les afflux de sargasses pélagiques, ces personnes ont voulu partager leurs réussites, les obstacles rencontrés et leurs retours d'expérience afin d'en faire bénéficier d'autres. Ce guide présente neuf entreprises issues de la région qui ont réussi à valoriser les sargasses ou qui sont à des stades avancés dans le développement d'une utilisation commerciale. Ces études de cas vont de la fabrication de blocs de construction à la fabrication de papier et de carton, en passant par la production d'énergies renouvelables, des applications agricoles variées, des produits de mode et de beauté, et la production de charbon actif. Nous examinons aussi certaines recherches qui sont toujours en cours dans la région en précisant les progrès réalisés jusqu'à présent. Ces recherches sont notamment menées dans des universités de la Barbade, de Cuba, de la République dominicaine, des Antilles françaises, de la Jamaïque, du Mexique, de Trinité-et-Tobago, des États-Unis, avec des collaborateurs internationaux en Amérique du Nord et du Sud, et en Europe. Ces recherches concernent les utilisations potentielles décrites dans la section 2.

Dans la section 4, nous fournissons un premier répertoire d'entrepreneurs, d'entreprises, de chercheurs et autres qui utilisent actuellement les sargasses ou qui développent des utilisations commerciales dans la région caribéenne. Ce répertoire a pour but d'aider les acteurs de ce secteur à constituer des réseaux et à mieux collaborer entre eux.

La section 5 est une synthèse importante des défis rencontrés jusqu'à présent, des nouvelles connaissances qui permettent de les relever et les lacunes qui subsistent. Nous mettons aussi en lumière les principales contraintes qui nous ont été communiquées par les entrepreneurs, les sociétés et les chercheurs locaux du secteur des sargasses, dans leur effort de valoriser cette algue et de partager leurs connaissances. Ces contraintes sont divisées en 5 grandes catégories : (1) l'imprévisibilité de l'approvisionnement ; (2) la composition chimique ; (3) la récolte ; (4) la gestion et (5) les financements. Nous offrons ici des conseils, particulièrement pertinents pour les responsables politiques et les agences de financement, sur les lacunes à combler et les obstacles à surmonter pour avancer, faire évoluer les solutions durables qui fonctionnent, et créer un environnement propice à l'innovation et à la créativité.

Nous souhaitons que ce guide aide à promouvoir une approche viable de la gestion des sargasses échouées dans la région en enrichissant les connaissances des responsables politiques, des chercheurs et des entreprises innovantes qui œuvrent dans ce secteur, et en améliorant le lien entre eux et entre les différentes pratiques qui se développent. À présent, le défi est de développer davantage d'initiatives pour traduire la science en actions.

ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

AC	Charbon actif
ADEME	Agence de la transition écologique
ANR	Agence nationale de la recherche
BOREA	Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques – Laboratoire de l’Université des Antilles
CC4FISH	Projet Adaptation au changement climatique du secteur de la pêche dans les Caraïbes orientales
CERMES	Centre pour la gestion des ressources et les études environnementales
CHU	Centre hospitalier universitaire
C:N	Rapport carbone/azote
C:P	Rapport carbone/phosphore
CICY	Centro de Investigación Científica de Yucatán (Centre de recherche scientifique du Yucatan)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conseil national de science et de technologie)
COVACHIM-M2E	Connaissance et valorisation : Chimie des matériaux environnement, énergie
CREDDI-LEAD	Centre de recherche en économie et en droit sur le développement insulaire - Laboratoire d’économie appliquée au développement
CRFM	Caribbean Regional Fisheries Mechanism (Mécanisme régional pour la pêche dans les Caraïbes)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FEM	Fonds pour l'environnement mondial
GTSI	Groupe de technologie des surfaces et interfaces
INRA	Institut national de la recherche agronomique
Interreg	Désignation plus connue de la Coopération territoriale européenne (CTE)
IRD	Institut de recherche pour le développement
IT2	Institut technique tropical
JICA	Japan International Cooperation Agency (Agence japonaise de coopération internationale)
L3MA	Laboratoire des matériaux et molécules en milieu agressif
LCA	Laboratoire de chimie agro-industrielle
NST	Technologies NUM SMO (Solar Microwave Oven, Four micro-onde solaire)
PUFA	Polyunsaturated Fatty Acids (Acides gras polyinsaturés)
PYROSAR	Valorisation des sargasses par pyrolyse, application pour la sécurité alimentaire
SARGOOD	Approche globale de la valorisation des sargasses
SARGACARE	Effets sur la santé humaine de l'exposition chronique aux gaz issus de la décomposition des algues brunes dans les Antilles françaises.
Sarg As Cld	Impacts environnementaux du lixiviat de sargasse dus à l'arsenic et au chlordécone : quantification, atténuation et perception sociale
SARGSCREEN	Criblage pharmaco-toxicologiques des molécules extraites des sargasses caribéennes
SARtrib	Valorisation tribologique et électrochimique des sargasses
SAVE	Sargassum Agricultural Valorisation and Energy production (Valorisation agricole des sargasses et production d'énergie)
SAVE-C	Étude des sargasses holopélagiques responsables des échouages massifs : valorisation et écologie sur les côtes caribéennes

SBI	Sargassum Biomass Index (Indice de biomasse de sargasses)
CAR-SPAW	Centre d'activités régional pour les espèces et les espaces spécialement protégés de la Caraïbe (protocole de la Convention de Cartagène)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México (Université nationale autonome du Mexique)
PNUD	Programmes des Nations Unies pour le développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
UA	Université des Antilles
UWI	Université West Indies

SOMMAIRE

Avertissement et droits d'auteurs.....	i
Remerciements.....	i
Résumé.....	ii
Abréviations et acronymes.....	iv
1. 1. Introduction.....	2
1.1 Contexte	2
1.2 Développement du guide	2
1.3 Espèces de sargasses pélagiques.....	4
1.4 Composition chimique.....	4
1.4.1 Principaux composants	8
1.4.2 Minéraux et composants nutritifs.....	11
1.4.3 Métaux lourds	11
1.4.4 Métabolites secondaires.....	14
2. Utilisations potentielles de la biomasse sargasses.....	16
2.1 Vue d'ensemble	16
2.1.1 Évolutivité : Indice de biomasse de sargasses (SBI)	16
2.1.2 Avertissement	18
2.2 Élevage.....	19
2.2.1 Complément alimentaire	19
2.3 Production végétale.....	27
2.3.1 Amendements de sol	28
2.3.2 Protection des cultures	35
2.3.3 Substrat de croissance	36
2.4 Antifouling	39
2.5 Bioénergie.....	41
2.5.1 Bioéthanol.....	41
2.5.2 Biodiesel.....	43
2.5.3 Biogaz (biométhane).....	43
2.5.4 Bio-granulés	46
2.6 Bioplastiques	49

2.7	Bioremédiation et purification.....	54
2.7.1	Traitement de l'eau et des eaux usées	54
2.7.2	Purification de l'air et des gaz	55
2.7.3	Bioremédiation	56
2.8	Vêtements, chaussures et accessoires	57
2.9	Matériaux de construction	60
2.10	Cosmétiques	63
2.11	Industrie électrochimique	66
2.12	Restauration de l'environnement.....	68
2.12.1	Végétation côtière	68
2.12.2	Atténuation du changement climatique	70
2.13	Aliments et boissons.....	73
2.13.1	Consommation directe.....	73
2.13.2	Boissons alcoolisées	75
2.13.3	Additifs alimentaires	75
2.13.4	Charbon actif.....	75
2.14	Lubrifiants, tensioactifs et adhésifs	77
2.14.1	Lubrifiants	77
2.14.2	Tensioactifs	78
2.14.3	Adhésifs.....	78
2.15	Produits en papier	80
2.16	Produits pharmaceutiques et biomédicaux.....	84
2.16.1	Polysaccharides	84
2.16.2	Métabolites secondaires.....	85
2.17	Résumé des utilisations et évolutivité.....	88
2.17.1	Défis spécifiques aux produits	88
2.17.2	Quantité de sargasses nécessaires	93
3.	Valorisation des sargasses : études de cas régionaux	96
3.1	Focus sur les entrepreneurs locaux.....	96
3.1.1	SARGABLOCK : blocs de construction [Mexique].....	96
3.1.2	SARGANICO : Papier à base de sargasses [Mexique].....	98

3.1.3	EnergyAlgae : initiative multisectorielle et multinationale développant des utilisations durables des sargasses [République dominicaine].....	100
3.1.4	Red Diamond Compost : Biostimulant pour plantes à base de sargasses [Barbade]	105
3.1.5	Chaussures Ocean de Renovare : une stratégie marketing réussie en faveur des sargasses [Mexique]	107
3.1.6	OASIS Laboratory : produits de soin et de beauté à base de sargasses [Barbade]	109
3.1.7	SALGAX : biotechnologie marine appliquée [Mexique]	111
3.1.8	NUM SMO Technologies (NST) : une unité mobile respectueuse de l'environnement pour transformer les sargasses [Guadeloupe]	112
3.1.9	Holdex Environnement : Co-compostage des sargasses [Martinique]	113
3.2	Recherches en cours.....	115
3.2.1	Charbon actif : projet de recherche multilatéral et multinational réussi	115
3.2.2	Université West Indies (UWI) : développement des utilisations des sargasses à travers la recherche et la promotion d'initiatives entrepreneuriales	117
3.2.3	SOS Carbon : projet de recherche public-privé multinational [États-Unis]	123
3.2.4	Appel à projets pour les sargasses (2019) : douze projets de recherche sélectionnés	125
3.2.5	Université polytechnique de Quintana Roo : développement d'une chaîne de valeur durable autour des sargasses	133
3.2.6	Centre pour la physique appliquée et la technologie avancée (CFATA), Université autonome du Mexique (UNAM), campus Queretaro Juriquilla : biofiltres de sargasse pour la bioremédiation	137
4.	Répertoire des entrepreneurs et des chercheurs qui développent des utilisations des sargasses	141
	Financé par le Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	158
5.	Défis et conséquences	161
5.1	Approvisionnement imprévisible	161
5.1.1	Quand, quelles quantités et où ?	161
5.1.2	Composition variable de l'espèce	163
5.1.3	Conséquences	164
5.1.4	Pour aller de l'avant	164
5.2	Composition chimique.....	165
5.2.1	Forte teneur en sel et en cendre	165
5.2.2	Incertitude et variation dans la composition chimique	165
5.2.3	Métaux lourds et autres toxines	166
5.2.4	Conséquences	167

5.2.5	Pour aller de l'avant	167
	168	
5.3	Collecte, transport et stockage.....	168
5.3.1	Collecte et transport	168
5.3.2	Stockage	170
5.3.3	Conséquences	170
5.3.4	Pour avancer	171
5.4	Gestion et réglementation	172
5.4.1	Incertitudes	172
5.4.2	Gouvernance	172
5.4.3	Conséquences	173
5.4.4	Pour aller de l'avant	173
5.5	Financement et soutien.....	174
5.5.1	Financement pour développer les utilisations des sargasses.....	174
5.5.2	Aide à l'innovation et aux entreprises	175
5.5.3	Conséquences	175
5.5.4	Pour aller de l'avant	175
6.	Références	178



Section 1 Introduction

1. Introduction

1.1 Contexte

La prolifération inédite des algues sargasses pélagiques dans l'Atlantique équatorial est un phénomène émergeant majeur : en effet, depuis 2011, les sargasses se déplacent dans la mer des Caraïbes et s'échouent massivement sur les côtes caribéennes exposées aux vents (Franks, Johnson, et Ko 2016, Wang *et al.* 2019). Ce phénomène a perturbé la pêche, engendré de lourds impacts sur le tourisme et endommagé des écosystèmes cruciaux près des côtes, et, avec eux, les moyens de subsistance côtiers. Enfin, il est aussi à l'origine de problèmes de santé importants au sein des populations exposées aux sargasses en décomposition (PNUE 2018). Ces événements touchent également l'Afrique de l'Ouest, où des échouages massifs de sargasses pélagiques ont lieu depuis 2009 (Addico et deGraft - Johnson 2016).

Passés les premiers questionnements, cette nouvelle région source de sargasses a été reliée au changement climatique et à l'eutrophisation des océans ; elle devrait continuer à favoriser le développement des sargasses dans le futur. Ainsi, les afflux massifs annuels de sargasses dans la mer des Caraïbes sont désormais considérés comme une nouvelle normalité, qui nécessite des solutions de gestion durables et une adaptation à long terme.

Les coûts et la main d'œuvre actuellement requis pour nettoyer et traiter continuellement les sargasses échouées ne sont pas durables et ont déjà contraints plusieurs pays (Tobago en 2015, Barbade en 2018, Mexique en 2019) à déclarer « l'état d'urgence » afin de pouvoir utiliser les fonds d'état ou fédéraux et mobiliser de la main d'œuvre (notamment l'armée) pour contrer l'invasion de sargasses. En outre, pour les économies nationales, les pertes de revenus sont substantielles et très préoccupantes pour le secteur touristique, la pêche et les autres activités littorales générant des bénéfices. L'ensemble de la région a donc rapidement cherché des solutions pour transformer cet aléa en avantage, en développant notamment des industries qui peuvent utiliser les sargasses échouées comme matière première e.g. PNUE 2018, ANR 2019.

C'est dans ce contexte que le projet *Adaptation au changement climatique du secteur de la pêche dans les Caraïbes orientales* (CC4FISH) a demandé au Centre de gestion des ressources et des études environnementales de l'Université West Indies (UWI-CERMES) de développer un « guide sur les utilisations des sargasses » comme une ressource pour les chercheurs, les entrepreneurs et les responsables politiques caribéens. L'intention était d'entreprendre une étude minutieuse sur les utilisations actuelles et potentielles des sargasses dans les Caraïbes pour partager les progrès et les retours d'expérience, et fournir un répertoire de chercheurs, d'innovateurs et d'entreprises qui travaillent actuellement avec les sargasses pour développer des produits et des solutions économiquement viables.

1.2 Développement du guide

Les informations rassemblées pour constituer ce guide ont été recueillies : (1) par le biais d'une revue de la littérature scientifique, d'articles de journaux, de sites internet, de conférences et de présentations ; (2) en participant à la Conférence internationale sur les sargasses en 2019 et à la Sarg'Expo en

Guadeloupe ; (3) en allant à la rencontre de plusieurs pôles de l'industrie de la sargasse dans les Caraïbes (Guadeloupe, République dominicaine et Mexique) pour effectuer des interviews et des visites d'établissements et apprendre directement auprès des entreprises et des chercheurs qui ont déjà réussi à valoriser les sargasses, ou qui ont obtenu des résultats prometteurs dans leurs recherches et leurs essais de commercialisation ; et (4) en communiquant directement par e-mail, téléphone et visioconférence avec les entrepreneurs, les entreprises et les chercheurs du secteur des sargasses, dans d'autres territoires caribéens.

Ce guide n'est pas exhaustif car il n'a pas été possible d'inventorier, de rencontrer ou de communiquer avec l'ensemble des entreprises et chercheurs concernés dans la Caraïbe. C'est malgré tout un document de référence pour les chercheurs, les entrepreneurs et les responsables politiques. Dans un même ouvrage, il passe en revue les utilisations actuelles des sargasses dans les Caraïbes, fournit des retours d'expérience et décrit les défis rencontrés jusqu'à présent. Ce guide donne également un aperçu des utilisations potentielles en se basant sur des exemples de recherches menées dans d'autres régions du monde, sur d'autres espèces de sargasses et d'autres types d'algues. En outre, il contient un premier répertoire de chercheurs et entrepreneurs caribéens afin de faciliter la constitution de réseaux et le développement de partenariats visant à stimuler des méthodes plus rapides et efficaces de valorisation des sargasses échouées. Enfin, l'objectif est aussi de promouvoir une approche durable de la gestion des sargasses échouées dans l'ensemble de la région.

La première partie de ce guide décrit le contexte dans lequel il a été développé et présente très brièvement la sargasse pélagique, sa biologie de base et sa composition chimique, des informations utiles pour développer l'exploitation de cette biomasse. La section 2 présente les voies de valorisation potentielles des sargasses en se fondant sur des recherches et des exemples d'utilisation des microalgues et des algues brunes notamment, et en mettant en évidence, le cas échéant, les études qui concernent les espèces de sargasses. Cette section fait également référence à des initiatives en cours dans la région Caraïbe¹ qui utilisent les sargasses, et dont des exemples sont présentés comme études de cas dans la section 3. Comme évoqué précédemment, nous fournissons dans la section 4, un premier répertoire d'entrepreneurs, d'entreprises, de chercheurs et autres qui valorisent actuellement les algues sargasses ou qui développent des utilisations commercialement viables dans la région Caraïbe. La section 5 examine les actuels défis, leurs conséquences et fournit des leviers d'action pour avancer.

¹ Dans ce guide, la région Caraïbe est utilisée pour désigner la mer des Caraïbes, le golfe du Mexique et les pays qui bordent ces mers.

1.3 Espèces de sargasses pélagiques

Les sargasses pélagiques (flottant librement et appartenant au groupe des algues brunes) de l'Atlantique équatorial sont un mélange de deux, voire trois espèces différentes de *sargasses* (voir Figure 1) : *Sargassum fluitans* III, *Sargassum natans* I, et *Sargassum natans* VIII (Schell, Goodwin, et Siuda 2015).

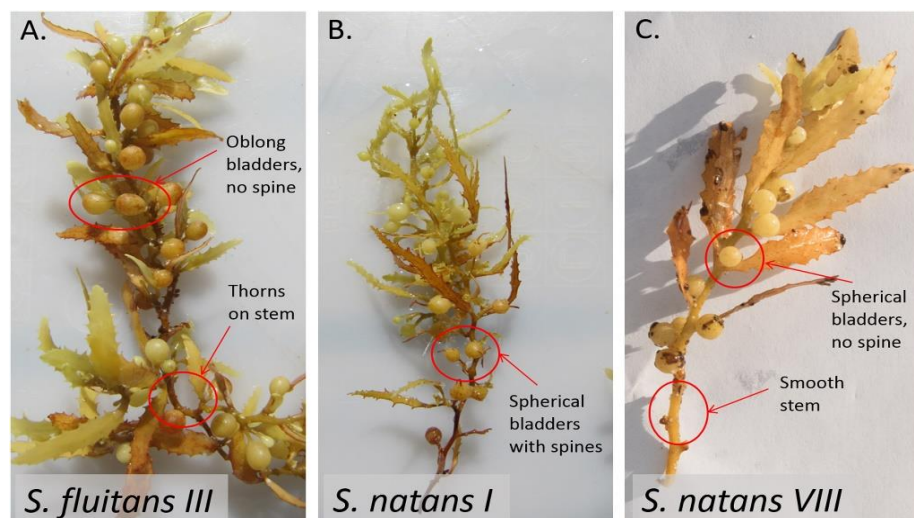


Figure 1. Différences morphologiques entre les espèces et/ou les morphotypes de *sargasses* pélagiques (Govindarajan *et al.* 2019).

Il existe plus de 300 espèces de sargasses connues dans le monde. Parmi elles, les espèces susmentionnées sont les seules à flotter à la surface de l'eau pendant tout leur cycle de vie, au lieu de s'accrocher au fond de la mer. Elles sont donc considérées comme des algues « holopélagiques ». On pense également qu'elles sont présentes uniquement dans l'océan Atlantique (les radeaux de sargasses flottantes signalés dans d'autres parties du monde n'appartiennent pas aux mêmes espèces holopélagiques ; ce sont d'autres espèces de sargasses dont le cycle de vie comporte une phase benthique). On pense également que les sargasses holopélagiques de l'Atlantique ne se reproduisent que de manière végétative, en croissant et en se fragmentant, et qu'elles peuvent doubler leur biomasse très rapidement dans les bonnes conditions (9-20 jours ; Hanisak et Samuel 1987, Lapointe 1986). Les sargasses flottantes se déplacent avec les courants océaniques et sont influencées par les vents de surface. Elles flottent sous forme de thalles individuels dispersés, ou plus souvent dans des radeaux composés de nombreux individus emmêlés. Elles forment ainsi de longues lignes (andains) ou des plaques en forme de goutte, qui peuvent mesurer de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres de diamètre (Ody *et al.* 2019). Les connaissances sur leurs taux de croissance et de mortalité lorsqu'elles se déplacent sont très limitées, mais nous savons que les nutriments, en particulier les phosphates, la salinité et la température affectent leur taux de croissance (Hanisak et Samuel 1987).

1.4 Composition chimique

Ici, la composition chimique se réfère à trois principaux groupes de substances chimiques : (1) les « éléments » (ex. : carbone (C), sodium (Na), fer (Fe), Azote (N), phosphore (P), potassium (K), magnésium

(Mg), calcium (Ca), etc.) ; (2) les composés « inorganiques » (ex. : eau, sels, CO₂, O₂, etc.) ; (3) et les « composés organiques » (ex. : glucides, lipides, protéines, etc.).

En général, les algues contiennent 70 à 90 % d'eau en poids, et la biomasse sèche est composée essentiellement de glucides, de fibres et de protéines, avec de faibles quantités de lipides (graisses) et minéraux. On sait, cependant, que les proportions exactes des substances chimiques varient beaucoup entre les algues, surtout entre les trois grands groupes d'algues (vertes, rouges et brunes) (Mouritsen, Johansen, et Mouritsen 2013).

Les principaux composants des sargasses pélagiques sont illustrés à la Figure 2. Alors que l'eau représente 82-87 % de la biomasse totale, la biomasse sèche contient des glucides (principalement des polysaccharides), des cendres (principalement du carbone résiduel après une montée à très hautes températures), des fibres, des protéines (y compris des acides aminés), des lipides (y compris des acides gras), et de petites quantités de vitamines, de minéraux et de métabolites secondaires. Chacun de ces composants joue des rôles spécifiques dans le maintien de l'algue et présente des caractéristiques que l'on peut utiliser dans de nombreuses applications, comme indiqué sur la Figure 3 et démontré dans ce guide.

D'après la littérature, la composition chimique exacte et la valeur nutritive sont susceptibles de varier selon la composition de l'espèce de sargasse pélagique, et selon l'endroit, la période de l'année et les conditions environnementales (voir Défis, section 5.2 Composition chimique).

Il est également à noter que les sargasses pélagiques sont composées de deux espèces (trois morphotypes) qui se développent et flottent ensemble. Par conséquent, les analyses chimiques effectuées à ce jour concernent des échantillons « globaux » de sargasses pélagiques comprenant ce mélange d'espèces. Toutefois, quelques études récentes ont séparé les trois morphotypes de sargasses pour examiner les différences de composition entre eux (Milledge *et al.* 2020, Rodríguez-Martínez *et al.* 2020, Webber *et al.* 2019).

De quoi se
composent
les
sargasses ?

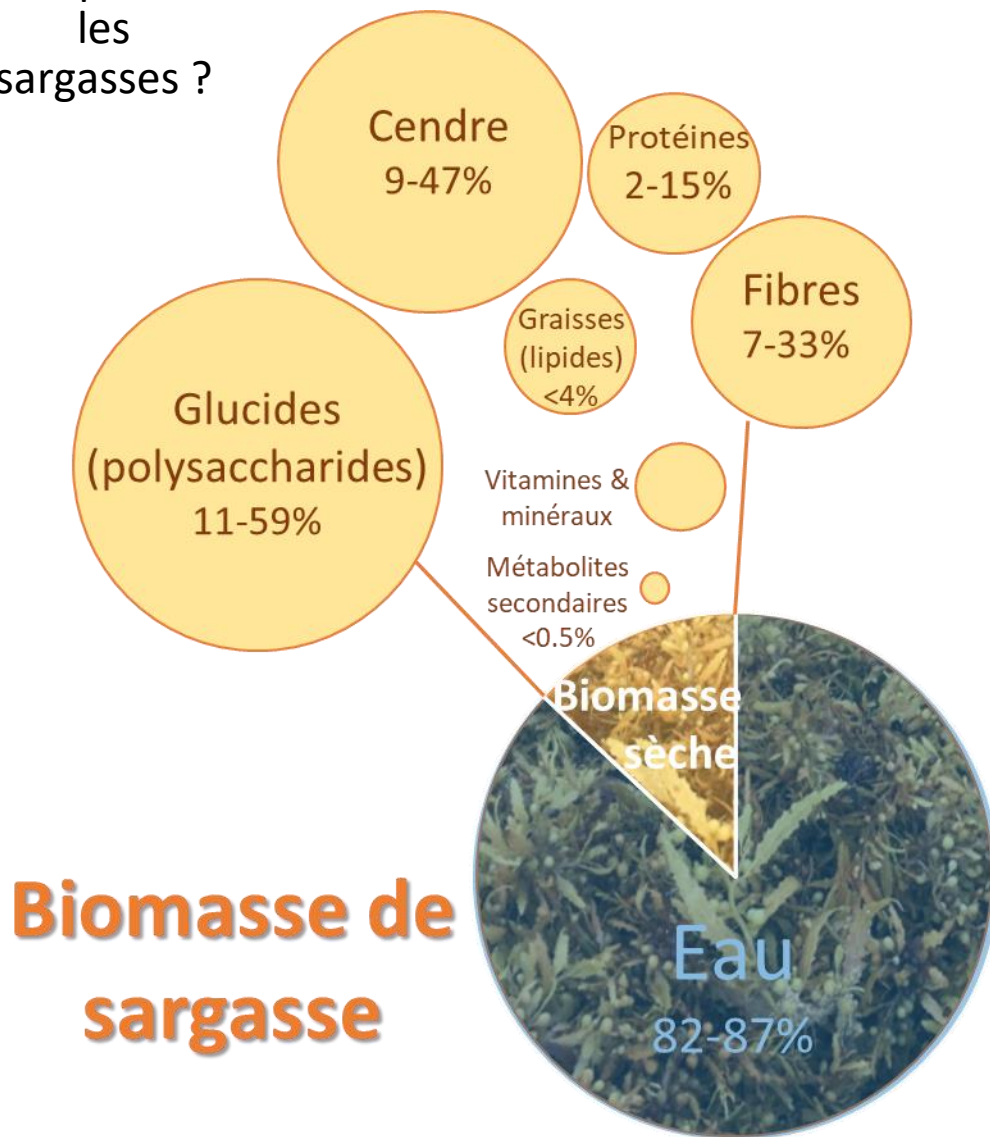


Figure 2. Représentation des principaux composants des sargasses pélagiques

Quels sont les éléments qui composent les sargasses et comment sont-ils utilisés ?

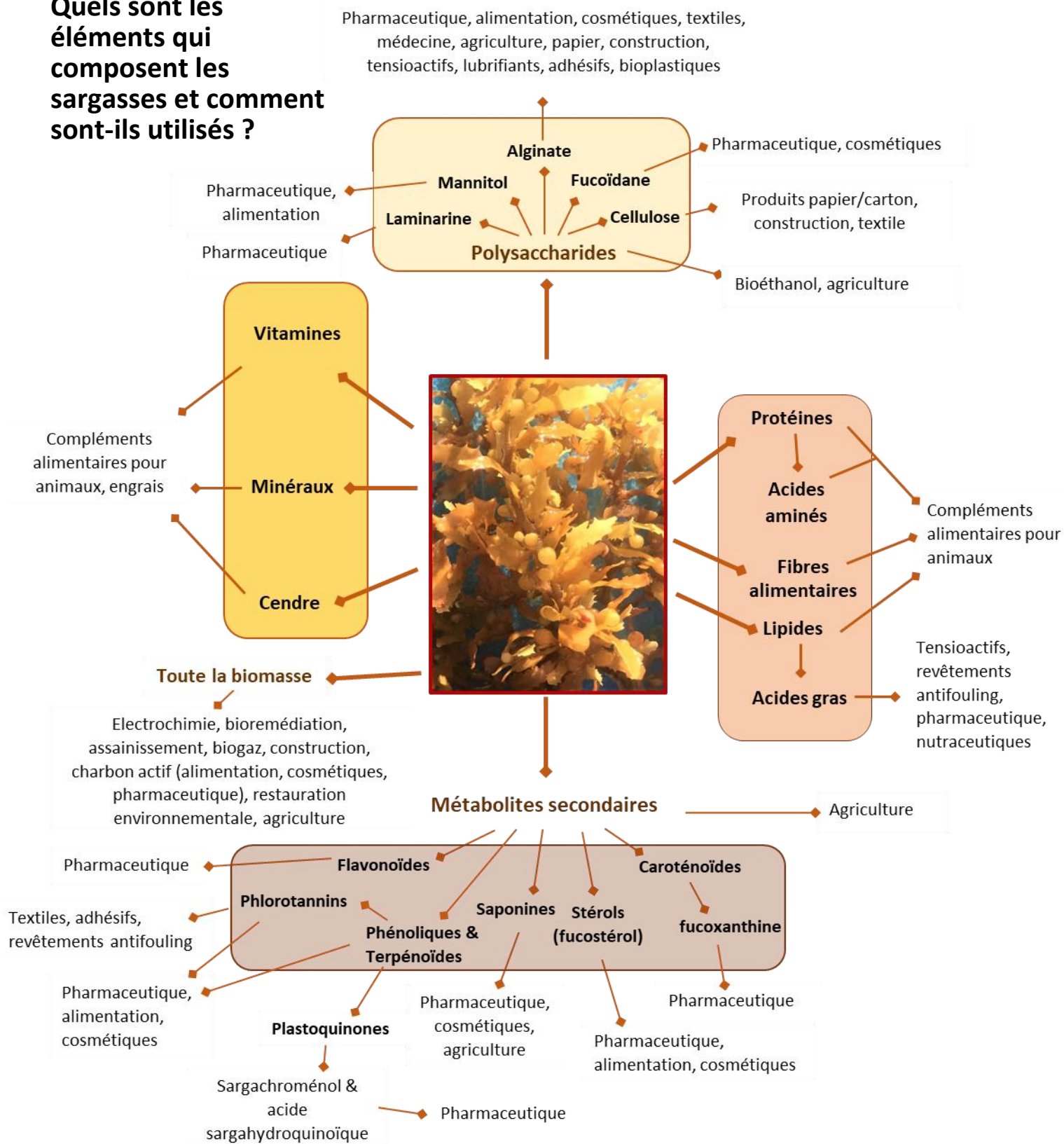


Figure 3. Diagramme présentant le profil de composition des sargasses et les voies de valorisation associées

Dans cette section, l'attention est portée sur des échantillons de sargasse mixtes car la séparation par espèce et morphotype est fastidieuse et qu'elle ne serait probablement pas pratique pour les applications commerciales. Néanmoins, la composition relative de chaque morphotype est ensuite explorée dans la section 5.1 Imprévisibilité des approvisionnements. Nous nous concentrons également sur les sargasses pélagiques provenant de la « nouvelle » population de l'Atlantique équatorial qui s'échoue sur les côtes de l'Afrique de l'Ouest, les côtes caribéennes insulaires et les côtes caribéennes de l'Amérique centrale et de l'Amérique du Sud depuis 2011. Nous faisons cependant des comparaisons avec les études réalisées sur les populations de sargasses pélagiques provenant du golfe du Mexique/de la mer des Sargasses, le cas échéant.

L'analyse quantitative des composants des sargasses pélagiques varie considérablement d'une étude à l'autre, comme on peut le voir avec le résumé des résultats présenté ci-dessous.

1.4.1 Principaux composants

Un résumé des différentes analyses biochimiques réalisées sur les principaux composants présents dans les sargasses pélagiques est présenté dans cette partie. Comme on peut le voir dans le Tableau 1, la teneur en protéines exposée dans les différentes études varie de 2,2 à 15,4 % du poids sec des sargasses pélagiques, ce qui est considéré faible par rapport aux autres algues brunes (Angell *et al.* 2016). La teneur en protéines est très variable dans les algues en fonction des espèces. Ces protéines contiennent un grand nombre d'acides aminés. Nous observons cependant que les méthodes analytiques utilisées pour déterminer la teneur en protéines font débat, et que la teneur en protéines est jugée surestimée dans la plupart des cas. L'analyse des acides aminés est privilégiée à l'analyse des protéines totales car elle réduit le risque que les résultats ne soient affectés par l'interférence d'autres substances (Maehre *et al.* 2018). À partir d'un échantillon de sargasses mélangées, Milledge *et al.* (2020) a déterminé une teneur en acides aminés de 4,2 %.

La teneur en eau (humidité) des sargasses fraîches est de 82 à 87 %. D'autres études indiquent que la teneur en eau des sargasses séchées est entre 9 et 14,3 %.

La teneur en cendre des sargasses est comprise entre 8,7 et 46,9 % et la teneur en fibres est comprise entre 7,2 et 33,3 %. Généralement, un taux élevé de cendre et de fibre indique que la biomasse peut être difficile à décomposer, ce qui peut notamment compliquer la production de biogaz par méthanisation (Milledge *et al.* 2020).

Les glucides varient entre 11,3 et 58,7 % du poids sec des sargasses pélagiques. Là encore, cette grande variation des valeurs peut être due à des méthodes d'analyse différentes. Les glucides présents dans les algues brunes comme les sargasses sont composés en grande partie de polysaccharides (sucres complexes), qui se situent dans les parois cellulaires, et ceux-ci incluent le mannitol, la laminarine, l'alginate, le fucoïdane et la cellulose. D'après une étude (voir Tableau 1), les sargasses contiennent 10,3 % de mannitol, poids sec, 12,6 % de laminarine, 15,6 % d'acide alginique et 6,2 % de fucoïdane. Dans une autre étude, les sargasses pélagiques contenaient 20 % d'alginate et 20 % de fucoïdane (voir Tableau 1). Les polysaccharides sulfatés présents dans les sargasses en plus petites quantités sont le glucose, le

fucose, le galactose, le xylose, l'arabinose, le mannose et le rhamnose, dont la teneur ne dépasse pas 4,5 % du poids sec.

La teneur en lipides (graisse) est généralement faible dans les algues (Milledge et Harvey 2016). D'après trois études caribéennes, les lipides des sargasses mélangées variaient entre 0,3 et 3,9 % du poids sec, ce qui correspond aux valeurs exposées pour chaque espèce de sargasses dans d'autres régions : 0,7 % pour la sargasse *Sargassum natans* échantillonnée près des Açores dans l'Atlantique nord (van Ginneken *et al.* 2011) et 1,9 % pour la sargasse *S. fluitans*, au Nigeria (Solarin *et al.* 2014). Les lipides englobent différentes molécules telles que les acides gras, leurs dérivés et d'autres composés bioactifs. Les acides gras sont généralement divisés en trois grandes classes : (1) les acides gras saturés (SFA) ; (2) les acides gras monoinsaturés (MUFA) et (3) les acides gras polyinsaturés (PUFA). Les profils des acides gras et des lipides varient selon les espèces d'algue (Milledge et Harvey 2016). Sur un unique échantillon, les acides gras des sargasses pélagiques étaient principalement composés de SFA (36,7 % des acides gras totaux), en particulier d'acide palmitique. Les PUFA étaient également présents en grandes quantités (29,3 % des acides gras totaux), en particulier les oméga-6 (acides arachidoniques et linoléiques) et les oméga-3 (acide docosahexaénoïque, DHA). Ces valeurs corroborent celles de la *S. natans* provenant des Açores, exposées par van Ginneken *et al.* 2011, où l'acide palmitique représentait 41 % des acides gras totaux. Les nappes de sargasses flottantes dans le golfe du Mexique (que l'on suppose faire partie de population de la mer des Sargasses) contenaient également des PUFA, entre 16 et 62 % (Turner et Rooker 2006).

Les rapports carbone/azote (C:N) et les rapports carbone/phosphore (C:P) dans les sargasses variaient en fonction de la disponibilité des nutriments dans l'eau de mer, ce qui était attendu étant donné qu'elles n'ont pas de « racines » et qu'elles puisent donc des nutriments (nitrates et phosphates) dans l'eau environnante. Les rapports C:N et C:P sont habituellement élevés en pleine mer, ce qui entraîne de faibles taux de croissance et de productivité, alors que les rapports C:N et C:P sont généralement plus faibles dans les zones néritiques (eaux côtières) qui ont généralement une teneur en nutriments plus élevée, ce qui donne lieu à des taux de croissance et de productivité plus élevés (Lapointe *et al.* 2014). Les rapports C:N pour les sargasses pélagiques (provenant de la population du golfe du Mexique et de la mer des Sargasses) étaient en moyenne de 47 en pleine mer et de 27 dans les eaux néritiques d'après Lapointe *et al.* (2014). Ces chiffres concordent avec d'autres études sur les sargasses pélagiques dans les Caraïbes résumées ici, où les sargasses échantillonnées dans les eaux côtières et même à terre ont un rapport C:N qui varie entre 16 et 35 %. Pour une valorisation des sargasses, un rapport C:N faible peut être bénéfique pour les usages agricoles alors qu'un rapport C:N élevé est préférable pour la production de biocarburants (Milledge et Harvey 2016).

Tableau 1. Résumé des analyses compositionnelles des principaux composants des sargasses pélagiques (en % du poids sec sauf indication contraire)

Lieu* (année d'échantillonnage)	Type d'échantillon** (nombre d'échantillons)	Protéine (%)	Humidité (%)	Cendre (%)	Fibre (%)	Glucides polysaccharides (%)	Lipides (%) et acides gras (% des TFA)***	C:N****
Îles Vierges britanniques (2016)a	Mélange provenant de la plage (N/A)	2,6	12,68	-	-	10,25 mannitol 12,6 laminarine 15,55 acide alginique 6,19 fucoïdane	-	-
Îles Vierges britanniques (2016)b	Sargasses mélangées + <i>Espèce Turbinaria</i> (1)	3,3	-	22,4	-	11,3 sucres totaux 4,5 glucose 4,2 fucose 1,2 galactose 0,8 xylose 0,2 arabinose 0,2 mannose 0,1 rhamnose	-	-
Îles Turques-et-Caïques (2019)	Sargasses mélangées prélevées sur le littoral (1)	4,19 (% total des acides aminés)	81,98 (telle que reçue : présumée non séchée)	46,94	33,31	11,68	Lipides : 3;88 SFA : 36,76 (acide palmitique principalement) PUFA : 29,3 (Oméga-6 & 3) MUFA : 19,33 (acide oléique principalement)	16,08
Martinique (2015)	Sargasses mélangées fraîches prélevées à terre (2)	-	-	-	-	-	-	17-35
Jamaïque (2019)	Moyenne de la <i>S. fluitans</i> et de la <i>S. natans</i> (1)	2,2	87 (poids humide supposé)	-	-	20 glucides totaux 20 alginates 20 fucoïdane	0,27 (graisse totale)	-
Brésil (1998)	<i>S. fluitans</i> à marée basse (N/A)	12,8	-	-	-	-	-	-
Nigeria (2012)a	Mélangée (N/A)	15,4	9,0	8,65	7,15	57,3	2,5	23
Nigeria (2012)b	<i>S. fluitans</i> prélevée à terre (N/A)	6,55	14,33	18,5	17	58,72	1,9	-

*Référence pour chaque endroit : Îles Vierges britanniques (2016)a : Ocean Harvest Technology (2016) ; Îles Vierges britanniques (2016)b : de Vrije et López-Contreras (2016) ; Îles Turques-et-Caïques : Milledge *et al.* (2020) ; Jamaïque : Webber *et al.* (2019) ; Brésil : Ramos *et al.* (2000) ; Nigeria (2012)a : Oyesiku et Egunyomi (2014) ; Nigeria (2012)b : Solarin *et al.* (2014).

**Type d'échantillon : « mélangé » se réfère à un mélange de *Sargassum natans* et de *S. fluitans*.

***Acides gras : Acides gras totaux (Total fatty acids, TFA) ; acides gras saturés (Saturated fatty acids, SFA) ; Acides gras monoinsaturés (Monounsaturated fatty acids, MUFA) ; acides gras polyinsaturés (Polyunsaturated fatty acids, PUFA).

****C:N se réfère au rapport carbone/azote

1.4.2 Minéraux et composants nutritifs

Les sargasses pélagiques sont composées d'un grand nombre de macro et micronutriments et de minéraux qui montrent dont les concentrations varient fortement (de plusieurs ordres de grandeur), comme le résume le Tableau 2 « Composition minérale/nutritionnelle » présenté ci-après.

Les valeurs de l'azote varient fortement entre les études : elles sont comprises entre <1 et 7 600 ppm. Les niveaux d'azote les plus élevés ont été relevés dans les échantillons de sargasses provenant de Saint-Andrew, à la Barbade. Certaines études indiquent la présence d'azote sous forme de nitrate (NO_3), avec des valeurs qui varient aussi très fortement, entre <1 et 2 377 ppm. Le phosphore varie entre 110 et 1 460 ppm et le phosphate (PO_4) entre <1 et 51 ppm. Le potassium variait aussi fortement d'un échantillon à l'autre, de <1 à 69 359 ppm. Le magnésium varie entre 30 et 18 241 ppm. Le calcium est relativement élevé : entre 2 035 et 136 146 ppm. De même, le sodium est fortement présent et varie de 109 à 78 094 ppm. Des quantités très variables d'aluminium ont été relevées en République dominicaine, et des taux élevés de chlore ont été relevés au Mexique. Le fer varie aussi fortement d'une étude à l'autre : de <3 à 5 910 ppm. Le zinc, le cuivre, le manganèse et l'iode sont présents en faibles quantités.

1.4.3 Métaux lourds

Nous résumons ici les taux de métaux lourds relevés dans les sargasses pélagiques (voir Tableau 3 Composition en métaux lourds). En général, de fortes concentrations ont été relevées dans toutes les études, variant entre 11,5 et 172 ppm. Cependant, il est important de faire la distinction entre l'arsenic organique et l'arsenic inorganique, ce dernier étant hautement toxique. Très peu d'études se sont penchées sur la spéciation de l'arsenic pour déterminer la proportion d'arsenic inorganique et d'arsenic organique. D'après un échantillon prélevé dans les îles Vierges britanniques, 62 % de la teneur totale en arsenic était sous la forme d'arsenic inorganique (Ocean Harvest Technology 2016). C'est une valeur similaire à celle qui a été obtenue à partir d'un unique échantillon de sargasses en provenance de Martinique, dans lequel 70 % de l'arsenic total était de l'arsenic inorganique (Tirolien 2019). Dans une étude menée dans les années 1970 sur la population de sargasses du golfe du Mexique/de la mer des Sargasses, 4 échantillons de sargasses pélagiques ont été prélevés à différents endroits (à 322 km des Bermudes, à l'est du golfe du Mexique, dans le détroit de Floride et au large de Key West) et analysés pour déterminer la teneur en arsenic, en germanium et en mercure, avec une analyse de spéciation (Johnson et Braman 1975). Pour trois des échantillons, plus de 82 % de l'arsenic total était inorganique, sous la forme d'arsénite (As III) et d'arséniate (As V), le quatrième échantillon contenant 29 % d'arsenic inorganique. Les niveaux maximums autorisés d'arsenic varient selon les pays et selon les objets des tests (ex. : sol, eau, engrais, etc.). Certaines de ces normes sont abordées dans différentes sections de ce guide.

Les taux de cadmium, de mercure et de plomb sont bien plus élevés dans les échantillons prélevés au Ghana qu'ailleurs. Il est supposé que ces taux sont liés à l'exploitation minière et à l'activité industrielle intensives dans certains des sites d'échantillonnage de l'étude en question (Addico et deGraft-Johnson 2016). À notre connaissance, ces éléments n'ont pas été évalués dans les échantillons de sargasses caribéennes.

Tableau 2. Résumé des analyses réalisées sur les composants minéraux/nutritionnels des sargasses pélagiques.
Les unités sont les parties par millions (ppm) poids sec.

Lieu* (année d'échantillon nage)	Type d'échantillon** (# échantillons)	Composants minéraux/nutritionnels***												
		N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Al (ppm)	Cl (ppm)	Na (ppm)	I (ppm)
Caraïbe mexicaine (2018-2019)	Mélangée, prélevée sur le littoral et au large (63)	-	228- 401	1990- 46002	<2915- 13662	23723- 136146	<3-11	<5-17	<6-540	40-139	<140- 517	747- 53101	-	-
Îles Vierges britanniques (2016)	Mélange provenant de la plage (N/A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85,3
Martinique (2015)	Sargasses mélangées fraîches prélevées à terre (2)	9800 (Total N)	440- 1460	71,54	11820	38060	685- 2120	11-14	3,14	33-49	-	-	34000- 52230	-
Îles Turques- et-Caïques (2019)	Sargasses mélangées prélevées sur le littoral (1)	171	501	69359	12053	70306	3811	5,81	2,51	30,15	37,5	-	-	-
Barbade (2015)	Mélangée (1)	7600	110	-	30	-	200	5,5	9,9	-	-	-	78094	-
République dominicaine (2015)	Mélangée (12)	-	761- 1145	2208- 33602	10211- 18241	96901- 133400	2-655	13-21	2-12	16-32	303- 4188	-	3802- 21068	-
Jamaïque (2019)	Moyenne de la <i>S.</i> <i>fluitans</i> et de la <i>S.</i> <i>natans</i> (1)	2377 (NO ₃)	51 (PO ₄)	348	1013	2035	894	-	264	-	-	-	109 (Na ii)	-
Nigeria (2012)a	Mélangée (N/A)	63,6	965,0	280,0	427,5	-	87,0	0,5	-	-	-	-	-	0,4
Nigeria (2012)b	<i>S. fluitans</i> prélevée à terre (N/A)	0,48 (NO ₃)	16,7 (PO ₄)	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ghana (2015)	Mélangée, prélevée au large et à terre (24)	0,62- 1,04	0,83- 1,55 (PO ₄)	0,72- 2,48	-	-	1209- 5910	16-100	22-36	-	-	22,5- 1353,2	-	-

*Référence pour chaque site : Caraïbes mexicaines : Rodríguez-Martínez *et al.* (2020) ; Îles Vierges britanniques : Ocean Harvest Technology (2016) ; Martinique : IT2 & ADEME (2015) ; Îles Turques-et-Caïques : Milledge *et al.* (2020) ; Barbade : Wilson-Howard (2015) ; République dominicaine : Fernández *et al.* (2017) ; Jamaïque : Webber *et al.* (2019) ; Nigeria (2012)a : Oyesiku et Egunyomi (2014) ; Nigeria (2012)b : Solarin *et al.* (2014) ; Ghana : Addico et deGraft-Johnson (2016).

**Type d'échantillon : « mélangé » se réfère à un mélange de *Sargassum natans* et de *S. fluitans*.

***Éléments : azote (N), phosphore (P), potassium (K), magnésium (Mg), calcium (Ca), fer (Fe), zinc (Zn), cuivre (Cu), manganèse (Mn), aluminium (Al), chlore (Cl), sodium (Na), azote total (Tot N), nitrate (NO₃), phosphate (PO₄).

Tableau 3. Résumé des analyses compositionnelles des métaux lourds dans les sargasses pélagiques.
Les unités sont les parties par million (ppm) du poids sec des sargasses sauf indication contraire.

Lieu* (année d'échantillonnage)	Type d'échantillon** (# échantillons)	Métaux lourds***						
		As total (ppm)	As org. (ppm)	As. inorg. (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)
Caraïbes mexicaines (2018-2019)	Mélangée, prélevée sur le littoral et au large (63)	24-172 (médiane 80)	-	-	<2	-	<2-3	<8
Îles Vierges britanniques (2016)	Mélangée, prélevée sur la plage (N/A)	45	17,3	27,7	0,169	<0,005	0,32	-
Martinique, Guadeloupe (2015-2016)	Mélangée, fraîche et séchée, prélevée à terre (11)	11,50-100,8 (moyenne 68,26)	-	-	<0,2-1,02	<0,1	<5,3-1,2	5,2-10,6
Îles Turques-et-Caïques (2019)	Mélangée, prélevée sur le littoral (1)	123,69	-	-	0,13	0,01	0,26	<0,3
République dominicaine (2015)	Mélangée (12)	14-42	-	-	0,1-0,3		1-2	2-56
Atlantique, est du golfe du Mexique, détroit de Floride et Key West (1974)	<i>S. fluitans</i> mélangée prélevée au large (4)	4,2-19,5 (poids humide)	-	1,9-19,5 (poids humide)	-	<0,01-0,07	-	-
Ghana (2015)	Mélangée, prélevée au large et à terre (24)	13-53,5	-	-	78-119	1-2	86-335	-

*Référence de chaque localisation : Caraïbes mexicaines : Rodríguez-Martínez *et al.* (2020) ; Îles Vierges britanniques : Ocean Harvest Technology (2016) ; Martinique et Guadeloupe : IT2 & ADEME (2015) and Tirolien (2019) ; Îles Turques-et-Caïques : Milledge *et al.* (2020) ; République dominicaine : Fernández *et al.* (2017) ; Atlantique, est du golfe du Mexique : Johnson et Braman (1975) ; Ghana : Addico et deGraft-Johnson (2016).

**Type d'échantillon : « mélangé » se réfère à un mélange de *Sargassum natans* et de *S. fluitans*.

***Métaux lourds : arsenic total (As total), arsenic organique (As org.), arsenic inorganique (As inorg), cadmium (Cd), mercure (Hg), plomb (Pb), chrome (Cr).

1.4.4 Métabolites secondaires

Il y a très peu d'informations disponibles à ce jour sur la composition des métabolites secondaires dans les sargasses pélagiques. Les données sur les phénols ont été relevées : la teneur phénolique totale des sargasses mélangées est de 29,5 mg équivalent phloroglucinol par gramme de matière sèche pour les sargasses prélevées dans les îles Turques-et-Caïques (Milledge *et al.* 2020). Ces taux sont considérés assez élevés, ce qui pourrait avoir un effet inhibiteur sur la méthanisation des sargasses pélagiques en vue d'une production de biogaz. L'étude Tapia-Tussell *et al.* (2018) a démontré que le « consortium de microalgues » comprenant un mélange d'herbiers marins et d'algues, y compris les sargasses prélevées sur la côte caribéenne du Mexique, avait une teneur en phénols de 18,7 %. Un seul échantillon, provenant de Jamaïque, a été analysé pour déterminer la teneur en caroténoïdes qui était de 0,115 µg/g (moyenne des résultats pour la *S. fluitans* III, la *S. natans* I et la *S. natans* VIII) (Webber *et al.* 2019). D'autres recherches sont à l'évidence nécessaires pour déterminer la présence d'autres métabolites secondaires dans les sargasses, comme les flavonoïdes, les saponines et les stérols.

Section 2

Utilisations potentielles de la biomasse de sargasses



2. Utilisations potentielles de la biomasse sargasses

2.1 Vue d'ensemble

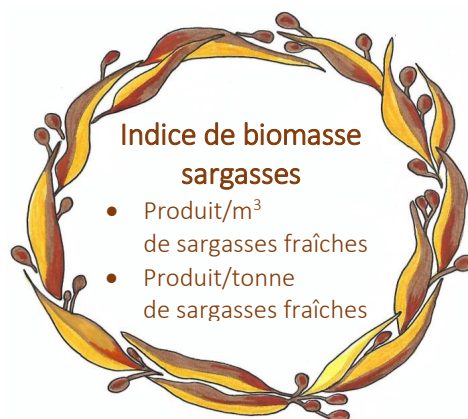
L'utilisation des algues dans de nombreux secteurs n'est pas nouvelle : on estime que 12 millions de tonnes d'algues sont utilisées chaque année à travers le monde, en particulier en Asie et dans le Pacifique, où l'industrie alimentaire en perçoit la plus grande part des revenus (Henry 2016). Dans les Caraïbes, cependant, l'utilisation des algues est traditionnellement limitée : on ne compte que quelques exemples de récoltes sauvages ou de mariculture à petite échelle pour produire divers produits à base d'algues destinés à la consommation (Radulovich *et al.* 2015). Il n'est pas surprenant que la région ait mis un peu de temps à réagir face aux afflux sans précédent de sargasses pélagiques, afin de transformer cet aléa en opportunité.

Dans cette section, nous examinons le grand nombre d'utilisations des algues à travers le monde, avec une attention particulière portée aux algues brunes (Phaeophyceae), le plus grand groupe d'algues auquel appartiennent les sargasses. Nous présentons également quelques exemples d'utilisation des espèces de sargasses présentes dans les Caraïbes et ailleurs qui sont reliés aux exemples décrits dans la section 3.

2.1.1 Évolutivité : Indice de biomasse de sargasses (SBI)

Pour mesurer la quantité de biomasse de sargasses nécessaire pour différents produits, et ainsi considérer l'évolutivité d'une utilisation particulière, nous avons développé un Indice de Biomasse Sargasses (SBI). Cet indice est une estimation très sommaire de la quantité de produit final qui peut être produite à partir d'un mètre cube (1 m^3) de sargasses fraîches, et celle pouvant être produite à partir d'une tonne, poids humide (1 t) de sargasses fraîches.

Le SBI est indiqué tout au long de ce guide, pour chaque utilisation potentielle de la biomasse sargasses, à chaque fois que c'est possible, avec le graphique standard présenté ici. L'indice se base sur des informations fournies par les parties prenantes concernant la quantité de produit qu'elles peuvent faire à partir d'un poids ou d'un volume donné de sargasses fraîches. La conversion du volume de sargasses en poids se fonde sur nos propres conclusions : un seau de 22,3 litres peut contenir approximativement 2,72 kg de sargasses fraîches humides non tassées, ce qui équivaut à 122 kg, poids humide, par m^3 . Nous reconnaissons toutefois qu'il existe une grande variation dans les conversions poids/volume de sargasses employées dans la région (voir Tableau 4). Ceci est en grande partie dû au degré de compression des échantillons et également à l'état des algues (fraîchement débarquées, séchées sur la plage, partiellement décomposées), à la présence de sable et à la mixité des espèces. Il est donc nécessaire de rappeler que le SBI reste un



Représentation de l'Indice de biomasse de sargasses (SBI) développé pour ce guide, indiquant la quantité de produit final qui peut être réalisé à partir d'une quantité standard de sargasses fraîches.

indicateur sommaire mais constitue un indice utile car il est appliqué à toutes les voies de valorisation existantes et potentielles de sargasses, permettant ainsi leur comparaison.

L'indice « d'évolutivité » donne une indication générale sur l'utilisation des algues sargasses, pouvant ainsi représenter une source d'information pour les chercheurs, les entrepreneurs et les responsables politiques au regard notamment de la valeur de la sargasse à la lumière des coûts de nettoyage, de transport et de stockage. Les facteurs importants qui devraient être pris en compte dans le développement d'un indice d'évolutivité plus complet sont :

- **La quantité** : disponibilité de sargasses fraîches nécessaires pour un usage spécifique ;
- **L'expertise** : connaissances techniques pour développer un usage spécifique ;
- **L'aspect financier** : 1) coût économique de l'investissement initial pour les équipements ou le matériel permettant de développer l'utilisation, 2) coûts de maintenance, 3) valeur du produit final et 4) demande du consommateur/du marché ;
- **L'environnement** : impacts environnementaux du processus de transformation ;
- **L'aspect social** : les impacts sociaux du processus de transformation sur les communautés locales.

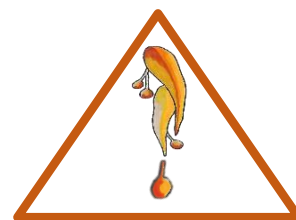
Tableau 4. Résumé de la variation des valeurs de poids (kg) d'un mètre cube (1 m³) de sargasses.

Poids (kg)	Type d'échantillon	Méthode de traitement	Sources des données
867-972	Sargasses fraîches humides (séchées à l'air pendant 5 min)	Volume mesuré par déplacement d'eau. Équation de conversion : poids humide = 1,1605 volume + 1,2183	Sissini <i>et al.</i> (2017), Seagrass lab - UNAM
114-154	Fraîches (séchées au four à 65 °C pendant 48 heures)	Volume mesuré par déplacement d'eau. Équation de conversion : poids humide = 0,132 poids humide + 0,1301	
532	Sargasses fraîches (humides)	Comprimées dans un cylindre d'un litre	Seagrass lab - UNAM
84	Fraîches (séchées au four)	Comprimées dans un cylindre d'un litre	
270-420	Échantillon non défini	Méthode non indiquée	Plusieurs collecteurs au Mexique
275	Échantillon non défini	Méthode non indiquée	Directives, Mexique
122	Sargasses fraîches humides	Pesées dans un seau de 22,3 litres (non tassées)	UWI-CERMES, Barbade
20	Fraîches (séchées au four)	Équation de conversion : poids sec (kg) = 0,1651 humide (kg) + 0,0184	
262	Sargasses fraîches humides	Pesées dans un seau de 22,3 litres (tassées)	
43	Fraîches (séchées au four)	Équation de conversion : poids sec (kg) = 0,1651 humide (kg) + 0,0184	

2.1.2 Avertissement

Certaines éventuelles voies de valorisation de la biomasse sargasses peuvent s'avérer inadéquates ou non sûres en raison d'impacts potentiels sur l'environnement ou la santé humaine et animale qui, d'après nous, n'ont pas encore été adéquatement étudiés et signalés.

Ces cas ont été signalés avec un symbole d'avertissement, comme illustré ci-contre. Un bref résumé des principales problématiques identifiées pour chaque section a également été inséré (mis en évidence dans un encadré orange). Des informations supplémentaires et des résultats de recherches (surlignés en gris) ainsi que de possibles solutions (surlignées en vert) sont fournis dans le texte principal, dans les cas où ces informations sont disponibles.



ATTENTION

Le graphique d'avertissement indique de possibles problèmes sanitaires en lien avec une utilisation particulière des sargasses.

Agriculture : élevage



2.2 Élevage

Les algues sont traditionnellement utilisées pour l'élevage dans de nombreuses régions du monde, surtout dans les zones côtières, principalement comme complément alimentaire pour le bétail, mais aussi dans l'aquaculture (Indergaard et Minsaas 1991, Rajauria 2015). Dans les régions où la nourriture était peu abondante pendant de longues périodes au cours de l'année, les moutons, les vaches et les chevaux se nourrissaient d'algues séchées (Indergaard et Minsaas 1991, Makkar *et al.* 2016). Encore aujourd'hui, il n'est pas rare de voir les animaux vivant dans les zones côtières compléter leur alimentation avec des algues échouées sur le rivage.



Le mouton de la race North Ronaldsay, originaire de l'île la plus au nord des Orcades en Écosse, survit à un régime composé presque entièrement d'algues.

2.2.1 Complément alimentaire

Les études scientifiques menées avant les années 1970 n'ont pas clairement démontré les avantages de l'inclusion des algues dans l'alimentation des animaux. Cependant, aujourd'hui, de vastes recherches sur les effets de l'incorporation des algues directement dans les aliments pour animaux, ainsi que de la pulvérisation d'extraits d'algues sur les fourrages, et les analyses détaillées des algues ont montré qu'elles étaient riches en protéines, en minéraux, en vitamines, en acides gras polyinsaturés, en glucides, en fibres et en composés bioactifs, et qu'elles peuvent améliorer la croissance, le développement et la productivité, la santé générale, l'immunité des animaux et la qualité du produit (Evans et Critchley 2014). Les avantages sont à présent documentés pour un grand nombre d'animaux, notamment les vaches, les poulets, les moutons, les chèvres, les chevaux, les lapins, les canards, les poissons, les crevettes, les huîtres, les mollusques et les chiens. Des exemples d'avantages

TASCO® | ACADIAN SEAPLANTS LIMITED

Prebiotic and health effects

Seaweeds have been shown to have prebiotic effects and to enhance immune function in pigs.

TASCO® | ACADIAN SEAPLANTS LIMITED

BROILER CHICKEN HEAT STRESS

Tasco® has been shown to decrease broiler chickens' core body temperature under summer heat conditions resulting in improved animal comfort.

TASCO® | ACADIAN SEAPLANTS UNLIMITED

IMPROVED DIGESTION

Studies have shown that steers fed Tasco® had increased total tract organic matter digestion by approximately **10%**.

Acadian Seaplants Ltd., au Canada, répertorie des exemples d'avantages découlant de l'utilisation de leur complément alimentaire Tasco® à base d'algues pour la production de bétail.

exposés dans la littérature, y compris dans les études utilisant les espèces *Sargassum*, sont répertoriés ici :

- Augmentation de la productivité animale et de la qualité des produits commercialisables :
 - ✓ Amélioration de la qualité de la viande (viande plus persillée, qui se conserve plus longtemps) (Allen *et al.* 2001, Braden *et al.* 2007)
 - ✓ Amélioration de la qualité du lait et du rendement (taux de graisse et teneur en iode) (Chaves Lopez *et al.* 2016, Singh *et al.* 2015)
 - ✓ Augmentation du poids des œufs, de la hauteur de l'albumen, de l'épaisseur de la coquille et de la teneur en acide gras n-3, amélioration de la couleur du jaune et réduction du taux de cholestérol et de triglycéride de l'œuf (Carrillo *et al.* 2008, Carrillo, Ríos, *et al.* 2012, Carrillo, Bahena, *et al.* 2012, Al-Harhi et El-Deek 2012, Wang, Jia, *et al.* 2013)
 - ✓ Amélioration de la fertilité et du taux de natalité (Kaladharan 2006, Bowen 2015)
 - ✓ Amélioration de la digestibilité et de la santé intestinale en raison de la hausse des métabolites produits par les bactéries prébiotiques, qui affectent le microbiote gastrointestinal (Leupp *et al.* 2005, Bach, Wang, et McAllister 2008, McDonnell, Figat, et O'Doherty 2010)
 - ✓ Réduction de la teneur en cholestérol chez la crevette (Casas-Valdez, Portillo-Clark, *et al.* 2006)
- Augmentation de la tolérance au stress (y compris au stress oxydatif et au stress thermique) (Allen *et al.* 2001, Fike *et al.* 2001, Williams *et al.* 2009) ;
- Amélioration des fonctions du système immunitaire (Saker *et al.* 2001) ;
- Remplacement potentiel des antibiotiques après le sevrage des animaux (McDonnell, Figat, et O'Doherty 2010) ;
- Réduction du risque de contamination par les maladies d'origine alimentaire causées par des micro-organismes pathogènes (Braden *et al.* 2004, Bach, Wang, et McAllister 2008, McDonnell, Figat, et O'Doherty 2010, Wang, Jia, *et al.* 2013).

Compte tenu des propriétés d'adsorption élevées des algues brunes, et des niveaux élevés d'arsenic qui ont été relevés pour les sargasses pélagiques en particulier, des analyses de routine pour détecter de potentielles toxines doivent être réalisées sur les aliments qui contiennent des compléments à base d'algue, afin d'éviter de transférer des toxines dans la chaîne alimentaire et de garantir le bien-être animal et la sécurité alimentaire humaine.

Lors de la formulation d'aliments pour animaux avec des sargasses, il est important d'être attentif :

- aux niveaux potentiellement élevés de métaux lourds et d'autres polluants (composés organochlorés) qui sont toxiques et qui se transmettent facilement dans la chaîne alimentaire ;
- aux concentrations élevées d'autres éléments (ex. : iode) qui peuvent être nocifs pour certains animaux.

De nombreuses toxines, comme l'arsenic inorganique, le cadmium, le plomb et le mercure, qui sont rapidement captées par les algues brunes, sont particulièrement préoccupantes pour la formulation d'aliments pour animaux car elles peuvent provoquer une bioaccumulation et se transférer facilement dans la chaîne alimentaire (Adamse, Van der Fels-Klerx et de Jong 2017). De ce fait, beaucoup de pays ont des directives ou des normes de tolérance qui établissent les taux maximums autorisés dans les aliments

pour animaux, comme indiqué ici dans le tableau de synthèse des normes pour les métaux lourds en Europe, au Canada et aux États-Unis.

Plusieurs analyses récentes d'échantillons de sargasses pélagiques caribéennes ont toutes détecté des niveaux élevés d'arsenic total (14-172 ppm ; voir Tableau 3 Composition des métaux lourds dans la section 1.4). L'étude de Rodríguez-Martínez *et al.* (2020) est particulièrement intéressante car 86 % des 63 échantillons collectés sur une période de 11 mois (d'août 2018 à juin 2019) à environ 370 km des côtes caribéennes du Mexique étaient au-dessus des 40 ppm maximums autorisés en Europe pour l'utilisation dans les fourrages pour animaux.

Une étude examinant la présence de métaux lourds dans divers aliments pour animaux de 2007 à 2013, au Pays-Bas, a identifié des farines d'algues et des aliments dérivés d'algues comme hautement prioritaires pour le suivi de la teneur en arsenic en raison du pourcentage élevé d'échantillons dépassant la limite maximale établie par la Commission européenne (Adamse, Van der Fels-Klerx et de Jong 2017).

La forte teneur en sel est également un problème si l'algue est utilisée dans les aliments pour animaux car le sel provoque des diarrhées et des problèmes sanitaires liés à la déshydratation (ou même des décès pour la volaille) (Berger 2006, Abou El-Ezz et Younis 2010).

Tableau 5. Résumé des tolérances établies ou des directives pour les métaux lourds dans les aliments pour animaux, selon les pays

Agence	Arsenic (ppm)		Cadmium (ppm)	Plomb (ppm)	Mercure inorganique (ppm)
	Total	Inorganique			
Parlement et Conseil européen*	40	2	0,5	10	0,2
Agence canadienne d'inspection des aliments**	8	-	0,2 (chevaux)	8	-
			1 (poisson)		
			0,4 (toutes les autres espèces de bétail)		
US NRC***	-	30 (animaux domestiques) 5 (poisson)	10	10	0,2

* Directive 2002/32/CE (aliments pour animaux avec 12 % d'humidité) : cadmium 0,5 ppm pour d'autres aliments complémentaires pour les bovins, les moutons et les chèvres. Plomb 10 ppm et mercure 0,2 ppm pour les aliments complémentaires pour animaux. L'amendement à l'Annexe I de la Directive 2002/32/CE est appelé Directive 2009/141/CE : arsenic 40 ppm pour les farines d'algues marines et les matières premières dérivées d'algues marines dans les aliments pour animaux.

**Orientations réglementaires CFIA RG-8 : contaminants dans l'alimentation, Section 4 : Contaminants métalliques. Niveaux maximums dans le régime alimentaire global du bétail. Le mercure est surveillé uniquement pour les produits dérivés du poisson.

***Tolérance minérale des animaux définie par le Conseil national de la recherche des États-Unis (US NRC) : deuxième édition révisée, 2005 En alimentation complète pour les espèces les plus sensibles.

Aux États-Unis, le Centre pour la médecine vétérinaire (Center for Veterinary Medicine, CVM) de l'administration américaine des denrées alimentaires et des médicaments (Food and Drug Administration, FDA) mène un programme de surveillance minérale annuelle, dans le cadre du Programme sur les contaminants des aliments pour animaux, au cours duquel des échantillons d'aliments pour animaux, nationaux et importés, sont analysés pour la recherche de métaux lourds. Le CVM de la FDA n'a pas établi de tolérances ou de directives spécifiques pour les taux de métaux lourds ; cependant il prend des mesures au cas par cas et tient compte des taux établis par le National Research Council (NRC) et l'Association of American Feed Control Officials (AAFCO) (Deemy et Benjamin 2019).

Les signes de toxicité subaiguë et chronique de l'arsenic signalés dans le bétail sont la perte d'appétit, la dénutrition, l'indigestion, la soif, la dépression et des symptômes neurologiques (Gouvernement du Canada 2017). D'après l'Agence canadienne d'inspection des aliments, des signes de toxicose chez les poissons peuvent être observés lorsque des aliments contenant 10 ppm d'arsenic inorganique sont consommés, tandis que pour les espèces terrestres, la toxicose n'est pas observée en dessous de 30 ppm d'arsenic par kilogramme de l'alimentation totale. Le gouvernement canadien a cependant abaissé le niveau maximum d'arsenic autorisé dans les aliments pour animaux à seulement 8 ppm, afin de limiter l'exposition humaine potentielle.

Le Tableau 6 présente une composition approximative du complément alimentaire pour animaux à base d'algues Tasco-14[®], produit à partir d'algues brunes *A. nodosum*, au Canada, comparée à celle des sargasses pélagiques (présentée dans la section 1.4).

Compte tenu du nombre de composants qui sont présents dans des quantités très différentes, il est difficile, sans recherche approfondie, de déterminer l'adéquation de l'utilisation des sargasses pélagiques dans les compléments alimentaires pour animaux.

Tableau 6. Résumé de la composition approximative d'un complément alimentaire à base d'algues commercialisé et destiné au bétail, comparée à celle des sargasses pélagiques (en % ou ppm de matière sèche). Le texte en rouge indique des valeurs qui diffèrent d'au moins 10 fois.

Élément	Tasco-14 - Farine d'algue marine <i>A.</i> <i>nodosum</i> *	Sargasses pélagiques
Fibres brutes (%)	6	7-33
Glucides (%)	52	11-59
Cendre (%)	22	9-46
Humidité (%)	12	9-14
Protéines brutes	6	2,2-15,4
Minéraux :		
Al (ppm)	20-100	< 140-4 188
As (ppm)	< 3	4-172
Ca (%)	1-3	20-1 361
Cu (ppm)	4-15	2-540
I (ppm)	< 1000	0,4-85
Mg (%)	0,5-1	0,30-182
Mn (ppm)	10-50	16-139
P (%)	0,1-0,2	1-15
K (%)	2-3	0,0072-694
Na (%)	2,4-4	38-781
Zn (ppm)	35-100	0,5-100

* Résultats tels qu'ils sont publiés par Allen *et al.* (2001).



La farine d'algues (en fine poudre) introduite dans les compléments alimentaires pour animaux a été commercialisée pour la première fois dans les années 1960 par des entreprises norvégiennes qui ont utilisé la macroalgue brune *Ascophyllum nodosum*. Plus tard, la *Laminaria digitata* a également été utilisée dans la farine d'algues pour animaux en France et en Islande (McHugh 2003). Aujourd'hui, plusieurs espèces d'algues marines sont utilisées et sont considérées comme une source alimentaire durable pour l'élevage du bétail et l'aquaculture (Rajauria 2015). Bien que l'algue *A. nodosum* soit l'espèce la plus souvent utilisée et documentée pour l'alimentation animale, d'autres sont exploitées : *Sargassum*, *Laminaria*, *Lithothamnion*, *Ulva*, *Macrocystis pyrifera* et *Palmaria palmata* (Evans et Critchley 2014, Makkar *et al.* 2016). Aux États-Unis, les fermes laitières biologiques utilisent couramment des farines d'algues comme complément alimentaire, en faibles quantités (moins de 5 % du poids sec de la ration alimentaire totale) (Erickson *et al.* 2012, Makkar *et al.* 2016).

Lors de la formulation des aliments pour animaux, la quantité d'énergie (glucides et graisses), de protéines, de minéraux, de vitamines, de fibres et d'eau est prise en

compte. Tous ces éléments sont essentiels pour la santé animale, le maintien des fonctions du corps, et pour les rendements. Mais les exigences varient en fonction du type d'animal (volaille, porc, petits et grands ruminants, animaux aquatiques, etc.), de l'âge ou du stade de production de l'animal, ainsi que du type de produit final souhaité (viande, œufs, lait, etc.). Les minéraux ne sont généralement nécessaires que dans des quantités relativement faibles (macro-minéraux : Ca, P, K, Na, S, Cl et Mg) ou à l'état de traces (micro-minéraux : Fe, I, Cu, Co, F, Mn, Zn, Mo et Se)³. Les fibres alimentaires sont nécessaires pour que les animaux assimilent les nutriments et gardent un système digestif sain. L'eau est essentielle pour réguler la température corporelle et permettre à l'animal d'avalier et de digérer les aliments. Les

Amélioration de la digestion chez les ruminants

- Les ruminants (ex. : vaches, moutons, chèvres) ont un système digestif complexe avec un estomac à quatre cavités, dont la plus grande s'appelle le rumen.
- La matière végétale grossière est décomposée dans le rumen par digestion mécanique et fermentation à l'aide de microbes qui produisent du méthane comme sous-produit.
- D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), les ruminants à travers le monde émettent, chaque année, une quantité très importante de méthane par fermentation entérique. Celle-ci représente 44 % des émissions anthropiques de méthane et contribue aux émissions de gaz à effet de serre, qui influencent le changement climatique mondial (Gerber *et al.* 2013).
- Plusieurs études récentes ont indiqué que les émissions de méthane sont réduites lorsque le bétail ruminant est nourri avec des additifs à base d'algues (jusqu'à 0,5 % de la matière sèche des aliments), avec des réductions allant jusqu'à 80 % (Penn State 2019).
- Ainsi, l'ajout d'algues marines dans l'alimentation des ruminants pourrait constituer une mesure d'atténuation importante de l'effet de serre. Cependant, l'efficacité à long terme n'a pas encore été déterminée car la microflore du rumen est connue pour s'adapter très facilement.

³ <https://www.infonet-biovision.org/AnimalHealth/Animal-nutrition-and-feed-rations>

compléments alimentaires sont généralement donnés aux animaux pour obtenir des bénéfices spécifiques ou pour compléter leur alimentation pendant les périodes humides ou sèches, ou lorsqu'il y a des carences en minéraux.

Les algues marines brunes ont généralement une teneur en protéines plus faible (10 % du poids sec en moyenne) (Angell *et al.* 2016, Peng *et al.* 2015) que celle des autres groupes d'algues. Par exemple, les algues rouges et vertes peuvent contenir respectivement jusqu'à 50 % et 30 % de protéines en poids sec (Makkar *et al.* 2016). Cependant, les micro-minéraux chélatés présents dans les algues marines sont considérés plus efficaces pour livrer les micro-éléments aux animaux, comparés à des sources inorganiques conventionnelles. Par ailleurs, la grande variété de polysaccharides synergiques présents dans les algues est à l'origine de l'augmentation de l'activité prébiotique, qui contribue à améliorer les performances chez les animaux (Evans et Critchley 2014, Wiseman 2012). Ainsi, bien que la composition des algues inclue des éléments essentiels pour les aliments pour animaux, leur valeur réside principalement dans leur forte teneur en oligo-éléments, en polysaccharides et en métabolites secondaires. En outre, la quantité d'algues qui peut être avantageusement ajoutée à l'alimentation animale variera en fonction du type d'animal, comme le montre le tableau récapitulatif ci-dessous.

Tableau 7. Résumé des quantités maximales d'algues recommandées dans l'alimentation des animaux pour obtenir des résultats avantageux. Les valeurs sont en % du poids sec (PS) de l'apport total. Les données sont basées sur différentes espèces d'algue.

Animal	Quantité maximale d'algue (% PS de l'alimentation totale*)	Référence
Bovins	2-5	Makkar <i>et al.</i> (2016)
Moutons et chèvres	30	
Porcs	1-2	
Poulets	1-5	Wang, Jia, <i>et al.</i> (2013) ; Wang, Shi, <i>et al.</i> (2013) ; Zahid, Ali et Zahid (2001)
Canards	12-15	El-Deek et Mervat Brikaa (2009)
Lapins	Effets variables	Makkar <i>et al.</i> (2016) ; El-Banna <i>et al.</i> (2005)
Poisson*	5-10	Moutinho <i>et al.</i> (2018) ; Yangthong, Oncharoen, et Sripanomyom (2014) ; Rajauria (2015)
Crevette	2-5	Casas-Valdez, Portillo-Clark, <i>et al.</i> (2006) ; Sudaryono <i>et al.</i> (2018) ; Rajauria (2015)
Mollusques**	10-30 (% poids du corps)	Rajauria (2015)

*Poisson : 5 % de *Sargassum* pour compléter l'alimentation du tilapia à sexe inversé ; 10 % d'*Ulva rigida* pour l'alimentation de la sole du Sénégal. 5-10 % de farine d'algues ont également été indiqués pour différentes espèces de poissons par Rajauria (2015).

**Mollusques : l'algue fraîche est un aliment privilégié des mollusques pendant une période de leur cycle de vie, au cours de laquelle ils se nourrissent d'un mélange d'au moins deux espèces d'algues. Les jeunes ormeaux consomment 10 à 30 % de leur poids corporel en algues par jour. Une autre source indique un besoin quotidien en algues de 5 % (base poids humide) pour les ormeaux de 10 mm et de 1 % pour ceux de 70 mm (FitzGerald 2008).

Des proportions relativement faibles d'algues sont généralement utilisées pour la plupart des animaux en raison de la faible digestibilité des glucides complexes. Il y a des exceptions lorsque les régimes alimentaires manquent d'iode ou que les animaux ont besoin d'un complément en vitamine A ou B (Chapman et Chapman 1980).

L'ajout d'algues, en grandes quantités, à l'alimentation animale pourrait entraîner des effets néfastes, tels qu'une diminution des performances de croissance des animaux et une perte de poids (Makkar *et al.* 2016).

Bien qu'il ait été prouvé que les chèvres et les moutons peuvent bénéficier d'une teneur relativement élevée en algues (ex. : *M. pyrifera* et espèces de *Sargassum*) dans leur alimentation (jusqu'à 30 %), les animaux boiront plus d'eau en raison d'une augmentation de la concentration en sels minéraux (comme le sodium [Na] et le potassium [K]). Cela limite la viabilité de ce type d'alimentation pendant les périodes sèches (Marín *et al.* 2009, Casas-Valdez, Hernández-Contreras, *et al.* 2006, Makkar *et al.* 2016, Marín *et al.* 2003, Mora Castro *et al.* 2009). Les effets de l'ajout d'algues à l'alimentation des lapins ont été variables à ce jour : certaines études ont montré une diminution du cholestérol et une amélioration de la croissance et de la digestibilité, tandis que d'autres ont signalé des effets néfastes graves, notamment la mort (Makkar *et al.* 2016, El-Banna *et al.* 2005, Blunden et Jones 1973, Okab *et al.* 2013). Des recherches supplémentaires sont clairement nécessaires pour garantir la sécurité des compléments à base d'algues pour les lapins.

Les sargasses pélagiques caribéennes pour l'élevage animal

Recherches :

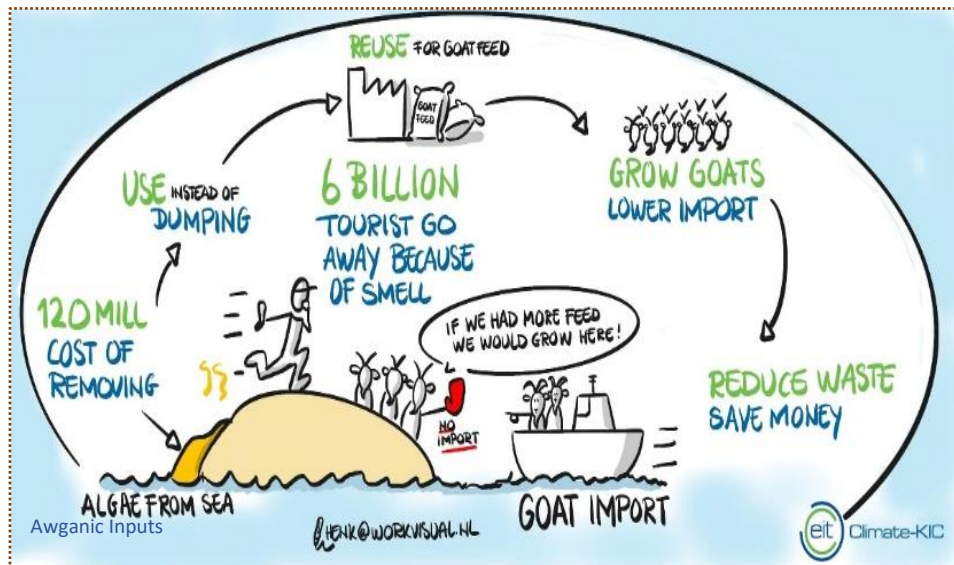
- **Groupe Amadéite** (Guadeloupe) : projet pilote financé par l'ADEME pour déterminer la potentielle utilisation des sargasses pour améliorer la santé animale, végétale et humaine (voir section 4) ;
- **Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ) – Département Nutrition animale** (Mexique) : Dr Silvia Carrillo Domínguez dirige des projets de recherche pour étudier l'utilisation d'ingrédients naturels, y compris les sargasses, pour les compléments alimentaires destinés aux poules et aux petits ruminants (voir section 4) ;
- **Projet PYROSAR** (Guadeloupe et collaborateurs) : valorisation des sargasses par pyrolyse et application pour la sécurité alimentaire (voir section 4) ;
- **SARGWA** (Guadeloupe) : un projet pilote a été mené pour déterminer la valorisation potentielle des sargasses pour l'alimentation animale (voir section 4).

Commercialisation :

- **Awganic Inputs** (Jamaïque) : jeunes entrepreneurs cherchant à commercialiser un aliment pour chèvre à base de sargasses (voir section 4).

Les éleveurs de la République dominicaine, du Mexique, de la Jamaïque et d'autres pays des Caraïbes ont déclaré avoir exploré l'utilisation des sargasses pélagiques comme complément alimentaire. Comme indiqué dans l'encadré orange, quelques projets de recherche étudient actuellement les utilisations potentielles des sargasses dans l'élevage, cependant, il n'y a qu'un seul entrepreneur en Jamaïque

(Awganic Inputs) qui travaille à la commercialisation d'un complément alimentaire pour chèvres à base de sargasses.



Dessin humoristique d'Awganic Inputs promouvant l'utilisation d'aliments à base de sargasses pour l'élevage locale de chèvres.

Agriculture : production végétale



2.3 Production végétale

Les algues sont utilisées dans l'agriculture depuis de nombreuses années à travers le monde, surtout dans les zones côtières et dans les régions caractérisées par des sols dégradés infertiles (Abdel-Raouf, Al-Homaidan et Ibraheem 2012). Dans la production végétale, les algues servent d'engrais, de compost, de biostimulants, d'éliciteurs biologiques, de conditionneurs de sol ou d'amendements de sol, de paillis, de biopesticides et même de substrat de croissance.

Lors du développement de filières de valorisation agricoles des sargasses, il est important d'être attentif :

- aux **niveaux potentiellement élevés de toxines** (comme l'arsenic inorganique, les autres métaux lourds, les polluants et autres composés d'intérêt présents à des concentrations élevées) ;
- à la forte concentration de sodium (**sel**).

L'analyse obligatoire de la teneur en métaux (et également l'analyse compositionnelle générale des produits finaux) doit être effectuée régulièrement pour les utilisations qui comportent des risques d'entrer dans la chaîne alimentaire ou des risques de contact humain direct.

Sur le long terme, l'application de produits à forte teneur en sel peut engendrer la salinisation du sol pouvant rendre les sols improductifs et inutilisables à des fins agricoles. Le trempage et le rinçage des algues dans de l'eau douce peut réduire significativement la teneur en sel. Des précautions doivent toutefois être prises en particulier dans les pays caribéens aux prises avec les manques d'eau.

Une récente étude au Mexique a déterminé que l'ensemble des 63 échantillons de sargasses prélevés sur une période de 11 mois (août 2018 à juin 2019) dans huit localités situées le long de la côte caribéenne du Mexique, dépassaient la limite maximale autorisée de 22 ppm de concentration en arsenic dans les sols agricoles mexicains (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020).



Affiche réalisée par les autorités martiniquaises, mettant en évidence les problèmes causés par l'épandage direct de sargasses fraîches, qui entraîne une salinisation des sols

2.3.1 Amendements de sol

Les amendements, également connus sous le nom de conditionneurs de sol, sont des matières utilisées pour améliorer certaines propriétés physiques du sol, comme les nutriments, la capacité de rétention de l'eau, le pH, etc. Les algues marines sont connues pour être de bons amendements de sol car elles améliorent la capacité de rétention de l'eau et des nutriments, l'aération, le drainage et la structure du sol. Elles peuvent être ajoutées au sol de différentes façons, comme expliqué ci-dessous.

Épandage direct

L'épandage d'algues directement sur les champs est une pratique courante. Par exemple, les algues rouges calcaires sont souvent appliquées au Royaume-Uni, en France et en Irlande pour diminuer l'acidité des sols et reconstituer les oligo-éléments des prairies (Tye, Fullen et Hocking 2001). Aux Bermudes, dans la mer des Sargasses, l'échouage de sargasses a toujours été un phénomène courant et la population locale ramasse traditionnellement les sargasses, elle les rince pour la débarrasser du sel avant de s'en servir comme paillis et engrais réparti autour des bananiers⁴.

Bien que les algues marines aient été appliquées directement sur les cultures en les incorporant pendant le labourage, une étude récente menée avec les sargasses pélagiques par l'Institut technique tropical en Martinique révèle de potentiels effets néfastes et met en garde les jardiniers et les agriculteurs sur cette pratique. L'équipe de recherche a évalué le potentiel agronomique des sargasses (sèches, sèches moulues, fraîches et décomposées) sur les sols et les cultures par le biais d'analyses en laboratoire et d'essais sur le terrain. Les résultats indiquent que les sargasses prélevées contiennent généralement des niveaux élevés d'arsenic (98 ppm de poids sec), de potassium, de calcium, de sodium et de fer (Tirolien 2019). Les conclusions générales indiquent qu'il n'y a aucun avantage agronomique à épandre des sargasses fraîches sur les cultures compte tenu des risques élevés de salinisation du sol et des niveaux d'arsenic potentiellement supérieurs à la limite autorisée. Les limitations des taux d'arsenic dans le sol diffèrent selon les pays, mais le Canada, l'Argentine, la Norvège, le New Jersey (États-Unis) et la Communauté européenne ont tous recommandé un taux d'arsenic maximum de 20 ppm dans le sol (Tarvainen *et al.* 2013, FAO et OMS 2011).

Il est toutefois important de faire la distinction entre l'arsenic organique et l'arsenic inorganique, ce dernier étant hautement toxique. Une analyse de spéciation de l'arsenic sur un unique échantillon de sargasses indique que 70 % de l'arsenic total était présent sous forme d'arsenic inorganique (Tirolien 2019). Plus important encore, cette même étude n'a pas détecté d'assimilation de l'arsenic par les cannes à sucre, ce qui appuie les conclusions de Reiman *et al.* (2009), qui indiquaient que les plantes (à quelques exceptions près) n'assimilent presque pas l'arsenic présent dans les sols. D'autres recherches sont nécessaires pour comprendre les impacts sur l'environnement et la santé humaine.

⁴ <https://environment.bm/sargassum-seaweed>

Biochar

Le biochar produit avec différents précurseurs, notamment des algues, est utilisé comme amendement de sol pour améliorer les propriétés du sol, notamment la capacité de rétention des nutriments. Il peut aussi être utilisé pour la réhabilitation des sols car il adsorbe les contaminants et rétablit la fertilité du sol (Roberts *et al.* 2015).

La biomasse de sargasses peut être utilisée pour produire du biochar par le biais d'un processus de pyrolyse lente sous oxygène limité. L'utilisation de biochar améliore non seulement la qualité des sols dégradés peu fertiles mais peut aussi servir à la séquestration du carbone à long terme lorsqu'il est utilisé comme une source de carbone sur les terres agricoles. Dans ce cas, le biochar peut être incorporé directement à la terre pendant le labourage (Roberts *et al.* 2015). Il a aussi été montré que l'utilisation du biochar entraîne une augmentation de la résistance des plantes (voir section ci-dessous sur la Protection des cultures) (Elad *et al.* 2010). Bien que les algues produisent généralement du biochar avec une teneur en carbone inférieure par rapport aux matières premières lignocellulosiques typiques (ex. : plantes terrestres), elles produisent généralement des quantités plus élevées de biochar, contiennent des niveaux élevés de nutriments échangeables ou de « cations » (tels que le calcium, le magnésium, le potassium, etc.) et ont une grande capacité d'échange cationique (CEC) (Bird *et al.* 2011). La CEC est une propriété importante du sol : elle a un impact sur la stabilité de sa structure, sur la quantité de nutriments disponibles pouvant être retenus par ce sol, et sur son pH (Hazelton et Murphy 2016). Les sols avec une CEC plus élevée sont potentiellement plus « fertiles » et offrent donc de meilleurs rendements.

Roberts *et al.* (2015) fournit des données comparatives sur les rendements et la composition du biochar produit à partir de six espèces d'algues cultivées commercialement, dont des sargasses. L'étude a conclu que bien que certaines propriétés du biochar à base d'algue variaient selon les espèces et les régions, toutes les espèces produisent de grandes quantités de biochar présentant relativement peu de carbone mais riches en nutriments, notamment en azote, en phosphore, en potassium, en calcium et en magnésium. En outre, l'étude a déterminé que le biochar a un rapport carbone/azote (C:N) relativement bas (<30), ce qui indique typiquement qu'il pourrait fournir de l'azote et du phosphore biodisponible aux sols tout en améliorant la rétention d'autres nutriments apportés par les engrais. Ceci améliorerait les cultures et la productivité.

L'un des principaux inconvénients est toutefois la forte teneur en sodium échangeable dans le biochar d'algue, qui pourrait contribuer à augmenter la salinité du sol sur le long terme.

Ce sodium est lixiviable (soluble dans l'eau de pluie), et donc il est fortement recommandé d'ajouter du biochar d'algues aux sols bien



A. Desrochers

Biochar produit à partir de déchets organiques par Holdex en Martinique

avant de commencer les cultures, afin de permettre au sodium de s'écouler dans un premier temps (Jeffery *et al.* 2015). Une autre stratégie proposée pour réduire l'impact négatif potentiel des taux élevés de sodium échangeable consiste à utiliser un mélange d'algues et de matières premières à base de plantes terrestres pour produire un biochar avec une teneur en sodium plus faible et une teneur en carbone accrue (Roberts *et al.* 2015).

Comme l'indique l'encadré orange ci-dessous, le projet PYROSAR piloté par l'Université des Antilles en Guadeloupe doit déterminer le potentiel d'utilisation du biochar à base de sargasses comme amendement et comme mesure de bioremédiation afin d'assainir les zones contaminées par le chlordécone⁵.

Paillis

Les algues peuvent être utilisées directement comme paillis sur la surface du sol pour le protéger de l'érosion, empêcher les mauvaises herbes de pousser, accroître la rétention de l'humidité et éloigner les organismes nuisibles comme les limaces et les escargots.

Elles peuvent également être utilisées pour produire des films biodégradables utilisés dans la plasticulture. La plasticulture est l'utilisation de films en plastique dans l'agriculture comme paillis ou couverture pour éliminer les mauvaises herbes, accroître la rétention d'humidité et faciliter le processus de récolte.

Une recherche entreprise par Immirzi *et al.* (2009) a montré qu'un spray biodégradable à base d'alginate de sodium pouvait aussi constituer un paillis écologiquement durable en alternative aux polymères synthétiques à base de pétrole pour pailler les sols agricoles. De récentes études indiquent que le film de biopolymère d'algues à base de carbonate de calcium obtenu par précipitation microbiologiquement induite est un candidat prometteur pour la plasticulture dans le milieu agricole (Abdul Khalil *et al.* 2018, Hasan *et al.* 2019).

Comme indiqué dans l'encadré orange en page 38, il existe des projets en cours portant sur la production de paillis de sargasses, notamment un projet de recherche à l'Université West Indies, au Campus Cave Hill à la Barbade, et dans deux entreprises qui commercialisent actuellement du paillis de sargasses en



Paillis de sargasse produit et commercialisé dans la région Caraïbes. En haut : par Salgax, Mexique ; en bas : par AlgeaNova en République dominicaine

⁵ Le chlordécone est un pesticide organochloré persistant qui était couramment utilisé dans les bananeraies pour lutter contre la prolifération du charançon du bananier en Guadeloupe et en Martinique jusqu'à son interdiction en 1993. Les résidus de ce pesticide sont toujours présents dans l'environnement et représentent une menace pour l'agriculture et la pêche dans certaines localités où le pesticide contamine la chaîne alimentaire. Pour en savoir plus : <http://bit.ly/ChlordeconePOPs>.

République dominicaine et au Mexique. Une autre société commercialisait aussi du paillis de sargasses à la Barbade en 2011 sous la marque Ocean Surf⁶.

Veira and Lopez (2016) de l'Université West Indies ont entrepris une étude de cinq mois à la Barbade, pendant une période de sécheresse, et ont conclu que l'application de paillis de sargasses non lavées et mûrées (pendant 4 semaines) quatre semaines après la plantation de patates douces, à un taux de 10 tonnes par hectare, (t/ha) permettrait d'améliorer la croissance et les rendements. Cependant, d'autres études sont nécessaires pour déterminer l'effet de la teneur en sel des sargasses non lavées sur le sol, et les effets du paillis sur différentes cultures, sur différents sols et dans des conditions hors sécheresse.

Compost

Le compostage de la biomasse algue est une pratique courante dans plusieurs pays, surtout dans les régions côtières. Il est considéré comme l'une des méthodes les plus simples, les moins onéreuses et les plus pratiques pour valoriser de grandes quantités d'algues (Eyras, Rostagno, et Defossé 1998). Le compostage d'algues vertes a été étudié en profondeur, surtout en France et en Italie (Mazé, Morand, et Potoky 1993, Vallini *et al.* 1993). Les avantages de l'ajout de compost sur le sol sont bien connus : augmentation de la fertilité du sol, amélioration de la structure du sol, amélioration de la rétention de l'eau et des nutriments, meilleure porosité et meilleur drainage, et réduction de la perte de sol en raison de l'érosion.

Cependant, le compost produit avec des matières premières contenant des taux élevés de sel et des composés potentiellement toxiques doit être étroitement contrôlé et suivi pour éviter la salinisation du sol et sa pollution.

D'après Eyras, Rostagno et Defossé (1998), les stratégies qui ont été efficaces pour réduire la salinité du compost sont : (1) le fait de composter les algues pendant une période plus longue, (2) le mélange de l'algue à d'autres matières premières pauvres en sel et (3) le retournement des tas de compost, permettant au sel de s'écouler. Leur étude montre que le compost mûré pendant une période de 20 mois a une teneur en sel bien inférieure au compost mûré pendant 9 mois. Une autre étude a montré que le compostage d'algues contenant des taux élevés de sel était amélioré lorsque l'on inocule la bactérie tolérante au sel *Halomonas* et la bactérie de dégradation de l'alginate, *Gracilibacillus*, qui raccourcit la durée de compostage et la phytotoxicité du compost tout en améliorant sa qualité (Tang *et al.* 2011).

Les autres problèmes potentiels liés au compostage des algues marines sont le faible rapport C:N et la teneur élevée en humidité. Ces facteurs peuvent entraîner la dégradation très rapide de la biomasse et la perte du nitrate par la libération d'ammoniac.

Le mélange des algues avec d'autres matières organiques devrait cependant contrer ces problèmes (Han, Clarke, et Pratt 2014).

⁶ <https://www.nationnews.com/nationnews/news/1816/mulch-gain-sargassum>

Plusieurs projets de compostage des sargasses ont été menés en Guadeloupe et en Martinique au cours des dernières années. Le consortium **SARGWA** a été établi en Guadeloupe pour déterminer des pré-traitements et des voies de valorisation potentiels des sargasses. Le projet comprenait une expérimentation pilote de co-compostage. Des études de co-compostage ont également été menées par l'Institut technique tropical en Martinique, l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) et l'Université des Antilles, avec la collaboration de plusieurs sites de traitement des déchets municipaux, afin de déterminer l'intégration potentielle des sargasses dans le traitement des déchets verts.



Une étude détaillée, menée depuis plusieurs années en collaboration avec la société **Holdex Environnement** en Martinique, pour expérimenter le co-compostage à grande échelle des sargasses et la commercialisation de produits finaux à la qualité contrôlée. Des résultats très prometteurs ont été obtenus. Au total, trois sociétés basées en Martinique ont été autorisées à produire du compost à base de sargasses : Holdex, Idex et Société Martiniquaise des Eaux. Le co-compostage réalisé par ces sociétés est étroitement surveillé par la Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL), où la composition de chaque lot de compost produit est analysée pour déterminer la composition du produit dont le taux de sel et les concentrations en métaux lourds. Du compost contenant jusqu'à 10 % de sargasses est déjà commercialisé localement en Martinique.



Compost à base de sargasses produit par AlgeaNova en République dominicaine

En République dominicaine, **AlgeaNova** produit un compost à base de sargasses, avec 60 % de sargasses et 40 % de *Leucaena leucocephala* (aussi connue sous le nom de faux mimosa). Cette société a effectué des expériences de terrain pour connaître les effets de l'application du compost sur différentes cultures, et des analyses en laboratoire pour déterminer la composition du produit final.

Au Mexique, plusieurs entreprises agroalimentaires produisent du compost à base de sargasses destiné à l'agriculture. L'**hôtel Moon Palace** produit également du compost à base de sargasses, qui est utilisé dans l'enceinte de l'hôtel.

L'**Université d'État du Texas** a aussi effectué des essais de co-compostage avec des sargasses (4%) mélangées à des déchets alimentaires (48%) et des copeaux de bois (48%), et a évalué la qualité du compost obtenu (Sembera, Meier, et Waliczek 2018). Sur 19 m³ de compost produit, les analyses ont

montré que le compost à base de sargasses présentait une qualité égale ou supérieure à celle du compost traditionnel. En outre, le lavage des sargasses en pré-traitement n'a pas affecté la teneur en sel du produit final, qui était à des niveaux sécuritaires aussi bien dans le compost de sargasses lavées que dans le compost de sargasses non lavées. Ainsi :

- Cette étude conclut que le prélavage des sargasses ne semble pas nécessaire pour obtenir un compost de qualité.
- Cependant, il convient de prendre des précautions pour s'assurer que les eaux de ruissellement provenant du site de compostage sont traitées et rejetées de manière adéquate et sécuritaire.

Le compost produit a une teneur en nutriments qui respecte les normes et les rapport C:N obtenus indiquent que le compost devrait accroître la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes lorsqu'il est appliqué au sol. Les taux d'arsenic (4,2-7,2 ppm) étaient dans les limites imposées par les normes EPA pour le compost. Les résultats de cette étude sont en ligne avec d'autres résultats obtenus par **Walsh (2019)**, qui a également effectué des essais de compostage mais a utilisé une proportion plus importante de sargasses (25-50 %).

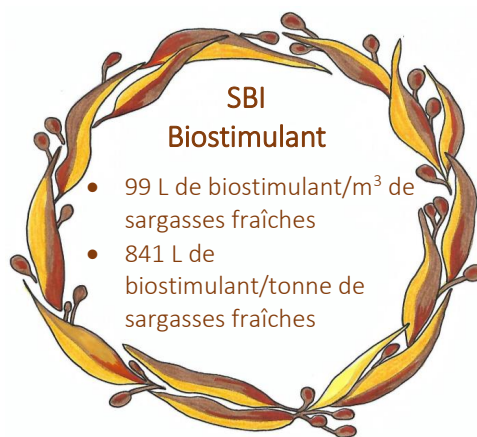
Un projet de compostage est en cours à l'**Université West Indies à Trinité** pour déterminer le potentiel du compost appliqué aux pépinières de palétuviers. Le **projet ECO3SAR** mené en collaboration avec la société Holdex en Martinique et clôturé en 2020, avait pour objectif de définir des options de valorisation durables des sargasses, avec une attention particulière portée au co-compostage.

Un **projet de vermicompostage** à petite échelle en Guadeloupe, est porté par l'Association pour l'agriculture paysanne et écologique dans la Caraïbe (APECA). D'autres recherches sont toutefois nécessaires pour déterminer tout le potentiel de cette méthode.

Engrais et biostimulants

Les algues marines sont utilisées comme engrais depuis des siècles, surtout par les communautés côtières (McHugh 2003). Avec le regain d'intérêt pour l'agriculture biologique, la demande en produits biologiques a augmenté. À ce jour, il n'y a pas eu de production industrielle à grande échelle d'engrais à base d'algues, surtout en raison des coûts élevés liés au séchage et au transport des algues (McHugh 2003). Les engrais à base d'algues marines peuvent se présenter sous forme liquide (dilué ou concentré), séchée et moulue (farine d'algue) ou sous forme de digestats solides issus de la méthanisation. Les macroalgues brunes couramment utilisées comme biofertilisants sont les suivantes : *Sargassum*, *Ascophyllum nodosum*, *Fucus*, *Laminaria* et *Turbinaria* (Khan et al. 2009).

La plupart des algues contiennent de faibles quantités d'azote et de phosphore. Cependant, elles sont riches en potassium et en oligo-éléments. Les engrais liquides à base d'algues sont souvent commercialisés comme des biostimulants, des stimulants ou des toniques de croissance pour les plantes



car ils apportent un complément d'alimentation plutôt qu'une alimentation principale (tous les macronutriments ne sont pas fournis en quantités suffisantes) à l'exception des produits mélangés avec d'autres matières pour apporter plus d'azote et de phosphore. Les algues rouges et brunes sont les plus couramment utilisées comme engrais liquides organiques (Abdel-Raouf, Al-Homaidan et Ibraheem 2012, Makkar *et al.* 2016). Beaucoup de recherches ont été menées sur des extraits d'algues marines et sur leur utilisation avantageuse en horticulture. Ils amélioreraient en effet la germination et les rendements ainsi que l'assimilation des nutriments et la résistance à certains organismes nuisibles (McHugh 2003).

Le digestat est le produit solide issu du procédé de méthanisation. Il est riche en nutriments et est souvent utilisé dans l'agriculture. Mais si des contaminants tels que l'arsenic et le cadmium sont présents dans la matière première, ils resteront probablement dans le digestat après la méthanisation (Nkemka et Murto 2010). Le digestat riche en métaux lourds pose problème en termes d'élimination et il ne peut pas être utilisé comme engrais. La teneur maximale autorisée en métaux lourds dans les engrais varie selon les pays, comme le montrent le tableau ci-après.

Tableau 8. Exemples de taux maximums d'arsenic et de cadmium autorisés dans les engrais par différents pays et agences (ppm)

Pays	Arsenic	Cadmium
Nouvelle-Zélande ⁷	75 ppm	280 ppm dans les engrais au phosphore
États-Unis - Californie (Département de l'alimentation et de l'agriculture de Californie)	2 ppm pour chaque pourcentage de phosphate disponible	4 ppm pour chaque pourcentage de phosphate disponible
Canada (Agence canadienne d'inspection des aliments 2018)	75 ppm produit (sur la base d'un taux d'application du produit de 4400 kg/ha/an)	20 ppm produit (sur la base d'un taux d'application du produit de 4400 kg/ha/an)

Les biostimulants sont des produits utilisés pour réduire la quantité d'engrais nécessaire, améliorer la croissance de la plante et des racines, favoriser la germination précoce et accroître la résistance au stress biotique et abiotique (Feitosa de Vasconcelos et Garófalo Chaves 2019, Khan *et al.* 2009). Les biostimulants se présentent habituellement sous la forme de produits liquides concentrés qui doivent être appliqués en petites quantités. Bien que ceux à base d'algues marines soient souvent utilisés dans l'agriculture et l'horticulture, davantage de recherches sont nécessaires pour connaître le potentiel de biostimulation des algues, les processus derrière leur mode d'action et la façon dont ils affectent les mécanismes de croissance et de résistance (Thomas *et al.* 2013b, Khan *et al.* 2009).

Les biostimulants sont souvent utilisés en application foliaire (vaporisés directement sur les feuilles) mais ils peuvent aussi être appliqués sur le sol ou introduits dans un système d'irrigation. Ils ont été produits pour un grand nombre d'espèces d'algues, la composition variant selon les espèces, la période à laquelle

⁷ <https://ballance.co.nz/medias/Fertiliser-Association-Metals-Dec-Version-1-6-Oct-2014-2-.pdf?context=bWFzdGVyfERvY3VtZW50c3w1NDQyODV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGwYS9oMGlvODgwMzAzMDY2MzE5OC5wZGZ8MDFmMDdiNmM1ZjA0NGFIOTJiODY2Mjk4ZmQyOTdiZDc1YzBiN2ZjNzY3YzVkNTYwNjQ1NmM4YzY2M2I1MDA4Yw>

les algues ont été collectées, les additifs utilisés pour produire le produit final et la méthode de production employée. Voici quelques exemples de biostimulants faits avec des extraits d'algues brunes :

- En Inde, les biostimulants ont été extraits à partir de l'algue *Sargassum tenerimum*, à l'aide de solvants et également par fermentation, avec du lait tourné. Il a été découvert que c'est une excellente source de minéraux et de vitamines pour les plantes (Thomas *et al.* 2013b, Thomas *et al.* 2013a).
- Les extraits de l'algue *Ascophyllum nodosum* sont couramment utilisés pour produire des biostimulants. Ils favorisent la croissance des plantes, améliorent la résilience de la culture face au stress environnemental, protègent la culture des nuisibles et stimulent les micro-organismes du sol (Shukla *et al.* 2019).
- En Inde, un biostimulant fait à partir de *Sargassum wightii* est commercialisé sous la marque Somzyme et utilisé pour un grand nombre de cultures. Il améliorerait la croissance végétative au début du développement des plantes, le développement des racines, l'absorption des nutriments, la résistance à la sécheresse et stimule les micro-organismes du sol⁸.

Comme indiqué dans l'encadré orange page 38, plusieurs sociétés ont commercialisé des biostimulants à base de sargasses pélagiques à travers la Caraïbe. En outre, plusieurs agriculteurs ont indiqué qu'ils utilisaient les sargasses pour fertiliser les cocotiers (Antigua-et-Barbuda) et les agrumes (Dominique) (JICA et CRFM 2019). À la Barbade, il a été envisagé d'utiliser les sargasses comme engrais dans l'industrie de la canne à sucre, où il a été estimé qu'il pourrait potentiellement augmenter les rendements de 20 % (JICA et CRFM 2019).



Exemples d'engrais à base de sargasses commercialisés à Sainte-Lucie (à gauche), au Mexique (au centre) et à la Barbade (à droite).

2.3.2 Protection des cultures

Les macroalgues contiennent des métabolites secondaires, des polysaccharides, des oligosaccharides dérivés et d'autres composants qui jouent des rôles différents en termes de protection contre les agents pathogènes environnementaux. Les propriétés antifongiques, antibactériennes, antivirales, antimicrobiennes et antiprotazoaires, entre autres, ont été largement étudiées (Perez, Falque et Dominguez 2016, Vera *et al.* 2011). Des extraits de ces composés ont été isolés à partir de différentes

⁸ http://www.agrilife.in/biostimulants_somzyme_sl.htm

espèces de macroalgues, et, lorsqu'ils sont appliqués aux plantes, ils peuvent avoir un « effet d'éllicitation ». Ils peuvent en effet aider les plantes à surmonter les maladies en renforçant leurs mécanismes de défense et en restreignant la croissance de pathogènes (Ben Salah *et al.* 2018). Les macroalgues sont de bons « éliciteurs biologiques » car leurs différents composants travaillent en synergie pour stimuler les réponses phyto-élicitrices et phytostimulantes des plantes (Vera *et al.* 2011). L'éllicitation biologique est considérée comme une stratégie innovante de protection des cultures et une alternative prometteuse aux fongicides chimiques. Voici quelques exemples d'études qui ont exploré les effets bio-éliciteurs de différents composés dans les macroalgues brunes :

- Les acides phénoliques et flavonoïdes extraits de l'algue *Sargassum vulgare* ont montré une activité antifongique contre le *Fusarium sambucinum* et le *F. solani* sur des pommes de terre (Nawaim *et al.* 2017).
- Il a été montré que l'extrait d'*Ascophyllum nodosum* réduit l'incidence de plusieurs maladies de plantes, notamment :
 - *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* et *Alternaria solani* sur les tomates et les piments doux (Ali, Ramsubhag et Jayaraman 2019) ;
 - *Alternaria radicina* et *Botrytis cinerea* sur les carottes (Jayaraj *et al.* 2008) ;
 - *Alternaria cucumerinum*, *Didymella applanata*, *Fusarium oxysporum* et *Botrytis cinerea* sur les concombres (Jayaraman, Norrie et Punja 2010) ;
 - *Oïdium* sur les fraises (Bajpai *et al.* 2019).
- La laminarine β -1,3-glucane dérivée de l'algue *Laminaria digitata* a montré une réponse de défense élicitrice efficace sur les vignes pour réduire le développement du *Botrytis cinera* et du *Plasmopara viticola*, deux pathogènes qui ont des impacts négatifs importants sur les vignobles (Aziz *et al.* 2003).

En outre, Veira et Lopez (2016) ont déterminé que l'application de paillis de sargasses a réduit les dommages causés par le charançon *Euscepes postfaciatus*. Cette utilisation en tant que paillis a également démontré des effets dissuasifs contre les escargots géants africains à Antigua-et-Barbuda et contre les nématodes à Sainte-Lucie (JICA et CRFM 2019).

Bien qu'il n'y ait pas eu beaucoup de projets de recherche centrés sur les propriétés bio-élicitrices des sargasses et sur leur potentielle utilisation pour la protection des cultures, le projet SARGOOD (Appel à Projet Sargassum), qui est en cours, devrait fournir plus d'informations sur cet usage potentiel.

2.3.3 Substrat de croissance

Les produits agricoles comme les champignons sont très flexibles et peuvent pousser sur de nombreux substrats différents, notamment la paille, la sciure de bois, la fibre de coco, le marc de café, les algues, etc. Plusieurs études ont été



entreprises pour déterminer le potentiel de plusieurs espèces d'algues mélangées avec des matières lignocellulosiques comme substrat de croissance pour les champignons (Kaaya *et al.* 2012, Molloy *et al.* 2003, Mshandete 2014). D'après Kaaya *et al.* (2012), 10 % d'algues marines (*Laminaria schinzii*) est la quantité optimale à mélanger dans le substrat. Cependant, cette quantité dépendra fortement des espèces de champignons cultivées et de la composition des algues utilisées. En Tanzanie, une étude a été menée pour déterminer les effets sur les rendements des champignons quand le substrat herbeux est complété avec différentes portions de *Sargassum poligocytum* (Mshandete 2014). Il a été découvert que l'incorporation de 15 % de pointes d'algues *Sargassum* dans du substrat herbeux était prometteuse pour augmenter les rendements de champignons *Coprinus cinereus*.



Expérimentation des substrats de croissance à base de sargasses pour la culture des champignons par le CICY au Mexique

Au Mexique, une recherche sur l'utilisation potentielle des sargasses pélagiques comme substrat de croissance pour champignon est menée par le Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), en collaboration avec le Colegio de Postgraduados (Campus Puebla) et l'Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP)^{9,10}.

Résumé des utilisations dans l'agriculture

Une importante recherche s'étendant sur les dernières décennies a montré les nombreux avantages de l'utilisation des algues en général, à la fois dans l'élevage des animaux (comme complément de l'alimentation animale) pour améliorer la santé animale et stimuler la productivité, et dans les cultures (comme engrais, biostimulant, amendement de sol, etc.) pour améliorer les propriétés et la fertilité du sol, améliorer la résistance face à certains nuisibles et accroître les rendements.

Cependant, bien qu'il y ait de nombreux exemples d'utilisation des sargasses dans le domaine agricole, il est important de garder à l'esprit que la forte teneur en sel et les taux élevés d'arsenic et de métaux lourds peuvent s'avérer problématiques pour la santé animale et entrer dans la chaîne alimentaire. La forte teneur en sel et en arsenic ainsi que d'autres composants détectés dans plusieurs échantillons de sargasses pélagiques peuvent également endommager les sols sur le long terme et peuvent passer dans la chaîne alimentaire via les cultures alimentaires.

Plusieurs initiatives de recherche à travers les Caraïbes étudient actuellement la valeur des sargasses pélagiques dans l'alimentation animale, et il existe un exemple de commercialisation potentielle de nourriture pour chèvre à base de sargasses. Il y a beaucoup d'autres exemples caribéens de recherche sur les sargasses pélagiques et de développement commercial pour la production végétale. Une longue étude sur le co-compostage des sargasses en Martinique a obtenu des résultats prometteurs ([Eco3Sar](#)) et plusieurs entreprises agricoles d'un grand nombre de pays de la région commercialisent actuellement des engrais et des biostimulants à base de sargasses.

⁹ https://www.cicy.mx/noticias-y-eventos/boletin-15-cicy-propone-estrategia-integral-para-el-aprovechamiento-del-sargazo?fbclid=IwAR3zikHq73a5m617E_3jy6lN-TYup2GIRMa48AmuX7rn_cSdGdDe6bU4EDl

¹⁰ <http://colpospuebla.mx/sargazo/sargazo>

Les sargasses pélagiques caribéennes pour la production végétale

Recherches :

- **Groupe Amadéite** : offre des solutions basées sur les algues, l'argile et les oligo-éléments pour améliorer la santé végétale, animale et humaine. Projet de 6 mois pour calibrer le processus de traitement des sargasses et l'optimisation de l'extraction des composés (voir section 4) ;
- **Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), Colegio Postgraduados, Puebla Campus et Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP)** (Mexique) : recherche en cours sur l'utilisation des sargasses comme substrat de croissance pour cultiver des champignons (voir section 4) ;
- **Projet ECO₃SAR** (France et Guadeloupe) : valorisation des sargasses, centrée sur le compostage (voir section 4) ;
- **INRA-Université des Antilles** (Guadeloupe) : analyse des polluants, du compostage et de l'épandage direct des sargasses (voir section 4) ;
- **Institut Technique Tropical - IT2** (Martinique) : analyse agronomique et toxicologique des effets résultant de l'application de compost de sargasse pélagique et de l'épandage direct sur les cultures (voir section 4) ;
- **Projet PYROSAR** (Guadeloupe et collaborateurs) : valorisation des sargasses par pyrolyse et application pour la sécurité alimentaire. Utilisation de biochar pour l'amendement du sol (voir section 3.2.4) ;
- **Projet SARGOOD** (Guadeloupe et collaborateurs) : approche globale de la valorisation des sargasses, incluant le développement d'éléciteurs biologiques, de biostimulants et d'autres produits agricoles (voir section 3.2.4) ;
- **Projet SAVE** (France et Martinique) : valorisation agricole des sargasses, notamment sous forme de digestats (voir section 5.2.4) ;
- **Projet SAVE-C** (France, Martinique et collaborateurs) : valorisation des sargasses, notamment comme biopesticide (voir section 3.2.4) ;
- **Plusieurs projets municipaux de co-compostage financés par l'ADEME** (Guadeloupe et Martinique) ;
- **Université West Indies** : des chercheurs basés sur les trois campus ont travaillé sur différents projets pour étudier les usages agricoles (voir section 3.2.2).

Commercialisation :

- **Algas Organics** (Sainte-Lucie) : pionnier dans le développement de toniques pour végétaux à base de sargasses, dans les Caraïbes (voir section 4) ;
- **AlgeaNova** (République dominicaine) : utilise les sargasses pour le co-compostage avec d'autres déchets organiques et produit également du paillis avec 100 % de sargasses (voir section 3.1.3) ;
- **Alquimar** (Mexique) : commercialise un biofertilisant appelé Alquifert (voir section 4) ;
- **Dianco México** (Mexique) : est en train de développer un engrais à base de sargasses (voir section 4) ;
- **Holdex** (Martinique) : utilise les sargasses pour le co-compostage avec d'autres déchets organiques et s'intéresse à la production de biochar de sargasse (voir Section 4) ;
- **Moon Palace Resort** (Mexique) : produit du compost à base de sargasses et l'utilise dans l'enceinte de l'hôtel.
- **Red Diamond Compost** (Barbade) : commercialise un biostimulant à base de sargasses appelé Super Seaweed (voir section 3.1.4) ;
- **Salgax** (Mexique) : commercialise une gamme d'engrais et de paillis à base de sargasses (voir section 3.1.7) ;
- **Sargasso Organics** (Barbade) : a commercialisé un engrais à base de sargasses dans des commerces de la Barbade (voir section 4) ;
- **Suez** (Guadeloupe) : co-compostage des sargasses (voir section 4).

Antifouling

2.4 Antifouling

L'encrassement biologique marin (ou biofouling) constitue de nombreux défis pour les navires et pour les industries utilisant des installations marines (ex. : celles qui utilisent de l'eau de mer pour le refroidissement, les opérations de mariculture, les usines de désalinisation, etc.). Lorsque les organismes aquatiques s'installent et poussent sur les coques ou les propulseurs des bateaux (voir image), ils entraînent une perte d'efficacité de la coque et une perte de vitesse du navire, ce qui engendre une hausse de la consommation de carburant et des émissions de polluants et de gaz à effet de serre dans l'air.¹³ L'encrassement biologique constitue aussi une source d'espèces invasives non indigènes car les navires voyagent à différents endroits voire même à travers différents océans. Ce phénomène peut aussi engendrer une perte d'efficacité ou l'obstruction de tuyaux, et empêcher certaines pièces mobiles de fonctionner (ex. : pompes) et alourdir l'infrastructure de mariculture (ex. : cages, filets, flotteurs) (Amara *et al.* 2018). La demande en traitements antifouling est donc forte à travers le monde.



Coque de yacht présentant un encrassement marin étendu

Cependant, certaines des peintures antifouling les plus efficaces contiennent des composés chimiques qui sont hautement toxiques pour de nombreux organismes marins, même à de très faibles concentrations. C'est notamment le cas des tributylétains (TBT). Les composés de substitution qui sont moins toxiques contiennent souvent du cuivre et des biocides d'appoint supplémentaires, mais les préoccupations sur les effets toxiques dans le milieu marin en général persistent, et d'autres composés tels que l'oxyde de polyéthylène, les résines acryliques et le silicone ne sont pas aussi efficaces, surtout pour les structures fixes (Amara *et al.* 2018).

Il y a donc un grand intérêt, aujourd'hui, dans le développement de nouveaux composés antifouling respectueux de l'environnement et issus des mécanismes naturels de défense chimique utilisés par les organismes marins tels que les algues, les éponges, les coraux, les oursins, etc. (Chambers *et al.* 2006).

Une récente étude en laboratoire a démontré que les algues vertes (*Ulva fasciata* et *Codium tomentosum*) et rouges (*Corallina mediterranea*) sont très prometteuses comme additifs biocides sûrs et économiquement viables pour les peintures antifouling (Ibrahim *et al.* 2019). Une autre étude en

¹³ Site web de l'Organisation maritime internationale : <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Biofouling/Pages/default.aspx>

laboratoire a indiqué que l'extrait brut et les composés bioactifs isolés (acides gras) de l'algue brune *Laminaria* « sanhai » avaient tous deux de bonnes capacités antifouling et ne présentaient aucune cytotoxicité. Cette algue représenterait une base prometteuse pour la production d'antifouling respectueux de l'environnement (Li *et al.* 2018). Il est supposé que les métabolites secondaires accumulés par les macroalgues jouent un rôle dans leur défense contre les herbivores marins et la colonisation bactérienne. Dans le cas des algues brunes, il a été découvert qu'elles produisent des composés phénoliques (comme les phlorotanins) qui sont les principaux acteurs responsables de ce mécanisme de défense, ce qui suggère que ces composés pourraient avoir de potentielles applications antifouling (Plouguerné *et al.* 2006). Les extraits d'acide palmitique des acides gras de l'algue *Sargassum muticum* ont des propriétés antifouling potentiellement intéressantes (Bazes *et al.* 2009).

Antifouling potentiel à base de sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Recherches :

- **Projet CORSAIR** (Guadeloupe) : l'impact des substances chimiques extraites des sargasses et la caractérisation des molécules naturelles ayant des propriétés antifouling (voir section 3.2.4).

Une caractérisation plus approfondie de l'acide gras et des profils phénoliques des sargasses pélagiques est nécessaire pour déterminer son potentiel antifouling. Jusqu'à présent, les résultats préliminaires obtenus par Milledge *et al.* (2020) à partir d'échantillons limités de sargasses pélagiques provenant des îles Turques-et-Caïques indiquaient un profil d'acide gras comprenant : des acides gras saturés (37 %), des acides gras polyinsaturés (29 %), des acides gras monoinsaturés (19 %) et des acides gras non identifiés (15 %), comme décrit dans la section Composition. L'acide palmitique est l'acide gras prédominant, suivi de l'acide oléique.

L'encadré orange ci-dessus décrit le seul projet en cours dans la Caraïbe (à notre connaissance) concernant les sargasses pélagiques et leurs potentielles fonctions antifouling.

Résumé des utilisations comme antifouling

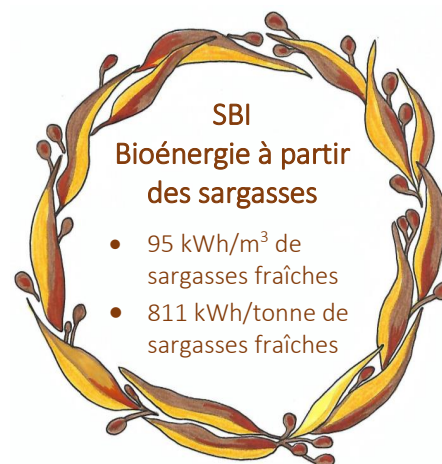
Des recherches récentes ont montré que plusieurs extraits d'algues brunes (utilisés dans leurs propres mécanismes de défense chimique) peuvent constituer des ingrédients actifs efficaces dans les peintures antifouling respectueuses de l'environnement. Des études complémentaires sont nécessaires pour appuyer ces premiers constats encourageants.

Nous avons eu connaissance d'un unique projet caribéen qui étudie le potentiel des sargasses pélagiques pour des applications antifouling.

Bioénergie

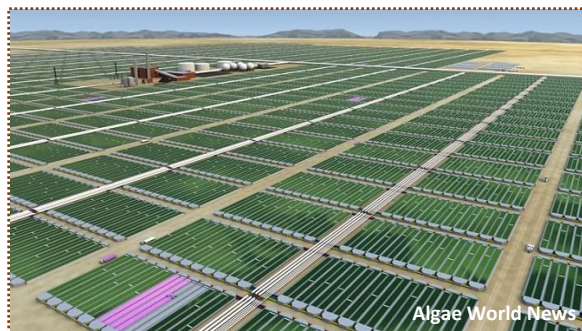
2.5 Bioénergie

La bioénergie est le terme employé pour décrire l'utilisation de dérivés de matières organiques pour produire de l'énergie, qui peut se présenter sous forme liquide (ex. : biocarburants), gazeuse (ex. : biogaz) ou solide (ex. : bois). De nombreux types de biomasses, y compris les algues (microalgues et macroalgues), ont une composition et des propriétés adéquates pour la production de bioénergie. La bioénergie issue des algues est considérée comme une option plus durable que celles issues des cultures alimentaires comme le maïs, la canne à sucre et les graines oléagineuses (Chaker Ncibi, Menyar Ben Hamissa et Gaspard 2014). L'utilisation des algues comme matière première pour produire de la bioénergie/des biocarburants, appelés « biocarburants de troisième génération » est très prometteuse en raison de leur croissance rapide, de leur rendement élevé, de leur faible teneur en lignine et de leur capacité à emprisonner le CO₂ (ce qui signifie que le carburant produit est « neutre » en carbone). Dans cette section, nous examinons quatre options potentielles d'énergie renouvelable utilisant les algues : (1) le bioéthanol, (2) le biodiésel, (3) le biométhane et (4) les bio-granulés.



2.5.1 Bioéthanol

Le bioéthanol, carburant destiné au transport, peut être produit à partir d'algues en convertissant les glucides en éthanol par le biais d'un procédé à multiples étapes comprenant le prétraitement, l'hydrolyse et la fermentation. Le prétraitement convertit la biomasse d'algues en glucides complexes (sucres complexes). C'est une étape importante et généralement coûteuse du procédé (Li *et al.* 2018). Les prétraitements des algues peuvent inclure des processus physiques, physico-chimiques, chimiques et biologiques (Li, Liu et Liu 2014). L'hydrolyse enzymatique ou chimique est ensuite effectuée pour convertir les glucides complexes en monomères simples (des sucres fermentables comme le glucose), une étape que l'on appelle « saccharification ». Cette étape est suivie de la fermentation des sucres simples avec des micro-organismes pour produire de l'éthanol.



Exemple de traitement hydrothermique à échelle commerciale des microalgues pour produire du bioéthanol

De nombreuses études ont été menées avec différentes microalgues pour déterminer la combinaison optimale de prétraitements, d'hydrolyse et de micro-organismes requis pour la fermentation afin

d'obtenir le meilleur rendement de bioéthanol. Voici quelques exemples :

- **Kim et al. (2011)** propose un pré-traitement efficace de macroalgues pour la fermentation alcoolique qui utilise l'hydrolyse acide suivie du traitement hydrolytique enzymatique et de l'inoculation avec la bactérie *Escherichia coli* KO11. Cette étude a montré que les hydrolysats d'algues brunes, riches en polysaccharides de mannitol, tels que ceux qui sont extraits de l'algue *Laminaria japonica*, peuvent être économiquement viables pour la production d'éthanol microbien.
- **Lee et al. (2013)** a étudié le potentiel de l'algue brune *Saccharina japonica* comme substrat pour la production de bioéthanol avec un prétraitement à l'acide faible (acide faible à haute température) suivi de la saccharification et de la fermentation simultanées avec la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Cette étude indique que les hydrolysats restants contenant du mannitol et des oligosaccharides dérivés d'alginate pourraient être utilisés pour approfondir les processus de fermentation en vue de produire du bioéthanol.
- **Yeon et al. (2011)** a incorporé une méthode de culture en fermenteur avec aération de surface pour améliorer la production de bioéthanol à partir d'hydrolysat d'algues brunes *Sargassum sagamianum*. Les résultats indiquent une stratégie prometteuse et pratique pour la production commerciale de bioéthanol à partir de sargasses.
- Les algues *Sargassum* sont très abondantes aux Philippines et ont été étudiées par plusieurs chercheurs pour déterminer le potentiel de production de bioéthanol. **Borines, de Leon et Cuello (2013)** ont proposé de traiter l'algue marine avec un prétraitement à l'acide, de l'hydrolyser avec des enzymes cellulases complétées de β -glucosidase, et de la fermenter avec des levures *Saccharomyces cerevisiae*. Ce traitement a donné lieu à un taux de conversion en éthanol de 89 %, ce qui montre le bon potentiel des algues *Sargassum* comme matière première renouvelable pour la production de bioéthanol. **Wardani et Herrani (2019)** ont eu une approche légèrement différente en utilisant une espèce d'algue *Sargassum* pour déterminer l'effet de la durée de fermentation sur la production d'éthanol, avec la bactérie *Zymomonas mobilis*, de la levure pour « tapai » (*Aspergillus*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Hansenula*, *Acetobacter*) et de la levure de boulanger. Les résultats indiquent que les plus hauts niveaux d'éthanol sont atteints au bout de six jours de fermentation, avec une teneur en éthanol de presque 25 %.

Bien que les algues soient généralement considérées comme l'une des sources de biomasse les plus importantes et les plus respectueuses de l'environnement pour la production de biocarburants renouvelables, la commercialisation du bioéthanol reste un défi. La principale raison à cela est le coût des prétraitements. En effet, la composition des parois cellulaires des algues est complexe. Ce type de production implique de trouver des bactéries marines spécifiques pour chaque type d'algues sans compter les coûts élevés des enzymes (Li, Liu et Liu 2014). En outre, la teneur élevée en sel des algues peut augmenter les niveaux de salinité pendant la fermentation et avoir des impacts négatifs sur la production d'éthanol (Maneein, Milledge, Nielsen et Harvey 2018).

Comme indiqué dans l'encadré orange à la fin de la présente section, des recherches sont en cours à l'Université West Indies à la Barbade, pour déterminer le potentiel des sargasses pélagiques pour produire du bioéthanol.

2.5.2 Biodiesel

Le biodiesel est un carburant de transport renouvelable et très polyvalent qui provient de sources d'huile naturelles, comme les huiles végétales et les graisses animales. Et il est considéré comme une meilleure option que le diesel dérivé du pétrole en termes d'impacts environnementaux car il est neutre en carbone (c'est-à-dire que sa production et son utilisation n'émettent pas de dioxyde de carbone supplémentaire dans l'atmosphère) (Chaker Ncibi, Menyar Ben Hamissa et Gaspard 2014). Les matières premières qui sont utilisées dans différents pays dépendent des biomasses brutes disponibles : huile de colza ou de soja aux États-Unis, huile de palme en Asie. Les matières premières ont été classées en différentes catégories et peuvent être décrites selon leur profil d'acide gras : lipides d'algues, huile de graines oléagineuses, huile de cuisson et graisses animales (Chaker Ncibi, Menyar Ben Hamissa et Gaspard 2014).

La plupart des recherches avec des algues comme matières premières pour la production de biodiesel se sont concentrées sur l'utilisation des microalgues (algues microscopiques) au lieu des macroalgues (algues marines), les premières étant généralement plus riche en huile (lipides) et ayant une productivité de biomasse élevée. Les microalgues sont reconnues comme les seules sources renouvelables de biodiesel qui pourraient répondre à la demande mondiale de carburants destinés au transport (Balat 2011). Les macroalgues ne sont pas adaptées pour la production de biodiesel car leur teneur en lipides n'est pas suffisante. Comme ce guide se concentre sur les macroalgues sargasses pélagiques, nous n'approfondirons pas le sujet des biodiesels à base de microalgues.

Sans surprise, aucun projet de recherche dans les Caraïbes, à notre connaissance, n'explore la production de biodiesel à partir de sargasses pélagiques.

2.5.3 Biogaz (biométhane)

Le biogaz peut être produit à partir d'un grand nombre de matières premières comparé au bioéthanol qui requiert une forte teneur en sucre, ou au biodiesel qui a besoin d'une forte teneur en huile (Chaker Ncibi, Menyar Ben Hamissa et Gaspard 2014). Les matières premières telles que les boues d'épuration, les déchets municipaux solides, le fumier et les déchets alimentaires subissent un processus de digestion anaérobie (à l'aide de micro-organismes) pour produire du biogaz. Ce biogaz est composé principalement de méthane et de dioxyde de carbone et d'infimes quantités d'autres gaz tels que le monoxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène et l'ammoniac.

Pour produire du biométhane, les éléments-traces sont retirés par le biais d'un processus de nettoyage et le pouvoir calorifique est ensuite



Exemples de méthaniseurs *En haut* : unité de méthanisation de taille moyenne, *en bas* : méthaniseur domestique de petite dimension

ajusté par le biais d'un processus d'amélioration. Si toutes les étapes de transformation sont exécutées, le biométhane peut contenir jusqu'à 97 % de méthane et de 1 à 3 % de dioxyde de carbone (Chaker Ncibi, Menyar Ben Hamissa et Gaspard 2014).

L'utilisation de microalgues dans le processus de méthanisation a fait l'objet de nombreuses recherches. Cependant, les informations liées à la production de biocarburants à partir de macroalgues sont bien plus limitées, et des recherches plus approfondies sont nécessaires pour étudier la pertinence des algues.

Dans une revue examinant le potentiel des macroalgues pour produire du biogaz, il est indiqué que ce potentiel est viable, puisque tous les composants peuvent être convertis en biogaz par méthanisation. (Chen *et al.* 2015). En outre, les macroalgues ont généralement une faible teneur en lignocellulose, ce qui favorise la production de biogaz. Dans cette même revue, le potentiel de différents types de macroalgues pour la production de méthane a été comparé. Il en résulte que les macroalgues sont prometteuses en termes de production de méthane. Cependant, pour un rendement de méthane optimal, un rapport carbone/azote (C:N) de 20 à 30 est nécessaire. Si le rapport est inférieur à 20, le processus produira plus d'ammoniac et réduira la production de méthane (Chen *et al.* 2015). Le rapport C:N des macroalgues est généralement autour de 10 et peut contenir des composés toxiques, ce qui les rend inadéquats pour la mono-digestion mais adéquats pour la co-digestion lorsqu'elles sont mélangées avec une biomasse ayant un rapport C:N élevé, comme la paille, la sciure, les copeaux de bois, le papier et le carton, etc. (Chen *et al.* 2015, Paul, Melville et Sulu 2016). De plus, des prétraitements sont recommandés pour décomposer davantage les parois cellulaires des algues et ainsi rendre la matière organique disponible pour les micro-organismes et augmenter l'efficacité et le rendement de la production de biogaz. Il est important de noter que de grandes quantités de polyphénols et de cendres, y compris des éléments salins tels que le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium, peuvent limiter la croissance et la productivité des micro-organismes de méthanisation, et donc le rendement en méthane. Cependant, elles peuvent être améliorées avec de l'eau et des prétraitements à l'acide faible (Chen *et al.* 2015, Milledge *et al.* 2019).

Les macroalgues brunes *Laminaria* et les macroalgues vertes *Ulva* sont fortement recommandées comme matières premières pour la production de biogaz (Montingelli *et al.* 2016). Le rendement en biogaz peut être accru en utilisant une combinaison de méthodes de prétraitement et de co-digestion (Paul, Melville et Sulu 2016). Plus particulièrement, le rendement en méthane varie en fonction du rapport substrat/inoculum et de la teneur en lipides de la biomasse. Différents prétraitements peuvent alors être utilisés pour différentes espèces d'algues, dans des états différents (Paul, Melville et Sulu 2016). Plusieurs méthodes de prétraitement sont disponibles pour améliorer la digestibilité de la biomasse d'algues : méthode mécanique (ex. : broyage), méthode physique (ex. : thermique, pression, micro-ondes, ultrasons), méthode chimique (ex. : acide, alcaline) ou l'utilisation d'enzymes. L'efficacité des prétraitements dépend de plusieurs variables, notamment du type d'algue utilisé (Paul, Melville et Sulu 2016, Montingelli *et al.* 2016). Il convient de noter que certaines macroalgues ayant une faible teneur en lignine ne requièrent pas de prétraitement avant la méthanisation.

Pour améliorer le rapport C:N et ainsi réduire certains composés toxiques et augmenter la production de méthane, un grand nombre de méthodes de co-digestion ont été étudiées pour une utilisation avec des algues. Parmi ces méthodes figure l'utilisation d'eaux usées de brasseries, de boues d'épuration, de déchets agricoles et d'autres déchets biodégradables (Paul, Melville et Sulu 2016).

Des recherches sur deux espèces de macroalgues brunes (*Macrocystis pyrifera* et *Durvillea antarctica*) ont étudié leur utilisation potentielle comme matière première pour la production de biogaz dans un système de méthanisation à deux phases (Vergara-Fernández *et al.* 2008). Les résultats indiquent que le biogaz produit a une concentration en méthane de 65%. De même, Milledge *et al.* (2019) a établi, en examinant des études publiées, que la méthanisation d'algues produit typiquement du biogaz contenant entre 50 et 70% de méthane, 30 à 45% de dioxyde de carbone, 3,5% ou moins de sulfure d'hydrogène et moins de 2% d'hydrogène. Il est considéré que la méthanisation de macroalgues brunes produit plus de méthane que les macroalgues vertes, cependant le rendement en méthane est typiquement inférieur d'au moins 50 % à celui des matières premières commerciales actuellement utilisées (Milledge *et al.* 2019).

Comme la composition des algues varie considérablement, des recherches supplémentaires sont nécessaires sur un plus large éventail d'espèces de macroalgues pour déterminer leur application potentielle en utilisant à la fois des méthodes de mono-digestion et de co-digestion. La littérature sur la mono-digestion des algues en processus continu est limitée et aucune technologie de méthanisation viable à long terme utilisant la mono-digestion de macroalgues n'a été établie (Tabassum, Xia et Murphy 2017). Les raisons du faible rendement en méthane des algues sont associées à plusieurs éléments : la structure de la paroi cellulaire, les polysaccharides, les polyphénols, le soufre organique, les toxines et les métaux lourds (Milledge *et al.* 2019).

D'après Thompson, Young et Baroutian (2020), les sargasses pélagiques présentent un rapport carbone/azote faible, une faible biodisponibilité des glucides et une forte teneur en fibres insolubles, en sel, en polyphénols et en soufre, qui contribuent tous au faible taux de récupération de méthane. La mono-digestion des sargasses (c'est-à-dire l'utilisation des sargasses comme seule matière première) ne convient donc pas à la production de méthane mais la co-digestion avec d'autres déchets organiques peut multiplier par cinq la quantité d'énergie récupérée (Thompson, Young et Baroutian 2020). Un projet pilote réalisé à Sainte-Lucie a déterminé que les sargasses échouées, qui sont plus anciennes, ont un faible potentiel de méthane biochimique et qu'elles ne sont pas adaptées pour les systèmes de mono-digestion anaérobie (Morrison et Gray 2017). Cependant, une autre étude pilote de méthanisation menée en République dominicaine indique qu'environ 55 % de méthane et 35 % de CO₂ peuvent être produits à partir de la co-digestion de sargasses et de déchets organiques, et que le rapport optimal est de 25 % de sargasses pour 75 % de déchets organiques (Rodriguez Cuevas, Rivera et Gil 2020).

Une récente étude a indiqué que la biomasse de macroalgues mélangées (sargasses mélangées et *Ulva*), courante sur les côtes caribéennes du Mexique, constitue une matière première prometteuse pour la production de biocarburant et que l'utilisation du champignon *Trametes hirsuta* en prétraitement de la méthanisation augmente le rendement en méthane de 20 % (Tapia-Tussell *et al.* 2018). Ce prétraitement efficace pourrait permettre d'élargir la production de biogaz à l'aide de macroalgues comme les sargasses.

Les projets en cours dans la Caraïbe qui testent le potentiel de la méthanisation des sargasses pour produire du biométhane grâce à différentes méthodes et différents mélanges de matières premières sont synthétisés dans l'encadré orange à la fin de cette section.

2.5.4 Bio-granulés

Les bio-granulés sont faits à partir de matières biodégradables comme les déchets agricoles (ex. : tiges de plantes, cosses, coquilles, bagasse), les résidus forestiers (ex. : résidus de sciage, branches, feuilles) et déchets solides (ex. : papier). Ils sont utilisés pour chauffer les bâtiments et pour la cuisson, et peuvent être utilisés à l'échelle industrielle pour réduire les coûts énergétiques des opérations à grande échelle. Les bio-granulés sont considérés comme une alternative durable au carburant à base de pétrole car ils sont faits à partir de matières renouvelables. Ils sont globalement efficaces, propres, économiques, respectueux et responsables vis-à-vis de l'environnement.¹⁴

À ce jour, il y a très peu de recherches publiées sur l'utilisation des algues (macroalgues) pour la production de bio-granulés destinés au stockage d'énergie. Mais il est possible de tirer des enseignements des études existantes. Une étude a examiné le potentiel de production de bio-briquettes¹⁵ à partir de macroalgues brunes carbonisées mais les a trouvées inadaptées en raison de la perte de stabilité des liants et la présence de matières inorganiques après carbonisation. L'étude a toutefois signalé que les briquettes présentaient une bonne résistance à la compression (Haykiri-Acma, Yaman et Kucukbayrak 2013). Maceiras *et al.* (2015) a analysé huit algues différentes pour leur utilisation comme bio-granulés destinés aux chaudières et a conclu qu'aucune n'était adaptée pour être utilisée dans les chaudières. Cependant, il a été conclu qu'elles peuvent être utilisées pour d'autres usages industriels ou pour alimenter les animaux. Comme l'indique l'encadré orange ci-dessous, malgré les échecs des essais réalisés avec les bio-granulés de microalgues et documentés à ce jour, des résultats prometteurs ont été obtenus par Energryn au Mexique, qui mélange les algues sargasses à d'autres déchets organiques pour produire des bio-granulés à utiliser dans les chaudières d'hôtels locaux.



Exemple de bio-granulés standard



Bio-granulés à base de sargasses développés et testés au Mexique par Energryn

¹⁴ <https://www.renewableenergyworld.com/2016/05/19/whats-biomass-pellet-and-biopellets-species/#gref>

¹⁵ <http://biomassmagazine.com/articles/5148/biomass-briquettes-turning-waste-into-energy/>

Production de bioénergie avec les sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Recherches :

- **Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)** (Mexique) : le Dr Raúl Tapia Tussell et son équipe ont développé un prototype de méthodologie (brevet en cours) qui consiste à mélanger les sargasses avec un champignon local pouvant dégrader la lignine et un inoculum bactérien pour produire du méthane (voir section 4) ;
- **Ecodec** (Guadeloupe) : bénéficiaire de la subvention de l'Ademe en 2016 pour un essai pilote visant à évaluer le potentiel des sargasses comme carburant pour alimenter une chaudière biomasse (voir section 4) ;
- **Innovation Développement** (Guadeloupe) : bénéficiaire d'une subvention ADEME en 2016 pour un essai pilote de méthanisation des sargasses (voir section 4) ;
- **SAVE** (France/Guadeloupe/Martinique) : étude en cours sur la méthanisation des sargasses et les facteurs qui affectent la production de méthane (voir section 3.2.4) ;
- **Université West Indies** (Barbade et Trinité) : les chercheurs des campus de Cave Hill et St. Augustine étudient l'utilisation potentielle des sargasses pour produire du biogaz et du bioéthanol (voir section 3.2.2) ;
- **Energryn** (Mexique) : étudie l'utilisation des sargasses mélangées avec d'autres déchets organiques pour produire des bio-granulés utilisés dans des hôtels locaux (voir section 4) ;
- **EnergyAlgae** (Israël et République dominicaine) : ce projet collaboratif entre YA MAOF, UNAPEC et AlgeaNova a donné lieu à un projet pilote à Punta Cana (RD) pour étudier l'utilisation des sargasses dans les centrales de co-digestion anaérobie pour la production de biogaz (voir section 3.1.3) ;
- **Hôtels de Cancún et des zones voisines** : plusieurs hôtels sont en train d'installer des unités de production de biogaz sur site pour utiliser les sargasses et les déchets organiques de l'hôtels ;
- **Mécaméto** (France) : la société étudie l'utilisation potentielle des sargasses comme matières premières dans la technologie mobile brevetée de méthanisation en voie sèche (voir section 4) ;
- **Num SMO Technologies** (Guadeloupe) : pyrolyse des sargasses pour produire de l'électricité et du charbon actif (voir section 3.1.8) ;
- **SARA** (Guyane française et Guadeloupe) : le projet GARAS est un consortium industriel de trois sociétés, dans lequel SARA, une grande raffinerie de la région, étudie l'utilisation potentielle des sargasses pour développer un processus de conversion thermique (ex. : pyrolyse) et développer du biocarburant (voir section 4) ;
- **The Pelikan System** (Saint-Barthélemy) : la société Green Engineering S.A.S. propose un système « d'autocombustion » complet alimenté avec des granulés de sargasses afin de générer de l'électricité par le biais d'un turbo-alternateur électrique (voir section 4).

Commercialisation :

- **Biogen** (Barbade) : cette société étudie la co-digestion anaérobie des sargasses (voir section 4) ;
- **Damen / Maris Group** (Pays-Bas) : ce groupe étudie l'utilisation des sargasses dans les biocarburants (voir section 4) ;

Résumés des utilisations pour la bioénergie

Les sargasses pélagiques ont montré un certain potentiel pour le secteur de la bioénergie, la production de biocarburants sous forme liquide, gazeuse ou solide. Ceux-ci ont non seulement l'avantage d'être durables et neutres en carbone mais aussi de ne pas être en concurrence avec l'agriculture (production alimentaire). En effet, comme les sargasses se développent en mer, aucune terre arable n'est exploitée pour leur production.

Biocarburants liquides : la capacité des algues *Sargassum* à produire des rendements raisonnables de bioéthanol via la fermentation par les micro-organismes a été démontrée. Cependant, la commercialisation du processus reste difficile, en grande partie en raison du coût élevé du prétraitement nécessaire pour rendre l'algue adaptée à la fermentation, et de la nécessité d'identifier des micro-organismes tolérants au sel. Les sargasses (et les algues marines en général) sont inadaptées pour la production de biodiesel en raison de son faible taux de graisses (lipides)

Biogaz : les algues brunes tiennent leurs promesses pour la production de biométhane par méthanisation compte tenu de leur faible teneur en lignine (comparée aux plantes terrestres). Cependant, elles ont généralement un rapport carbone/azote défavorable (faible) (et elles peuvent contenir d'autres composants qui interfèrent avec le processus de digestion comme le soufre et les métaux lourds). Par conséquent, il est nécessaire de les mélanger avec d'autres types de biomasses comme les déchets alimentaires et les sous-produits de l'agriculture (dans un processus appelé co-digestion) pour accroître le rendement en méthane.

Biocarburant solide : jusqu'à présent, la littérature fait état de réussites limitées en matière d'utilisation des algues brunes pour produire des bio-granulés comme carburant solide durable.

Des recherches sur la faisabilité de la production de quantités commerciales de bioéthanol avec les sargasses pélagiques sont en cours dans au moins une institution caribéenne. Plusieurs projets dans les Caraïbes expérimentent actuellement des systèmes de co-digestion avec les sargasses pélagiques et d'autres déchets organiques pour commercialiser du biométhane issu de productions de petite à moyenne-grande échelle. Des résultats prometteurs ont été obtenus par au moins une société dans les Caraïbes, qui utilise des bio-granulés constitués d'un mélange de sargasses pélagiques et d'autres déchets organiques dans les chaudières de certains hôtels.

Bioplastiques

2.6 Bioplastiques

La pollution par les plastiques est un problème mondial car certains d'entre eux mettent 1000 ans à se décomposer (Kale *et al.* 2015). Plus de 300 millions de tonnes de plastique sont produites chaque année, dont 43 % finit dans les décharges et jusqu'à 7 % dans les océans (Gourmelon 2018). La pollution marine par le plastique est une source d'inquiétude majeure dans les Caraïbes : elle s'élève à 200 000 morceaux par km² (Diez *et al.* 2019). Les plastiques issues de ressources naturelles, les « bioplastiques », ont été développés pour offrir une alternative plus « respectueuse de l'environnement » aux plastiques à base de pétrole. Ces dernières années, ils ont gagné en popularité et soutiennent désormais une industrie en plein essor, pesant plusieurs milliards de dollars. Le bioplastique est un terme général utilisé pour désigner de nombreux polymères biodégradables faits à partir de sources de biomasse renouvelables, dont les plus courants sont ceux à base d'amidon (ex. : amidon de maïs), de cellulose (ex. : copeaux et sciure de bois), de protéines (ex. : gluten de blé, caséine et lait), de polyéthylène organique (ex. déchets agricoles organiques) et de polyesters aliphatiques (ex. : acide polylactique (PLA), de polyglycolide (PGA) et polyhydroxyvalérate (PHV)).

Il existe plusieurs options de fin de vie pour les bioplastiques : le recyclage, le compostage, l'incinération, la méthanisation ou la récupération comme matière première, en fonction du type de bioplastique. Pour être considéré compostable ou biodégradable, un bioplastique doit remplir certains critères, qui sont définis par différentes normes et différents organismes de certification¹⁶. Ces critères sont principalement liés à la durée de compostage, aux conditions environnementales et à la qualité du compost produit¹⁷. La quantité de dioxyde de carbone ou de méthane produite sur une certaine durée est également prise en compte par certaines normes. Lorsqu'elles produisent des bioplastiques, il est essentiel que les entreprises respectent les réglementations locales, les essais de biodégradabilité garantissent l'accès à des équipements appropriés pour la bonne mise élimination ou le bon recyclage des matières, afin d'éviter les impacts environnementaux.

La plupart des bioplastiques sont actuellement constitués de matières premières issues de l'agriculture, comme le soja, le blé, le riz, le maïs, le sorgho, l'orge, le bois, le coton, le chanvre, la patate douce ou la canne à sucre. Cependant, ces plastiques ne respectent pas pleinement les Objectifs de développement durable des Nations Unies (ODD) car ils ont besoin de terres arables et d'eau douce et entrent donc en concurrence avec la production alimentaire (Karan *et al.* 2019). L'utilisation des microalgues dans la production de bioplastiques suscitent donc un intérêt grandissant car ces algues ne concurrencent pas la production alimentaire, elles s'adaptent à différentes conditions de croissance et différents types de compostages, et elles n'ont pas besoin d'engrais chimiques, ce qui les rend compatibles avec le principe de bioéconomie circulaire (Karan *et al.* 2019). Leur collecte n'est toutefois pas facile, contrairement à celle des macroalgues.

¹⁶ <http://www.bioplastics.guide/ref/bioplastics/standards-and-certifications/>

¹⁷ <https://bpiworld.org/page-190422>

Des recherches soutenant la commercialisation de bioplastiques à base de macroalgues ont récemment pris de l'essor en raison de la forte disponibilité de la biomasse algue, de leur capacité à se développer dans différents environnements, de leur accessibilité et de leur facilité de culture (Rajendran *et al.* 2012). La teneur en polysaccharides de nombreuses espèces en fait les candidates idéales pour la fabrication de bioplastiques.

Les macroalgues peuvent être utilisées de différentes façons pour la production de bioplastiques. Elles peuvent être employées comme matières premières pour la fermentation par des micro-organismes, en vue de produire de l'acide lactique, ou pour l'extraction directe de polysaccharides, tous deux utilisés pour fabriquer des bioplastiques. Elles peuvent être utilisées directement comme biomasse compressée pour fabriquer des matières alternatives destinées aux plastiques à usage unique. Pour cette application, certains fabricants ajoutent une couche protectrice de cire ou d'autres matières pour éviter le contact direct avec les aliments.

Une récente étude menée en Israël a évalué la composition en glucide de sept algues différentes afin d'étudier leur potentiel en tant que matière première dans la production de bioplastiques polyhydroxyalcanoate (PHA), grâce à des micro-organismes halophiles, *Haloferax mediterranei* (Ghosh *et al.* 2019). Le rendement maximum en PHA a été obtenu à partir de l'algue verte *Ulva* et le polymère biodégradable qui en résulte ne nécessite pas d'eau douce, ne produit aucun déchet toxique et peut être recyclé en déchet organique.

Un projet de trois ans financé par l'UE, appelé SEABIOPLAS, a étudié la production d'algues comme matière première dans des systèmes durables d'aquaculture multitrophique intégrée (AMTI) en vue de développer les bioplastiques¹⁸. Les systèmes AMTI incorporent les déchets produits par une espèce dans l'alimentation d'une autre espèce. Dans cette étude, l'azote et le phosphore produits par l'aquaculture (poissons et crustacés) sont utilisés par les algues (*Ulva*, *Gracilaria vermiculophylla* et *Alaria esculenta*) pour produire une nouvelle biomasse, qui à son tour est traitée pour produire de l'acide lactique (un précurseur du PLA). Les résidus d'algues résultant de ce procédé sont ensuite utilisés comme compléments alimentaires pour animaux dans les exploitations laitières. Les résultats ont révélé deux chaînes logistiques de bioplastique issues de



Exemples de produits finaux en bioplastique « Algopack » faits à partir de 100 % d'algue : pots de fleur, clés USB et emballages alimentaires jetables

¹⁸ <https://cordis.europa.eu/project/id/606032/reporting>

Bioplastiques faits à partir de sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Recherches :

- **Université de Clemson et Rochester Institute of Technology** (États-Unis) : films en nanocomposite avec l'algue *Sargassum natans* (voir section 4) ;
- **NOVUNDI Environnement & AlgoPack** (France & Guadeloupe) : bénéficiaire d'une subvention de l'ADEME en 2016 pour évaluer la faisabilité de la production de bioplastiques à base de sargasses (voir section 4) ;
- **Université West Indies** (Barbade et Trinité) : des chercheurs des campus de Cave Hill et de St. Augustine explorent le potentiel des sargasses pour une utilisation dans la fabrication de bioplastiques (voir section 3.2.2) ;

Commercialisation :

- **Abaplas** (Mexique) : teste actuellement la production d'un bioplastique fait avec 30 % de sargasses et 70 % de plastique, destiné à différentes applications, notamment le logement écologique (voir section 4) ;
- **AlgeaNova/EnergyAlgae** (République dominicaine) : l'équipe a commencé à produire des assiettes à usage unique composées à 50 % de sargasses et à 50 % de manioc (voir section 3.13.) ;
- **Algopack** (France) : avec son expérience dans l'utilisation des algues brunes en France, la société explore les possibilités d'utiliser les sargasses pour produire des bioplastiques (voir section 4) ;
- **EnerGryn** (Mexique) : teste actuellement la production de deux types de bioplastiques : des granulés biodégradables et des bioplastiques recyclables destinés à la fabrication de chauffe-eau, de tasses et d'assiettes (voir section 4) ;
- **Groupe CAÏALI** (Martinique) : un consortium industriel de trois entreprises étudie le potentiel de valorisation des sargasses en bioplastiques dans le cadre du projet GARAS (voir section 4) ;
- **Le Floch Dépollution** (France) : teste actuellement le développement de deux types de bioplastiques faits avec (1) 30 % de sargasses et 70 % de résines thermoplastiques, et (2) 40 % de sargasses et 60 % d'acide polylactique (voir section 4).

deux espèces distinctes d'algue : le PLA issu de l'*Ulva lactuca* et les films de polysaccharide issus de la *Gracilaria vermiculophylla*.

La société Algopack basée en Bretagne, en France, et fondée en 2010, a été la première à fabriquer des bioplastiques à partir d'algues brunes cultivées¹⁹. Une fois que l'algue est récoltée, elle est transformée en granules (procédé breveté) qui sont, à leur tour, transformés en deux bioplastiques différents : Algoblend (50 % d'algues et 50 % de plastique dérivé du pétrole) et Algopack (100 % d'algues). Algoblend est jugé plus polyvalent et est utilisé pour des articles plus permanents comme les meubles de bureau, les matériaux de construction, les jouets, etc. Algoblend est aussi approprié pour les processus d'extrusion industrielle, de thermoformage et d'injection sans ajustements techniques, et il améliore même le rendement énergétique des presses (économies d'énergie de 25 % en raison de la réduction de la température de fabrication). Algopack est utilisé pour des articles à usage unique comme les emballages jetables. Les granulés d'Algopack sont complètement biocompostables et biodégradables en 12 semaines dans le sol, ou en 5 heures dans l'eau.

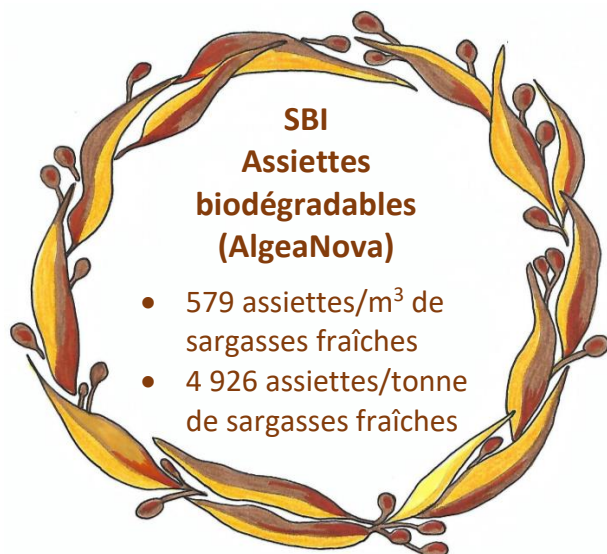
Plusieurs études ont examiné l'utilisation des espèces de sargasses comme matière première et comme source d'extraits pour produire des bioplastiques. L'espèce d'algue *Sargassum y* est indiquée comme matière première

¹⁹ <http://www.algopack.com>

prometteuse pour la production de bioplastique polyhydroxybutyrate (PHB) grâce à la bactérie *Cupriavidus necator* (Azizi, Najafpour et Younesi 2017). Une autre étude a montré que les alginates extraits de l'algue *Sargassum siliculosum* sont également prometteurs pour synthétiser des films bioplastiques (Lim *et al.* 2018).

Une étude récente réalisée aux États-Unis a montré que de nouveaux films en biopolymères nanocomposites à base d'algue peuvent être fabriqués à partir d'extraits de *Sargassum natans* et de *Laminaria japonica* (Doh, Dunno et Whiteside 2020). Ces espèces ont un grand potentiel pour les emballages alimentaires et leur propriétés antioxydantes pourraient améliorer la conservation des aliments quand les algues sont utilisées sous formes de films alimentaires.

Comme l'indique l'encadré orange ci-dessus, plusieurs sociétés dans la région Caraïbes cherchent à commercialiser des bioplastiques à base de sargasses.



Assiettes à usage unique d'AlgeaNova à base de sargasses et de manioc



Granulés de bioplastique à base d'algues d'Algopack



Chauffe-eaux, assiettes et verre d'Energryn à base de sargasses

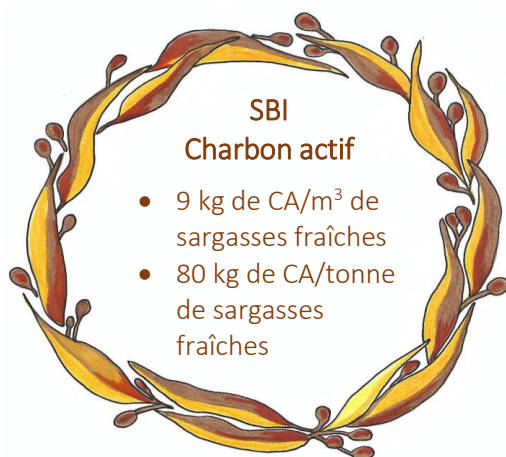
Résumés des utilisations dans les bioplastiques

Les bioplastiques sont généralement constitués de matières végétales généralement issus de l'agriculture (maïs, canne à sucre et betterave sucrière). Cependant, il est désormais possible de fabriquer des bioplastiques à partir d'algues, qui ont l'avantage de ne pas concurrencer la production alimentaire dans la mesure où elles ne nécessitent pas de terres arables.

Plusieurs études récentes ont démontré que les algues brunes, y compris les espèces de *Sargassum*, sont adaptées pour cette application en raison de leur teneur en polysaccharides. Elles peuvent être employées comme matières premières pour la fermentation par des micro-organismes, en vue de produire de l'acide lactique ou pour l'extraction de polysaccharides (alginates), tous deux utilisés pour fabriquer des bioplastiques. Elles peuvent aussi être utilisées comme biomasse et compressées avec d'autres matériaux pour réaliser des produits qui peuvent remplacer les plastiques à usage unique, bien que cette biomasse doive être recouverte d'une couche protectrice si elle est en contact direct avec les aliments.

Aujourd'hui, dans la région caribéenne, de nombreuses entreprises de recherche et de commercialisation expérimentent la fabrication de différents bioplastiques à partir de sargasses pélagiques.

Bioremédiation et purification



2.7 Bioremédiation et purification

2.7.1 Traitement de l'eau et des eaux usées

Une récente revue de littérature sur l'utilisation des algues pour le traitement des eaux usées indique qu'elles ont de bonnes propriétés de biosorption et qu'elles montrent des résultats prometteurs pour enlever des polluants tels que les teintures, les métaux lourds et autres composés tels que l'azote, le phosphore et les phénols (Arumugam *et al.* 2018). Les algues sont utilisées pour aider à maintenir la qualité de l'eau dans des systèmes d'aquaculture intensive (poisson, crevettes et crustacés) en eau ouverte, fermés ou terrestres, pour absorber jusqu'à 90 % des rejets de nutriments, et ainsi réduire l'enrichissement nutritif néfaste de l'environnement naturel (Lüning et Pang 2003).

Des recherches ont aussi démontré que du charbon actif de grande qualité (voir encadré bleu) peut être produit à partir de différents types d'algues, y compris les algues brunes (Altenor *et al.* 2012, Salima *et al.* 2013). Le charbon actif est bien connu

Charbon actif (CA)

- Caractérisé par un **réseau de pores très développé** renfermé par des atomes de carbone, et une vaste surface donnant au charbon actif une **excellente capacité d'absorption**.
- Le CA est produit en masse depuis le début du 20^{ème} siècle.
- Les matériaux traditionnels utilisés comme précurseurs du CA sont le charbon, le coke, le bois, le bambou, la bagasse de canne à sucre et les coques de noix de coco. L'utilisation de biomatériaux abondants et peu onéreux suscite de plus en plus d'intérêt. C'est notamment le cas des déchets agricoles, des bactéries, des levures, des champignons et de la biomasse d'algues.
- L'**activation conventionnelle** du charbon est basée sur des méthodes physiques (exposition à de très hautes températures, ex. : pyrolyse) ou sur des méthodes chimiques (imprégnation avec acide, base ou sel à hautes températures).
- De grandes quantités de **polluants peuvent être capturées** et concentrées dans les pores du CA.
- Le CA est utilisé dans de nombreuses applications et de nombreux secteurs mais la **purification de l'air et le traitement de l'eau** dominent largement le marché. Les industries pharmaceutiques, biomédicales, agroalimentaires et automobiles utilisent également le CA.
- La valeur du marché mondial du CA est estimée à 4,72 milliards d'USD (2018).
- **Grande opportunité de marché dans la Caraïbe** (la République dominicaine importe à elle seule > 1 700 t de CA granulaire par an).

pour son efficacité à retirer les ions métalliques, les teintures et les composés chlorés de l'eau potable et des eaux usées.

La capacité d'adsorption du charbon actif varie en fonction de la composition botanique des précurseurs, de la microporosité, des propriétés chimiques et des procédés d'activations employés (Gaspard *et al.* 2014). Le charbon poreux dérivé du varech a été testé comme électrode dans des unités de déionisation capacitive, et s'avère très efficace pour retirer le sel quand il est appliqué pour la déionisation capacitive de la double couche électrique (Sun *et al.* 2019).

Cependant, d'après une étude menée par Patrón-Prado *et al.* (2010) avec l'algue *Sargassum sinicola*, la salinité de la solution a réduit la biosorption de cadmium de 89 à 5,8 %.

2.7.2 Purification de l'air et des gaz

Le charbon actif est aussi largement utilisé comme un sorbant pour filtrer les particules et adsorber les composés chimiques présents dans l'air, et pour purifier les gaz et capter les odeurs dans un cadre industriel ou domestique.

Bioremédiation et purification avec les sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Recherches :

- **Centre de physique appliquée et de technologie avancée (CFATA), Université autonome du Mexique (UNAM)** (Mexique) : développement de filtres de sargasse pour la bioremédiation, pour retirer des contaminants tels que les métaux, les sulfates et les pigments de l'eau (voir section 3.2.6) ;
- **Laboratoire COVACHIM-M2E** (Université des Antilles, en Guadeloupe et en Guyane française) : création de CA de sargasse pour la dépollution des sols, la séquestration des pesticides dans les traitements pour les animaux et l'eau (voir section 3.2.1) ;
- **Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC)** (République dominicaine) : essai sur du CA à base de sargasses pour le traitement de l'eau et d'autres applications (voir section 4) ;
- **Projet PYROSAR** (Guadeloupe/Martinique) : optimisation de la production de CA et de biochar à base de sargasses pour l'adsorption du pesticide chlordécone dans les zones contaminées afin de permettre des productions alimentaires sûres (voir section 3.2.4.) ;
- **Projet SARtrib** (Guadeloupe) : Examen du potentiel du nano-carbone et du nano-oxyde des sargasses pour le filtrage des gaz polluants (voir section 3.2.4) ;
- **Université West Indies** (Trinité) : extraction de polymères de sargasse pour créer des membranes servant de biofiltres pour retirer les métaux lourds présents dans les eaux usées (voir section 3.2.2).

Commercialisation :

- **Grupo TMM** (Mexique) : mise en œuvre d'une installation industrielle pour produire du gaz, de l'électricité et du CA par sublimation, avec des sargasses et des déchets organiques (déchets municipaux et issus de navires de croisière) (voir section 4) ;
- **NBC & Tecmalab** (Guyane française et République dominicaine) : potentiel de commercialisation de CA à base de sargasses pour le traitement de l'eau et de l'air (voir section 4) ;
- **Num-Smo Technologies (NST)** (Guadeloupe) : utilisation de la pyrolyse solaire pour transformer la biomasse (notamment de sargasse) en gaz, en électricité et en CA (voir section 4).

Plusieurs études ont montré que les charbons actifs à base d'algues, y compris ceux qui sont dérivés de macroalgues brunes du genre *Sargassum*, sont prometteurs pour une utilisation dans des filtres de purification d'air et de gaz, dans lesquels ils adsorbent les polluants (Liu *et al.* 2019, Xu *et al.* 2019).

2.7.3 Bioremédiation

Le charbon actif est également utilisé à des fins de dépollution, pour réduire la toxicité des polluants sur des sites contaminés, y compris dans les environnements terrestres et marins.

L'utilisation de charbons actifs à base d'algues de différents types, notamment les espèces *Sargassum*, suscite de plus en plus d'intérêt pour le retrait de contaminants (métaux, hydrocarbures, micropolluants, éléments-traces et macronutriments) présents dans les eaux côtières, les sols, les fuites de pétrole et les effluents de l'aquaculture (Neveux *et al.* 2018, Marinho *et al.* 2015, Ron et Rosenberg 2014, Neori *et al.* 2004, Perelo 2010, Koul et Taak 2018, Yu *et al.* 2014).

Des exemples de recherche et de commercialisation des sargasses dans la Caraïbe en vue de réaliser de la bioremédiation et de la purification sont fournis dans l'encadré orange ci-dessus.

Résumés des utilisations pour la bioremédiation et la purification

Les sargasses pélagiques vivantes (comme la plupart des algues marines) présentent d'excellentes propriétés de biosorption, ce qui signifie qu'elles peuvent être utilisées sous diverses formes pour capter un grand nombre de contaminants (ex. : charges nutritives élevées, métaux lourds, colorants, phénols) présents dans l'eau notamment pour traiter des sites pollués et des effluents d'eaux usées. Cependant, les déchets issus de ces types de traitement doivent par la suite être collectés et traités comme des déchets toxiques.

Les sargasses pélagiques sont aussi adaptées pour la conversion en charbon actif de haute qualité (par exposition à des températures très élevées dans un processus connu sous le nom de pyrolyse). Le charbon actif offre de nombreuses applications, y compris la dépollution et la purification. Par exemple, on l'utilise : (1) dans des filtres pour purifier l'air et d'autres gaz ; (2) pour capter les odeurs ; (3) pour la bioremédiation de sols contaminés et des eaux côtières ; et (4) dans des filtres à eau.

Les Caraïbes comptent de nombreux exemples de recherches et de commercialisations impliquant l'utilisation de sargasses dans des systèmes de bioremédiation et de purification environnementale.

Vêtements, chaussures et accessoires

2.8 Vêtements, chaussures et accessoires

Les algues sont utilisées comme une nouvelle ressource pour produire des fibres et des teintures durables destinées aux industries du textile et de la chaussure (Sustainable Fashion Earth 2020). Les fibres cellulosiques des algues peuvent être mélangées ou tissées avec d'autres fibres pour en faire du tissu. La recherche et le développement ont amélioré l'utilisation des technologies et permis l'application des fibres d'algues dans l'industrie textile. Quelques exemples sont présentés ci-dessous.



- **SeaCell**, une marque déposée exclusive de la société allemande Smartfiber AG, utilise le processus de production du lyocell, innovant et respectueux de l'environnement, pour mélanger l'algue aux extraits d'eucalyptus et produire une fibre de grande qualité destinée à l'habillement. Le processus utilise très peu d'eau et aucun produit chimique. Les produits SeaCell apporteraient du confort et des effets positifs pour la peau, en raison des propriétés bénéfiques des algues (Rana *et al.* 2014, Smartfiber AG). SeaCell a gagné en popularité dans le secteur des vêtements de sport, de yoga, de draps, de serviettes, de couvertures et de vêtements pour enfant ²⁰(Rana *et al.* 2014).



Comparaison des ressources utilisées pour fabriquer un T-shirt conventionnel à celles de la technologie Algalife

- La société israélo-allemande a créé la marque **Algae Apparel** en utilisant des bio-fibres d'algues et des teintures respectueuses de l'environnement. Dans l'industrie textile, le processus de teinture est problématique à la fois en termes d'utilisation d'eau et de pollution. Les vêtements auraient des propriétés bénéfiques car ils libèrent des antioxydants, des vitamines et d'autres nutriments pour la peau²¹.
- La société suisse **Beyond Surface Technologies** a fait équipe avec la start-up de biotechnologie californienne **Checkerspot** pour développer une finition pour textile contenant des huiles issues d'algues. Le tissu produit avec ce procédé sèche rapidement, ce qui représente un atout pour les vêtements de sport²².

²⁰ smartfiber.de/en/fibers/seacelltm/

²¹ alga-life.com

²² checkerspot.com/Matthias-foessel/

- La société hongkongaise Fabric Workshop a développé, en collaboration avec Chaintex, une fibre à base d'algues appelée **Celp** qui utilise des fils de cellulose et d'algues. Les fibres Celp sont présentées comme ayant des propriétés antibactériennes et pouvant générer des ions négatifs, bénéfiques chez les humains²³.
- La société Algix basée dans le Mississippi, aux États-Unis, commercialise le produit **Bloom Algae Foam**, une mousse à base de microalgues utilisée dans les chaussures, les tapis de yoga, les sacs à dos, les pads de traction pour planche de surf, etc²⁴. La société s'est associée à un fournisseur taïwanais et produit cette mousse d'algues depuis 5 ans dans 70 usines, pour 63 marques.
- **AlgiKnit**, société de biomatériaux basée à Brooklyn aux États-Unis, crée des fils durables mais rapidement dégradables à partir de varech (macroalgues), qui sont destinés à la fabrication de chaussures, d'accessoires, de décorations d'intérieurs et de vêtements. Ce fil commence à se dégrader uniquement lorsqu'il est exposé à des environnements humides et riches en champignons, comme le compost²⁵.



Pad de traction Slater Designs pour planche de surf, fabriqué à partir d'algues

Exemple de fil AlgiKnit fait à partir de varech

Vêtements et chaussures fabriqués à partir de sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Commercialisation :

- **Renovare** (Mexique) : cette société a développé une chaussure respectueuse de l'environnement avec du plastique recyclé, des résines biodégradables et des algues sargasses dans les semelles (modèle Ocean Ova) (voir section 3.1.5).

Les alginates de sodium extraits des algues brunes sont souvent utilisés dans le secteur de l'impression textile. Ils sont employés pour épaissir les pâtes contenant la teinture textile, et sont considérés supérieurs aux amidons traditionnels, surtout pour les teintures réactives, car ils donnent de meilleurs rendements en termes de couleur (McHugh 2003). Cependant, les alginates sont plus chers que l'amidon, c'est pourquoi ils ne sont pas utilisés aussi souvent que l'amidon pour les applications textiles. Néanmoins, l'impression textile représente environ 50 % du marché mondial des alginates (McHugh 2003). Les résultats des recherches menées sur l'algue *Stoechospermum marginatum* indiquent que cette espèce d'algue brune est une bonne candidate pour produire des teintures naturelles destinées aux textiles (Rani *et al.* 2020).

²³ thefabricworkshop.net/celp

²⁴ algix.com/#bloom

²⁵ algiknit.com

Résumé des utilisations pour les vêtements, les chaussures et les accessoires

Les algues marines peuvent être utilisées pour produire des fibres, des mousses, des teintures et des revêtements respectueux de l'environnement pour l'industrie de la mode, et sont de plus en plus utilisées pour les vêtements de sport et les accessoires. Extrait des algues brunes, l'alginate de sodium est aussi utilisé dans le secteur de l'impression textile pour épaissir et améliorer les teintures. Il est cependant plus coûteux que les amidons couramment utilisés.

À ce jour, le seul usage connu des sargasses pélagiques dans l'industrie de la mode dans la région Caraïbes, est la fabrication de semelles de chaussures.

Matériaux de construction

2.9 Matériaux de construction

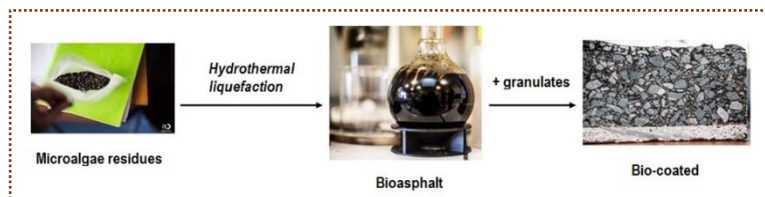
Les biomatériaux suscitent de plus en plus d'intérêts, notamment commerciaux, pour des constructions architecturales durables. La recherche en matière d'utilisation des algues comme biomatériaux de construction a connu quelques avancées. Voici quelques exemples de projets qui explorent l'utilisation des algues dans ce domaine :

- L'utilisation de la technologie innovante « **SolarLeaf** » a été pilotée sur la Bio Intelligent Quotient House, un bâtiment de 4 étages à Hambourg, en Allemagne, par Arup design, Colt International et Strategic Science Consult. C'est le premier système de façade intégrée bio-réactive dans le monde, qui cultive des microalgues pour générer de la chaleur et de la biomasse comme source d'énergie renouvelable. La biomasse d'algues et la chaleur générées par les 129 réservoirs remplis d'algues sur la façade sont transportées vers le centre de gestion de l'énergie du bâtiment via un système en boucle fermée, où la biomasse est collectée par flottaison et la chaleur est récupérée par un échangeur de chaleur. Ce système sans perte d'énergie est flexible car il peut être utilisé pour la production d'électricité et de chaleur²⁶.



« Bio Intelligent Quotient House » à Hambourg, en Allemagne, avec sa façade « SolarLeaf » de bioréacteurs en panneaux de verre plats contenant des microalgues, qui produisent de la bioénergie et du chauffage pour l'édifice.

- La société **Algix** associe la biomasse de microalgues à des polymères plastiques pour créer des bioplastiques et des résines qui sont utilisés pour fabriquer des matériaux de construction tels que des panneaux de mousse, des isolants ou encore des bâches en plastique. Les plaques de mousse à base d'algues sont utilisées pour isoler les murs, insonoriser et contrôler la température des maisons, couvrir les tuyaux, etc.
- Les résidus de microalgues ont aussi été utilisés dans la production de bio-bitume (Audo *et al.* 2015).



²⁶ arup.com/projects/solar-leaf

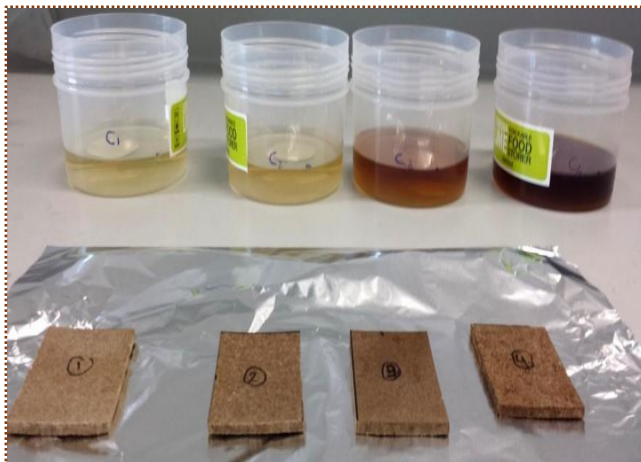
Des exemples d'utilisation des algues brunes comme matériaux de construction sont présentés ci-dessous :

- La société **Tamarisk Technologies Alginix** basée à Las Vegas utilise de l'alginate extrait d'algues brunes (varech) pour faire des dalles d'algue, qui sont bien plus solides que le béton.
- Au Danemark, les **designers Jonas Edvard et Nokolaj Steenfatt** utilisent un mélange d'algues brunes et de papier pour créer du mobilier et des lampes uniques.
- En Australie, une équipe de recherche à l'**Université New South Wales** a étudié l'utilisation des algues brunes et des résidus de mollusques comme élément de remplissage secondaire dans les panneaux de particules bio-composites bois-plastique destinés à la construction. Les résultats indiquent que l'incorporation de bio-fillers marins a amélioré la résistance à l'humidité des panneaux bio-composites, ce qui suggère qu'ils conviennent aux environnements très humides (Echeverria *et al.* 2017). Les panneaux prototypes peuvent être utilisés dans : l'architecture d'intérieur, l'ébénisterie, la fabrication de mobilier, les panneaux acoustiques et isolants, les panneaux et écrans de division, les revêtements architecturaux et les panneaux de plafonds (Echeverria *et al.* 2017).



Chaise et abat-jour fabriqués à partir d'algues et de papier par les designers Jonas Edvard et Nokolaj Steenfatt

- Les biopolymères extraits des algues brunes ont montré de bonnes propriétés comme additifs dans les briques d'argile crue, permettant d'améliorer la liaison des particules. Les briques d'argile crue sont considérées comme une alternative écologique aux briques traditionnelles en terre cuite et aux blocs de béton. Il a été démontré que les alginates augmentent la résistance à la flexion et à la compression des briques, en fonction du type d'alginate et de terre utilisée (Dove, Bradley et Patwardhan 2016). La plus forte résistance a été observée lors de l'utilisation de terre à faible teneur en argile, associée à des alginates de viscosité moyenne issus de tiges d'algues brunes *Laminaria hyperborean*.



Démonstration par des chercheurs de l'Université New South Wales (UNSW), avec différents panneaux de particules fabriqués à partir d'algues brunes et de résidus de mollusque.

Comme indiqué dans l'encadré orange ci-dessous, quelques projets en cours dans la région Caraïbes utilisent des sargasses pélagiques pour développer différents matériaux de construction, notamment des panneaux écologiques, des panneaux de résine, des blocs de construction et du bio-bitume.



SargaBlocks produits au Mexique
par Omar Vazquez

Matériaux de construction fabriqués à partir de sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Recherches :

- **Projet SarGood** (Guadeloupe) : recherche et développement sur des matériaux et des panneaux écologiques innovants (voir section 3.2.4).

Commercialisation :

- **Biogen** (Barbade) : la société a effectué des essais de fabrication de panneaux de résine à base de sargasse en vue d'un développement industriel (voir section 4) ;
- **Sargablock** (Mexique) : depuis 2015, Omar Vázquez Sánchez fabrique des blocs de construction à base de sargasses pour construire des logements destinés à des familles à faibles revenus (voir section 3.1.1) ;
- **The Marine Box** (Martinique) : cette start-up cherche à ajouter des sargasses au bio-bitume pour le pavage de routes (voir section 4).

Résumé des utilisations pour les matériaux de construction

Les algues sont utilisées pour produire des matériaux composites destinés à être utilisés dans un grand nombre de matériaux de construction, tels que les résines, les panneaux de mousse, les plaques de plastique, les panneaux de particules, les dalles, les briques, le bio-bitume et même dans le mobilier.

Dans la région, les sargasses pélagiques ont été utilisées pour créer un prototype de panneau de résine. Son utilisation est envisagée dans d'autres matériaux écologiques innovants pour lambris et comme additif dans le bio-bitume. En outre, une entreprise de la région a déjà développé et commercialisé avec succès une brique à base de sargasses pélagiques, qui est actuellement utilisée dans la construction de logements à prix modique et d'autres applications au Mexique.

Cosmétiques

2.10 Cosmétiques



Les dérivés d'algues comme les alginates sont connus pour avoir de nombreuses propriétés appréciables et sont souvent utilisés dans les cosmétiques. Ils présentent des taux élevés de nutriments et de minéraux, des propriétés antibactériennes, anti-inflammatoires et anti-âge intéressantes, ainsi qu'une forte capacité de rétention de l'humidité, ce qui peut être avantageux pour les produits de soin de la peau.

Un récent examen des utilisations cosméceutiques (cosmétiques et pharmaceutiques) des composés bioactifs d'algues pour les soins de la peau indique qu'ils ont une excellente capacité de protection de la peau, en particulier pour une utilisation comme produits anti-acné, antibactériens, antimicrobiens, antioxydants et anti-âge (Jesumani *et al.* 2019). Ces composés bioactifs des

Alginates

- Les alginates sont l'un des principaux composants des **parois cellulaires** des algues brunes.
- Les quantités d'alginate varient selon les espèces d'algues brunes et peuvent contenir jusqu'à 45 % de leur poids sec. Cependant, les **sargasses pélagiques contiennent 7 à 10 % d'alginate** sur la base de leur poids sec.
- Il existe différents alginates, dérivés des sels et de l'ester d'acide alginique. Ils sont appréciés pour leur capacité à s'épaissir dans l'eau et à former des gels, des films et des fibres.
- Les alginates de sodium, de potassium, de calcium, d'ammonium et de propylène glycol sont utilisés comme **stabilisants, émulsifiants, épaississants et gélifiants** dans de nombreux produits, notamment dans les industries agroalimentaire, pharmaceutique, agricole, biomédicale, cosmétique, papetière, céramique et de soudage.
- L'industrie de l'impression textile représente presque la moitié du marché mondial des alginates, où l'alginate de sodium sert d'épaississant pour les pâtes de teinture.
- Les industries biomédicales et pharmaceutiques représentent environ 20 % du marché mondial des alginates.
- L'industrie papetière représente uniquement 5 % du marché mondial des alginates. Les alginates y sont utilisés pour le collage en surface du papier (imperméabilisation à la graisse et réduction du peluchage).
- L'**alginate de calcium** est insoluble dans l'eau et est utilisé en fibres pour l'industrie textile, pour la fabrication de pansements et de billes médicales (matière d'encapsulation).
- L'**alginate de magnésium** présente des propriétés médicinales et est utilisé pour traiter les ulcères peptiques, les reflux gastriques et les coronaropathies.
- L'**alginate de propylène glycol (PGA)** est largement utilisé comme additif alimentaire. Par exemple, il est utilisé pour stabiliser la mousse des bières et pour prolonger la durée de conservation, préserver la couleur et la consistance de nombreux aliments transformés.

algues peuvent absorber les rayons UV et agir comme des filtres UV, des propriétés qui peuvent donc être utilisées comme produits cosmétiques de protection solaire (Balboa *et al.* 2017). Ils sont aussi utilisés dans les produits de soin capillaire, pour protéger les cheveux abîmés et donner de la brillance.

Les polysaccharides d'algue sont particulièrement intéressants dans les produits cosméceutiques en raison de leurs propriétés biofonctionnelles, physiques et chimiques. Le fucoïdane, polysaccharide sulfaté, que l'on trouve principalement dans les algues brunes, est connu pour son grand nombre d'effets cosmétiques : prévention des taches de rousseur, des rides et des taches liées au vieillissement cutané et à l'exposition aux UV (Shanura Fernando *et al.* 2018). Les algues brunes synthétisent également des phlorotanins, un ensemble diversifié de polymères polyphénoliques, bien connus pour leurs propriétés anti-mélanogénèse et anti-âge (Creis, Gall et Potin 2018). L'alginate, qui est extrait des algues brunes, est un ingrédient omniprésent dans les cosmétiques ; il sert d'épaississant, d'émulsifiant, de stabilisant et de gélifiant.

Les recherches menées avec différentes espèces de sargasses montrent que ces dernières présentent de bons potentiels pour une utilisation dans l'industrie cosmétique. De récentes recherches sur des extraits d'algue *Sargassum plagiophyllum* ont montré des résultats prometteurs dans les cosmétiques anti-ride (Mansauda, Anwar et Nurhayati 2018). En outre, il a été découvert que les fucoïdanes d'algue *Sargassum polycystum* ont des effets antioxydants, anti-inflammatoires, blanchissants et anti-rides prometteurs (Shanura Fernando *et al.* 2018). Les extraits de *Sargassum muticum* pourraient aussi être utilisés dans certains produits pour favoriser la croissance des cheveux : des études montrent une prolifération accrue des cellules de la papille dermique après le traitement (Kang *et al.* 2016).

Le charbon actif (CA) dérivé des sargasses présente également un bon potentiel dans l'industrie cosmétique, où la demande a augmenté en matière de produits de soins de la peau et de soins personnels contenant du charbon actif et du charbon de bois, par exemple, les gommages, les nettoyants pour le visage, les masques, les savons, les patches anti-points noirs, les dentifrices et les brosses à dents.



Exemples de produits de soin de la peau et d'hygiène personnelle à base de charbon

Comme l'indique l'encadré ci-contre, il existe de nombreux exemples dans la région caribéenne liés à la recherche sur les sargasses pélagiques et à leur commercialisation pour différentes applications cosmétiques. La société Oasis Laboratory à la Barbade produit des barres de savon et utilise les sargasses comme ingrédient. Les savons à base d'algues ont des effets hydratants et régénérants pour la peau.



Barres de savon à base de sargasses produits par Oasis Laboratory à la Barbade

Cosmétiques produits à partir de sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Recherches :

- **Projet Nexo, Tecnológico de Monterrey (Mexique)** : un groupe d'étudiants extrait des alginates et des fucoïdanes des parois cellulaires des sargasses pour déterminer les utilisations potentielles dans les gels douches, les crèmes et d'autres cosmétiques (voir section 4) ;
- **Université West Indies (Barbade, Jamaïque, Trinité-et-Tobago)** : des chercheurs travaillent sur les extraits d'alginate des sargasses pélagiques pour étudier leur utilisation dans les cosmétiques et d'autres produits (voir section 3.2.2).

Commercialisation :

- **Alquimar & Grupo Metco (Mexique)** : extraction d'alginates de sargasses pélagiques en vue de les utiliser dans différents secteurs, notamment dans les cosmétiques (voir section 4) ;
- **Oasis Laboratory (Barbade)** : production d'une gamme de soin de la peau à base de sargasses, comprenant des barres de savons (voir section 3.1.6) ;
- **Salgax (Mexique)** : cherche à commercialiser un traitement capillaire à base de sargasses (voir section 3.1.7).

Résumé des utilisations dans les cosmétiques

Les extraits d'algues sont largement utilisés dans le monde entier dans l'industrie cosmétique, en particulier les alginates et les composés bioactifs, ces derniers conférant de nombreuses propriétés bénéfiques pour la peau et les cheveux. Il a été démontré que les espèces d'algues sargasses peuvent être utilisées dans beaucoup de ces applications. L'utilisation de sargasses pélagiques dans les cosmétiques est examinée dans plusieurs projets de recherche dans la Caraïbe. Des produits à base de sargasses pélagiques sont déjà commercialisés par une société de cosmétiques. Le charbon actif à base de sargasses montre également un bon potentiel dans ce secteur qui utilise le charbon actif issu d'autres ressources dans de nombreux produits cosmétiques.

Industrie électrochimique

2.11 Industrie électrochimique

Les recherches récentes axées sur le développement du stockage électrochimique de l'énergie pour des dispositifs d'énergie renouvelable ont connu un essor important, et de nombreux progrès ont été rapportés sur les oxydes métalliques, les carbones et leurs composites (Seok *et al.* 2019, Ji *et al.* 2019).

Les supercondensateurs (en particulier les condensateurs électrochimiques à double couche (EDLC)), les batteries lithium et sodium ion et les piles à combustible sont des dispositifs de stockage électrochimique d'énergie qui ont fait l'objet d'une attention accrue au cours des 15 dernières années en raison de leur grand nombre d'applications, notamment pour les véhicules électriques et les appareils électroniques (Taberna et Gaspard 2014). Les oxydes métalliques et les carbones ont des propriétés prometteuses comme matériau d'électrode dans les appareils à énergie électrochimique. L'utilisation exclusive d'oxydes métalliques comme électrodes peut réduire les performances d'une batterie en raison de sa plus faible conductivité électrique et de sa structure instable au cours de son cycle. Cependant, l'utilisation de composites d'oxydes métalliques et de carbones a apporté de nombreux avantages et de meilleures caractéristiques (Seok *et al.* 2019).



Il y a deux principaux types de supercondensateurs selon la composition de l'électrode : les pseudo-condensateurs (utilisant principalement des oxydes pour les électrodes) et les EDLC (électrodes composées de charbon actif) (Taberna et Gaspard 2014). La plupart des EDLC disponibles sur le marché sont fabriqués avec des matériaux à base de carbone (Taberna et Gaspard 2017).

Le carbone est un matériau adéquat pour les électrodes car c'est un conducteur efficace, stable dans différents types de solutions et à différentes températures. Il est présent dans de nombreux matériaux (ex. : charbon actif, graphite, coke, microbilles de mésocarbène, aérogel, noir de carbone, nanotubes et nanofibres de carbone, etc.) (Gogotsi et Presser 2014, Inagaki *et al.* 2014).

Les algues sont considérées comme une excellente source de biomasse pour la production de carbones nanotexturés car leurs parois cellulaires contiennent un réseau de constituants fibrillaires, comme la cellulose et l'alginate (Zhao *et al.* 2015). Tandis que les polymères tels que les alginates sont considérés comme des précurseurs accessibles, la recherche s'est concentrée sur la carbonisation directe (pyrolyse) d'algues riches en alginate afin d'accroître les performances et abaisser les coûts de production des carbones nanotexturés (Béguin 2010). L'acide alginique contenu dans les parois cellulaires de l'algue a une forte teneur en oxygène après la pyrolyse, ce qui permet aux électrodes de mieux adsorber les électrolytes ioniques (Taberna et Gaspard 2014). Les caractéristiques clés lors de la sélection d'un matériau pour les carbones nanotexturés sont l'accessibilité physique et économique, la transformabilité et l'adaptabilité (forme, porosité et fonctionnalité de surface) (Gogotsi et Presser 2014).

Différents types d'algues, y compris les macroalgues brunes, ont montré des résultats prometteurs comme matériau pour électrode à charbon actif, dans des supercondensateurs et batteries lithium-ion haute capacité (Raymundo-Piñero *et al.* 2011, Pintor *et al.* 2013, Bichat, Raymundo-Piñero et Béguin 2010, Perez-Salcedo *et al.* 2020).

Comme indiqué dans l'encadré ci-contre, des recherches sont en cours dans la région caribéenne. Elles examinent l'efficacité de l'utilisation du charbon actif de sargasses pélagiques dans des applications électrochimiques.

Applications électrochimiques utilisant les sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Recherches :

- **Projet SARtrib** (Guadeloupe) : ce projet étudie le potentiel de valorisation des sous-produits de pyrolyse sous vide des sargasses, utilisés comme électrodes de batterie lithium et de supercondensateurs (3.2.4) ;
- **Laboratoire COVACHIM-M2E** (Université des Antilles en Guadeloupe et en Guyane française) : l'équipe étudie la valorisation de la biomasse de sargasses pour du stockage d'énergie (voir section 3.2.1).

Résumé des utilisations dans l'industrie électrochimique

Les algues brunes, riches en cellulose et en alginates, sont considérées comme une bonne source de biomasse de carbone pour la production de carbones nanotexturés (forme de charbon actif), utilisés comme matériau d'électrode dans les supercondensateurs et les batteries lithium-ion de grande capacité.

Dans la Caraïbe, au moins deux initiatives de recherche examinent le potentiel des sargasses pélagiques dans la fabrication de carbones nanotexturés à base de sargasses pour le stockage de l'énergie.

Restauration de l'environnement

2.12 Restauration de l'environnement

2.12.1 Végétation côtière

Les écosystèmes des dunes de sable côtières représentent une zone réduite mais dynamique et importante entre la terre et l'océan. Les dunes sont des écosystèmes côtiers essentiels qui fournissent un habitat unique pour la flore et la faune et agissent comme tampon protecteur face à l'impact des ondes de tempête, aux vagues et à l'érosion des plages. Elles stabilisent le littoral et protègent les écosystèmes et constructions terrestres (Sigren, Figlus et Armitage 2014). L'une des stratégies pour contribuer à entretenir les dunes et à prévenir leur érosion est de promouvoir l'établissement de la végétation naturelle des dunes. Cependant, la teneur typiquement faible en nutriments du sable rend cela assez difficile.

Aux Bermudes, en raison de l'emplacement de cet archipel dans la mer des Sargasses, les afflux de sargasses sont bien connus et considérés par le gouvernement comme un phénomène naturel. Les communautés côtières sont habituées au séchage de sargasses échouées sur les plages et leur ensevelissement sous le sable au fil du temps. Ce processus est considéré comme essentiel pour la formation des dunes, pour leur stabilisation et pour la fertilisation de leur végétation²⁷.

Il y a plusieurs exemples d'utilisation des sargasses pélagiques pour la restauration environnementale dans la région Caraïbes.

- L'**Université A&M du Texas** mène des recherches depuis plusieurs années sur l'impact des échouages de sargasses sur



Applications de restauration environnementale utilisant les sargasses pélagiques dans la Caraïbe

- **Moon Palace Resort** (Mexique) : l'hôtel utilise du compost à base de sargasses pour améliorer la croissance de la végétation côtière et réduire l'érosion tout en protégeant ses plages et les structures de l'hôtel (voir section 4) ;
- **Projet PYROSAR** (Guadeloupe / Martinique) : optimisation de la production de CA et de biochar de sargasse (voir section 3.2.4).
- **SOScarbon** (République dominicaine) : développement de technologie pour enfoncer les sargasses pélagiques et potentiellement capter le carbone bleu dans l'océan profond (voir section 3.2.3) ;
- **Université A&M du Texas** (États-Unis) : vastes recherches sur l'utilisation de balles de sargasses pour protéger les dunes de l'érosion et favoriser la croissance de la végétation (voir section 4) ;
- **WIRRED** (Barbade) : utilisation des sargasses pour aider à régénérer la végétation des dunes dans la réserve Walker's (voir section 4).

²⁷ <https://environnement.bm/sargassum-seaweed>



Projet de balles de sargasses pélagiques « Seabale » pour la restauration des dunes de Galveston Island, conduit par l'Université A&M du Texas. Source : Figlus *et al.* (2015).

l'amélioration de la croissance de la flore dunaire. Au Texas, la ligne de wrack (ligne de débris laissés sur la plage après la marée haute) est principalement composée de sargasses pélagiques et fournit une source importante de nutriments pour la croissance des plantes dunaires. Cependant, ces algues sont souvent retirées par ratissage mécanique afin de rendre la plage plus attrayante pour les usagers (Williams et Feagin 2010). Le retrait à long terme du varech pourrait affecter l'intégrité structurelle des dunes sur le long terme. La plupart des plantes dunaires locales sont tolérantes au sel, et l'on pense qu'elles se sont adaptées à l'arrivée naturelle des sargasses. D'après les essais préliminaires en serre, l'application de multiples couches de sargasses non lavées le long de la base des dunes a un impact positif sur la croissance et l'établissement de plantes dunaires car les algues sont sources de nutriments (Williams et Feagin 2010). Les auteurs ont cependant précisé que des essais sur le terrain sont nécessaires pour déterminer les quantités minimales.

L'équipe de recherche a examiné de manière approfondie les résultats préliminaires des essais sous serre, en réalisant une expérience de terrain sur l'île de Galveston. Le projet a testé l'incorporation de balles de sargasses compactées, appelées « Seabales », dans la berme d'une dune test de 244 mètres de long. La dune test a été surveillée sur une période d'un an pour examiner la décomposition de la balle d'algue et la croissance de la végétation, ainsi que les modèles d'érosion ou d'accumulation de sable (Figlus *et al.* 2015). L'équipe a finalement conclu que l'ajout de sargasses au cœur des dunes de sable est une option viable pour restaurer les dunes en améliorant la croissance de la végétation et en augmentant la résilience des dunes face aux aléas climatiques, comme la sécheresse et l'érosion. D'autres études ont été menées sur le sujet, en examinant notamment l'impact de l'ajout d'inoculum de sargasses et de champignons mycorhiziens arbusculaires.



Vue aérienne de la réserve Walkers illustrant la restauration des dunes dans la carrière de sable de Walkers.

- Le **Walkers Institute for Regeneration Research, Education and Design (WIRRED)**, situé sur la côte est de la Barbade, participe actuellement à la restauration de l'écosystème dunaire naturel endommagé par des années d'extraction commerciale de sable sur le site. Il mène des recherches sur l'utilisation de sargasses pour améliorer la croissance de la végétation dunaire naturelle.

2.12.2 Atténuation du changement climatique

Les plantes terrestres et marines captent le dioxyde de carbone (CO_2) par le biais de la photosynthèse et sont essentielles dans le cycle global du carbone. Aujourd'hui, elles sont d'un grand intérêt en matière d'atténuation des effets du changement climatique en participant notamment à la réduction des volumes de CO_2 , principal gaz à effet de serre, présent dans l'atmosphère. Ce processus est connu sous le nom de « séquestration du carbone » : le carbone est converti en tissu végétal durable et incorporé dans le sol, tandis que de l'oxygène est émis dans l'atmosphère. Les forêts, en particulier, captent des volumes importants de carbone dans les arbres et les sols. Ce sont d'importants « puits » de carbone à l'échelle mondiale.

Plus récemment, l'importance des plantes et des animaux marins dans la séquestration du carbone organique, appelée « carbone bleu » a attiré l'attention. Le carbone bleu stocké dans les sédiments des écosystèmes marins comme les schorres, les mangroves et les herbiers marins est désormais reconnu pour son importance globale, notamment dans l'atténuation des impacts liés au changement climatique (Laffoley et Grimsditch 2009). D'un autre côté, les algues marines ne sont pas considérées à ce jour comme d'importants organismes séquestreurs de carbone bleu, principalement en raison du fait qu'elles flottent (phytoplancton) ou qu'elles sont souvent accrochées à des rochers (macroalgues), ce qui empêche l'enfouissement de matières organiques riches en carbone (Hill *et al.* 2015). Ainsi, le carbone capté par les algues marines et temporairement stocké dans leurs tissus est rejeté dans l'environnement après peu de temps.

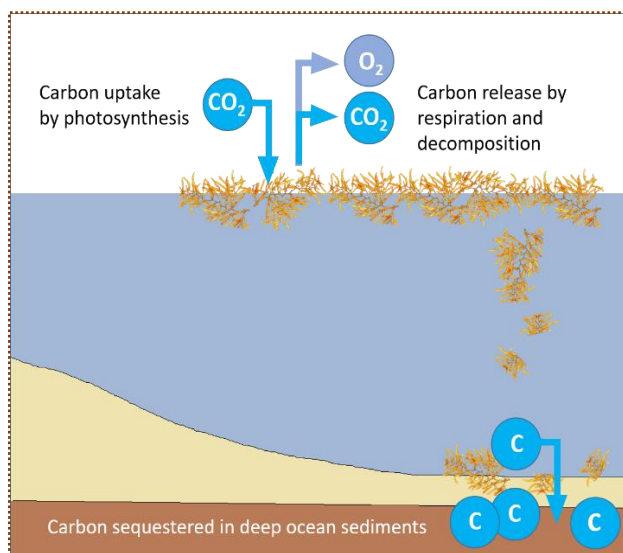


Diagramme conceptuel illustrant comment les sargasses captent, transportent et séquestrent le carbone bleu dans les grands fonds océaniques (adapté de : Gouvêa *et al.* 2020).



Dessous d'un amas de sargasses flottantes, dont certaines parties se détachent et coulent

Cependant, de nouvelles recherches soulignent désormais l'importance des macroalgues dans le stockage du carbone bleu, surtout dans les grands fonds océaniques, où le carbone est tenu à l'écart des échanges avec l'atmosphère (Krause-Jensen et Duarte 2016, Macreadie *et al.* 2019). Les espèces de sargasses benthiques et flottantes, qui sont abondantes dans le monde, sont désormais désignées comme des organismes particulièrement importants pour la séquestration du carbone bleu (Orr 2014, Krause-Jensen et Duarte 2016, Paraguay-Delgado *et al.* 2020, Gouvêa *et al.* 2020). L'étude de Paraguay-Delgado *et al.* (2020) indique que les sargasses pélagiques peuvent capter le CO₂ par le biais de la photosynthèse et de la croissance.

Le carbone actuellement retenu sous forme de biomasse de sargasses pélagiques dans l'Atlantique (estimé à 7,52 Pg C²⁸) est devenu significatif à l'échelle mondiale (Gouvêa *et al.* 2020). Quand les sargasses sont transportées vers des zones comportant des sédiments marins anoxiques meubles, les algues dégradées sont stockées pendant de longues périodes (de quelques décennies à des centaines ou des milliers d'années), et contribuent donc à la séquestration globale du carbone. Le phénomène d'enfoncement des sargasses pélagiques dans les grands fonds océaniques, qui entraîne donc potentiellement une séquestration du carbone, a été récemment mis en évidence par les recherches de Gouvêa *et al.* (2020) et Paraguay-Delgado *et al.* (2020) comme une opportunité d'atténuation du changement climatique basée sur l'océan. Cependant, à l'heure actuelle, la commercialisation de crédits de carbone bleu des sargasses comporte un certain nombre de défis, notamment : la propriété des sargasses (à qui elles appartiennent), le développement de technologies appropriées pour couler efficacement les sargasses, la perte de biodiversité, la création potentielle de zones mortes en eaux profondes en raison de l'accumulation excessive de biomasse dans des zones très faiblement oxygénées de l'océan et l'absence d'un mécanisme de gouvernance clairement développé et fonctionnel pour le commerce du carbone bleu dans la région. Concernant ce dernier point, l'obtention d'une certification pour les projets de carbone bleu est actuellement très longue et coûteuse. A l'heure actuelle, le carbone bleu a une valeur relativement faible, bien que d'autres sources de financement pourraient être utilisées pour soutenir les coûts (ex. : par le biais des Actions d'Atténuation Appropriées au niveau national (NAMA) et le Fonds vert pour le climat) (He 2016). Des exemples de projets « carbone bleu » avec des financements issus de « marchés volontaires du carbone » au Kenya, en Inde, au Vietnam et à Madagascar révèlent les forces et les faiblesses de la mise en œuvre et de ses implications en matière de politique (Wylie, Sutton-Grier et Moore 2016).

Il est important de noter, cependant, qu'une partie de la séquestration du carbone organique peut être compensée par la production de carbonate de calcium par les épibiontes de sargasses, comme les bryozoaires, les vers tubicoles et les mollusques, qui secrètent des coquilles de carbonate de calcium. La compensation peut aussi avoir lieu par la production interne de carbonate de calcium (comme le calcite) dans les tissus des sargasses. En effet, contrairement à la logique, le processus de calcification émet du CO₂ (ex. : Saderne *et al.* 2019). Les recherches menées par Paraguay-Delgado *et al.* (2020) estiment que les sargasses pélagiques, qui ont été abondantes dans l'Atlantique au cours de ces dernières années (2011-2019), auraient capté 5,3 millions de tonnes de carbone inorganique sous forme de carbonate de calcium pendant cette période. Cependant, notant que le processus de calcification est un producteur net de CO₂,

²⁸ 1 Pg = 1 milliard de tonnes métriques

ceci aurait donné lieu à une émission de 11,6 millions de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère. D'autres études sont donc nécessaires pour déterminer la contribution nette de la nouvelle biomasse de sargasses dans la séquestration du carbone à l'échelle mondiale.

Une initiative caribéenne, le projet SOScarbon, poursuit l'idée de couler les sargasses, comme indiqué dans l'encadré orange. Les avantages potentiels de ce procédé seraient : (1) la prévention des impacts négatifs des afflux massifs de sargasses le long des côtes caribéennes et (2) la contribution à l'atténuation des impacts du changement climatique à travers la séquestration du carbone bleu dans les grands fonds océaniques. Néanmoins, des précautions sont de mise dans la mesure où des études plus approfondies sont nécessaires afin d'éviter des accumulations excessives de biomasse sur les fonds marins au niveau des zones avec un minimum d'oxygène (généralement entre la zone photique de surface et environ 1000 m de profondeur), pouvant potentiellement créer des zones mortes.

Le biochar, constitué en grande partie de carbone, est un autre exemple de séquestration du carbone dans le sol. Il peut contribuer de manière significative à stocker le carbone dans le sol lorsqu'il est appliqué à des fins agricoles. Beaucoup de recherches sont en cours concernant le biochar et son potentiel de séquestration du carbone (Matovic 2011).

Résumés des utilisations destinées à la restauration environnementale

Les sargasses pélagiques sont déjà utilisées dans plusieurs projets pilotes dans les Caraïbes pour rétablir les dunes côtières en stabilisant les dunes de sable et en fertilisant la végétation dunaire. La généralisation de cette approche dans la région est cependant limitée en raison de l'étroitesse des plages et de l'urbanisation du littoral en de nombreux endroits.

Une autre solution potentielle consiste à utiliser les sargasses pour séquestrer le carbone et ainsi atténuer les impacts du changement climatique en réduisant les émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Toujours dans le cadre de la restauration environnementale, la production de biochar comme amendement de sol constitue une utilisation prometteuse. Elle est actuellement étudiée par au moins deux initiatives caribéennes. Il y a également des recherches en cours sur l'efficacité de l'immersion des sargasses pélagiques dans les grands fonds océaniques, bien que le risque de créer des zones mortes dans les profondeurs de l'océan doive être pris en compte et mieux étudié.



2.13 Aliments et boissons

Les algues sont consommées par les humains depuis des milliers d'années à travers le monde. Les macroalgues les plus couramment consommées sont les algues brunes (66,5 %), suivies des algues rouges (33 %) et, dans une bien moindre mesure, des algues vertes (5 %) (Alfonso *et al.* 2019). La majorité de ces algues sont produites dans des systèmes de mariculture et les principaux producteurs sont la Chine, l'Indonésie et le Japon. Les espèces sauvages sont principalement produites par le Chili, la Chine et la Norvège (FAO 2018). Environ 221 espèces d'algues ont été reconnues comme des aliments ayant une valeur commerciale, 10 d'entre elles sont cultivées à grande échelle (FAO 2018) :

- Parmi les algues brunes : *Saccharina japonica*, *Undaria pinnatifid* et *Sargassum fusiforme* ;
- Parmi les algues rouges : les espèces de *Porphyra*, d'*Eucheuma*, la *Kappaphycus alvarezii* et les espèces de *Gracilaria* ;
- Parmi les algues vertes : *Enteromorpha clathrate*, *Monostroma nitidum* et les espèces de *Caulerpa*.

Les algues peuvent être consommées directement ou transformées en produits alimentaires secondaires et en additifs. On estime que 40 % du marché mondial des hydrocolloïdes à usage alimentaire sont dérivés d'extraits d'algues (alginate, agar-agar et carraghénane) (FAO 2018). En dehors de leur valeur nutritionnelle reconnue, les algues sont aussi commercialisées comme des « nutraceutiques », ce qui signifie qu'ils contiennent aussi d'autres composés bioactifs bénéfiques.

2.13.1 Consommation directe

Lors du développement d'aliments et de boissons à base de sargasses, il est important de connaître :

- Les taux potentiellement élevés de toxines (comme l'arsenic inorganique, d'autres métaux lourds et polluants).
- Les concentrations de certains minéraux (ex. : iode) et métabolites secondaires.



Culture de mousse de mer (goémon) blanc à Grenade et à Mayreau pour la préparation

D'autres recherches sont certainement justifiées en ce qui concerne la consommation directe de sargasses compte tenu de la teneur en arsenic relativement élevée, signalée pour les sargasses pélagiques (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020). En outre, Milledge et Harvey (2016) ont déclaré que le déséquilibre des acides aminés contenus dans les sargasses pourrait potentiellement limiter leur valeur alimentaire.

D'après Wells *et al.* (2017), bien qu'il existe une documentation abondante démontrant les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des macroalgues comme aliment, peu de recherches ont été effectuées pour quantifier les bénéfices et les potentiels effets néfastes (ex. : quantité excessive de métaux lourds ingérés, allergénicité, cyanotoxines, métabolites secondaires, etc.). Des précisions sur les défis liés aux polluants sont incluses dans la section 5.2 de ce guide.

La consommation d'algues marines diffère d'un pays à l'autre en termes de quantité et d'utilisation culinaire spécifique. La consommation d'algues en Asie du Sud-Est est une tradition, alors que sur les marchés non asiatiques européens et nord-américains, les algues représentent plutôt le marché de niche « aliment santé » ou « nutraceutique » (Buschmann *et al.* 2017). La consommation des espèces de *Gracilaria* est un bon exemple d'utilisation culinaire variable selon les pays : en Asie de l'Est, elles sont consommées crues, marinées, séchées ou bouillies ; à Hawaï, cette algue est utilisée dans les salades ; alors que dans la Caraïbe, elle est commercialisée sous le nom de mousse mer et utilisée sous forme de bouillie ou de boisson non alcoolisée. On la trouve aussi dans certaines recettes de punch au rhum (FAO 2018).

Le kombu (un mélange d'espèces de *Laminaria*), le wakame (*Undaria pinnatifida*) et le hiziki (*Hizikia fusiforme*) sont trois exemples d'algues brunes couramment consommées en Asie de l'Est, toutes riches en protéines, fibres alimentaires, minéraux et vitamines (McHugh 2003). Les espèces de *Laminaria* sont particulièrement riches en iode (qui fait généralement défaut dans les algues rouges) par rapport à d'autres algues brunes, et peuvent jouer un rôle important dans la réduction des carences en iode (Teas *et al.* 2004), bien qu'elles puissent être nocives dans certaines circonstances.

L'algue *Sargassum fusiforme* est couramment consommée en Chine où elle est vendue séchée et transformée. Les différentes étapes de transformation de cet aliment populaire sont : le nettoyage, la coupe, le pressage à chaud, le retrait de l'arsenic et du sable, l'assaisonnement, la stérilisation, le refroidissement, le séchage, le pesage et l'emballage (FAO 2018).

L'algue *Sargassum fusiforme* contient des taux élevés d'arsenic inorganique quand elle est récoltée. C'est pourquoi des méthodes ont été élaborées et brevetées pour retirer ce composant toxique des produits à base d'algues séchées (Yamashita 2014). La méthode consiste à faire bouillir les algues brutes séchées dans de l'eau de mer jusqu'à 4 fois (ce qui réduit les taux d'arsenic totaux de 86-92 %), puis à les faire tremper dans de l'eau distillée à 20 °C pendant 30 minutes (Yamashita 2014). Il convient de faire attention au traitement de l'eau restante qui contient des taux élevés d'arsenic afin d'éviter tout impact environnemental.

2.13.2 Boissons alcoolisées

Les bières produites à partir d'algues ont aussi gagné en popularité. Bien que ces bières ne soient pas une nouveauté (les algues sont utilisées traditionnellement dans les brasseries écossaises, irlandaises et allemandes), plusieurs brasseries ont montré un intérêt renouvelé pour cet ingrédient et ont commencé à introduire différents types d'algues dans leur processus de brassage²⁹. Par exemple, Great Lakes Brewing à Cleveland, dans l'Ohio, brasse une bière brune de la Saint-Patrick avec l'algue rouge *Palmaria palmata*, aussi connue sous le nom de « dulce » ou de « goémon à vache ». En Australie, la brasserie Brisbane's Newstead Co. a présenté une bière produite avec des algues vertes de l'espèce *Ulva* (laitue de mer). La brasserie de Portsmouth dans le New Hampshire a également présenté une bière artisanale à base de varech appelée « Selkie » et la brasserie Williams Brothers en Écosse produit une bière à base d'algue appelée « Kelpie ».



Bières à base d'algues

2.13.3 Additifs alimentaires

Les algues sont aussi importantes dans l'industrie alimentaire car ce sont des sources d'additifs, comme le carraghénane et l'agar-agar, qui sont extraits d'algues rouges, et l'alginate qui est extrait d'algues brunes (McHugh 2003). Elles sont largement utilisées comme épaississants, émulsifiants, conservateurs, gélifiants et stabilisants (voir encadré bleu sur l'alginate dans la section 2.9) (FAO 2018).

2.13.4 Charbon actif

Le charbon actif figure aussi parmi les usages potentiels de la biomasse d'algues dans la production d'aliments et de boissons (voir section 2.7). Les charbons actifs à base de plantes ont un grand nombre d'applications : correction des couleurs dans les boissons, décoloration et retrait des impuretés dans le traitement de la canne à sucre, purification de l'huile comestible et modification des saveurs dans les additifs pour boissons alcoolisées et aliments³⁰. Les pizzas noires faites avec une pâte infusée au charbon actif sont de plus en plus populaires³¹.



Pizza noire avec du charbon actif ajouté à la pâte

²⁹ <http://www.montereybayseaweeds.com/the-seaweed-source/2019/3/13/seaweed-beers-are-gaining-in-popularity>

³⁰ www.puragen.com/markets/food-and-beverage

³¹ <https://food.ndtv.com/food-drinks/no-this-pizza-isnt-burnt-its-black-pizza-made-with-activated-charcoal-2050982>

Comme indiqué dans l'encadré ci-dessous, il existe plusieurs initiatives dans la région caribéenne qui utilisent les sargasses pélagiques dans des aliments et boissons, la plupart du temps sous forme d'extraits.

Utilisation des sargasses pélagiques pour la production d'aliments et de boissons dans la Caraïbe

Recherches :

Université A&M du Texas (États-Unis) : en 2015, en collaboration avec la Galveston Island Brewery, des étudiants et des chercheurs ont produit et testé une bière à base de sargasses (voir section 4) ;

Université West Indies (Barbade, Jamaïque et Trinité-et-Tobago) : des chercheurs des trois campus ont travaillé sur des utilisations variées de l'extrait d'alginate (voir section 3.2.2). Sarganico (Mexique) : production de cahiers, de chemises, de sous-verres, de

Commercialisation :

- **Alquimar & Grupo Metco (Mexique) :** extraits d'alginate utilisés dans plusieurs secteurs (voir section 4) ;

- **Mixologue Bruno Lardelli (Mexique) :** a créé le cocktail « Pineapple gift » en utilisant des sargasses (voir section 4) ;

Tomfoodery Kitchen (îles Caïmans) : le chef Thomas Tennant a expérimenté différentes recettes en utilisant des sargasses comme ingrédients (voir section 4).

Résumé des utilisations dans les aliments et boissons

Bien que les algues marines soient consommées dans de nombreuses régions du monde, et également dans la Caraïbe, sous le nom de « mousse de mer » (comprenant plusieurs espèces d'algues rouges), la consommation directe de sargasses pélagiques n'est pas conseillée car il a été démontré qu'elles contiennent des taux élevés d'arsenic et d'autres composants pouvant être toxiques.

Les extraits de sargasse pélagique peuvent être utilisés comme additifs dans les aliments et les boissons, cependant une analyse minutieuse de leur composition doit être effectuée au préalable. Les alginates (que l'on trouve généralement à de fortes concentrations dans les algues brunes) sont couramment utilisés dans l'industrie alimentaire comme épaississants, émulsifiants, conservateurs, gélifiants et stabilisants.

Les sargasses pélagiques peuvent aussi être employées pour produire du charbon actif qui peut servir d'ingrédient dans l'industrie alimentaire. Plusieurs initiatives caribéennes étudient l'extraction à but commercial des alginates et la production de charbon actif à partir de sargasses.

Bien que les sargasses pélagiques aient été utilisées dans des échantillons limités de boissons alcoolisées et de plats dans la région, d'autres recherches sont nécessaires pour déterminer leur véritable potentiel en tenant compte de la sécurité du produit final.

Lubrifiants, tensioactifs et adhésifs

2.14 Lubrifiants, tensioactifs et adhésifs

Il y a eu de récentes avancées dans la production de lubrifiants, de tensioactifs et d'adhésifs à base d'algues. Quelques exemples sont décrits ci-dessous.

2.14.1 Lubrifiants

La majorité des lubrifiants sont principalement composés de pétrole brut, en raison de ses effets durables (Panchal *et al.* 2017). Cependant, l'utilisation généralisée de lubrifiants à base de pétrole pose problème car ils sont produits à partir de ressources non renouvelables et toxiques pour l'environnement, et par conséquent sources de pollution. À travers le monde, les groupes de défense de l'environnement exercent une pression croissante sur les fabricants pour qu'ils remplacent ces lubrifiants par des produits plus naturels, en particulier pour les usages en contact étroit avec les plans d'eau (Panchal *et al.* 2017). De nombreux biolubrifiants sont utilisés dans la production d'aliments, de produits pharmaceutiques, de cosmétiques, dans l'agriculture, l'industrie textile et dans les biocarburants. Voici quelques exemples de nouveaux développements utilisant des biolubrifiants :



- La société **Solazyme** utilise des microalgues pour produire des huiles industrielles, des carburants et des lubrifiants de forage respectueux de l'environnement et durables, sous plusieurs marques. Les lubrifiants produits à partir d'algues ont aussi des propriétés anti-corrosives. Sous la marque Tailored, un lubrifiant textile durable est produit à partir d'huiles d'algues oléagineuses. Un autre produit, Encapso™, est un fluide de forage écologique qui comporte de nombreuses capsules contenant de l'huile lubrifiante pure à base d'algues et qui libère le lubrifiant uniquement lorsque c'est nécessaire³².
- Les biolubrifiants à base d'algues ont un grand potentiel comme lubrifiants alimentaires, très demandés dans le **secteur de la bière et du vin**. Dans le secteur de la bière, les lubrifiants alimentaires sont utilisés à différentes étapes du brassage, de la manipulation des céréales à l'emballage³³.

D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer tout le potentiel des algues brunes en général, et plus spécifiquement des algues *Sargassum*, notamment celles qui affectent la Caraïbe, pour leur utilisation comme lubrifiant.

³² solazymeindustrials.com

³³ <https://beerandbrewing.com/a-guide-to-the-use-of-food-grade-lubricants-in-the-brewing-industry/>

2.14.2 Tensioactifs

Le développement de tensioactifs utilisant des ressources renouvelables gagne du terrain dans plusieurs filières d'application (Benvegna et Sassi 2010). De plus en plus de consommateurs demandent des tensioactifs respectueux de l'environnement, surtout lorsqu'ils sont utilisés à des fins personnelles. Cependant, une production viable requiert un accès à de grands volumes de biomasse renouvelable et peu coûteuse. Les algues marines sont donc considérées comme de bonnes candidates, surtout car les lipides produits par les algues sont une source naturelle de tensioactifs. Des exemples de valorisation des algues comme tensioactifs sont donnés ci-après :

- En 2015, BASF et Solazyme ont lancé Dehyton AO45, le premier tensioactif bétaine commercial dérivé de microalgues. Il est utilisé pour produire de la mousse dans les produits d'hygiène personnelle comme le savon ou le shampoing³⁴.
- L'étude Foley *et al.* (2012) indique que les algues brunes sont une bonne source de glycine bétaine, que l'on utilise pour extraire plusieurs classes de tensioactifs.
- Benvegna et Sassi (2010) précisent que les algues brunes sont des matières premières renouvelables intéressantes, qui peuvent être utilisées, sous forme de bio-tensioactif, dans les secteurs cosmétiques, agro-chimiques et sanitaires.

2.14.3 Adhésifs

L'un des plus grands défis du secteur des adhésifs est le développement de substances capables de coller des surfaces dans un milieu aqueux (Bitton 2015). Des recherches approfondies se sont concentrées sur des organismes marins comme les algues pour mieux comprendre leurs capacités adhésives lorsqu'elles sont immergées et comment imiter leur processus biochimique (biomimétique) pour développer des matières artificielles. Bien que la majorité des recherches liées à l'approche biomimétique pour les adhésifs se soient concentrées sur des organismes marins comme les moules, les balanes et les étoiles de mer, les chercheurs ont récemment porté leur attention sur les algues (Bitton 2015).

Une étude menée sur la microalgue wakame (*Undaria pinnatifida*) a montré que les groupes de phosphate et les polysaccharides sulfatés mono-ester étaient les principaux composants responsables des propriétés adhésives des algues (Petrone *et al.* 2011). En comparaison, une autre étude menée sur les algues brunes fucoïdes *Fucus gardenri* a déterminé que les propriétés adhésives initiales de la couche sous-jacente étaient liées à la sécrétion de polyphénols et que, après la germination de l'algue, les polymères phénoliques et les oxydases étaient responsables de l'adhésion de l'algue (Vreeland, Waite et Epstein 1998). On pense que les polyphénols (phlorotanins) des algues brunes sont encapsulés par le réseau d'alginate, qui permettrait à ces composants de former des points de contact (Bitton 2015). Suivant l'approche biomimétique, le monomère synthétique de phloroglucinol a été développé et il a été démontré qu'il a des propriétés adhésives semblables aux polyphénols naturels des algues. Il pourrait donc donner lieu à des bio-adhésifs ou à des éco-résines. D'après ces résultats, Sealantis a développé un adhésif biomimétique à base d'algues qui présente d'excellentes propriétés d'adhésion, même dans des

³⁴ <https://www.basf.com/us/en/media/news-releases/2015/07/P-US-15-137.html>

conditions humides³⁵. Cet adhésif est utilisé dans trois principaux domaines : le scellement chirurgical, l'adhésion chirurgicale et l'administration de médicament ciblée.

Il existe une autre application de l'algue brune comme adhésif : l'ajout d'alginate de sodium à l'amidon dans la production de carton ondulé. En effet, l'alginate de sodium peut stabiliser la viscosité des adhésifs et ainsi réguler le taux de pénétration (McHugh 2003). En outre, comme indiqué dans les sections relatives aux vêtements et chaussures ainsi qu'aux produits en papier, l'alginate de sodium est utilisé dans les industries textile et papetière pour augmenter les propriétés adhésives des matériaux.

La production de propriétés adhésives a été étudiée pour de nombreuses espèces de macroalgues avec des spores structurellement différentes et semble suivre les mêmes processus (Fletcher et Callow 1992).

Cependant, les potentielles propriétés adhésives ou anti-adhésives des espèces de sargasses pélagiques doivent être étudiées car ces algues brunes fucoïdes flottent librement et ne s'accrochent pas au substrat pendant leur cycle de vie.

Comme le précise l'encadré ci-contre, à notre connaissance, seul un projet étudie le potentiel des sargasses comme lubrifiants, tensioactifs et adhésifs dans la Caraïbe.

Utilisation des sargasses pélagiques pour la production de lubrifiants, de tensioactifs et d'adhésifs dans la Caraïbe

Recherches :

- **Projet SARtrib** (Guadeloupe) : Étude du potentiel de valorisation des sous-produits des sargasses issus de la pyrolyse sous vide pour une utilisation dans les lubrifiants, les solvants et les adhésifs de nouvelle génération (voir section 3.2.4).

Résumé des utilisations dans les lubrifiants, les tensioactifs et les adhésifs

Les biolubrifiants de troisième génération utilisés pour des applications industrielles comme le forage, sont désormais fabriqués avec des microalgues, alors que le potentiel d'utilisation des macroalgues, et des sargasses en particulier, est actuellement inconnu. Les microalgues sont également utilisées pour produire des tensioactifs qui favorisent la production de mousse dans les savons et les shampoings, et les recherches suggèrent que les algues brunes peuvent elles aussi avoir ce type d'application.

Les algues brunes sont aussi étudiées pour leur adéquation dans la production d'adhésifs efficaces dans des conditions humides.

Au moins une initiative de recherche est en cours dans les Caraïbes. Elle concerne la viabilité de la transformation des sous-produits de la pyrolyse de sargasses en biolubrifiants, tensioactifs, solvants et adhésifs nouvelle génération.

³⁵ www.sealantis.co.il

Produits en papier

2.15 Produits en papier

La fibre de cellulose est le principal constituant des produits en papier et est présente dans les parois cellulaires des plantes et des algues. Utiliser des algues au lieu du bois pour produire de la pulpe de papier a plusieurs avantages : l'algue a une croissance plus rapide comparée aux arbres et présente une teneur en lignine négligeable, or ce composant doit être séparé de la pulpe de papier, ce qui nécessite beaucoup d'énergie et de produits chimiques. À ce jour, la plupart des essais de production de papier à base d'algues se sont principalement limités à des produits artisanaux au lieu d'opérations commerciales à grande échelle. Cependant, plusieurs projets et tentatives de production commerciale de pulpe de papier à partir d'algues ont vu le jour dans différentes régions du monde. La plupart des tentatives ont eu lieu avec des algues rouges et, dans une moindre mesure, avec des algues vertes. Des exemples sont présentés ci-dessous.



Le laboratoire de recherche sur les algues de **l'Université de Kuala Lumpur, en Malaisie**, a réussi à produire de la pulpe en utilisant des rhizoïdes d'algues rouges (*Gelidium amansii* et *Gelidium corneum*). L'équipe de recherche s'est penchée sur la pulpe à base d'algue car ce procédé est bien plus respectueux de l'environnement que celui de la pulpe de bois : il est bien plus économe en énergie et nécessite beaucoup moins de produits chimiques. Comme la plupart des algues ne comportent pas de lignine mais seulement de la cellulose et de l'hémicellulose, aucun produit chimique n'est nécessaire, seulement de l'eau chauffée. Cependant, pour produire à grande échelle, les algues doivent être cultivées massivement pour garantir des matières brutes propres, sans impuretés (Seo *et al.* 2010).



Équipe du laboratoire de recherche sur les algues, Université de Kuala Lumpur

Dans les années 1990, la **société italienne Favini** a créé le papier Shiro Alga Carta avec les efflorescences algales qui envahissaient la lagune de Venise, et a réussi à produire commercialement du papier et à le distribuer à petite échelle, surtout en Europe. On ne sait cependant pas précisément quelle espèce d'algue

est utilisée dans ce papier car les proliférations d'algues de la lagune de Venise semblent être causées par plusieurs espèces.

En Indonésie, deux espèces d'algues rouges cultivées (les espèces de *Gracilaria* et *Eucheuma cottonii*) ont été testées pour produire de la pulpe d'algue destinée à la fabrication de papier (Machmud *et al.* 2013). Les résultats indiquent que les propriétés élastiques (élongation, résistance et énergie absorbée) des feuilles de papier réalisées avec les deux algues étaient supérieures à celles du papier recyclé et du papier conventionnel à la pulpe de bois.

Les résultats des **recherches menées en Espagne** pour déterminer le potentiel de deux espèces d'algues vertes (les différentes espèces d'*Ulva* et de *Cladophora*) comme matières premières pour la fabrication de papier, indiquent que, même si la teneur cellulose algale est généralement inférieure à celle des plantes vasculaires, elles ont des quantités suffisantes pour être considérées comme une bonne source de fibres alternatives ou de fibres de renforcement (López *et al.* 2014).

Au Chili, une collaboration entre des chercheurs de l'**Université Concepción** et la société **Bio Paper** a donné lieu au développement et à la production de papier à base d'algues destiné à la protection et à la conservation des fruits pendant leur exportation. L'équipe déclare que les propriétés antibactériennes et antifongiques du papier à base d'algues garantissent une meilleure conservation des fruits pendant leur exportation. Elle estime qu'il y a environ 60 % de pertes de fruit en moins en raison de l'oxydation et de la décomposition lorsque le papier de protection à base d'algues est utilisé (CNN Chili 2019).

Bien qu'il ne soit pas impossible de produire du papier 100% à partir de fibres d'algue, sa résistance globale (éclatement, déchirement et pliage) est améliorée lorsque la pulpe d'algue est mélangée à d'autres matières premières (Mukherjee et Keshri 2018). Les étapes générales requises pour fabriquer du papier à base d'algue sont le retrait de toutes les impuretés, le lavage avec de l'eau, le séchage, le broyage en farine d'algue, le mélange avec d'autres matières premières ou fibres (pas toujours nécessaires), la cuisson avec de l'eau à 100 °C pendant deux heures, et l'étalage de la gelée obtenue pour former un film mince (Mukherjee et Keshri 2018).

En général les algues brunes contiennent des taux élevés de cellulose, bien que cette teneur varie selon les espèces, la saison de collecte et les conditions environnementales de croissance (Siddhanta *et al.* 2009). Les algues brunes ont été étudiées dans une moindre mesure pour la fabrication du papier. Cependant, une start-up britannique, **Skipping Rocks Lab**, s'est récemment penchée sur l'utilisation de



Papier à base d'algues pour la protection et la conservation des fruits pendant l'exportation, Université Concepción, Chili

matières naturelles extraites d'algues et de plantes pour créer des alternatives aux plastiques à usage unique. Elle travaille actuellement à la création de gobelets en papier biodégradables, recyclables, étanches et résistants à la chaleur et d'autres emballages alimentaires à usage unique, à base d'algues brunes. L'objectif de la société est d'obtenir un produit qui peut se décomposer complètement au bout de quatre à six semaines³⁶.

En outre, les alginates sont utilisés dans l'industrie du papier pour le collage en surface (voir encadré bleu sur les alginates dans la section 2.9). Ce processus consiste à ajouter de l'alginate à l'amidon, ce qui produit un film de surface plus lisse et continu avec moins de peluchage (Pereira et Cotas 2020). De plus, l'ajout d'alginate confère au papier une meilleure résistance à l'huile et des propriétés de surface anti-graisse, ce qui améliore la tenue de l'encre sur le papier.

Des recherches limitées ont été menées pour déterminer le potentiel des espèces *Sargassum* pour la fabrication de papier. Une étude menée pour évaluer les teneurs en cellulose d'algues indiennes indique que l'algue *Sargassum tenerrimum* présente des taux élevés de cellulose, adéquats pour la fabrication de papier (Siddhanta *et al.* 2011).

Dans la région caribéenne, plusieurs start-ups explorent l'utilisation des

sargasses pélagiques pour la fabrication de papier. Comme le souligne l'encadré orange, des entreprises innovantes produisent déjà de nombreux produits en papier et en carton, qui sont non seulement esthétiques mais aussi très utiles et durables sur le plan environnemental.



Différents produits en papier à base de sargasses par Sargánico

Papier de sargasse par Sargasse Project

The Marine Box (Sargasse, Banane, coco)

Prototype de cercueil fabriqué par The Marine Box avec du carton à base de sargasses

Papier de sargasse pour art spécialisé, projet Golden Tide

³⁶ <https://www.algaeindustrymagazine.com/using-brown-seaweed-to-make-sustainable-paper-cups/>

Fabrication de papier avec des sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Commercialisation :

- **Golden Tide project, Wouter Osterholt (Curaçao)** : papier artisanal 100 % sargasse fabriqué pour des peintures représentant des squelettes de la faune marine locale, tuée par l'afflux récent de sargasses. Les bénéfices des ventes sont distribués à Amazon Watch (voir section 4) ;
- **Salgax (Mexique)** : bien que principalement axée sur les engrais à base de sargasses, l'équipe développe également des produits en papier de sargasse (voir section 3.1.7) ;
- **Sargánico (Mexique)** : production de cahiers, de portes-dossiers, de sous-verres, de cartes de visite de qualité supérieure, etc. (voir section 3.1.2) ;
- **Sargasse Project (Saint-Barthélemy)** : fabrication de produits en papier et en carton 100 % sargasse (voir section 4) ;
- **Sargazbox (Mexique)** : développement de boîtes en carton à base de cellulose de sargasse (voir section 4) ;
- **The Marine Box (Martinique)** : développement de différents produits en papier et en carton à base de sargasse. Il y a même des cercueils en carton de sargasse (voir section 4).

Résumé des utilisations dans le secteur du papier

Les algues sont considérées comme un bon ingrédient pour la fabrication de papier en raison de leur forte teneur en cellulose et de leur teneur négligeable en lignine dans leurs parois cellulaires. Bien que, à ce jour, la plupart des papiers à base d'algues aient été fabriqués à partir d'algues rouges et vertes, les algues brunes ont également démontré leur potentiel. Les extraits d'alginate sont également utilisés dans l'industrie papetière pour améliorer la résistance à l'eau et la texture lisse de la surface du papier.

Dans les Caraïbes, plusieurs projets ont réussi à fabriquer du papier, du carton et des produits en papier à partir de sargasses pélagiques.

Produits pharmaceutiques et biomédicaux



2.16 Produits pharmaceutiques et biomédicaux

Les algues marines sont largement reconnues pour leur source diverse de métabolites bioactifs, qui sont depuis longtemps utilisés dans l'industrie pharmaceutique et biomédicale. Chaque composé peut être extrait des algues et utilisé dans différentes applications selon leurs propriétés spécifiques. Cependant, leur composition chimique et leur poids moléculaire varient en fonction des espèces sources à partir desquelles ces composés sont extraits, de la saison de collecte, des conditions environnementales de croissance et de la méthode d'extraction employée.

Les algues brunes ont des polysaccharides et des métabolites secondaires uniques qui ont des effets bénéfiques prouvés sur la santé humaine.

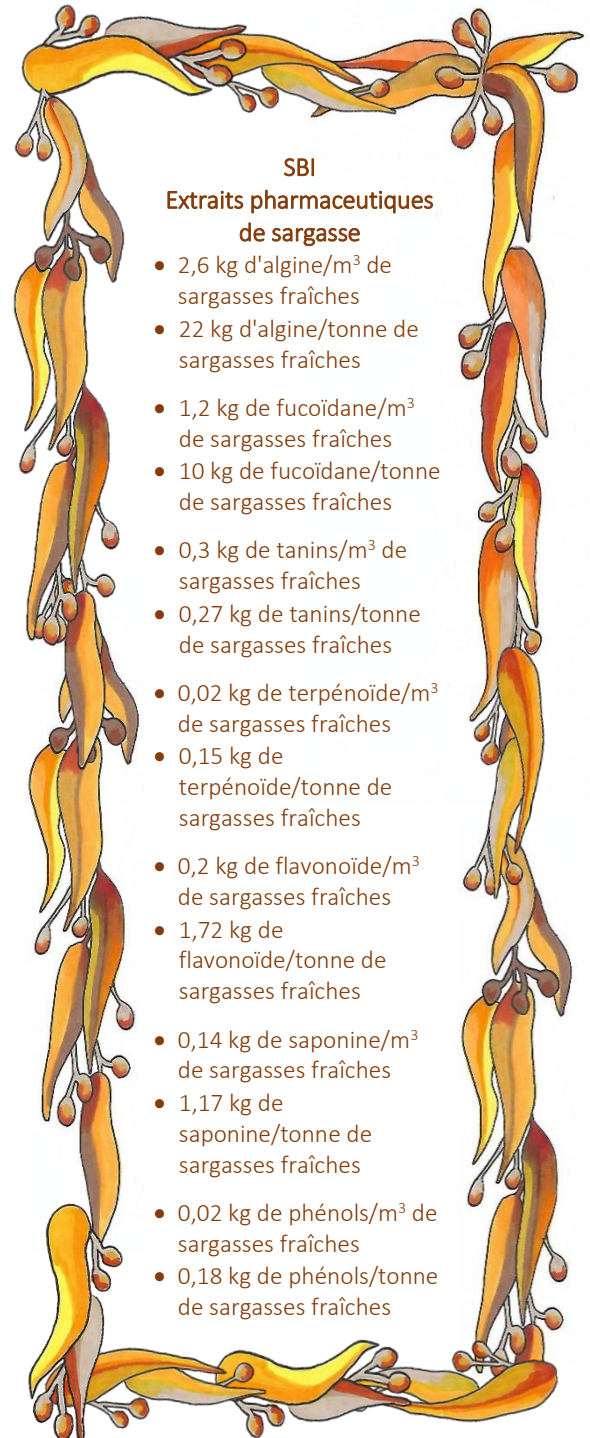
Lors du développement de produits pharmaceutiques et biomédicaux à base de sargasses, il est important de connaître :

- Les taux potentiellement élevés de toxines (comme l'arsenic inorganique, d'autres métaux lourds et polluants).

Des essais *in vitro* et *in vivo* appropriés sont essentiels pour pouvoir valider les effets thérapeutiques de chaque composé bioactif.

2.16.1 Polysaccharides

Les alginates, les fucoïdanes, le mannitol et la laminarine sont tous des polysaccharides que l'on peut extraire des parois cellulaires des algues brunes et utiliser dans les industries pharmaceutique et biomédicale. Les alginates sont principalement utilisés dans l'industrie pharmaceutique comme épaississants, stabilisants et pour les médicaments à libération contrôlée. Ils sont aussi utilisés dans des applications biomédicales, par exemple pour la culture de tissus, comme adjuvants antibiotiques, agents antiviraux, et pour le traitement du diabète et de maladies neurodégénératives (Szekalska *et al.* 2016). L'alginate de calcium est couramment utilisé pour fabriquer des pansements et pour encapsuler des médicaments, tandis que l'alginate de magnésium a des propriétés médicinales et



est principalement utilisé pour traiter les ulcères et les reflux gastro-œsophagien (Baldassarre *et al.* 2019). Une autre étude indique que les alginates de sodium extraits de deux espèces d'algues brunes (*Sargassum wightii* et *Padina tetrastromatica*) sont adaptés pour produire des pelliculages sur des textiles destinés à la cicatrisation de plaies (Janarthanan et Senthil Kumar 2018).



Exemples de produits à base d'alginates. À gauche : pansement. À droite : médicament à libération contrôlée



Le fucoïdane d'algues dans les compléments alimentaires

L'utilisation des fucoïdanes suscite un grand intérêt en raison de leurs propriétés très variées et de leurs effets thérapeutiques prometteurs. Les propriétés suivantes ont été démontrées : antioxydant, anti-inflammatoire, antifongique, anti-angiogénique, anti-tumeur, antiviral, antithrombotique, anticoagulant et immunorégulateur. Ils ont aussi été utilisés dans la protection cognitive et comme agent anti-hyperglycémique (Citkowska, Szekalska et Winnicka 2019, Luthuli *et al.* 2019).

Le mannitol a plusieurs propriétés pharmaceutiques et est utilisé comme diurétique et vasodilatateur pour traiter les glaucomes et pour diminuer la pression intracrânienne (Saha et Racine 2011).

La laminarine a des effets antitumoraux et son utilisation est envisagée pour la prévention de cancers (Délérès, Nazih et Bard 2016).

2.16.2 Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires présents dans les algues brunes et ayant une valeur dans les applications pharmaceutiques sont les polyphénols, les terpénoïdes, les caroténoïdes et les stérols. Le phlorotanin, un composé polyphénolique, a plusieurs applications pharmaceutiques potentielles : antidiabétique, anti-cancer, anti-hypertension, anti-photovieillessement, antioxydant, antiviral, antiallergique, anti-inflammatoire et anti-adipogenèse (Creis, Gall et Potin 2018). Comme d'autres composés présents dans les algues brunes, les phlorotannins varient selon les espèces d'algues, les différents facteurs abiotiques et biotiques et la procédure d'extraction employée (Generalić Mekinić *et al.* 2019).

Les terpénoïdes issus des algues brunes sont également très utiles pour l'industrie pharmaceutique en raison de leur activité antifongique, cytotoxique, anti-inflammatoire et antivirale (Campos de Paula, Vallim et Laneuville Teixeira 2011). De même, le pigment caroténoïde, la fucoxanthine, a de potentiels effets antioxydants, anti-inflammatoires, anti-obésité, anti-tumoraux et anti-UV (Wijesinghe et Jeon 2011). Les phytostérols (stérols d'origine végétale) sont utilisés dans les produits pharmaceutiques pour diminuer le taux de cholestérol dans le sang et présentent un potentiel d'inhibition du développement du cancer du côlon (Lopes *et al.* 2013).



Exemples d'algues sargasses utilisées dans les compléments alimentaires

D'autres métabolites secondaires présents dans les algues brunes et présentant des applications pharmaceutiques prometteuses sont : les plastoquinones (activité antioxydante importante), les saponines et les flavonoïdes (effet analgésique) (Yende, Harle et Chaugule 2014, Ruslin *et al.* 2018). Deux plastoquinones, isolées à partir des algues *Sargassum sagamianum* et *Sargassum micracanthum*, sont l'acide sargaquinolique et le sargachroménol. La première peut être utilisée dans les traitements pour la maladie d'Alzheimer et la deuxième a des propriétés anti-inflammatoires (Choi *et al.* 2007, Yang *et al.* 2013). Les saponines sont exploitées pour leurs propriétés antioxydantes, antidiabétiques et anti-obésité, et pourraient être utilisées dans la synthèse d'hormones stéroïdiennes (Oyesiku et Egunyomi 2014).

De nombreuses espèces de sargasses sont utilisées dans la médecine traditionnelle chinoise depuis des milliers d'années et continuent d'être utilisées dans plusieurs applications pharmaceutiques et biomédicales (Liu *et al.* 2012). Une revue décrivant le potentiel thérapeutique des espèces de sargasses et leurs avantages pour la santé indique que les principales propriétés liées à la santé sont les suivantes : antioxydant, inhibiteur de la cholinestérase, neuroprotecteur, antipyrétique (pour faire baisser la fièvre), analgésique, antitumoral, anti-inflammatoire, hépatoprotecteur (protection du foie), immunomodulateur, antiviral et anticoagulant (Yende, Harle et Chaugule 2014).

Les lubrifiants à base d'algues sont également utilisés pour la préparation du traitement du canal radiculaire dans les applications dentaires, pour dissoudre les tissus pulpaire nécrotiques et éliminer les bactéries et la boue dentinaire. Des récents résultats indiquent que les extraits des espèces de *Sargassum* sont efficaces à cette fin (Trilaksana, Kirana et Arisandi 2020).

À ce jour, les recherches limitées sur les sargasses pélagiques et sur de potentielles applications liées à la santé sont limitées. Cependant, l'algue *Sargassum fluitans* a été utilisée pendant plusieurs années dans le traitement du goitre (gonflement anormal de la glande thyroïde) et de la lithiase (formation de calculs dans le corps), et a également montré des propriétés anticoagulantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antioxydantes (D'Amelio 1999).

Il existe un certain nombre de projets en cours dans la région des Caraïbes, dont l'objectif est de déterminer le potentiel pharmaceutique et biomédical des sargasses pélagiques, comme indiqué dans l'encadré orange ci-dessous.

Projets pharmaceutiques et biomédicaux utilisant les sargasses pélagiques dans la Caraïbe

Recherches :

▪ **Projet Nexo, Tecnológico de Monterrey** (Mexique) : extraire des alginates et fucoïdanes des parois cellulaires des sargasses pour trouver des utilisations potentielles (voir section 4) ;

▪ **Projet SARSCREEN** (Guadeloupe) : déterminer les potentiels pharmacologiques des extraits de sargasses contre les maladies non-transmissibles courantes et répandues dans la Caraïbe (voir section 3.2.4) ;

▪ **Université West Indies** (Barbade, Jamaïque et Trinité-et-Tobago) : extraire des polysaccharides et métabolites secondaires pour différents usages (voir section 3.2.2).

Commercialisation :

▪ **Alquimar & Grupo Metco** (Mexique) : utiliser des extraits d'alginates dans différents secteurs. Alquimar commercialise aussi des fucoïdanes à l'échelle nationale (voir section 4).

Résumé des usages pharmaceutiques et biomédicaux

Les algues brunes contiennent des polysaccharides uniques (ex. : des alginates, des fucoïdanes et du mannitol) et des métabolites secondaires connus pour avoir des effets thérapeutiques bénéfiques sur la santé humaine, et sont donc utiles dans de nombreux médicaments et de nombreuses applications pharmaceutiques et biomédicales.

Les espèces de sargasses sont traditionnellement utilisées dans la médecine chinoise, sous forme de compléments alimentaires commerciaux.

Plusieurs recherches et projets de commercialisation en cours dans la Caraïbe ont pour objectif d'extraire et de tester plusieurs polysaccharides et métabolites secondaires des sargasses pélagiques. Cependant, l'efficacité thérapeutique et l'innocuité des extraits de sargasse pélagique restent inconnues et doivent donc être traitées avec prudence jusqu'à ce qu'elles soient correctement testées.

Résumé des utilisations et évolutivité

2.17 Résumé des utilisations et évolutivité

2.17.1 Défis spécifiques aux produits

D'après l'examen détaillé présenté dans cette section consacrée aux utilisations potentielles des sargasses pélagiques, nous fournissons, dans le Tableau 4, un résumé des principales utilisations potentielles et des problèmes spécifiques aux produits, qui représentent actuellement des obstacles à la commercialisation réussie des produits. Dans la section 5, nous approfondissons ce sujet en examinant les défis et les contraintes généraux auxquels sont confrontés les chercheurs, les entrepreneurs et les entreprises qui développent des utilisations commercialement viables des sargasses, et leurs conséquences pour les responsables politiques, les gestionnaires et les agences de financement.

Tableau 9. Résumé des applications potentielles pour les sargasses pélagiques, mettant en évidence les potentiels défis, les recherches actuelles (Rech.), les développements commerciaux (dév. com.) et les commercialisations totales (com. tot.) dans la grande région Caraïbes

Utilisation	Applications potentielles	Défis potentiels	Initiatives caribéennes		
			Rech. h.	Dév. com.	Com. tot.
Agriculture	Complément alimentaire pour animaux	• Forte teneur en sel (risque d'effets néfastes pour la santé et augmentation de la consommation d'eau) • Forts taux potentiels d'arsenic, de métaux lourds et d'autres toxines - Nécessité d'effectuer une surveillance continue du produit final • Variabilité dans le profil compositionnel • Recherches spécifiques aux animaux insuffisantes pour déterminer la quantité maximale de sargasses pélagiques pour les effets bénéfiques/négatifs	✓	✓	✗
	Épandage direct sur les champs - Non recommandé	• Forte teneur en sel (risque de salinisation du sol si pas de pré-traitement) • Aucun bénéfice signalé pour les cultures	✓	✗	✗
	Paillis	• Forte teneur en sel (risque de salinisation du sol si pas de pré-traitement) • Forts taux potentiels d'arsenic, de métaux lourds et d'autres toxines - Nécessité d'effectuer une surveillance continue du produit final • Variabilité dans le profil compositionnel • Recherches spécifiques aux cultures insuffisantes (pour déterminer les effets des cultures cultivées dans différents types de sols)	✓	✓	✓

Utilisation	Applications potentielles	Défis potentiels	Initiatives caribéennes		
			Rec h.	Dév. com.	Com. tot.
	Compost	• Forte teneur en sel (risque de salinisation du sol si pas de pré-traitement ; résultats des recherches variables) • Forts taux potentiels d'arsenic, de métaux lourds et d'autres toxines - Nécessité d'effectuer une surveillance continue du produit final • Variabilité dans le profil compositionnel • Co-compostage avec d'autres matières organiques recommandé	✓	✓	✓
	Biochar	• Forte teneur en sel (risque de salinisation du sol si pas de pré-traitement)	✓	✗	✗
	Engrais / biostimulant / digestat	• Forte teneur en sel (risque de salinisation du sol si pas de pré-traitement) • Forts taux potentiels d'arsenic, de métaux lourds et d'autres toxines dans les sargasses fraîches - Nécessité d'effectuer une surveillance continue du produit final • Variabilité dans le profil compositionnel • Recherches / échantillons et analyses insuffisants	✓	✓	✓
	Protection des cultures / bio-éliciteur	• Forte teneur en sel (risque de salinisation du sol si pas de pré-traitement) • Forts taux potentiels d'arsenic, de métaux lourds et d'autres toxines dans les sargasses fraîches - Nécessité d'effectuer une surveillance continue du produit final • Variabilité dans le profil compositionnel • Recherches insuffisantes sur les propriétés bio-élicitrices des sargasses	✓	✗	✗
	Substrat de croissance pour champignon	• Forte teneur en sel (peut limiter la croissance des champignons) • Forts taux potentiels d'arsenic, de métaux lourds et d'autres toxines dans les sargasses fraîches - Nécessité d'effectuer une surveillance continue du produit final • Variabilité dans le profil compositionnel • Recherches insuffisantes - Nécessité de déterminer si le substrat de croissance mélangé est recommandé et de déterminer la quantité maximale de sargasses	✓	✗	✗
Antifouling	Extraits antifouling pour peintures	• Recherches limitées avec les algues brunes • Recherches insuffisantes sur les sargasses pélagiques • Peu de connaissances sur les profils des acides gras et phénoliques des sargasses pélagiques en raison de la variabilité du profil de composition	✓	✗	✗

Utilisation	Applications potentielles	Défis potentiels	Initiatives caribéennes		
			Rec h.	Dév. com.	Com. tot.
Bioénergie	Bioéthanol	• Recherches insuffisantes sur les sargasses pélagiques • Prétraitement coûteux pour rendre l'algue adaptée à la fermentation • Identification de micro-organismes tolérants au sel, adéquats pour la fermentation en raison de la forte teneur en sel • Beaucoup d'investissements nécessaires pour obtenir des équipements spécialisés	✓	✗	✗
	Biodiesel - Non faisable actuellement	• Teneur en lipides (graisse) insuffisante • Recherches disponibles limitées ; les macroalgues ne semblent pas adaptées à cet usage	✗	✗	✗
	Bio-granulés	• Recherches limitées sur les macroalgues (résultats variables) ; recherches limitées avec les sargasses pélagiques • Nécessité de mélanger avec d'autres matières organiques • Beaucoup d'investissements nécessaires pour des équipements	✓	✓	✗
	Biogaz / biométhane	• Recherches limitées sur les macroalgues ; recherches limitées avec les sargasses pélagiques • Rapport C:N faible - Nécessité de mélanger avec d'autres matières organiques (co-digestion recommandée) • Des niveaux potentiellement élevés de soufre, de métaux lourds, de cendres et de polyphénols peuvent interférer avec la digestion • Davantage de recherches sont nécessaires sur les prétraitements potentiels pour augmenter la dégradation de la matière par les micro-organismes • Beaucoup d'investissements sont nécessaires en termes d'équipements pour des installations à grande échelle	✓	✓	✗
Bioplastiques	Extraits pour bioplastiques et biomasse pour matériaux alternatifs	• Taux potentiellement élevés d'arsenic, de métaux lourds et d'autres toxines dans les sargasses fraîches - Nécessité d'une surveillance continue des produits finaux qui sont en contact direct avec les aliments (peuvent nécessiter un revêtement protecteur) • Des recherches supplémentaires sont nécessaires avec les sargasses pélagiques pour déterminer si elles doivent être mélangées avec d'autres matières et pour déterminer les quantités recommandées • Beaucoup d'investissements nécessaires pour des équipements	✓	✓	✗

Utilisation	Applications potentielles	Défis potentiels	Initiatives caribéennes		
			Rec h.	Dév. com.	Com. tot.
Bioremédiation et purification	Traitement de l'eau et des eaux usées (charbon actif, algue flottante vivante)	• Une teneur élevée en sel peut réduire la capacité de biosorption - Des recherches supplémentaires sont nécessaires avec les sargasses pélagiques • Coûts d'investissement élevés nécessaires pour l'équipement de pyrolyse • Nécessité de planifier des stratégies de gestion des déchets pour éliminer les matières utilisées contenant des niveaux élevés de composés toxiques	✓	✓	✗
	Bioremédiation du sol (charbon actif / biochar)	• Coûts d'investissement élevés nécessaires pour l'équipement de pyrolyse • Nécessité d'effectuer plus de recherches pour des utilisations sur différents types de sols	✓	✗	✗
	Purification de l'air (charbon actif)	• Coûts d'investissement élevés nécessaires pour l'équipement de pyrolyse • Nécessité de planifier des stratégies de gestion des déchets pour éliminer les matières utilisées contenant des niveaux élevés de composés toxiques • Nécessité d'effectuer plus de recherches pour l'emploi du charbon actif comme filtre à air	✓	✗	✗
Vêtements / chaussures	Extraits utilisés pour créer des fibres, des mousses, des teintures, des épaississants pour l'impression textile et des rehausseurs de teinture	• Recherches insuffisantes avec les sargasses pélagiques - En dehors des semelles de chaussure	✗	✓	✓
Construction	Briques	• Nécessité de mélanger avec d'autres matières organiques - De nouvelles recherches avec des briques 100 % sargasses sont en cours (nécessité de tester la stabilité et la durabilité) • Équipements spécialisés nécessaires	✓	✓	✓
	Résine/panneau de particules et panneaux	• Recherches insuffisantes avec les sargasses pélagiques • Équipements spécialisés nécessaires	✗	✓	✗
	Bio-bitume	• Recherches insuffisantes avec les sargasses pélagiques	✓	✗	✗
	Mobilier	• Recherches insuffisantes avec les sargasses pélagiques	✗	✗	✗
Cosmétiques	Soins pour la peau et les cheveux (extraits et charbon actif)	• Recherches limitées sur les propriétés bénéfiques et sur les potentiels effets néfastes dans de nombreux produits • Présence potentielle d'arsenic et de métaux lourds dans le produit final inconnue (conséquences inconnues en cas de contact avec la peau) • Coûts d'investissement élevés nécessaires pour l'équipement de pyrolyse (charbon actif)	✓	✓	✓

Utilisation	Applications potentielles	Défis potentiels	Initiatives caribéennes		
			Rec h.	Dév. com.	Com. tot.
Électrochimie	Carbones nanotexturés comme matériau d'électrode dans les supercondensateurs et les batteries lithium-ion	- Recherches limitées sur les sargasses pélagiques - Coûts d'investissement élevés nécessaires pour l'équipement de pyrolyse	✓	✗	✗
Restauration de l'environnement	Restauration de dunes côtières	L'application généralisée de cette solution est limitée lorsque les plages sont étroites et lorsque des constructions sont présentes, ce qui est souvent le cas dans les Caraïbes.	✓	✗	✗
	Séquestration du carbone (application potentielle pour gagner des crédits de carbone bleu, ex. : biochar, immersion dans les grands fonds océaniques)	- Coûts d'investissement élevés pour les équipements - Pour produire le biochar et pour couler les sargasses - Nécessité d'effectuer plus de recherches concernant l'utilisation du biochar sur différents types de sols - Le risque de créer des zones hypoxiques (zones mortes) dans les grands fonds océaniques doit être davantage étudié. - Manque de mécanisme de gouvernance pleinement développé et fonctionnel pour échanger les crédits de carbone bleu dans la région / pas de définition claire quant à la propriété des sargasses	✓	✓	✗
Aliments et boissons	Consommation directe - Actuellement non recommandée pour les humains	- Taux élevés de toxines, surtout d'arsenic et d'autres métaux lourds et polluants - Recherches et essais de sécurité inadéquats	✗	✗	✗
	Additifs pour aliments et boissons, et compléments alimentaires (extraits et charbon actif)	- Recherches insuffisantes sur le profil et les bénéfices des métabolites secondaires des sargasses pélagiques / - Coûts d'investissement élevés nécessaires pour l'équipement de pyrolyse	✓	✗	✗
Lubrifiants, tensioactifs et adhésifs	Biolubrifiant (extraits de sargasse)	Recherches insuffisantes sur les sargasses pélagiques	✓	✗	✗
	Bio-tensioactif (extraits de sargasse)	Les algues brunes peuvent être utilisées dans la production de tensioactifs, cependant les recherches sur l'utilisation des sargasses pélagiques pour cette application sont insuffisantes	✓	✗	✗
	Bio-adhésif (extraits de sargasse)	Les algues brunes sont étudiées pour connaître leur adéquation, cependant les recherches avec les sargasses pélagiques sont limitées	✓	✗	✗
Produits en papier	Produits en papier (biomasse de sargasses)	- L'attention est actuellement portée sur les papiers et les cartons artisanaux - Recherches insuffisantes sur la production industrielle de papier	✓	✓	✓
	Industrie de l'impression du papier (extraits d'alginate)	Les extraits issus des sargasses pélagiques peuvent être plus chers que les alternatives, ce qui augmente le coût du papier	✗	✗	✗

Utilisation	Applications potentielles	Défis potentiels	Initiatives caribéennes		
			Rec h.	Dév. com.	Com. tot.
Produits pharmaceutiques	Produits et applications pharmaceutiques et biomédicaux	• Les recherches se sont concentrées sur le potentiel des algues brunes mais, concernant les sargasses pélagiques, ces recherches sont limitées. • L'efficacité thérapeutique et la sécurité des extraits de sargasse pélagique restent inconnues.	✓	✗	✗

2.17.2 Quantité de sargasses nécessaires

D'après les études de cas de toute la région, où nous avons pu appliquer notre « indice de biomasse de sargasses », nous pouvons voir qu'une tonne métrique (1000 kg) de sargasses fraîches peut potentiellement être utilisée pour créer une large gamme de produits de valeur, comme illustré dans la Figure 4.

Bien qu'il s'agisse d'un indice relatif brut, il sert à illustrer les différentes échelles d'industrie (quantité de biomasse de sargasses pélagiques nécessaire) pour chaque produit potentiel, et aidera à déterminer quelles voies de valorisation sont à développer en fonction des objectifs et des conditions locales.



Figure 4. Diagramme présentant notre Indice brut de biomasse de sargasses afin d'illustrer les rendements qui pourraient être produits à partir d'une tonne métrique (1000 kg) de sargasses fraîches.



Section 3

Valorisation des sargasses : études de cas régionaux

3. Valorisation des sargasses : études de cas régionaux

De nombreux entrepreneurs et équipes de recherche dans la grande région Caraïbes ont travaillé d'arrache-pied au cours des dernières années pour lever des fonds et développer des entreprises et projets innovants afin de valoriser les algues sargasses. Dans cette section, nous présentons un grand nombre d'études de cas que nous avons pu connaître pour lesquels les auteurs étaient disposés à partager leurs informations et leurs conclusions avec ceux qui souhaitent saisir les opportunités que constituent les nouveaux afflux de sargasses pélagiques.

3.1 Focus sur les entrepreneurs locaux

Beaucoup d'entreprises innovantes de la région sont devenues des leaders dans ce secteur émergent et sont dirigées par de jeunes hommes et femmes d'affaire qui ont relevé le défi de trouver des usages avantageux des sargasses. Cette section est consacrée à leurs parcours. À travers leur expérience, ils partagent leurs réussites et leurs difficultés afin que nous puissions tirer des enseignements de leurs initiatives. La plupart des entrepreneurs qui font l'objet de ces études de cas ont déjà commercialisé leurs produits et pourraient élargir et répliquer leur filière de valorisation dans d'autres pays.

3.1.1 SARGABLOCK : blocs de construction [Mexique]

La vision

Omar Vázquez Sánchez a commencé à fabriquer des blocs de construction à partir de sargasses en 2015. Un soir, une idée lui traverse l'esprit et l'amène à reproduire la ferme traditionnelle en adobe de ces grands-parents, dans laquelle il a grandi. Avec les arrivées massives de sargasses sur la côte de Quintana Roo, au Mexique, Omar a l'idée de fabriquer des blocs de construction avec des algues. C'est ainsi que le projet innovant « SargaBlocks » est né. Avec 2 150 SargaBlocks au total, il a réussi sa mission de construire une reproduction de la ferme de ses grands-parents, qu'il a



Des rangées de SargaBlocks séchant au soleil



Omar Vázquez Sánchez et sa première maison en sargasses, *Casa Angelita*, construite avec les SargaBlocks.

baptisée *Casa Angelita*. La désormais célèbre *Casa Angelita* est située à Puerto Morelos, au Mexique, à la pépinière BlueGreen d'Omar. La maison a suscité beaucoup d'intérêt à travers la région et au-delà des frontières, et de nombreux voyageurs et journalistes sont venus pour apercevoir la première maison en sargasses.

Le procédé

Environ 20 tonnes de sargasses fraîches sont utilisées pour construire une maison comme la *Casa Angelita*. Au bout de cinq ans de production expérimentale de SargaBlocks, à la recherche de la technique idéale et du mélange parfait d'ingrédients pour constituer des blocs de grande qualité, Omar en est déjà à sa quatrième version améliorée. Chaque bloc écologique est fait à partir de 100 % de matériaux locaux et naturels, dont 40 % de sargasses. Conformément aux réglementations fédérales, ces blocs peuvent être utilisés dans la construction standard de bâtiments. Ils existent en deux dimensions standard : 30 x 15 x 12 cm et 40 x 15 x 12 cm, et coûtent environ 10 à 12 pesos par bloc (soit 0,42 à 0,51 USD). Non seulement les SargaBlocks ont subi une série de tests pour garantir leur durabilité et leur résistance, mais ils sont aussi très esthétiques et présentent d'excellentes propriétés acoustiques et isolantes. La résistance des murs construits avec des SargaBlocks varie entre 75 et 110 kg/cm².



Employé montrant un SargaBlock, avec la presse industrielle en arrière-plan

Au départ, les SargaBlocks étaient fabriqués manuellement à Puerto Morelos et son rythme de production était d'environ 3 500 SargaBlocks par semaine. Cependant, en raison de la demande croissante en sargasses comme matière première dans la région et après quelques désaccords concernant la manipulation des algues, il a décidé de prendre ses distances et d'établir la production de SargaBlocks plus loin, à environ 320 kilomètres au sud de Puerto Morelos, dans une zone où il n'y a aucun problème avec la disponibilité ou la manipulation des sargasses. Le taux de production a pu s'accroître jusqu'à produire 2 000 SargaBlocks par jour avec l'achat d'une presse industrielle personnalisée. Les blocs doivent sécher pendant environ 4 heures avant utilisation ou stockage pour un usage ultérieur.

Solidarité

Omar n'a pas eu une éducation facile et sait ce que c'est d'avoir des difficultés financières. Jeune garçon, il a traversé la frontière américaine avec sa mère, en quête



Affiche présentant l'innovation SargaBlock

d'une meilleure vie, un voyage dans des conditions difficiles. Pendant de nombreuses années, il a travaillé dans la région viticole de la Californie où il s'est forgé une expérience dans la production végétale. Il a toujours eu le rêve de revenir vivre au Mexique, un jour, et de contribuer de façon significative au développement de son pays et de sa population. Omar a le sens du respect et un sentiment fort d'appartenance à sa famille et à sa communauté. Il s'engage auprès des familles et des écoles qui ont peu de ressources en construisant et en faisant don de logements abordables. Omar collabore aussi à la construction d'immeubles en SargaBlocks à Tulum et de maisons à San Pedro et à Ambergris Caye au Belize.

3.1.2 SARGANICO : Papier à base de sargasses [Mexique]



Créée en mars 2019, Sargánico est une entreprise située à Cancún, au Mexique. Elle est spécialisée dans le développement de produits en papier et en carton à base de sargasses. La jeune entrepreneure, Victoria Morfín, 18 ans, est la PDG visionnaire de Sargánico.

Après avoir ressenti de la frustration en voyant des centaines de carnets et de brochures jettés à la poubelle à la fin de chaque année scolaire à Cozumel, Victoria et sa mère ont créé une petite entreprise appelée « Chibi Book ». Elles créaient et faisaient la promotion de carnets recyclés, artisanaux et personnalisés. Elles ont remarqué que le papier artisanal avait besoin de plus de cellulose et, en 2018, après avoir vu

d'énormes

quantités de sargasses amoncelées sur les plages, Victoria a décidé d'essayer de les incorporer à ses ingrédients. C'est alors qu'elle s'est aperçue que les sargasses constituaient une bonne source de cellulose. Au bout de plusieurs mois d'essais et d'expérimentations avec différents mélanges et modèles, elle a réussi à développer une bonne formule pour traiter l'algue et la transformer en articles de papeterie, à la fois pratiques, utiles et esthétiques. Elle a également testé les filtres à cigarettes usagés pour ajouter de la texture au papier tout en contribuant au nettoyage des magnifiques plages de l'île de Cozumel.



Exemples de produits artisanaux en papier de Sargánico

Un partenariat solide

C'est après une interview télévisée que Grupo Regio, une importante société de marketing et d'impression, avec des bureaux à Cancún, Miami et Punta Cana, s'est intéressée à Chibi Book et au papier



Sargánico et Grupo Regio font équipe

à base de sargasses. Une proposition de partenariat s'en est suivie. C'est ainsi qu'est née la société Sargánico, une nouvelle aventure au sein du Grupo Regio, avec laquelle elle continue de développer ses produits artisanaux et respectueux de l'environnement, tout en explorant de nouvelles opportunités et en développant son entreprise.

Innovant et écologique

Victoria a développé une vaste gamme de produits à base de papier comme des carnets, des agendas, des portes-dossiers, des sous-verres, des porte-menus, des cartes de visite, des boîtes, etc. Toute la ligne de produits de Sargánico est présentée comme respectueuse de l'environnement et doit permettre de contribuer au retrait des algues sargasses sur les plages et à leur traitement de manière innovante et durable. Sargánico annonce, qu'en un an, plus de 7 tonnes de sargasses ont été traitées et plus de 6 tonnes de papier ont été recyclées. La plupart des carnets produits ont du carton à l'extérieur (20 % de papier recyclé et de 80 % de sargasses), et des feuilles en papier 100 % recyclé à l'intérieur. Si l'on considère qu'il faut environ 17 arbres pour produire une tonne de papier, Sargánico est fière d'avoir épargner 100 arbres pendant sa première année d'activité. En outre, alors que la fabrication du papier requiert généralement de grandes quantités d'eau pour le procédé (100-150 litres), le principal objectif de Sargánico est d'être responsable sur le plan environnemental. C'est pourquoi la société réutilise jusqu'à quatre fois l'eau. Pour les carnets colorés, Sargánico utilise du papier coloré recyclé ou des teintures naturelles à base de plantes. L'objectif de Sargánico est d'offrir des produits ayant un faible impact environnemental et de permettre à ses clients de faire des choix durables.



Victoria Morfin, fondatrice et PDG de Sargánico

Procédé

Les sargasses sont récoltées à la main un jour par semaine et par trois personnes. Une fois les sargasses collectées, elles sont



Victoria en train de fabriquer du papier à base de sargasses

nettoyées pour enlever le sable, puis traitées pour produire le papier manuellement. Le sable qui est retiré de l'algue est ensuite ramené sur la plage. Sargánico produit actuellement 200 carnets par semaine, ce qui correspond à 500 feuilles de papier par jour, et à environ 100 kg de sargasses séchées par jour. En moyenne, 200 g d'algue sont nécessaires pour chaque sous-verre et jusqu'à 2 kg pour les grands carnets. Pour

sensibiliser le public sur l'utilisation des sargasses, Sargánico indique la quantité d'algue utilisée sur chaque produit.



Sargánico indique sur chaque produit la quantité de sargasses utilisées pour le fabriquer.

3.1.3 EnergyAlgae : initiative multisectorielle et multinationale développant des utilisations durables des sargasses [République dominicaine]

Partenaires : AlgeaNova, Grupo Puntacana, Université APEC (UNAPEC) de la République dominicaine et Y.A. MAOF Holdings & Management Ltd. en Israël

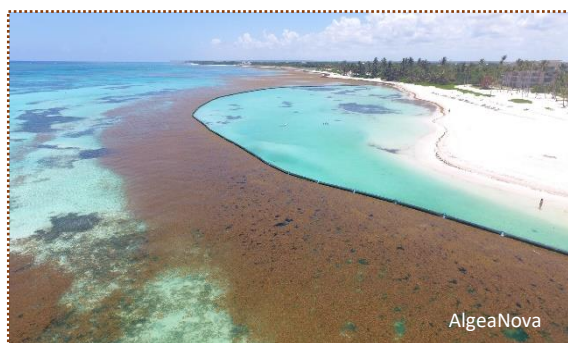
D'après le ministère du Tourisme de la République dominicaine, la destination touristique populaire de Punta Cana a reçu 6,5 millions de touristes en 2018 et abrite plus de 100 hôtels. Alors qu'il était en vacances à Punta Cana avec sa famille en 2018, Ygdal Ach, fondateur et PDG de Y.A. MAOF a été surpris par la quantité d'algues échouées sur les plages locales et par le manque d'initiatives locales permettant de transformer ce problème en opportunité. La société



L'équipe d'EnergyAlgae

israélienne s'est rapprochée du Groupe privé Puntacana, qui regroupe 10 entreprises (hôtels, aéroport, village commercial, école, etc.), pour développer un partenariat avec la multinationale AlgeaNova et une université privée de Saint-Domingue, l'Université APEC. Le projet EnergyAlgae a été créé à partir de ce partenariat. Avec les quantités croissantes de sargasses s'accumulant sur les plages immaculées de Punta Cana et l'annulation des réservations par les touristes, le Groupe Puntacana a accepté la proposition de s'engager dans une aventure collaborative et d'utiliser une part de ses fonds pour essayer de lutter contre les échouages massifs des sargasses et de développer la résilience au sein des communautés côtières. Grâce aux efforts de tous les partenaires, c'est le premier projet multinational et multisectoriel innovant à offrir une approche globale de la gestion des sargasses. Bien que le projet en soit encore à ses premières phases en matière de traitement des sargasses, il peut être élargi et reproduit dans d'autres pays et peut s'adapter aux conditions et aux populations locales.

Collecte et traitement



La barrière flottante d'AlgeaNova à Punta Cana retient les sargasses, qui ne s'échouent pas sur les plages et qui sont prêtes à être collectées.



Vue sous-marine de la barrière flottante AlgeaNova retenant des sargasses

AlgeaNova est partenaire du groupe multinational HoldiNova, qui se compose de nombreuses organisations réparties dans plusieurs pays (Royaume-Uni, Émirats arabes unis, Maroc et République dominicaine). La société AlgeaNova, située à Punta Cana (République dominicaine) se spécialise dans les barrages anti-sargasses et développe, depuis 2018, des solutions innovantes pour collecter les sargasses en mer, entretenir, traiter, valoriser et protéger l'environnement marin. En collaboration avec le groupe hôtelier Grupo Puntacana, AlgeaNova a installé 4,2 km de barrières flottantes anti-sargasse durables en décembre 2018. Ces barrières garantissent des plages et des côtes sans sargasses et contribuent à préserver non seulement les secteurs de l'hôtellerie et du tourisme mais aussi les écosystèmes fragiles des plages et la pêche traditionnelle. Pendant plusieurs années, le groupe a investi près d'un million d'euros dans la recherche et le développement afin de trouver une réponse adaptée au problème des sargasses et, selon lui, a développé la solution tout-en-un la plus efficace pour les sargasses, de la collecte au traitement. Les barrages ont l'avantage de pouvoir être démontés facilement et rapidement en cas d'ouragan ou de conditions météorologiques extrêmes. Le succès d'AlgeaNova a permis à l'équipe d'offrir ses services à travers les Caraïbes et, en novembre 2019, la société a commencé le processus d'installation d'un barrage de 2,2 km au Moon Palace Resort à Cancún, au Mexique, et a conclu un contrat d'un an

garantissant une plage sans sargasses, ainsi que la collecte en mer à l'aide de bateaux spécialisés. Tous les partenaires d'EnergyAlgae ont signé un accord pour la coordination conjointe de leurs activités, non seulement en République dominicaine mais aussi pour de futurs projets, dans d'autres territoires à travers les Caraïbes.

Les bateaux d'AlgeaNova peuvent collecter 100 à 130 tonnes de sargasses en mer par jour. La société



Le bateau de collecte de sargasses d'AlgeaNova travaille à l'extérieur du barrage anti-sargasses.

souhaite acquérir un nouveau bateau pouvant collecter jusqu'à 500 tonnes/jour dans un avenir proche. AlgeaNova a conclu un contrat de service avec les hôtels du Grupo Puntacana, qui inclut l'entretien du barrage, la collecte, le transport et le traitement des sargasses. Cette mesure préventive appliquée à une courte distance du rivage garantit l'absence, ou presque, d'échouage de sargasses sur les plages des hôtels et sur d'autres plages populaires. Bien que les algues soient désormais efficacement retirées de la zone littorale à l'aide des

barrages et des bateaux de collecte, l'équipe a continué de développer des partenariats et des collaborations avec d'autres acteurs internationaux pour trouver des solutions innovantes et durables de valorisation des sargasses collectées.

Biogaz

En octobre 2019, un projet pilote de biogaz expérimental a été développé sur le site de transformation du Grupo Puntacana. Le projet collaboratif EnergyAlgae est dirigé par la société israélienne Y.A. MAOF et ses spécialistes de la gestion des déchets solides. Un système composé de cinq petites unités de méthanisation (HomeBiogas) a été installé pour tester différents mélanges de sargasses et de déchets organiques provenant des hôtels, et ainsi optimiser le rendement en biogaz. L'expérimentation, le suivi, la logistique, la coordination et le développement commercial de ce projet sont réalisés en collaboration avec l'Université APEC. Les sargasses sont collectées et fournies par Grupo Puntacana et AlgeaNova. Les déchets solides sont fournis, collectés et séparés par Grupo Puntacana et Eco Services.



Projet pilote de biogaz à Punta Cana, en partenariat avec l'Université APEC



Affiche informative sur les sargasses dans le cadre du projet d'énergie pilote d'EnergyAlgae

Ce projet pilote servira de base pour la mise en place d'une centrale de biogaz par co-digestion de 1 MW à Punta Cana, qui utilisera les sargasses et déchets alimentaires comme matière première, une installation qui peut être reproduite à travers la Caraïbe. L'installation devrait recevoir environ 28 000 tonnes par an de sargasses et 32 000 tonnes par an de déchets alimentaires organiques pour générer 1 MW d'électricité. L'électricité et la chaleur qui seront générées seront réinjectées dans le réseau et ainsi utilisées dans toute la zone de concession. L'électricité dans cette zone est fournie par la société « Corporación Turística de Servicios Punta Cana » (CTSPC), qui est un fournisseur d'électricité appartenant au Grupo Puntacana. Pour éviter

toute baisse de production d'énergie, plusieurs problématiques doivent être considérées et des solutions identifiées avant la mise en œuvre d'une centrale électrique de plus grande envergure. Ces problématiques sont la teneur en sable et en sel des sargasses et la contamination par le plastique dans le digestat. De grandes quantités de sel peuvent réduire le rendement en méthane. Le digestat produit par le système sera traité et utilisé localement comme compost, là où la demande est très forte.

Bien que l'équipe de Y.A. MAOF Holdings & Management ait sa propre expertise en matière de recherche et développement, d'ingénierie, de contrôle, de transformation et de gestion des matières premières du biogaz, elle s'est associée à d'autres experts comme MADEI TAAS et ANAERGIA. L'expérience cumulée de l'équipe d'experts de Y.A. MAOF doit permettre de garantir le succès et la pérennité de ce premier projet de biogaz à Punta Cana :

- Y.A. MAOF fournit des services environnementaux de grande qualité et se spécialise dans la gestion et le recyclage des déchets, et dans la supervision de projets environnementaux. MAOF collabore avec de nombreuses parties prenantes, notamment les autorités municipales et gouvernementales, des sociétés privées et des ONG. Sa position unique en fait un acteur majeur dans le secteur environnemental israélien, qui intègre le traitement des déchets, les technologies innovantes et la protection de l'environnement.
- Se basant sur sa grande expérience dans l'entrepreneuriat environnemental, MAOF initie et participe sans cesse à de nombreux projets et processus de réglementation en Israël. La société a joué un rôle central dans les processus législatifs et politiques qui promeuvent la standardisation environnementale et la suppression des barrières bureaucratiques et économiques.



Des membres de l'équipe d'experts de MOAF expliquant le fonctionnement de la centrale de biogaz pilote.

- Elle bénéficie d'une vaste expérience et d'un grand savoir-faire dans le développement, la promotion et la mise en œuvre de systèmes réglementaires de soutien, qui sont intégrés à tous les projets de l'entreprise.
- Le fondateur et PDG a plus de 20 ans d'expérience dans les services environnementaux, spécialisés dans le traitement, la gestion, le recyclage des déchets, dans la réhabilitation des paysages, des terres dangereuses, des sols contaminés, etc.
- Le responsable du projet est l'ancien Directeur général adjoint du ministère israélien de la Protection environnementale et le Chef de l'extension du MASHAV à l'Institut Arva. Il était également le principal investigateur d'un vaste projet de centrales de biogaz à petite échelle destinées à assister les communautés de Bédouins non raccordées au réseau.
- L'expert ingénieur principal a de l'expérience dans le biogaz et la gazéification à petite, moyenne et grande échelle, suite à différents projets de valorisation énergétique des déchets à travers le monde.
- Les deux principaux experts eau et mer ont une expérience unique et vaste. L'un est l'ancien président de l'Association israélienne de l'eau et l'autre est un spécialiste du milieu marin, ancien cadre supérieur du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE).



Des membres de l'équipe d'experts de MOAF

Amendements organiques

En mars 2018, AlgeaNova a signé un accord avec Grogenics, une société canadienne de biotechnologie, pour le développement et l'installation d'une centrale de traitement mobile destinée à transformer les sargasses en compost organique, et pouvant être facilement reproduite dans d'autres pays caribéens. La transformation des sargasses en compost a commencé en juin 2019 selon une formule développée par Grogenics : 60 % de sargasses et 40 % de déchets verts, inoculés avec du lixiviat de vermicompost. AlgeaNova a également développé un paillis pour jardin, composé de 100 % de sargasses.



Site de compostage des sargasses à Punta Cana



Assiettes à usage unique biodégradables, à base de sargasses et de manioc, fabriquées à Punta Cana

Bioplastiques

AlgeaNova a également signé un contrat avec Biotrem, une société polonaise, pour développer et produire des assiettes à usage unique avec 100 % de matières biodégradables, composées d'un mélange de 50 % de sargasses et de 50 % de manioc. Chaque assiette contient environ 45 g d'algues séchées. Les machines brevetées de la société peuvent produire 2 000 assiettes par jour.

3.1.4 Red Diamond Compost : Biostimulant pour plantes à base de sargasses [Barbade]



Joshua Forte faisant la promotion des produits organiques Red Diamond

Joshua Forte est un jeune professionnel de la gestion environnementale qui explore des solutions innovantes aux crises environnementales de la région. Basé à la Barbade, Joshua a élargi ses connaissances et son expérience au-delà de l'agriculture en explorant les solutions de dépollution de l'environnement. Il a occupé différents postes au sein du Caribbean Centre of Excellence for Sustainable Livelihoods, et a reçu une subvention de développement commercial du Caribbean Climate Innovation Centre pour ses résultats environnementaux avec le lancement de Red Diamond Compost, une entreprise de biotechnologie créée en 2014. Red Diamond Compost a participé à plusieurs concours et sommets régionaux et internationaux sur l'entrepreneuriat et les technologies durables. Joshua pense que chaque individu a le droit d'accéder à de la nourriture saine et nutritive, c'est pourquoi la mission de Red Diamond est de redonner vie et de revitaliser les sols à travers la Caraïbe, en fournissant des traitements organiques et biologiques

pour le sol ainsi que des solutions de protection des cultures.

Les produits Red Diamond sont faits principalement à partir de résidus de déchets organiques et d'autres matières organiques comme les sargasses. En raison des afflux massifs de sargasses, Joshua a décidé de retarder d'autres plans de développement de produit pour se consacrer à ce défi. Au bout de deux ans d'essais, et d'erreurs, Red Diamond Compost a réussi à produire son premier produit destiné à tester le marché. Connu sous le nom de « Super Seaweed Biostimulant », ce concentré organique liquide stimulerait la croissance des plantes et des racines ainsi que leur système immunitaire, améliorerait la couleur et l'apparence globale, augmenterait l'absorption des nutriments et stimulerait l'activité microbienne du sol. Cette stimulation donnerait lieu à des produits plus goûteux et à des plantes plus résilientes face au stress, aux organismes nuisibles et aux maladies.



Biostimulant Super Seaweed de Red Diamond Compost à base de sargasses



Joshua avec de grandes quantités de sargasses accumulées sur une plage de la Barbade

de processus automatisés. À ce jour, il utilise 90 kg de sargasses séchées pour produire environ 300 litres de biostimulant, dont un tiers est vendu à de petites exploitations agricoles et à des jardiniers amateurs. Le développement et la production à petite échelle ont suffi pour susciter l'intérêt de responsables de terrains de sport et des gestionnaires fonciers des hôtels les plus prestigieux de la Barbade, ainsi que celui des jardiniers amateurs. Les défis liés à l'augmentation de la capacité de fabrication, pour utiliser 50 tonnes humides de sargasses par jour, étaient tout d'abord

les coûts de récolte et de transport jusqu'à l'installation de transformation. En outre, pour gérer le risque environnemental inhérent aux bioaccumulateurs que sont les algues, des mesures proactives ont été prises en termes de formulation pour se prémunir contre une éventuelle teneur excessive en métaux lourds ou autres contaminants indésirables dans le produit final. Bien qu'il soit toujours nécessaire d'effectuer des tests approfondis dans ce domaine, Red Diamond Compost s'engage à assurer en permanence la sécurité humaine et animale de Super Seaweed et de tous ces produits finaux. Pour identifier des solutions adaptées à ces problèmes, le principal défi était l'accès au financement, nécessaire pour acquérir des machines. Les instituts financiers sont plus réticents quand il s'agit d'appuyer une

entreprise qui opère dans un nouveau secteur inexploré. Bien que certaines régions d'Afrique aient fait part d'un grand intérêt par le biais du Réseau africain des incubateurs d'entreprises agroalimentaires, il reste toujours un obstacle financier local à surmonter. Comme les sargasses ont un impact négatif sur les côtes caribéennes, du Mexique et de l'Afrique de l'Ouest, les plans de Red Diamond Compost prévoient l'exportation du modèle de production vers ces régions, ainsi que la production de sous-produits destinés à l'alimentation animale.

3.1.5 Chaussures Ocean de Renovare : une stratégie marketing réussie en faveur des sargasses [Mexique]



Présentation d'une chaussure Ocean de Renovare, fabriquée avec des matières recyclées, notamment des algues

Fondée en 2014 et basée à León, au Mexique, Renovare utilise des matériaux recyclés pour créer des chaussures uniques tout en sensibilisant à l'environnement et à l'empreinte écologique. Les fondateurs Jorge Castro et Mario López sont de jeunes entrepreneurs fervents défenseurs de l'environnement, et passionnés par le recyclage, la réduction des consommables et la réutilisation de matériaux. Troisième génération de cordonniers, Jorge est impliqué dans l'entreprise depuis sa plus tendre enfance. Avec une formation en gestion d'entreprise et en marketing, Jorge et Mario forment une parfaite équipe pour faire prospérer l'entreprise familiale.

Sensibilisation environnementale

Soucieux des enjeux liés à la pollution et au changement climatique, ils ont décidé de créer des chaussures éco-responsables en utilisant des bouteilles en plastique PET recyclées et des déchets organiques. Au bout de 10 années d'essais jalonnées d'échecs, ils ont réussi à créer une ligne de chaussures écologiques. L'objectif de Renovare est de démontrer le potentiel des produits recyclés et renouvelables dans notre quotidien, et de promouvoir un mode de vie durable. Renovare souhaite sensibiliser le public sur le fait que 25 % seulement des 480 milliards de bouteilles en plastique produites chaque année sont recyclées, et que des millions d'espèces marines sont touchées et meurent à cause du plastique jeté dans la nature. En outre, avec les très grandes quantités d'algues sargasses qui s'amoncellent sur les côtes caribéennes du Mexique, Renovare voulait jouer un rôle actif dans la recherche de solutions à cette problématique sérieuse et, au bout de 8 mois d'essais, a créé et présenté en mars 2019 la première chaussure faite à

partir de sargasses et de bouteilles en plastique. Par le biais de la Renovare Foundation, la société a lancé une campagne en faveur de la protection des océans et s'est engagée à verser 10 % de ses bénéfices pour soutenir des groupes impliqués dans le nettoyage de l'océan, tels que Plastic Ocean, et pour contribuer à la création d'un centre pour les jeunes entrepreneurs.

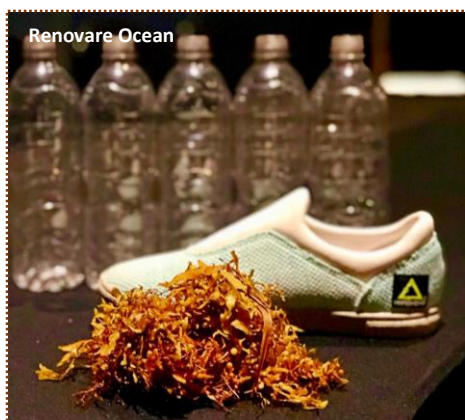
Procédé et partenariats

Pour le développement de sa ligne de chaussures, Renovare utilise des peaux naturelles traitées, des produits à base de végétaux, des bouteilles en plastique, des sargasses et des adhésifs à base d'eau. La société a réalisé plus de 50 essais de résistance pour s'assurer de la grande qualité et de la durabilité de la chaussure. Chaque paire de chaussure est faite avec cinq bouteilles en plastique et 100 g de sargasses séchées pour les semelles. Avec, pour l'heure, un taux de production mensuel de plus de 20 000 paires de chaussures, la société utilise environ deux tonnes de sargasses fraîches par mois. La société compte actuellement 60 employés et envisage de doubler et même tripler sa production dans un avenir proche. Renovare étant basée à León, à environ 2 000 km de Cancún, elle s'est associée au Moon Palace Resort pour l'approvisionnement en sargasses séchées. Lorsque les algues séchées arrivent dans les locaux de Renovare, il est nécessaire de les nettoyer et de retirer le sable, les coraux, le plastique et d'autres impuretés. Après le broyage, l'algue est mélangée avec des polymères injectés ou moulés pour faire les semelles des chaussures.

Mais, compte tenu des coûts élevés du transport jusqu'à León, revenant à environ 1 300 USD par tonne, Renovare a réussi à établir un partenariat avec FedEx, qui couvrira les frais de transport de 10 000 tonnes de sargasses. La société s'est agrandie et s'est associée à Benjamín López, qui a contribué au succès de l'entreprise.



Équipe Renovare Ocean (Benjamín López, Mario López et Jorge Castro)



La chaussure écologique Ocean de Renovare, fabriquée à partir de bouteilles recyclées et d'algues sargasses

La stratégie

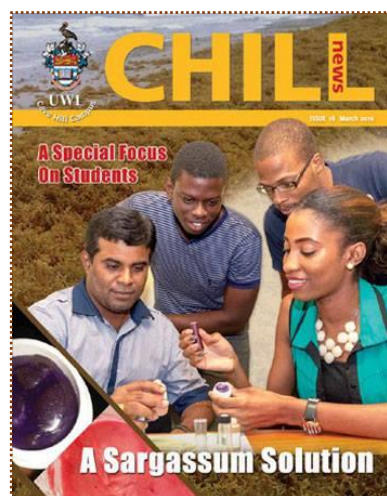
Bien que Renovare n'ait identifié aucun avantage structurel pour les chaussures ou les semelles en lien avec l'ajout de sargasses, elle a quand même décidé d'utiliser cette algue selon une approche en deux volets : 1) une stratégie marketing pour faire gagner la marque en popularité et ainsi accroître les recettes et les bénéfices et 2) sensibiliser le public aux problématiques environnementales croissantes liées à aux échouages massifs des sargasses et à l'utilisation de bouteilles en plastique.

3.1.6 OASIS Laboratory : produits de soin et de beauté à base de sargasses [Barbade]



Barres de savon d'Oasis Laboratory contenant des algues sargasses

Fondée en mars 2018 Oasis Laboratory est une société basée à la Barbade et spécialisée dans les produits naturels d'hygiène personnelle de qualité supérieure et respectueux de l'environnement. Les deux jeunes fondateurs sont les chimistes Kemar Codrington et Mikhail Eversley, tous deux diplômés de l'Université West Indies. Leur idée est née en 2015 lorsque d'importants volumes de sargasses se sont échoués sur les côtes de la Barbade. Pendant leurs études à l'université, Kemar et Mikhail ont assisté la chimiste Tiffany Husbands dans son projet de premier cycle, supervisé par le Dr Popuri du département de chimie, dont l'objectif était de trouver des solutions à ce problème touchant toute la région. Dans le cadre de ce projet, ils ont extrait l'alginate de sodium des sargasses afin de déterminer ses propriétés chimiques et ses utilisations potentielles (ex. : émulsifiants, stabilisants, épaississants, etc.). Ils ont également travaillé avec d'autres plantes locales afin de déterminer leurs propriétés pour les cosmétiques : l'arbre à pain, le tamarin, l'aloë vera, la noix de coco, le pourpier, la citronnelle, le gombo, etc. Selon Kemar et Mikhail, les sargasses sont une mine d'or pour les soins cutanés car cette algue a d'excellentes propriétés : elle est anti-âge, anti-inflammatoire, antibactérienne, ultra-hydratante, exfoliante, tonifiante, etc.



CHILL magazine (Université West Indies, Campus de Cave Hill) présentant le Dr Popuri et son équipe travaillant sur les sargasses



Kemar Codrington et Mikhail Eversley,
fondateurs et directeurs d'OASIS Laboratory

En 2018, les algues sargasses sont revenues en masse sur les côtes de la Barbade et c'est à ce moment que les membres de l'équipe ont uni leurs connaissances et leur volonté pour appliquer une potentielle solution à l'invasion des sargasses : Oasis Laboratory était née. Leur souhait était de mettre leurs compétences et leurs capacités à profit et d'encourager d'autres jeunes scientifiques à suivre la voie de l'entrepreneuriat. Les deux jeunes entrepreneurs ont créé deux marques phares : 1) Ocean by Oasis, une ligne de produits sur le thème de l'océan et à base de plantes, notamment de sargasses et 2) Nature's Melanin, une ligne qui promeut les plantes locales, l'estime de soi et le patrimoine barbadien. Oasis laboratory a développé

différents types de savons, masques détoxifiants, baumes à lèvres, crèmes, beurres corporels, sérums, dentifrices en poudre, produits capillaires, gommages, déodorants, bijoux de sargasses, sacs à main et plusieurs autres produits. Selon Oasis Laboratory, tous leurs produits sont naturels et sans danger car les sargasses ont subi un traitement avant d'être transformées. La quantité de sargasses dans chaque produit peut varier mais, en moyenne, les barres de savon contiennent environ 5 g d'algues séchées.



Mikhail et Kemar présentant leurs produits à la Première ministre de la Barbade, Mia Amor Motley.

Les quatre grands piliers d'Oasis Laboratory sont : le patrimoine de la Barbade, l'innovation, la nature et la durabilité. Oasis Laboratory veut offrir à ses clients un meilleur choix de produits d'hygiène personnelle et promouvoir, éduquer et sensibiliser le public sur l'utilisation de produits de soin locaux, naturels et respectueux de l'environnement. Son objectif est d'utiliser des plantes cultivées localement et d'autres matières premières locales pour fabriquer ses produits respectueux de l'environnement et

durables. Pour promouvoir le patrimoine barbadien, ses produits portent des noms qui mettent les plages de la Barbade à l'honneur. Dans un avenir proche, les fondateurs d'Oasis Laboratory voudraient faire de leur entreprise un établissement d'analyse et de recherche moderne et un centre régional dédié à la science et à la technologie.

3.1.7 SALGAX : biotechnologie marine appliquée [Mexique]



Mauricio Gómez, fondateur et directeur de SALGAX



Engrais à base de sargasses, développés et commercialisés par SALGAX

SALGAX est une société fondée en 2015, basée à Mérida, au Mexique, et spécialisée dans la biotechnologie marine et la transformation des sargasses. Cette société basée au Yucatán se consacre à la recherche et au développement de produits biotechnologiques innovants dérivés de l'environnement marin. Les produits qu'elle a développés sont des engrais naturels, du paillis, des cosmétiques (traitements capillaires), du papier, des vernis, etc.

Les visionnaires à l'origine de SALGAX sont Mauricio Gómez, un biologiste marin de 30 ans, responsable de la transformation, de la recherche et du développement de produits, et Dayre Catzim, 26 ans, la directrice administrative responsable des ventes et des achats. La curiosité de Mauricio et sa volonté d'expérimenter et de développer des produits d'origine marine l'ont amené à étudier des usages potentiels pour les grandes quantités de sargasses et d'autres macroalgues qui s'accumulent sur les plages. En janvier 2015, au bout de quelques mois d'expérimentations, Mauricio a présenté, avec succès, un premier prototype d'engrais foliaire à base d'algues à l'ExpoCampo Yucatán. Après de nombreux essais et échecs, SALGAX a peaufiné ses produits et a participé, en octobre 2017, au programme Reto Emprendedor (concours d'entrepreneurs) au cours duquel la société a remporté la première place.



Papier 100 % sargasse en cours de développement par SALGAX

En 2019, SALGAX a reçu le soutien indispensable d'un homme d'affaires au parcours et à l'expérience solides, qui croit fermement aux deux jeunes entrepreneurs, en leurs idées et en l'entreprise. Grâce à ce partenariat, SALGAX a pu développer un papier 100 % sargasses, qui sera bientôt commercialisé.

SALGAX, qui commercialise ses engrais organiques foliaires depuis 2015, compte actuellement plus de 20 distributeurs à travers le Mexique et utilise 20 tonnes de sargasses fraîches par mois. Les produits sont vendus directement aux pépinières, aux jardiniers amateurs et aux agriculteurs (surtout pour la production de maïs, de citron et de cacao). La collecte d'algues est réalisée manuellement sur les plages voisines et la transformation a lieu à Mérida au moyen de techniques respectueuses de l'environnement. Salgax s'assure que ses produits finaux sont testés régulièrement pour vérifier leur composition

nutritionnelle et leur teneur en métaux lourds afin d'éviter tout élément dangereux comme l'arsenic inorganique.

3.1.8 NUM SMO Technologies (NST) : une unité mobile respectueuse de l'environnement pour transformer les sargasses [Guadeloupe]

La société NUM SMO Technologies s'est tournée vers le crowdfunding afin de lever des fonds suffisants pour installer un four à micro-ondes solaire (SMO) sur un site d'Anse-Bertrand en Guadeloupe, en 2020, et ainsi valoriser les sargasses et d'autres biomasses. Le procédé breveté du four à micro-ondes solaire actif (Active-SMO) est considéré comme un procédé respectueux de l'environnement pour la valorisation des déchets. L'énergie solaire est utilisée pour transformer la biomasse et les déchets organiques en produits finaux de grande valeur



Le four solaire à micro-ondes (solar microwave oven, SMO) de taille industrielle pour la valorisation de la biomasse organique et des déchets organiques

comme la poudre de charbon, le charbon actif, le biochar, le biogaz, tout en absorbant le dioxyde de carbone. Cette innovation a été développée pour trouver une solution durable permettant de produire du charbon de grande qualité avec des technologies adaptées à « faibles coûts », en utilisant différentes sources de biomasse, tout en réduisant la quantité de gaz à effet de serre émise pendant le procédé.

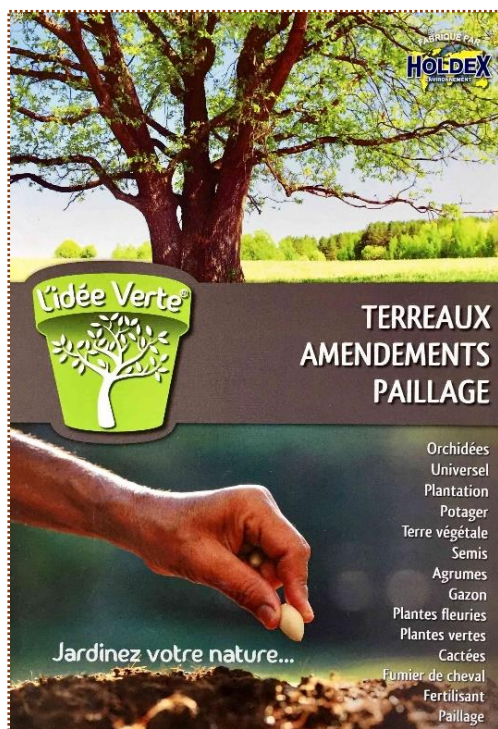
Le procédé Active-SMO se compose de quatre étapes de transformation : la granulation, la pyrolyse solaire, la gazéification et le conditionnement. NST a établi un partenariat avec une société marocaine pour donner vie à Peps (Pour Et Par le Soleil) et, depuis février 2014, cette innovation est testée à Marrakech au Maroc. La société a pu valoriser 27 tonnes de déchets ménagers par jour. NST a été fondée en Guadeloupe en 2009 par des partenaires ayant des expertises et des formations complémentaires dans le domaine de la science, de l'énergie et du génie civil. L'expertise de NST allie une approche synergique de la séquestration de CO₂, du traitement des déchets, de la production et du stockage de l'énergie, en ligne avec les stratégies actuelles d'atténuation des impacts liés au changement climatique.

Avec la mise en œuvre du premier site pilote dans la Caraïbe (Guadeloupe), les sargasses et d'autres biomasses seront utilisées comme matière première pour produire du charbon actif, de la poudre de charbon et du biochar. La société prévoit de produire 11 000 tonnes de charbon actif et 22 000 tonnes de poudre de charbon et de biochar chaque année. Ces produits seront potentiellement vendus aux municipalités, pour le traitement des eaux usées.

Le système Active-SMO de NST semble judicieux pour gérer la biomasse de sargasses en raison de sa balance environnementale positive, de sa mobilité, de son adaptabilité et de sa polyvalence en termes

d'entrants (déchets et biomasse) et de production (électricité, charbon actif, biochar). La société estime qu'avec 108 tonnes de sargasses par jour, son système pourrait produire 50 MWh d'électricité et 22 tonnes de charbon actif par jour.

3.1.9 Holdex Environnement : Co-compostage des sargasses [Martinique]



Holdex Environnement est une société basée en Martinique qui est spécialisée dans la gestion des déchets organiques. Depuis 2007, elle a produit un grand nombre d'amendements de sol biologiques destinés à l'agriculture et à l'horticulture. Elle a collaboré avec différents projets financés en France, notamment le projet ECO₃SAR, financé par l'ADEME et l'Université des Antilles. Une étude exhaustive a été menée pendant plusieurs années en collaboration avec la société Holdex pour le co-compostage à grande échelle d'algues sargasses et la commercialisation des produits finaux à la qualité contrôlée. Des résultats très prometteurs ont été obtenus et, en effet, Holdex commercialise déjà un compost à base de sargasses en Martinique (avec une teneur d'environ 10 % de sargasses) par le biais de la gamme de produits « L'idée Verte ». Au total, trois sociétés en Martinique ont été autorisées à produire du compost à base de sargasses : Holdex, Idex et Société Martiniquaise des Eaux. Pour chacune d'entre elles, la composition de chaque lot de compost

produit est analysée pour déterminer les taux de sel et de métaux lourds ainsi que la composition du produit.

Holdex Environnement est spécialisé dans la production de composts à partir de déchets organiques verts comme la bagasse de canne à sucre, le fumier de poule, les coquilles d'œuf et d'autres matières. Pendant plus de sept ans, la société a entrepris des recherches sur le co-compostage des sargasses, ce qui l'a conduit à s'adapter et à résoudre plusieurs problématiques liées au compostage de cette matière première (ex. : teneur en sable, en sel, en pesticides et en métaux lourds). Ses produits doivent être analysés et les résultats communiqués aux autorités, conformément aux réglementations strictes sur le droit de transformation et de commercialisation :



Mike Bernus montrant le compost produit par Holdex

- Norme NFU 44-051 : concentration maximale des composés dans les amendements biologiques, notamment de l'arsenic, à 18 mg/kg de matière sèche ;
- Norme NFU 44-551 : composition du substrat de croissance.

Holdex utilise les sargasses pour produire son compost, principalement en raison de son importante source en oligo-éléments et de sa capacité à améliorer les micro-organismes. La société détient plusieurs brevets liés à ses méthodes de transformation pour obtenir un compost et des amendements de sol de grande qualité. Elle prévoit de transformer au total 30 000 tonnes de sargasses par an.

3.2 Recherches en cours

Le secteur émergeant de la recherche est particulièrement dynamique avec de nombreux nouveaux projets qui voient le jour. Nous présentons ici une sélection d'études portant sur différents types d'usages, notamment des projets récents qui ont bénéficié de financements pour la recherche.

3.2.1 Charbon actif : projet de recherche multilatéral et multinational réussi

Universités et instituts ayant collaboré :

- Université des Antilles : laboratoire COVACHIMM2E (Guadeloupe)
- Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC) (République dominicaine)
- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) (Guadeloupe et Nancy, France)
- Queen Mary University (UK)
- Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) (Cuba)
- Centre Inter-universitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux (CIRIMAT) (Toulouse, France)
- Université d'État d'Haïti (Haïti)
- Université Quisqueya (Haïti)

Entreprises privées ayant collaboré :

- NBC (Guyane française), TECMALAB (République française)
- NUM SMO Technologies (NST) et Phytobokaz (Guadeloupe)



Dr Ulises Jáuregui-Haza (INTEC-InSTEC) et Pr Sarra Gaspard (Université des Antilles) recevant le Prix de la Cuban Academy of Sciences, pour leur recherche sur l'utilisation du charbon actif de bagasse de canne à sucre pour le retrait des pesticides chlorés de l'eau.

Plusieurs projets en cours sur la synthèse des charbons actifs (CA) à partir des sargasses sont dirigés par le Pr Sarra Gaspard, de l'Université des Antilles, et soutenus par des équipes multilatérales et multinationales issues des secteurs privé et public. L'équipe travaille sur les sargasses pélagiques depuis 2015 pour explorer la valorisation de sa biomasse à des fins de dépollution et de stockage de l'énergie. Plus particulièrement, leurs recherches se concentrent sur l'utilisation de la biomasse de sargasses pour produire du CA à des fins de séquestration de carbone dans les systèmes d'élevage animal et de traitement des eaux. La composition chimique des algues leur prête d'excellentes propriétés électrochimiques pour la production de carbones nanotexturés. Des charbons enrichis en oxygène avec une porosité élevée peuvent être produits en fonction des conditions de pyrolyse.

Ce projet de recherche observe différentes méthodes d'activation et différentes températures de pyrolyse (600-900 °C) pour obtenir du charbon actif :

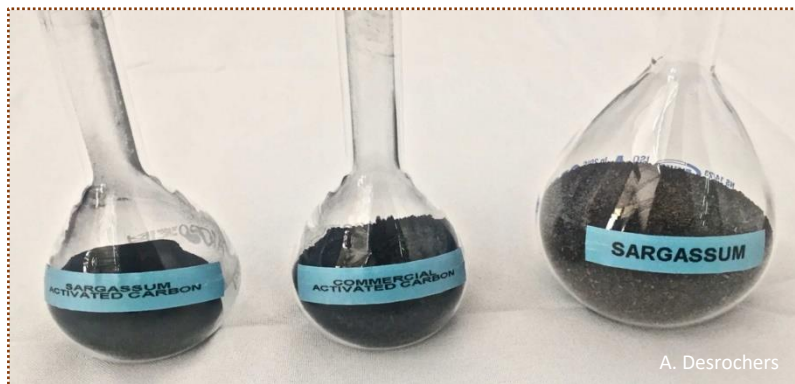
- a) Activation physique
- b) Activation chimique
- c) Carbonisation hydrothermale

Pour cette recherche, après préparation, des échantillons de charbon sont caractérisés en fonction de leur :

- a) Composition chimique : chimie de surface (spectroscopie photoélectronique aux rayons X, analyse fondamentale, groupes fonctionnels de surface) et adsorption (cinétique et isotherme) ;
- b) Caractéristiques de texture : adsorption de l'azote, mesure de surface BET (Brunauer-Emmett-Teller), volume poreux ;
- c) Propriétés électrochimiques : mesures de voltampérométrie cyclique et de galvanométrie.

Des résultats préliminaires prometteurs indiquent que le charbon actif à base de sargasses présente un bon potentiel pour le traitement de contaminants micropolluants (caféine, chrome et diazépam) dans l'eau et dans les eaux usées avec le développement de filtres, de membranes et d'électrodes destinés au traitement de l'eau et des eaux usées et aux unités de déionisation capacitive (Francoeur *et al.* 2019, Alvarez *et al.* 2019, Gaspard 2019).

L'équipe du Pr Gaspard est l'une des douze bénéficiaires d'une subvention de recherche de l'Appel à projets « Sargassum » (2019) porté conjointement par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) et la Région Guadeloupe dans le cadre du programme SARGCOOP (Interreg Caraïbe). Son projet de recherche, PYROSAR, examinera la valorisation des sargasses par la pyrolyse et sa possible application pour la sécurité des aliments. Cette recherche se base sur la nécessité de développer des stratégies innovantes pour une



Charbon actif fait à partir de sargasses, présenté avec un échantillon commercial de charbon actif (au centre)

production alimentaire et des systèmes d'élevage animal sûrs dans les zones contaminées au chlordécone, comme la Guadeloupe et la Martinique. Ce projet évaluera la rétention de la molécule de chlordécone pendant les processus de digestion des porcelets après l'amendement des sols avec du biochar ou du CA. Des analyses *in vitro* de stratégies d'amendement par évaluation de sorption du

chlordécone seront effectuées avec des CA et des biochars. Des analyses *ex vivo* du transfert du chlordécone entre le sol et la plante, et de son innocuité, puis des analyses de biodisponibilité relative *in vivo* du transfert de chlordécone seront effectuées.

L'étude a pour but de :

- Passer d'une production de biochar et de CA de sargasses en laboratoire à une production industrielle en utilisant le procédé du four à micro-ondes solaire (SMO) de NST ;
- Caractériser les sargasses brutes et les matières carbonées produites ;

- Évaluer la capacité du biochar et du charbon actif produit à adsorber les micropolluants organiques et à éviter le transfert des pesticides organochlorés dans la chaîne alimentaires (6 biochars et CA différents seront produits) ;
- Évaluer l'impact macroéconomique des applications du biochar et du CA ;
- Évaluer l'effet moteur d'un secteur du biochar/CA (avec l'activité de collecte) sur l'économie locale.

3.2.2 Université West Indies (UWI) : développement des utilisations des sargasses à travers la recherche et la promotion d'initiatives entrepreneuriales

Des recherches sur les utilisations potentielles des sargasses dans de nombreux domaines sont menées sur les trois campus de l'UWI. Voici des exemples pour chaque campus.

Campus de Cave Hill (UWI, Barbade)

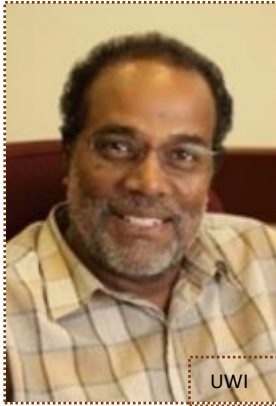


Dr Srinivasa Popuri – Département de biologie et de chimie

Les recherches du Dr Popuri se concentrent principalement sur les membranes et les technologies d'adsorption, en particulier sur le développement de biopolymères et d'adsorbants biodégradables. Bien qu'il y ait de nombreuses applications potentielles pour la vie quotidienne, elles sont souvent ignorées. Depuis 2015, Dr Popuri a été impliqué dans le développement de produits commerciaux à base de sargasses comme l'alginate destiné aux produits cosmétiques, alimentaires et agricoles. Il a éveillé la curiosité des étudiants et leur intérêt à trouver des solutions innovantes pour l'utilisation des sargasses « nuisibles », en observant attentivement leur composition chimique et leurs propriétés. Il a aussi encouragé les étudiants à voir au-delà des analyses en laboratoire afin de déterminer le potentiel de développement d'entreprises. En effet, deux de ses anciens étudiants ont créé la société Oasis Laboratory en 2018, qui a réussi à développer différents produits de beauté à partir de sargasses. Il continue de mener des essais contrôlés en laboratoire pour élaborer d'autres produits cosmétiques avec les sargasses et améliorer le contrôle qualité et la durée de conservation.

Le Dr Popuri mène également d'autres recherches liées aux sargasses, notamment :

- Une étude sur la biocorrosion pour déterminer l'impact de la décomposition de l'algue et le rôle des micro-organismes dans la dégradation de la matière ;
- Une étude d'adsorption pour déterminer le potentiel de l'algue dans le traitement des eaux usées ;
- Une étude sur les bioplastiques pour déterminer le potentiel de l'algue et les opportunités de commercialisation ;
- Un projet sur le bioéthanol à base de sargasses.



Dr Francis Lopez - Département de biologie et de chimie

Le Dr Lopez est chercheur agronome spécialisé dans l'écologie des cultures, l'horticulture, la physiologie végétale, la biométrie et la gestion de gazon. Il a mené des recherches sur l'utilisation des sargasses dans l'agriculture, comme engrais et paillis. Plusieurs essais ont été effectués depuis 2015 pour démontrer que l'algue peut être utilisée dans le secteur agricole. Les essais consistaient notamment à tester l'algue à différents

stades de décomposition (fraîche, 3 mois, 8 mois) aussi bien sur de petites parcelles de terrain que sur des plantes en pot. Les possibles interactions du paillis et des extraits de sargasses avec les engrais inorganiques ont aussi été examinées. Son équipe a conclu que, malgré les potentiels bienfaits des sargasses fraîches (lavées et non lavées) sur les propriétés du sol et sur la croissance des plantes, de possibles effets néfastes liés à la salinisation du sol doivent être pris en compte. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le paillis préparé avec les sargasses maturées pendant 3 mois (humidité du sol, activité biologique et croissance des plantes accrues).



Essai de terrain portant sur le paillis de sargasse, mené par le Dr Lopez



Dr Bidyut Mohapatra - Département de biologie et de chimie

Le Dr Mohapatra est microbiologiste. Ses recherches se concentrent principalement sur (1) l'exploration de nouveaux nano-biocatalyseurs pour l'utilisation durable des d'algues selon des approches microbiologiques moléculaires et (2) l'évaluation de l'impact de la prolifération des sargasses sur la structure de la communauté microbienne et les cycles biogéochimiques à médiation enzymatique via des techniques métagénomiques (métagénomiques et métagénomiques) dépendantes de la culture et intégrées. À ce jour, il a isolé plusieurs nouvelles bactéries productrices d'alginate lyase, de cellulase et de mannanase à partir de sargasses décomposées, ce qui indique de

potentielles applications industrielles dans les secteurs pharmaceutique, alimentaire, agricole, bioénergétique et médical. L'obtention d'isolats microbiens issus des sargasses est une étape importante pour parvenir à la production efficace d'enzymes microbiennes comme matière première peu onéreuse pour la propagation.

Dr Legena Henry – Département des sciences informatiques, mathématiques et physiques

Le Dr Henry est ingénieure en mécanique spécialisée dans les énergies renouvelables, l'analyse en ingénierie océanique, les statistiques des vagues, l'hydrodynamique marine et la mécanique appliquée. Elle mène actuellement des recherches centrées sur l'utilisation de ressources naturelles comme les vagues océaniques, les algues et les déchets issus des procédés agricoles pour générer de l'électricité.

Elle a présenté la Meilleure initiative lors de l'Appel aux initiatives innovantes 2019 créé par le Réseau caribéen de solutions pour le développement durable (SDSN Caraïbes). Avec le soutien de la Blue Chip Foundation, Dr Henry a récemment commencé un projet de biogaz produit à partir d'algues sargasses et de déchets issus de la distillation du rhum, sur une durée de 22 mois. Ce projet pilote est mené en collaboration avec le Dr Renique Murray du Département de génie mécanique et d'ingénierie de production au campus de Saint Augustine de l'UWI, Dr Nikolai Holder de l'UWI (Cave Hill) et la société HomeBiogas. Il comprend l'installation de quatre unités de production de biogaz, dont deux seront situés au sein de West Indies Rum Distillery Ltd. et les deux autres au sein de Foursquare Rum Distillery. Le projet a pour principal objectif de produire du biométhane et de tester son utilisation sur des véhicules convertis au gaz naturel comprimé (GNC).



Centre pour la gestion des ressources et les études environnementales (CERMES) - Équipe de recherche consacrée aux sargasses

Dr Patrick McConney (Directeur), Pr Hazel Oxenford, Dr Janice Cumberbatch, Dr Shelly-Ann Cox, Dr Lisa Soares, Maria Pena, Anne Desrochers, Karima Degia, Kristie Alleyne



Dr Patrick McConney



Dr Hazel Oxenford



Dr Janice Cumberbatch



Dr Shelly-Ann Cox

L'équipe du CERMES dédiée aux sargasses a été impliquée dans les activités de recherche sur les sargasses, de communication, de coordination et de gestion depuis les premières invasions d'algues en 2011. Elle a organisé deux symposiums régionaux sur les sargasses, en 2015 et 2018, réunissant des chercheurs, des membres des secteurs public et privé, et des acteurs clés des industries de la pêche et du tourisme, pour partager des informations sur les bonnes pratiques de gestion des afflux de sargasses, y compris les utilisations innovantes. Elle continue de diriger et/ou de travailler en partenariat avec des organisations régionales et internationales sur un certain nombre de projets axés sur les sargasses qui aident à mettre en œuvre les opportunités qu'offrent les afflux de sargasses, notamment :

- Le projet de la FAO Adaptation au changement climatique dans le secteur de la pêche des Caraïbes orientales (CC4FISH) financé par le GEF. En tant que sous-composante de ce projet, le CERMES a entrepris la revue des utilisations actuelles et potentielles des sargasses en vue de produire ce « Guide sur les utilisations des sargasses ».
- Le projet d'Adaptation fondée sur les écosystèmes (AfE) du Fonds pour la biodiversité dans les Caraïbes (CBF), financé par la Banque allemande de développement (KfW) Adapting to a new reality: managing responses to influxes of sargassum seaweed in the Eastern Caribbean as ecosystem hazards and opportunities (S'adapter à une nouvelle réalité : gérer les réponses aux afflux d'algues sargasses dans les Caraïbes orientales comme des risques et des opportunités pour l'écosystème) (SargAdapt). Ce projet vise à enrichir les connaissances, à améliorer les capacités techniques et institutionnelles et à développer des utilisations pratiques et innovantes des sargasses.
- Le projet du Conseil de recherche économique et sociale de l'Université de Southampton (ESRC), financé par le Global Challenges Research Fund (GCRF) : Teleconnected sargassum risks across the Atlantic: building capacity for transformational adaptation in the Caribbean and West Africa (Risques téléconnectés des sargasses à travers l'Atlantique : Renforcer les compétences en vue de l'adaptation aux transformations dans les Caraïbes et en Afrique de l'Ouest) (SARTRAC). Ce projet vise à (1) identifier les opportunités d'adaptation transformationnelle qui peuvent être générées par la gestion et l'utilisation des algues sargasses, et (2) à renforcer les capacités pour soutenir l'utilisation des algues par les communautés côtières vulnérables.

UWI Campus de Mona, Jamaïque



Pr Mona Webber, Directrice du Centre pour les sciences marines -
Département des sciences de la vie

Le Pr Webber est biologiste et écologiste marine et ses principaux intérêts de recherche se sont concentrés, entre autres, sur le zooplancton (production, structure et répartition de la communauté, et utilisation comme indicateur de la qualité de l'eau), les habitats des mangroves (biodiversité, indices de qualité de l'eau et protection du littoral), les microplastiques, la réhabilitation des forêts de mangrove, l'évaluation des herbiers. Elle est également présidente du groupe de recherche sur les sargasses de la Faculté de sciences et technologie, et co-chercheuse principale du projet de l'ESRC de l'Université de Southampton financé par le GCRF et intitulé « Teleconnected sargassum Risks across the Atlantic: building capacity for transformational adaptation in the Caribbean and West Africa (SARTRAC) ». Elle a travaillé sur l'identification des différentes espèces et morphotypes de sargasses pélagiques et a développé des méthodes de terrain efficaces pour les distinguer et enregistrer leur abondance relative. Par le biais de partenariats avec des acteurs locaux et internationaux, le Centre pour les sciences marines a étudié les méthodes de compostage des sargasses pour l'agriculture et les pépinières de mangrove ainsi que d'autres méthodes de « stockage » (ensilage, séchage, etc.) appropriées pour les sargasses échouées.

Les autres membres du Groupe de recherche sur les sargasses sont :

- Pr Rupika Delgoda, Directrice du Natural Products Institute : évaluation des propriétés anti-cancerigène des extraits de sargasses et essais sur des lignées cellulaires dérivées de cancer du sein.
- Dr Winklet Gallimore - Département de chimie : identification de produits marins naturels commercialement viables d'après leur chimie et leurs composés bioactifs.
- Dr Frederick Boyd - Département des sciences de la vie : recherche sur la botanique médicinale et évaluation des propriétés antimicrobiennes des sargasses.
- Dr Howard Reid - Mona Institute of Applied Science : profil chimique et développement de produits à partir d'alginate de sargasses.
- Dr Ava Maxam - Mona Geoinformatics Institute : Impact des courants de surface sur le mouvement des sargasses, données du littoral pour le développement du maillage de la modélisation hydrodynamique, et fourniture et affinement de données de réduction d'échelle pour le développement et la mise en œuvre d'un système d'alerte précoce aux sargasses pour la Jamaïque.
- Dr Tannecia Stephenson - Département de physique : développement d'une méthodologie pour intégrer les données et les analyses des satellites et des drones pour prévoir les échouages de sargasses et soutenir le développement de spécifications et d'exigences fonctionnelles du système d'alerte précoce aux sargasses.

UWI Campus de Saint-Augustine, Trinité-et-Tobago



Dr Ward et les membres de son équipe de recherche en 2017.

Dr Keeran Ward - Département de génie chimique

Le Dr Ward et son équipe travaillent sur des projets qui visent à déterminer la demande de la chaîne d'approvisionnement en alginate extrait des algues. Il étudie l'utilisation des polymères pour créer des membranes pouvant être utilisées comme biofiltres en vue de retirer les métaux lourds présents dans les eaux usées et comme substitut bioplastique.

Ces applications potentielles contribuent au développement durable et à la gestion des algues, pour faire d'une matière jugée nuisible (ex. : sargasses pélagiques échouées) un substitut respectueux de l'environnement et viable. Pour atteindre l'objectif clé du projet qui est d'exploiter tout le potentiel des algues, le Dr Ward et son équipe envisagent également de valoriser la biomasse résiduelle en générant des solutions énergétiques propres.

Le Dr Ward travaille depuis 2017 au développement d'un réservoir contenant de l'eau biodégradable fait à partir de sargasses ; ce nouveau prototype en bioplastique cherche à optimiser la célèbre bouteille d'eau comestible Ooho conçue par Skipping Rocks Lab au Royaume-Uni, en donnant à la membrane une

consistance plus dure. À ce titre, le potentiel de la technique du Thin Film Composite (TFC) avec des membranes en alginate de calcium est à l'étude pour sa durabilité. Le prototype amélioré, plus rigide, en cours de développement pourra contenir tout type de liquide, y compris de l'eau, du jus, du vin, etc.

L'équipe effectue aussi des recherches sur les effets de l'ajout d'autres biomatières comme l'amidon, l'argile, la cellulose, la pectine, etc., sur la capacité de la membrane d'alginate TFC à adsorber des toxines néfastes comme les métaux lourds issus des stations pour les eaux usées industrielles.

Dr Renique Murray - Département de génie mécanique et d'ingénierie de production

Le Dr Renique Murray collabore sur un projet de biogaz avec le Dr Legena Henry (voir description ci-dessus).

Pr Jayaraj Jayaraman - Département des sciences de la vie



Le Pr Jayaraman est professeur de biotechnologie et de microbiologie des plantes à l'UWI, campus de Saint Augustine, et ses principaux intérêts de recherche sont :

- Les interactions plante-microbe, la résistance induite, les biomolécules élicitrices, les nanopesticides, la bioremédiation, le contrôle biologique et la gestion intégrée des nuisibles ;
- Ingénierie génétique des plantes pour la résistance aux maladies et la tolérance au stress ;
- Ingénierie métabolique, biopharming de protéines thérapeutiques et de composés de grande valeur industrielle ;
- Phyto-nutraceutiques, produits naturels pour la santé et les traitements humains ;
- Biomolécules issues d'algues et produits pour l'agriculture et la santé humaine ;
- Résistance microbienne des pathogènes.

Le Pr Jayaraman travaille sur plusieurs projets de recherche liés aux algues, afin de trouver des moyens pour récupérer certains de leurs composants qui pourraient avoir une valeur commerciale. Son groupe a démontré pour la première fois et sur le plan moléculaire, l'action élicitrice des extraits d'algues dans les plantes, qui se produit par résistance induite. Plusieurs articles de recherche sur l'activité élicitrice des produits à base d'algues ont été publiés. Son équipe de recherche a développé plusieurs méthodes d'extraction des éliciteurs et des biomolécules à partir d'algues caribéennes, y compris à partir de sargasses pélagiques. Les produits à base d'algues qui ont été développés sont testés pour déterminer l'action phytostimulante dans les plantes, les activités antimicrobiennes et thérapeutiques. L'équipe a également développé plusieurs formulations stables à partir d'extraits de sargasses qui sont désormais étudiées pour connaître leurs effets bénéfiques sur les plantes.

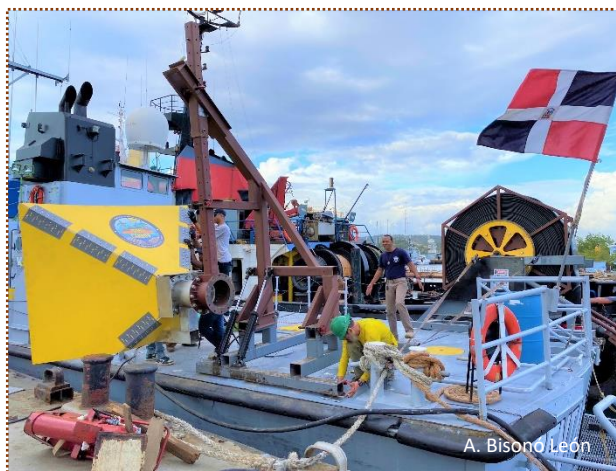
Ses recherches sur les algues se concentrent sur le développement de méthodes d'économie circulaire pour la valorisation totale et durable des algues. Le Pr Jayaraman est l'un des principaux chercheurs du réseau mondialement reconnu de recherche sur les algues. C'est un partenaire clé dans le projet SARGOOD, une initiative qui envisage de trouver des moyens durables pour gérer le problème des sargasses.

3.2.3 SOS Carbon : projet de recherche public-privé multinational [États-Unis]



Le projet Sargassum Ocean Sequestration of Carbon, aussi connu sous le nom de SOS Carbon, découle du projet de recherche de maîtrise de Luke Gray au Massachusetts Institute of Technology (MIT), supervisé par le Pr Alexander Slocum du Groupe de recherche en ingénierie de précision du MIT. L'équipe d'ingénierie basée à Boston a travaillé sur une machine spécialisée, à utiliser comme moyen alternatif pour gérer l'échouage des sargasses pélagiques, qui touche toute la région des Caraïbes. Les sargasses pélagiques flottent à la surface de l'eau grâce à leurs petites vésicules aérifères. Cependant, d'après la découverte de Luke, lorsque les sargasses sont immergées à une profondeur critique (environ 150 à 200 m), leur flottabilité devient négative et elles coulent au fond de l'océan. L'équipe du MIT a développé un partenariat rapproché avec l'ingénieur et collaborateur Andrés Bisonó León, originaire de la République dominicaine et basé à Philadelphie.

Luke et Andrés ont travaillé en étroite collaboration sur le projet SOS Carbon aux États-Unis et en République dominicaine, et ont présenté les premiers résultats de leurs tests de faisabilité et le projet pilote lors de différentes réunions et conférences dans la Caraïbe (Jamaïque, Guadeloupe, République dominicaine et Floride). Ils suscitent une grande attention dans tous les secteurs, des investisseurs privés aux chercheurs, et même au sein de différents gouvernements caribéens, car leur solution est assez différente de toutes les autres qui ont été présentées à ce jour. Les autres solutions, pour la plupart, impliquent plusieurs étapes et des investissements importants afin collecter et traiter les algues : installation de barrières flottantes, emploi de bateaux pour l'entretien et la collecte, transport, stockage et traitement des algues, les coûts élevés associés aux équipements, les impacts négatifs liés au compactage des plages en raison de l'utilisation d'équipements lourds au sol, les effets sur la santé et l'accumulation potentielle de métaux lourds. Andrés a dirigé la logistique, en assurant le bon déroulement de ce projet multinational et multilatéral tout en développant des liens étroits avec plusieurs acteurs clés issus du privé et du public. Luke a quant à lui dirigé les aspects techniques du projet, la conception et la recherche.

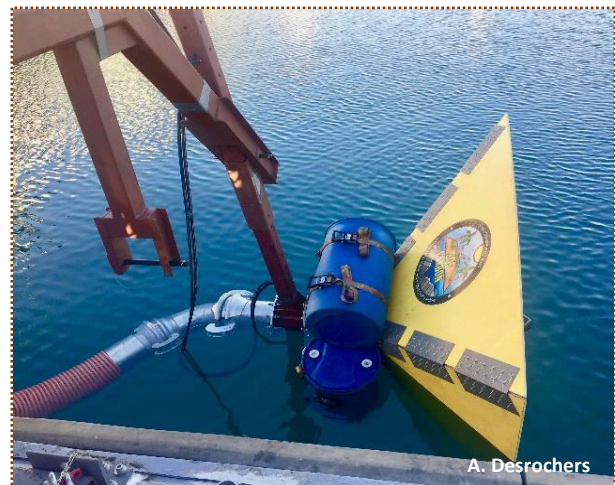


Équipements de SOS Carbon pour les essais de terrain en République dominicaine

SOS Carbon a développé de solides partenariats avec plusieurs parties prenantes clés, notamment la marine de la République dominicaine et la Fundación Cap Cana, un groupe de protection de l'environnement qui fait partie de Cap Cana (un complexe immobilier exclusif, avec marina, hôtel, terrain de golf, centre équestre, écoles, parcs et villages situés à Punta Cana). En collaboration avec les principales parties prenantes, SOS Carbon a effectué des essais terrain de leurs équipements et systèmes brevetés pour démontrer la faisabilité du projet de recherche. Des machines spécialement conçues de plusieurs tonnes, notamment une pompe industrielle, ont été transférées en République dominicaine. Ces essais ont commencé en novembre 2019, mais au moment de la rédaction du présent document, les quantités de sargasses présentes étaient insuffisantes pour permettre à l'équipe d'effectuer ces essais en temps réel et de confirmer la bonne interception au large et l'immersion effective des algues avant qu'elles ne s'échouent sur les côtes. Pour ceux qui s'intéressent au traitement des algues, l'équipe de SOS Carbon envisage également la possibilité de pomper la biomasse d'algues dans des barges au large et de la livrer aux installations de traitement. À l'inverse, les sargasses collectées à terre pourraient également être placées sur une barge et SOS Carbon pourrait les transporter au large et les pomper dans les grands fonds océaniques.



L'équipe SOS Carbon avec des membres de la marine de la République Dominicaine



Les équipements de SOS Carbon pour les essais terrain en République dominicaine

L'un des autres aspects intéressants et innovants de ce projet est que SOS Carbon étudie la possibilité pour les praticiens de générer des revenus avec les crédits carbone ou de les échanger en séquestrant et stockant des quantités substantielles de carbone enfermées dans l'énorme volume de biomasse sargasse, réduisant ainsi les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. D'après les chercheurs, le projet SOS Carbon est comparable aux mesures industrielles pour la réduction des émissions de carbone et, par conséquent, la Caraïbe pourrait devenir un leader et un modèle en termes de séquestration du carbone. Selon les recherches de Luke, le pompage vers les profondeurs est un procédé simple et économe en énergie qui pourraient générer des compensations carbone représentant plus de 0,25 tonne de dioxyde de carbone par tonne de sargasses fraîches. Le projet proposé pourrait donc contribuer au développement d'un système à faible coût et efficace pour la gestion à long terme des sargasses.

Bien que l'équipe pense que sa solution n'est pas seulement durable mais qu'elle permettra aussi d'atténuer certains des impacts négatifs sur l'environnement du littoral et sur le secteur du tourisme, elle

est consciente de la nécessité d'étudier davantage les conséquences environnementales de l'immersion de la biomasse d'algues dans les profondeurs de l'océan. En outre, SOS Carbon effectue des recherches et collabore avec d'autres gouvernements caribéens, comme la Jamaïque, pour déterminer les meilleurs moyens d'appliquer ses services et sa technologie dans chaque pays, région ou zone hôtelière, et ainsi construire un modèle économique solide pour répondre aux besoins de toute la communauté caribéenne.

SOS Carbon s'efforce à présent d'apporter sa technologie de collecte et de séquestration dans l'ensemble des Caraïbes, en utilisant un système plus simple et plus inclusif, qui sera déployé en collaboration avec les pêcheurs locaux. La collaboration avec les pêcheurs locaux, avec leurs bateaux, permettra au dispositif de collecte de fonctionner en continu à des coûts marginaux réduits, tout en favorisant l'activité économique et en augmentant les bénéfices de la réduction de l'impact des afflux de sargasses. Le système a été conçu pour fonctionner dans des zones avec ou sans barrières. Il permet de collecter les sargasses, de les placer dans des barges et de les immerger dans les profondeurs par pompage.

3.2.4 Appel à projets pour les sargasses (2019) : douze projets de recherche sélectionnés



Un appel commun à projets intitulé « Appel à projet de recherche et de développement et innovation relatif aux sargasses » a été officiellement lancé fin 2018 et ouvert de février à juin 2019 pour recevoir des propositions de projets de recherche issus d'instituts de recherche ou d'entreprises privées basés dans les DOM-TOM, en France métropolitaine et au Brésil. L'Agence nationale de la recherche (ANR) pilote et finance l'appel à projets conjointement avec la Région

Guadeloupe. D'autres financeurs ont participé au montage de cet appel à projet : l'Agence de la Transition Ecologique (ADEME), les collectivités territoriales d'Outre-Mer de la Martinique et de la Guyane française, la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) et la Fundação do Amparo a Ciência e Tecnologia (FACEPE) au Brésil.

L'objectif de cet appel à projets est de sélectionner et financer des projets qui couvriraient et documenteraient méticuleusement tous les aspects liés à la problématique des sargasses, incluant les questions scientifiques, économiques, environnementales et sanitaires, et qui apporteraient des solutions pragmatiques à l'échouage des sargasses qui touche de nombreux territoires. Cet appel était axé autour de quatre thèmes principaux :



1. Caractérisation des sargasses : physiologie, génétique, biochimie, morphologie et démographie
2. Prévion des afflux de sargasses et de leur trajectoire au large et près des côtes
3. Collecte (en mer et terrestre) et valorisation des sargasses à l'aide de techniques innovantes

4. Impacts économiques, sanitaires et environnementaux des échouages et stratégies d'adaptation

En octobre 2019, douze projets ont finalement été sélectionnés pour un total de subventions de recherche s'élevant à 13 millions d'euros. La collectivité régionale de Guadeloupe et les fonds européens Interreg Caraïbes cofinancent la mise en œuvre de ce programme multiforme.

Les projets sélectionnés, dont beaucoup représentent des initiatives collaboratives, sont considérés comme un point de départ pour le développement d'un plan d'action à long terme basé sur une meilleure compréhension des problématiques liées aux afflux de sargasses pélagiques, et un meilleur alignement des projets sur le plan régional.

Nous présentons ci-dessous un résumé des douze projets sélectionnés :

CESAR : L'environnement côtier en proie à la crise des sargasses

Coordinateur : J-R Gros-Desormeaux (Laboratoire Caribéen de sciences sociales - LC2S)

Collaborateurs : Franck Dolique (Laboratoire de biologie des organismes et écosystèmes aquatiques - BOREA), Philippe Palany (Météo-France Antilles), Solange Teles da Silva (Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brésil), Marion Sutton (Collecte Localisation Satellites - CLS) et Hubert Mazurek (Institut de recherche pour le développement – IRD, Aix-Marseille, France)

Objectifs :

- Apporter des connaissances et proposer une orientation pour le développement d'outils et de méthodes de gestion des afflux de sargasses dans les Caraïbes, en particulier dans les Antilles française ;
- Apporter de meilleures connaissances sur les sargasses ainsi que des données pour améliorer nos capacités de prévision afin de prédire les échouages de sargasses à l'échelle insulaire ;
- Contribuer aux processus de la chaîne de décision politique et élaborer des notes d'orientation pour le développement de plans d'actions stratégiques sur les sargasses.

CORSAIR : Corrosions atmosphériques et marines

Coordinateur : Christophe Roos (Université des Antilles - UA, Laboratoire des matériaux et molécules en milieu agressif - L3MA)

Collaborateurs : Carole Boullanger (Madininair), Jean Marel (ECO MOBIL), Srinivasa Popuri (Université West Indies - UWI, Cave Hill), Claire Hellio (Université de Bretagne Occidentale – UBO, Laboratoire des sciences de l'environnement marin - LSEM), Karine Vallee-Rehel (Université Bretagne Sud – UBS, Laboratoire de biotechnologie et chimie marines - LBCM), Benoit Lescop (UBO, Laboratoire des sciences et technologies de l'information, de la communication et de la connaissance - STICC), Dominique Thierry (Institut de la corrosion) et Aude Farinetti (Université Paris-Sud - Institut d'études de droit public - IEDP)

Objectifs :

- Comprendre la vitesse de corrosion des sites exposés et modéliser le phénomène de corrosion et sa solution inhibitrice naturelle ;
- Caractérisation de biofilms (micro-organismes sulfato-réducteurs) : vitesse de corrosion, développement d'une nouvelle génération de capteurs, potentiel électro-actif de micro-organismes et molécules naturelles aux propriétés antifouling ;
- Compilation des outils juridiques : propositions d'améliorations du point de vue privé, public et international.

FORSEA : Prévion des échouages de sargasses dans l'Atlantique tropical

Coordinateur : Julien Jouanno (IRD - Unité mixte de recherche – UMR – du LEGOS, France)

Collaborateurs : Léo Berline (Institut méditerranéen d'océanologie - MIO), Rudy Calif (Laboratoire de recherche en géosciences et énergies), Christophe Lett (IRD), Franck Dolique (BOREA-UA, Martinique), Yann Drillet (Mercator Ocean), Audrey Minghelli (Laboratoire d'informatique et systèmes - LIS), Pascal Zongo (L3MA), Julio Sheinbaum (Centro de Investigación Científica y de Educación Serior de Ensenada – CICESE, Basse-Californie, Mexique)

PYROSAR : Valorisation des sargasses par pyrolyse – Application pour la sécurité des aliments

Coordinateur : Sarra Gaspard (UA)

Collaborateurs : Guido Rychen (Université de Lorraine - UL, Unité de recherche animal et fonctionnalité des produits animaux - UR AFPA, Marie Ugolin (NST), Ted Soubdhan (UA - Laboratoire de recherche en géoscience et énergies), Gérard Thamensi (Agence régionale de santé - ARS, Martinique), Antoine Richard (Unité de recherche sur les agrosystèmes tropicaux, Institut national de la recherche agronomique - INRA), Olivier Gros (UA - Institut de systématique, évolution, biodiversité - ISYEB), Sébastien Mathouraparsad (UA - Centre de recherche en économie et en droit sur le développement insulaire CREDDI) et Maguy Dulormne (UA - Unité Mixte de Recherche « Écologie des Forêts de Guyane » - EcoFoG)

Objectifs :

- Optimiser la production de biochar et de charbon actif (CA) à partir des sargasses, en laboratoire et à l'échelle industrielle en utilisant le procédé du four à micro-ondes solaire (SMO) de NST ;
- Caractériser les sargasses brutes et les matières carbonées produites ;
- Évaluer la capacité du biochar et du charbon actif produit à éviter le transfert des pesticides organochlorés aussi bien vers les légumes entrant dans la chaîne alimentaire, que vers les animaux destinés à la production alimentaire (6 biochars et CA différents seront produits et évalués) ;
- Amendement de sol dans les zones contaminées par les pesticides organochlorés, en étroite collaboration avec les propriétaires fonciers, avec les meilleurs biochar et CA candidats ;
- Évaluer l'impact macroéconomique ;
- Évaluer l'effet moteur d'un secteur du biochar/CA (avec l'activité de collecte) sur le reste de l'économie.

Contexte :

Il est urgent de développer des stratégies innovantes pour établir des systèmes d'élevage animal sûrs dans les zones contaminées au chlordécone. Le projet prévoit l'utilisation d'une parcelle pilote composée de six jardins avec deux types de sols, en Guadeloupe et en Martinique. Il évaluera la rétention du chlordécone pendant les processus de digestion des porcelets après l'amendement des sols avec du biochar ou du CA. Trois matières premières seront testées : *Sargassum fluitans*, *Cocos nucifera* (noix de coco) et *Quercus ilex* (chêne vert). Ce projet réalisera des essais *in vitro* de stratégies d'amendement de sol avec évaluation de la sorption du chlordécone par les charbons actifs et les biochars. Des analyses *ex vivo* du transfert du chlordécone entre le sol et la plante et de son innocuité, puis des analyses de biodisponibilité relative *in vivo* du transfert de chlordécone seront également effectuées.

Sarg As Cld : Impacts environnementaux du lixiviat de sargasse dus à l'arsenic et au chlordécone : quantification, atténuation et perception sociale

Coordinateur : Patrick Olivier (Bureau de recherches géologiques et minières)

Collaborateurs : Fabienne Séby (Association pour le développement de l'enseignement et de la recherche en Aquitaine – ADERA, Laboratoire ultra traces analyses Aquitaine - UT2A), Benoît Cagnon (Centre national de la recherche scientifique - CNRS) - Interfaces, confinement, matériaux et nanostructures - ICMN), David Hala (Université A&M du Texas à Galveston), Soazig Lemoine (UA), Thierry Nicolas (Université de Guyane - Migration interculturelité et éducation en Amazonie - MINEA)

Objectifs :

- Améliorer les connaissances sur la contamination des sargasses par l'arsenic (origine marine) et le chlordécone (origine terrestre) ;
- Évaluer l'écotoxicité des lixiviats de sargasse, en mettant l'accent sur l'arsenic et le chlordécone, pour un éventail représentatif d'organismes d'essai (écotoxicité pour les organismes d'eau douce et les organismes marins) ;
- Développer des procédés de dépollution durables pour les lixiviats d'arsenic et de chlordécone ;
- Évaluer l'acceptabilité sociale du stockage de sargasses ;
- Diffusion des résultats et dialogue avec les parties prenantes.

Contexte :

Ce projet a pour but d'effectuer une caractérisation des sargasses et des lixiviats à travers des observations microscopiques de sargasses, la spéciation et l'analyse de l'arsenic dans les sargasses (inorganiques et organiques) et les lixiviats issus de leur décomposition, ainsi que des analyses sur la molécule de chlordécone. Le projet étudiera aussi les impacts environnementaux des lixiviats à travers trois essais biologiques sur des crustacés, des huîtres et des poissons-zèbres. Des mesures d'atténuation des impacts liés au procédé de lixiviation seront proposées et l'acceptabilité sociale du stockage de sargasses sera abordée à travers ce projet.

SargaCare: Effets sur la santé humaine de l'exposition chronique aux gaz issus de la décomposition des algues brunes dans les Antilles françaises

Coordinateur : Rémi Nevier (Centre hospitalier universitaire – CHUM, Martinique)

Collaborateurs : Dabor Resiere (CHU de Martinique), Sylvie Merle (Observatoire de la santé de la Martinique), Rachel Nadif (Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM) - Vieillesse et maladies chroniques, approches épidémiologiques et de santé publique, France), Michel Carles (CHU de Guadeloupe) et Mariana Veras (Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental - LIM05, Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - HCFMUSP, Brésil).

Objectifs : Mener une étude détaillée des conséquences cliniques, biologiques, fonctionnelles et socio-anthropologiques des émissions de gaz produites par la décomposition des sargasses dans la Caraïbe.

- Caractériser le syndrome toxicologique induit par les émissions gazeuses des sargasses en décomposition ;
- Examiner les associations entre les niveaux d'exposition aux émissions gazeuses et le syndrome toxicologique ;
- Évaluer, par le biais d'une approche anthropo-sociologique, les connaissances, les croyances et les pratiques des populations confrontées aux afflux de sargasses en Guadeloupe et en Martinique.

Contexte :

Au cours des deux dernières années, plus de 200 patients ont été examinés au CHU de Martinique en raison de symptômes cliniques potentiellement associés à l'exposition aux émissions gazeuses des sargasses en décomposition. Les signes cliniques et les symptômes les plus fréquents sont une rougeur et une irritation de la peau, des yeux, des membranes muqueuses et des voies respiratoires, la toux, une respiration bruyante, des maux de tête, des douleurs abdominales et des troubles du transit intestinal. L'exposition grave à des doses élevées de sulfure d'hydrogène (H₂S) est connue pour être létale. Cependant, les effets des expositions répétées à de faibles doses de H₂S et à d'autres gaz combinés ne sont pas connus.

SAGASSUM ORIGINS : identité et origines des sargasses pélagiques

Coordinateur : Thierry Thibaut (IRD-MIO)

Collaborateurs : Florence Rousseau (ISYEB), Solène Connan (UBO-LSEM), Frédérique Viard (CNRS - Adaptation et diversité en milieu marin), Jérôme Llido (IRD du LEGOS, France), Étienne Bezault (UA - BOREA), Fabrice Javel (SUEZ Consulting), Amy Siuda (Eckerd College aux États-Unis), Kerry Whittaker (Sea Education Association aux États-Unis) et Karl Kaiser (Université A&M du Texas à Galveston aux États-Unis)

Objectifs :

- Identifier les espèces de sargasses qui prolifèrent dans l'Atlantique Nord (cooccurrence) ;
- Étudier la connectivité des sargasses à l'échelle de l'Atlantique (flux et échanges, comparaison avec la mer historique des Sargasses et la nouvelle zone de prolifération) ;

- Retracer l'origine du carbone et de l'azote présents dans les sargasses.

SARGOOD : Approche holistique de la valorisation des sargasses

Coordinateur : Marie-Ange Arsene (Connaissance et valorisation : chimie des matériaux, environnement, énergie - COVACHIM-M2E)

Collaborateurs : Valérie Simon (École nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques – ENSIACET, Laboratoire de chimie agro-industrielle - LCA), Cédric Coco-Viloin (SMART-ISLAND), Joao Adriano Rossignolo (Universidade de São Paulo), Hugues Occibrun (100% Zeb), Anne Becker (Ross University, School of Veterinary Medicine à Saint-Christophe-et-Niévès), Jayaraj Jayaraman (UWI, Trinité-et-Tobago)

Objectifs :

- Évaluation du cycle de vie des sargasses ;
- Optimisation des techniques de collecte et de transformation ;
- Développement de procédés d'extraction et de méthodes analytiques ;
- Valorisation des produits et sous-produits par bioraffinerie ;
- Développement de matériaux et technologies innovants (éco-matériaux et panneaux fabriqués à partir de cendres et de particules, charbon poreux pour le traitement de l'eau, agents gélifiants, teintures anticorrosion, bio-éliciteurs et biostimulants, produits agricoles).

Contexte :

Ce projet abordera plusieurs aspects importants à prendre en compte pour la valorisation des sargasses :

- L'impact biologique de la récolte des sargasses sur la faune indigène associée ;
- L'étude phytochimique, métabolomique et physico-chimique des matières non extractibles des sargasses ;
- La pouzzolanité et le potentiel des précurseurs géopolymères ;
- La morphologie du charbon de sargasses pour le traitement de l'eau ;
- L'activité biologique et anticorrosive de l'agent gélifiant de sargasses ;
- La stabilité, la viabilité, la validité et l'impact environnemental des procédés proposés des produits valorisés.

SARGSCREEN : criblage pharmaco-toxicologique des molécules extraites des sargasses caribéennes : souligner leur impact sur certaines pathologies

Coordinateur : Azaria Remon (Association pour la valorisation des ressources naturelles de la Martinique)

Collaborateurs : Juliette Smith-Ravin (Association de recherche en épidémiologie et en biodiversité – AREBio, Martinique) et Lionel Massi (Université Nice Sophia Antipolis, Institut de chimie de Nice)

Objectif : Détecter le potentiel pharmacologique des extraits d'algues sargasses contre des pathologies répandues dans les Caraïbes.

Contexte :

Les sargasses présentent un fort potentiel pharmaceutique en raison de leurs composés biologiquement actifs (tanins, terpénoïdes, flavonoïdes, stérols, polysaccharides sulfatés, polyphénols, acide sargaquinoïque, sargachroménol, phéophytine, etc.) et de leurs activités pharmacologiques (analgésique, anti-inflammatoire, antioxydant, neuroprotecteur, antimicrobien, fibrinolytique, immunomodulateur, anticoagulant, hépatoprotecteur, etc.).

SARtrib : Valorisation tribologique et électrochimique des sargasses

Coordinateur : Thierry Cesaire (Groupe de technologie des surfaces et interfaces - GTSI)

Collaborateurs : Sébastien Mathouraparsad (CREDDI - Laboratoire d'économie appliquée au développement - LEAD), Christine Cecutti (Toulouse Institut national polytechnique (INP) - ENSIACET-LCA) et Marc Dubois (Institut de chimie de Clermont-Ferrand - ICCF)

Objectifs : Valorisation des sous-produits de la pyrolyse sous vide des sargasses : électrodes pour batteries lithium et nouvelle génération de lubrifiant.

Contexte :

- Le GTSI étudiera la caractérisation tribologique, nano-mécanique et physico-chimique des sargasses. La caractérisation tribologique utilise des mécanismes de réduction des frottements et des mécanismes anti-usure, basés sur des réducteurs de frottement au carbone dérivés de la biomasse locale. Le GTSI sera également responsable de la caractérisation de la biomasse avant la pyrolyse (avec LCA), de la phase solide pyrolysée et de la tribologie.
- L'ICCF étudiera la fluoration et les matériaux fluorés pour l'ingénierie énergétique et des surfaces. Les matériaux en nano-carbones et nano-oxydes seront testés comme des filtres ou des matériaux sensibles aux gaz polluants. Les carbones dérivés de carbure issus de la fluoration seront testés en vue de leur utilisation dans des supercondensateurs. Les fluorures et oxyfluorures de métaux de transition seront testés comme matériaux d'électrode pour les batteries secondaires, tandis que les (nano-)carbones fluorés seront testés comme électrode pour les batteries principales. Le traitement de surface des polymères sera testé pour obtenir une ou plusieurs propriétés (hydrophobie, CO₂, O₂ et barrière gazeuse pour l'eau, antibactérien, etc.). L'incorporation de nanocarbones fluorés sera testée dans les polymères et de même que la fluoration du graphène, des nanotubes, des nanofibres et des nanodisques de carbone. L'ICCF sera responsable des aspects fluoration et électrochimie du projet.
- Le LCA étudiera le fractionnement de différentes biomasses, notamment de déchets issus de l'agriculture, des agro-industries, des forêts, des déchets alimentaires, des microalgues et algues, et leur réactivité chimique pour des utilisations potentielles (bioproduits, agro-matériaux, solvants,

pigments, tensioactifs, adhésifs, arômes, additifs et lubrifiants). Le LCA sera responsable de la caractérisation de la biomasse avant la pyrolyse (avec le GTSI) et de la phase liquide pyrolysée.

- Le CREDDI-LEAD étudiera le développement de modèles appliqués aux régions les plus reculées, la préparation de divers contrats de plan de financement, de fonds structurels, d'enquêtes et la modélisation économétrique. Le CREDDI sera responsable du modèle économique.

SAVE : Valorisation agricole des sargasses et production d'énergie

Coordinateur : Stéphane Pacaud (École nationale supérieure d'agronomie et des industries alimentaires)

Collaborateurs : Harry Archimede (INRA - Unité de recherche zootechnique (URZ)), Séverine Piutti (Laboratoire agronomie environnement) et Jean Pierre Porry (Société maritime de remorquage et d'assistance (SOMARA) en Martinique)

Objectifs :

- Identifier des méthodes non destructives de récolte des sargasses ;
- Identifier des méthodes de stockage des sargasses et des mesures sanitaires ;
- Effets de l'impact du sel sur la méthanisation ;
- Effets de l'ajout de biodéchets sur la méthanisation ;
- Identifier la qualité agronomique des digestats et leurs fonctions dans les sols ;
- Développer des mesures de gestion sanitaire (physico-chimique et microbiologique) des digestats ;
- Développer une approche sociale et environnementale de l'intégration du traitement des sargasses et des biodéchets locaux.

SAVE-C : Étude des sargasses holopélagiques responsables des échouages massifs : valorisation et écologie sur les côtes caribéennes

Coordinateur : Valérie Stiger (UBO-LSEM)

Collaborateurs : Valérie Michotey (IRD-MIO), Béatrice Rhino (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)), Nathalie Bourgougnon (Laboratoire de biotechnologie et chimie marines), Jean-Louis Lanoiselle (Institut de recherche Duy de Lôme (IRDL)), Isabelle Mussio (UMR BOREA), Maud Benoit (ALGAIA), Ivan Janeau (EFINOR), Henri Vallès (UWI, Cave Hill, Barbade), Charlotte Dromard (UA-UMR BOREA), Maxime Chevalier (UA-L3MA en Martinique), Jean-Pierre Allenou (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER) en Martinique), Daniel Reobledo (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) à Merida, Mexique), Ralph Siniamin (Siniamin Funéraire Sasu & The Marine Box)

Objectifs :

- Mieux comprendre la diversité et le fonctionnement des sargasses pélagiques, de la dérive des radeaux jusqu'à leur échouage ;

- Comprendre la capacité des sargasses à vivre dans des conditions pélagiques, la façon dont elles concentrent certains contaminants et le processus de dégradation des sargasses échouées ;
- Collecter et valoriser les sargasses dans deux secteurs : l'agriculture (biopesticides) et les biomatériaux (carton).

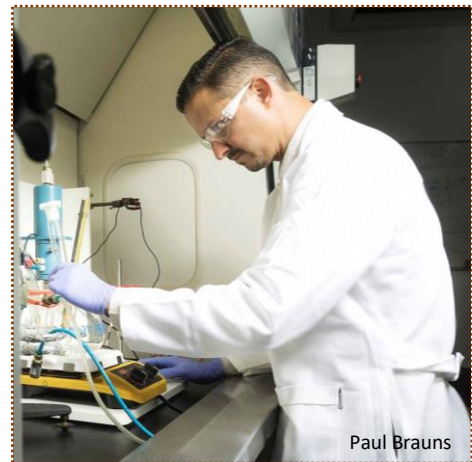
Contexte :

Ce projet est axé autour de trois principaux thèmes : 1) la caractérisation, 2) la collecte et la valorisation, et 3) les impacts. La caractérisation se concentrera sur l'étude de la diversité associée aux radeaux de sargasses, et de l'influence des conditions environnementales sur le cycle de vie, comme les contaminants et la dégradation. L'axe de la collecte et de la valorisation étudiera la stabilisation des matières premières et différents types de valorisation. Enfin, l'axe des impacts examinera les interactions trophiques et chimiques des organismes présents dans les radeaux de sargasses.

3.2.5 Université polytechnique de Quintana Roo : développement d'une chaîne de valeur durable autour des sargasses

Depuis 2019, l'Université polytechnique de Quintana Roo (UPQRoo), située à Cancún au Mexique, travaille sur un projet de recherche visant à identifier des opportunités commerciales durables en lien avec l'utilisation des sargasses, qui pourraient entraîner le développement d'une filière de valorisation durable autour de ces algues, facile à reproduire et à adapter dans d'autres régions ou pays. Ce projet de deux ans est financé par le Conseil mexicain de science et technologie (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACyT) et est mis en œuvre par une équipe de recherche, dirigée par le Dr Jorge Cantó et dix autres chercheurs. Afin de mieux identifier les potentiels usages économiques des sargasses, l'équipe de recherche a planifié ses activités de manière à suivre une approche exhaustive :

1. Organisation des forums de discussion avec d'autres chercheurs pour identifier des usages potentiels ;
2. Échantillonnage et analyse des sargasses ;
3. Caractérisation des échantillons ;
4. Évaluation des possibilités et des défis techniques ;
5. Évaluation des impacts sociaux et écologiques ;
6. Évaluation de la demande du marché ;



Dr Jorge Cantó, chef d'équipe

Les analyses menées en laboratoire sont : la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) en phase inverse, la résonance magnétique hydraulique de l'hydrogène (200 MHz), la séparation par chromatographie sur colonne pour les points d'intérêt, la spectroscopie infrarouge des extraits, la valeur calorifique avec pompe et la composition calorimétrique (composés, énergie, fibre, cendre, métaux, alginate, triglycéride, polyphénol, etc.). Après analyse, les deux fractions des échantillons liquides et solides ont été caractérisées et associées à des applications potentielles. Ces dernières, qui sont basées sur les composants d'intérêt, sont indiquées sur le tableau suivant.

Tableau 10. Applications potentielles des extraits de sargasse, d'après l'UPQRoo

Composant	Applications potentielles
Polyphénols	Produits pharmaceutiques, aliments, cosmétiques
Alginates	Produits pharmaceutiques, aliments, cosmétiques, textile, produits de soin dentaire et vétérinaire
Triglycérides	Développement de matériaux, tensioactifs, inhibiteurs de corrosion, biocarburants et produits médicaux et médicaments
Bagasse de sargasse	Produits agricoles (engrais, compléments alimentaires pour animaux) et produits à base de papier

L'équipe de recherche de l'UPQRoo a développé un outil qui permet d'évaluer quantitativement la faisabilité et les impacts potentiels liés au développement de chaque utilisation potentielle identifiée pour les sargasses. Cet indicateur d'impact pourrait être un outil précieux pour déterminer et mettre la priorité sur les utilisations les plus adaptées et les plus prometteuses pour le développement des sargasses, en fonction des zones et contextes d'application. Un indicateur a donc été créé pour attribuer une valeur et un poids à la probabilité de succès au regard des bénéfices générés pour la société, de la rentabilité financière, de l'acceptabilité, de la demande du marché et de la viabilité technique. Sept éléments d'impact différents ont été évalués d'après un ensemble de critères prédéfinis et une valeur associée, comme indiqué sur le tableau suivant.

Tableau 11. Facteurs d'impact indiquant les critères d'évaluation du potentiel des différentes utilisations des sargasses

Indicateur d'impact	Critères	Valeur
Type d'algues utilisé pour la recherche	Développement technique réalisé avec les algues <i>Sargassum fluitans</i> et/ou <i>S. natans</i>	5
	Développement technique réalisé avec d'autres espèces d'algues	0
Social	L'application génère des bénéfices sociaux directs	5
	L'application génère des bénéfices sociaux indirects	3
	L'application ne génère aucun bénéfice social	1
Technique	Le niveau de développement technique est un niveau industriel dans le monde	5
	Le niveau de développement technique est un niveau industriel dans le pays	4
	Le niveau de développement technique est celui d'une installation pilote	3
	Le niveau de développement technique est celui du laboratoire de recherche	2
	Le niveau de développement technique est celui de la recherche théorique	1
Financier	Le développement technique est au niveau industriel et est considéré économiquement viable	5
	Le niveau de développement technique est celui de l'installation pilote et est considéré comme très probablement viable sur le plan économique	3
	Le niveau de développement technique est seulement celui de la recherche et la viabilité économique est inconnue	1
	Non considéré comme économiquement viable	0
Institutionnel	Développement de collaborations inter-institutionnelles entre différents acteurs (public, privé ou une combinaison des deux)	5
	La collaboration inter-institutionnelle n'est pas requise	3
	Nécessité de collaborations inter-institutionnelles inconnue	0
Environnemental	Impact environnemental favorable résultant du développement de l'utilisation	5
	Aucun impact environnemental résultant du développement de l'utilisation	3
	Impact environnemental néfaste résultant du développement de l'utilisation, cependant un plan de prévention et/ou d'atténuation est mis en place	1
	L'impact environnemental du développement de l'utilisation n'est pas connu	0
Demande du marché	Demande du marché prouvée sur un marché solide	5
	Pas de demande de marché prouvée	3
	Aucune donnée disponible sur l'existence d'un marché	1

D'après les résultats obtenus à partir de l'indicateur d'impact, l'équipe a identifié trois principaux secteurs pour lesquels les sargasses présentent une potentielle valeur commerciale dans le contexte mexicain :

1. Secteur pharmaceutique

L'alginate de sodium extrait des sargasses a de nombreuses applications différentes comme les agents épaississants et émulsifiants, que l'on utilise couramment dans les produits pharmaceutiques, les cosmétiques, les préparations alimentaires, les produits en papier, le textile, etc. La demande en alginate de sodium du marché mondial devrait atteindre plus de 923 millions d'USD d'ici 2025 (Grand View Research 2017). D'après le Dr Cantó, « si le Mexique pouvait assurer 20 % de la part du marché mondial de l'alginate de sodium, ceci équivaldrait à utiliser 35 % de la quantité totale de sargasses échouées sur les côtes mexicaines en 2019. Ainsi, ce produit permettrait à lui seul de résoudre un tiers du problème » (Edwards 2020).

2. Agricole

Le développement de biofertilisants pour le secteur agricole mexicain représente aussi une utilisation potentiellement durable des sargasses. Beaucoup d'exploitations mexicaines sont situées dans les régions centrales et nord du pays en partie parce que les agriculteurs dépendent fortement des engrais importés des États-Unis. D'après le Dr Cantó, produire des engrais locaux pourrait accroître la production agricole dans la région. L'équipe de l'UPQRoo a formé un partenariat avec la société de biotechnologie agricole Tierra de Monte pour mener les recherches du projet sur les engrais à base de sargasses. Les résultats préliminaires indiquent trois produits agricoles distincts qui peuvent être produits à partir d'un simple procédé de chauffage et de filtrage de l'algue :

- Le liquide concentré extrait peut être utilisé comme un biostimulant pour plante.
- Les résidus solides restants peuvent être utilisés comme substrat pour la production de champignons.
- Après utilisation, ce substrat peut être composté et appliqué sur les champs agricoles comme amendement de sol.



3. Pétrole et gaz

L'utilisation des sargasses comme inhibiteur de corrosion pour les oléoducs et les gazoducs est une autre voie de valorisation potentielle intéressante. Les sargasses contiennent des composés qui peuvent être utilisés dans les pipelines en acier pour éviter qu'ils ne se corrodent. Bien que cette utilisation soit destinée à un marché très spécifique et nécessiterait probablement des quantités de sargasses plus faibles que l'option agricole, elle aurait néanmoins un impact économique important.

L'UPQRoo a conclu un partenariat avec Lorenzo Martínez (diplômé de l'Harvard Business School), qui dirige la partie commercialisation et étude de marché du projet. En créant une filière de valorisation pour les sargasses et en mettant en place des installations de traitement centrales, cela incitera à plus de récolte d'algues et encouragera plus d'entrepreneurs à s'impliquer et à créer des entreprises. Cependant, lors du développement de modèles commerciaux durables, il est crucial de considérer la variabilité de l'approvisionnement, car les afflux massifs de sargasses ne sont pas constants et réguliers. Les entrepreneurs ne sont pas enclins à investir dans une entreprise susceptible de subir des pénuries de matières premières et sans garantie que les sargasses continueront à proliférer à la même vitesse que depuis 2015. D'après Lorenzo, même si les échouages de sargasses faiblissent, la

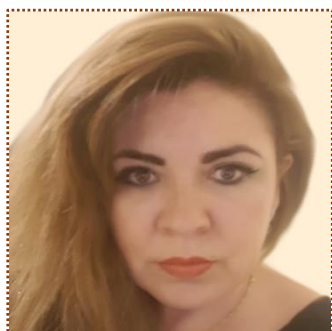


Dr Jorge Cantó et Lorenzo Martínez

quantité serait suffisante pour développer une filière de valorisation durable et des entreprises viables. En outre, l'équipe évaluera aussi les projections économiques de certains produits d'intérêt.

Un autre élément qui est étudié par l'équipe de l'UPQRoO est le développement d'une imagerie satellite et d'un système de détection par intelligence artificielle pour prédire les mouvements des sargasses. Ce système aidera la marine mexicaine à localiser les zones au large qui présentent de fortes proliférations de sargasses afin que des bateaux de récolte spécialisés utilisés par la marine puissent naviguer directement vers ces zones et récolter les radeaux de sargasses avant qu'ils n'atteignent les côtes mexicaines.

3.2.6 Centre pour la physique appliquée et la technologie avancée (CFATA), Université autonome du Mexique (UNAM), campus Queretaro Juriquilla : biofiltres de sargasse pour la bioremédiation



Collaborateurs :

- Dr Miriam Rocío Estévez González (CFATA, UNAM)
- Dr José Luis López Miranda (CFATA, UNAM)
- Dr Rodrigo Alonso Esparza Muñoz (CFATA, UNAM)
- Dr Ángel Ramón Hernández Martínez (CFATA, UNAM)
- Dr Rodolfo Silva Casarín (Inst. d'ingénierie, UNAM)
- Dr Brigitta I. Van Tussenbroek (Inst. de science de la mer et de limnologie, UNAM)

Le Dr Miriam Rocío Estévez González est ingénieure en chimie et Directrice du laboratoire des biomatières appliquées. Ses principaux intérêts de recherche sont : 1) la synthèse et la caractérisation de nouveaux matériaux composites avec des applications biomédicales, 2) la synthèse verte des nanoparticules métalliques, et 3) la synthèse verte des polymères pour différentes bio-applications et le traitement des eaux usées.

Depuis 2019, elle travaille au développement de filtres (membranes) de sargasses pour des applications de bioremédiation et le retrait de contaminants comme les métaux, les sulfates et les pigments (composés phénoliques). Elle a également réalisé des essais avec ces filtres et ces derniers ont donné des résultats prometteurs pour le traitement des lixiviats de sargasses qui sont extrêmement acides et présentent de grandes quantités de composés soufrés.

Les biofiltres à base de sargasses sont une excellente proposition pour le retrait des contaminants dissouts dans l'eau. Ce type de dispositif a pour but de traiter l'eau contaminée, en tirant parti des propriétés des sargasses. Dans de précédentes études, la capacité des sargasses à absorber différentes substances et différents éléments a été évaluée et rapportée pour des systèmes statiques avec un volume d'eau fixe dans un système d'agitation. Cependant, l'exploitation de cette capacité de retrait n'a pas été tentée lors de la mise en œuvre d'un filtre avec débit d'eau continu. Ces biofiltres ont été conçus et fabriqués par le groupe de recherche dirigé par le Dr Estevez. Les biofiltres sont constitués d'un récipient qui contient des

sargasses et au travers duquel l'eau contaminée circule. Différents facteurs comme le débit d'entrée, la concentration en contaminant, la masse et la répartition des sargasses dans le récipient ont été évalués pour déterminer les conditions et les caractéristiques optimales des biofiltres. Les substances qui sont efficacement retirées avec ces biofiltres sont les teintures organiques (bleu de méthylène, l'hélianthine, le rouge de méthyle) et les espèces ioniques (ions plomb, cuivre et sulfate). Ces teintures sont largement

utilisées dans les secteurs du papier et des cosmétiques, et sont souvent rejetées dans les rivières ou les lacs. L'efficacité du retrait dépend du contaminant dissout dans l'eau. Dans le cas du bleu de méthylène, une efficacité proche de 100 % a été obtenue, avec l'absorption complète de cette substance. En cas d'ions plombs, on atteint plus de 85 % d'absorption. Pour d'autres substances évaluées, l'efficacité était supérieure à 65 %. Ces biofiltres peuvent être appliqués de deux manières différentes : (1) pour la dépollution et le traitement des eaux qui ont déjà été contaminées et (2) pour l'épuration des eaux usées industrielles en vue d'un rejet sûr dans l'environnement.

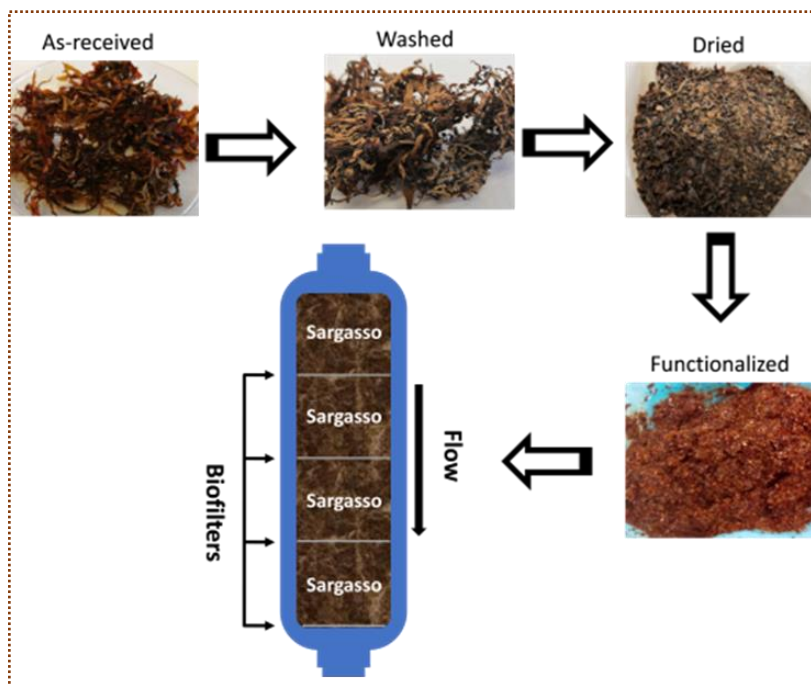


Diagramme illustrant le procédé de construction d'un biofiltre à base de sargasses pour le retrait de contaminants dissous dans l'eau



Apparence des sargasses avant et après le processus de retrait

Les sargasses sont enfin chargées dans le filtre, réparties en plusieurs couches, et sont prêtes à filtrer l'eau contaminée.

Il est important de noter que l'un des facteurs les plus importants pour obtenir un niveau d'efficacité élevé est le temps de séjour de l'eau contaminée dans le filtre. On obtient des conditions optimales en contrôlant le débit d'arrivée du fluide à l'aide d'une vanne de régulation. De cette manière, seuls 3,5 kg de

sargasses sont nécessaires pour traiter 1 m³ d'eau contaminée. Un des autres avantages de ce type de biofiltre est qu'il peut être réutilisé. Des études ont démontré que les contaminants retirés par les

sargasses peuvent être désorbés par le biais d'un traitement chimique. De cette manière, les sargasses peuvent être utilisées plusieurs fois pour le même usage.

Les biofiltres à base de sargasses peuvent représenter une alternative viable, économique et respectueuse de l'environnement pour résoudre des problèmes et des défis majeurs au Mexique. Ils permettent tout d'abord de réduire la biomasse sargasses qui s'accumule sur les côtes caribéennes et lui donnent une utilité. En outre, ils permettent de traiter l'eau contaminée à différents niveaux (domestique, agricole ou industriel) tout en favorisant le rétablissement de la flore et de la faune aquatiques qui ont été affectées par les polluants libérés dans des plans d'eau naturels depuis plusieurs années.

Section 4

Répertoire des entrepreneurs et des chercheurs

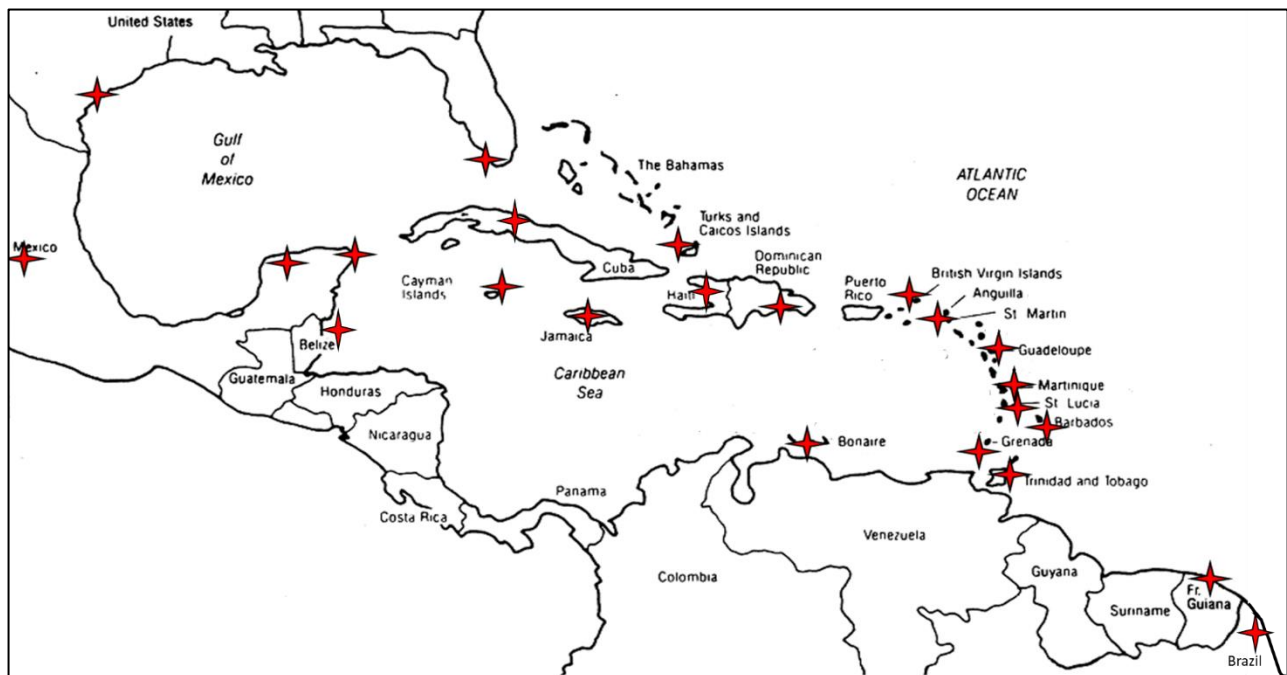


Photo : Hazel A. Oxenford

4. Répertoire des entrepreneurs et des chercheurs qui développent des utilisations des sargasses

Nous fournissons ici un répertoire d'entrepreneurs et de chercheurs dans le domaine des sargasses pour faciliter la constitution de réseaux entre les nombreux acteurs impliqués dans le développement d'utilisations viables et durables de la biomasse de sargasses pélagiques et présents dans de nombreux pays caribéens (voir carte). Ce répertoire a aussi pour but de contribuer à éviter la répétition inutile des efforts et le gaspillage de fonds, de ressources et de temps de recherche et développement. Les différents acteurs répertoriés sont classés par catégorie d'application.

Nous reconnaissons que ce répertoire évoluera dans le temps et espérons qu'il constituera un point de départ pour la constitution d'une ressource en ligne constamment actualisée.



Carte montrant la large répartition géographique des entrepreneurs et des chercheurs du secteur des sargasses, dans la région caribéenne

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
Agriculture – élevage animal	Complément alimentaire pour chèvres et charbon à base de sargasses	Awganic Inputs / Integral Recyclers Limited	Jamaïque	Daveian Morrison, Fondateur et PDG 876 383 5286 / 876 323 8682 awganicinputs@gmail.com	Ce jeune entrepreneur développe des produits innovants à base de sargasses, comme un mélange d'aliments pour chèvres et du charbon. Cet aliment est composé d'un mélange de sargasses (jusqu'à 30 %) et de déchets agroalimentaires organiques disponibles localement (l'aliment a une teneur en protéines de 30 %). En collaboration avec un éleveur de chèvres local, il a testé son aliment pour savoir si les chèvres accepteraient l'odeur de ce nouvel aliment. Comme ce dernier a été bien accepté par les chèvres, il commence à présent des essais cliniques. - https://www.facebook.com/awganic/ - https://www.facebook.com/integralrecyclers/ - http://jamaica-gleaner.com/article/news/20191001/growth-jobs-daveian-morrison-transforms-seaweed-goat-feed
	Recherche - CA et biochar	Projet PYROSAR	France (Guadeloupe, Martinique) et collaborateurs	Pr Sarra Gaspard, coordinateur de projet sarra.gaspard@univ-antilles.fr	Valorisation des sargasses par pyrolyse, et application pour la sécurité alimentaire
	Recherche - Compost et aliment pour animaux	Consortium SARGWA, INRA et Université des Antilles	France (Guadeloupe)		Analyse physicochimique de la composition des sargasses (métaux lourds, pesticides, hydrocarbures, produits biochimiques et biocides) en vue de leur valorisation dans l'agriculture (épandage direct, compost et aliment pour animaux). http://saas971.com/index.php/2018/07/22/consortium-sargwa/
	Recherche - Aliment pour animaux	Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ), Département de nutrition animale	Mexique	Silvia Carrillo Domínguez silvia.carrillod@incmnsz.mx	Recherche sur l'utilisation d'ingrédients naturels non traditionnels, y compris des sargasses, pour les aliments pour animaux (poulets et petits ruminants), analyse compositionnelle des œufs et de la viande pour connaître les impacts de l'aliment, et évaluation des stratégies nutritionnelles pour réduire le risque de stéatose hépatique chez les animaux. https://www.incmnsz.mx/Investigacion/investigador.jsp?id=83&i=dep=3
Agriculture Production végétale	Biostimulant - Super Seaweed	Red Diamond Compost	Barbade	Joshua Forte, fondateur et PDG 246 549 1594 info@reddiamondcompost.com	La société développe plusieurs amendements agricoles organiques y compris des biostimulants pour plante faits avec différentes matières à base de plante, notamment des sargasses. http://www.reddiamondcompost.com/en/
	Biostimulant - Tonique total pour plante	Algas Organics	Sainte-Lucie	Johanen Dujon, fondateur et PDG 758 461 5019 johanen@algasorganics.com	Ce jeune entrepreneur est un pionnier dans le développement de biostimulant pour plante à base de sargasses et est connu pour son projet innovant à travers les Caraïbes. https://www.algasorganics.com/

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
	Compost	Holdex Environnement	France (Martinique)	Mike Bernus, Directeur 0596 50 36 58 mb@holdexenvironnement.com	La société a commercialisé plusieurs produits organiques pour l'agriculture (amendements de sol, paillis, engrais, biochar), y compris du compost à base de sargasses (co-compostage). https://www.martinique2030.com/non-classe/holdex-environnement-une-solution-de-valorisation-des-sargasses-100-martiniquaise
Agriculture - Production végétale	Engrais, paillis, cosmétiques et papier	Salgax Biotecnología Marina Aplicada	Mexique	Mauricio Gómez 52 999 285 4541 / 52 999 374 3214 / 52 999 371 5107 salgaxventas@salgax.com	L'équipe de jeunes entrepreneurs développe plusieurs produits à base de sargasses comme des engrais, du paillis, des cosmétiques et du papier. - https://salgax.com - https://www.efe.com/efe/english/technology/mexican-young-entrepreneurs-turning-seaweed-into-eco-friendly-products/50000267-3709834
	Compost, paillis et bioplastique	AlgaeNova	République dominicaine	Manolo Despradel, Directeur général 809 959 2070 algeanovard@gmail.com	L'équipe produit un compost composé à 60 % de sargasses et à 40 % de faux mimosa, qui met environ 70 jours à maturer, ainsi qu'un paillis 100 % sargasses. En collaboration avec Bionova, elle a développé des assiettes à usage unique constituées à 50 % de sargasses et à 50 % de manioc, qui sont entièrement compostables (aucun compostage industriel requis) en 30 jours. - www.algeanova.com - https://www.facebook.com/algeanovard/
	Compost (en cours de développement)	SUEZ	France (Guadeloupe)	Stéphane Dupuy, Directeur général de Sita Espérance Stephane.dupuy@suez.com	SUEZ est une société de longue date spécialisée dans la gestion de l'eau et des déchets, qui se concentre sur la gestion innovante, intelligente et durable des ressources. Elle promeut les économies circulaires qui garantissent le recyclage et la valorisation des matières. https://www.suez.fr/fr-fr/notre-offre/succes-commerciaux/nos-references/valorisation-des-sargasses
	Engrais	Sargasso Organics	Barbade	Roett's Garage 246 426 0547 roettsgarage@gmail.com	Cette récente société commercialise un engrais à base de sargasses, disponible sur toute l'île.
	Engrais (Alquifert), alginate et fucoïdanes	Alquimar	Mexique	Luis Masía Nebot, fondateur 998 310 1231 info@alquimar.com.mx	Cette société dynamique développe plusieurs produits à base d'algues, notamment des sargasses. Elle commercialise des engrais et des extraits de fucoïdane, et ajoutera bientôt des extraits d'alginate à ses produits finaux. https://alquimar.com.mx/nosotros/

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
	Engrais et produits à base de papier	Dianco México	Mexique	Hector Romero 55 2731 3841 hromero@medialectica.com	Dianco est en train d'établir une usine de traitement des sargasses pour produire un engrais et des produits en papier à base de sargasses. - www.diancomexico.com - https://www.facebook.com/DiancoMexico/ - https://www.elfinanciero.com.mx/tv/la-nota-dura/sargazo-no-dejara-de-llegar-es-consecuencia-del-cambio-climatico-dianco
Agriculture - Production végétale	Compost	Beacon Farms et University College of the Cayman Islands (UCCI)	Îles Caïmans	Granger Haugh, Président / Sasha Appleby, Unité de production agricole 345 326 4426 / 345 324 2991 grangerhaugh@gmail.com	Beacon Farms est une organisation à but non lucratif qui offre des logements et des emplois à d'anciens toxicomanes et alcooliques. En collaboration avec les chercheurs à l'University College of the Cayman Islands, l'organisation explore le potentiel des sargasses utilisées comme amendement de sol compostable. - www.beaconfarmscayman.org - https://cen.acs.org/environment/sustainability/Sargassum-strangling-tourism-Caribbean-scientists/97/i34
	Compost et restauration côtière	Moon Palace Resort	Mexique	Antonio Ortiz, Responsable environnemental Info@palaceresorts.com	L'hôtel Moon Palace a collecté des sargasses sur sa plage de 2 km pendant plusieurs années et les a transformées en compost, utilisé sur le terrain de l'hôtel. La société s'est impliquée activement dans la restauration de sa zone côtière et a cultivé, à l'aide des sargasses, des plantes pour empêcher l'érosion des plages.
	Recherche - Paillis, engrais, bio-éliciteur	Université West Indies	Barbade, Trinité-et-Tobago	- Dr Francis Lopez, Département de sciences biologiques et chimiques, Barbade (paillis et engrais). francis.lopez@cavehill.uwi.edu - Pr Jayaraj Jayaraman, Département des sciences de la vie, Trinité (bio-éliciteurs, nanopesticides et biocontrôle) Jayaraj.Jayaraman@sta.uwi.edu	Plusieurs projets en cours pour déterminer le potentiel de l'utilisation des sargasses dans des applications agricoles.
	Recherches - Application pratique sur le terrain	Institut Technique Tropical (IT2)	France (Guadeloupe et Martinique)	David Dural, Directeur 0596 42 43 54 d.dural@it2.fr	Analyses agronomiques et toxicologiques des effets résultant de l'application du compost de sargasses pélagiques et de l'épandage direct sur le terrain. http://www.it2.fr/
	Recherche - CA et biochar	Projet PYROSAR	France (Guadeloupe, Martinique) et collaborateurs	Pr Sarra Gaspard, coordinateur de projet sarra.gaspard@univ-antilles.fr	Valorisation des sargasses par pyrolyse, et application pour la sécurité alimentaire

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
	Recherche - Bio-éliciteur, biostimulant	Projet SARGOOD	France (Guadeloupe) et collaborateurs	Marie-Ange Arsène, coordinatrice de projet maarsene@univ-ag.fr	Approche globale de la valorisation des sargasses, notamment du développement de bio-éliciteurs, de biostimulants et d'autres produits agricoles, de produits et sous-produits de bioraffinerie, d'éco-matières et de panneaux à partir de cendres et de particules, de charbon actif, d'agents gélifiants, de teintures anti-corrosives.
	Recherche - Agriculture	Projet SAVE	France (Martinique) et collaborateurs	Stéphane Pacaud, coordinateur de projet stephane.pacaud@univ-lorraine.fr	Valorisation agricole des sargasses et production d'énergie
	Recherche - Biopesticides	Projet SAVE-C	France (Martinique) et collaborateurs	Valérie Stiger, coordinatrice de projet Valerie.Stiger@univ-brest.fr	Valorisation des sargasses dans l'agriculture (biopesticides) et en tant que biomatière (carton).
Agriculture - Production végétale	Recherche - Compost et analyse	Projet ECO ₃ SAR	France (Guadeloupe)	Dr Pascal Jean Lopez, coordinateur de projet 33 1 40 79 37 02 Pascal-jean.lopez@mchn.fr	Analyse compositionnelle des sargasses et du co-compostage (projet en collaboration avec Holdex Environnement). http://www.cnrs.fr/fr/un-projet-de-recherche-aux-antilles-francaises-pour-valoriser-les-sargasses
	Recherche - Engrais, aliments pour animaux et analyse	Groupe Amadéite	France (Guadeloupe)		Projet pilote en collaboration avec l'ADEME pour déterminer le potentiel des sargasses pour améliorer la santé des plantes, des animaux et des humains en optimisant l'extraction de composés.
	Recherche - Substrat pour champignon	Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), Colegio Postgraduados, Puebla Campus et Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP)	Mexique	Dr Alfonso Larqué Saavedra, CICY larque@cicy.mx Dr Daniel Claudio Martínez Carrera, UPAEP dcarrera@colpos.mx	Recherche en cours sur l'utilisation des sargasses comme substrat de croissance pour la culture de champignons https://www.cicy.mx/noticias-y-eventos/boletin-06-cicy-y-colpos-proponen-aprovechar-sargazo-para-la-produccion-de-hongos-comestibles https://www.foroconsultivo.org.mx/eventos_realizados/RP_hongos_14_01_2019/1_hongos_comestibles.pdf
Alginates	Alginates	Grupo Metco	Mexique	Hector Alvarez clientes@metco.com.mx	Grupo Metco travaille depuis 25 ans dans le développement de compléments alimentaires et d'édulcorants. Il étudie actuellement l'extraction d'alginate de sargasse et d'autres algues. Il élabore également des blocs de construction à partir de bagasse de canne à sucre et de sargasse.

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
	Alginate, fucoïdanes et engrais (Alquifert)	Alquimar	Mexique	Luis Masía Nebot, fondateur 998 310 1231 info@alquimar.com.mx	Cette société dynamique développe plusieurs produits à base d'algues, notamment des sargasses. Elle commercialise des engrais et des extraits de fucoïdane, et ajoutera bientôt des extraits d'alginate à ses produits finaux. https://alquimar.com.mx/nosotros/
	Extraits d'alginate	Université West Indies	Barbade, Trinité et Jamaïque	Dr Srinivasa Popuri – Département de biologie et de chimie, Barbade (bioéthanol) srinivasa.popuri@cavehill.uwi.edu Dr Bidyut Mohapatra, Département des sciences biologiques et chimiques, Barbade (alginate lyase nano-biocatalytique) bidyut.mohapatra@cavehill.uwi.edu Pr Jayaraj Jayaraman, Département des sciences de la vie, Trinité (bio-éliciteurs, nanopesticides et biocontrôle) Jayaraj.Jayaraman@sta.uwi.edu Dr Keeran Ward, Département d'ingénierie chimique, Trinité (composite à couche mince - Contenant pour eau biodégradable) keeran.ward@sta.uwi.edu Dr Howard Reid, Mona Institute of Applied Science mias@uwimona.edu.jm	Plusieurs chercheurs à travers les trois campus caribéens travaillent sur différentes études pour évaluer l'utilisation potentielle des extraits d'alginate de sargasse pour plusieurs applications.
	Extraits d'alginate	Projet Nexo, Tecnológico de Monterrey	Mexique	Dr Jesús Antonio Jáuregui, Bio-ingénierie jesusjauregui@tec.mx	Un groupe d'étudiants extrait des alginates et des fucoïdanes des parois cellulaires des sargasses pour déterminer les utilisations potentielles dans les gels douches, les crèmes et d'autres cosmétiques. https://guiauniversitaria.mx/estudiantes-transforman-el-sargazo-en-cosmeticos/
Antifouling	Recherche - Propriétés antifouling	Projet CORSAIR	Guadeloupe	Christophe Roos, coordinateur de projet christophe.roos@univ-antilles.fr	Recherche sur l'impact des produits chimiques extraits des sargasses et caractérisation des molécules naturelles avec les propriétés antifouling.

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
	Recherche - Teintures anticorrosives	Projet SARGOOD	Guadeloupe et collaborateurs	Marie-Ange Arsène, coordinatrice de projet maarsene@univ-ag.fr	Approche globale de la valorisation des sargasses, notamment du développement de bio-éliciteurs, de biostimulants et d'autres produits agricoles, de produits et sous-produits de bioraffinerie, d'éco-matières et de panneaux à partir de cendres et de particules, de charbon actif, d'agents gélifiants, de teintures anti-corrosives.
Biocarburants	Biogaz et digestat	EnergyAlgae	République dominicaine	Ygdal Ach, CEO, Y.A. MAOF Holding Management Ltd. 972 3 7798825 / 972 50 2626749 ygdal@yamaof.co.il Dr Shmuel Brenner, Chef de projet shmuel4212@gmail.com Franklyn Holguin Hache, Université APEC fholguinhache@adm.unapec.edu.do	Projet pilote à Punta Cana pour expérimenter cinq petites unités de méthanisation avec des sargasses et des déchets organiques. Les résultats seront utilisés comme base pour développer une unité de production de biogaz par co-digestion de 1 MW. https://www.energy-algae.com/
	Biogaz et digestat	Fickert & Winterling Maschinenbau (FWM) - BiogasTiger	Allemagne	Karen Guerrero, responsable régionale 593 998 038 333 Karen.guerrero@fwe.energy	Installera bientôt dans des hôtels mexicains, des unités de méthanisation utilisant des sargasses et d'autres déchets des hôtels, dans un processus de co-digestion.
	Biogaz et digestat	Mécaméto	France	Guillaume Brillat, Directeur 06 22 53 23 02 Contact@mecameto.com	Technologie de méthanisation sèche Conteneur de méthanisation utilisant un procédé sec, continu, modulaire et portable.
	Biogaz	BJP Renov	France (Guadeloupe)		Projet pilote pour déterminer le potentiel des sargasses pour la production de biogaz.
	Biogaz, bioénergie et digestat	Blue Caribbean Energy Solutions (Groupe Damen & Maris)	Pays-Bas	Lennart Koning, Développement d'entreprise, Damen 31 0630 30 46 41 Lennart.koning@damen.com Ruben van Maris, Directeur général, Groupe Maris 31 06 515 09 430 ruben@maris-projects.nl	Le consortium des deux sociétés cherche à se diversifier dans les Caraïbes pour mettre en œuvre sa solution globale qui inclut la récolte, le prétraitement, le transport et la méthanisation (processus en deux étapes) des sargasses. Production de biogaz via (1) méthanisation à basse température et (2) réacteur thermique anaérobie haute température. https://www.damen.com/en/news/2019/10/damen_partners_with_maris_to_consider_seaweed_solution
Biocarburants	Bioénergie, charbon actif et biochar	Num SMO Technologies (NST)	France (Guadeloupe)	Franck Saint-Martin info@smo-process.com contact@smo-process.com	La technologie Active-SMO est une procédure à micro-ondes solaires basées sur la pyrolyse et la gazéification solaire. L'unité mobile et polyvalente peut générer de l'électricité, du charbon actif, de la poudre de charbon et du biochar https://feedelios.com/Investir-startup/buuyers https://www.youtube.com/watch?v=L7zUqutlubc

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
	Bioénergie	Microsystemfuel Srl / Green Engineering S.A.S. / Garbage Service Srl / The Pelikan System	France (Saint-Barthélemy) et Italie	Maurizio Coni, Directeur général Green Engineering S.A.S. +590 690 290956 greenengineering@gmail.com	Cette collaboration a permis de développer un prototype basé sur une auto-combustion à faible émission de CO ₂ pour transformer la biomasse en énergie électrique. Ce prototype utilise des granulés d'algue qui sont traités par combustion spontanée. Cette gazéification en circuit ouvert permet de produire du syngas, du gaz de synthèse généré par la combustion de la biomasse.
	Biogaz	Biogen Biotechnologies Inc.	Barbade	Mark Hill, directeur biogengas.barbados@gmail.com markhill@thinkdesignbarbados.org	Biogen produit du biométhane et du bioCNG pour les carburants de transport à la Barbade. L'équipe a exploré le potentiel des sargasses pour la co-digestion afin de produire du biométhane. https://www.facebook.com/biogengas/
	Bio-granulés et bioplastique	Energryn / Solesyto	Mexique	Andres Muñoz, fondateur et PDG info@energryn.com	L'équipe étudie l'utilisation des sargasses pour produire des bio-granulés mixtes utilisés dans les chaudières d'hôtels locaux et des produits en plastique, notamment des chauffe-eaux, des assiettes et des tasses. - https://www.energryn.com/nosotros.html - http://veracidadchannel.com/site/crean-calentador-de-agua-hecho-a-base-de-sargazo/
	Bioénergie, bioplastique, compost et amendements de sol	Projet GARAS (Groupe CAÏALI, La SARA et Holdex Environnement)	France (Guyane française, Guadeloupe, Martinique)	La SARA : information.comrse@sara.mg Groupe CAÏALI : 0596 57 10 23 Holdex : Mike Bernus, directeur 0596 50 36 58 mb@holdexenvironnement.com	Le projet GARAS est un consortium industriel de trois sociétés dans lequel SARA, une grande raffinerie de la région, étudie l'utilisation potentielle des sargasses pour développer un procédé de thermo-conversion (ex. : pyrolyse) pour produire du biocarburant ; le groupe CAÏALI étudie le potentiel des sargasses pour le bioplastique (essais d'extrusion avec des matières composites faites à partir de PVC/PE et de poudre de sargasse), et Holdex environnement se concentrera sur la valorisation des sargasses à travers le compostage. https://www.sara-antilles-guyane.com/le-projet/garas/ https://www.caiali.fr/ https://www.martinique2030.com/non-classe/holdex-environnement-une-solution-de-valorisation-des-sargasses-100-martiniquaise
Biocarburants	Bioénergie et charbon actif	Transporte Maritima Mexicana (TMM)	Mexique	Jesus Davis businessdevelopment@tmm.com.mx	Cette très grande entreprise qui propose des services de transport maritime, de logistique et de stockage, étudie la possibilité de produire de l'électricité et du charbon actif avec des sargasses et d'autres déchets organiques (bateaux municipaux et de croisière) en utilisant un procédé de sublimation.

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
					https://www.elfinanciero.com.mx/peninsula/estas-cuatro-empresas-quieren-hacer-negocio-con-el-sargazo-de-quintana-roo
	Recherche - Biogaz, bioéthanol	Université West Indies	Barbade et Trinité	Dr Legena Henry, Département de sciences informatiques, mathématiques et physique, Barbade, et Dr Renique Murray, Département de génie mécanique et d'ingénierie de production (méthanisation - biogaz) legena.henry@cavehill.uwi.edu Dr Srinivasa Popuri – Département de biologie et de chimie, Barbade (bioéthanol) srinivasa.popuri@cavehill.uwi.edu Dr Nikolai Holder, Barbade (Biogaz) nikolai.holder@gmail.com	Des chercheurs des campus de Cave Hill et Saint Augustine étudient l'utilisation des sargasses pour produire du biogaz et de l'éthanol.
	Recherche - Effet du sel sur la méthanisation, le digestat	Projet SAVE	France, Martinique et collaborateurs	Stéphane Pacaud, coordinateur de projet stephane.pacaud@univ-lorraine.fr	Valorisation agricole des sargasses et production d'énergie (méthanisation)
	Recherche - Pré-traitement du biogaz	Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)	Mexique	Dr Raúl Tapia Tussell rtapia@cicy.mx	L'équipe a développé un prototype de méthodologie (brevet en instance) qui consiste à mélanger des sargasses avec un champignon d'origine locale qui peut dégrader la lignine, et un inoculum bactérien comme prétraitement pour produire du méthane. - https://www.cienciamx.com/index.php/centros-de-investigacion/centros-publicos-de-investigacion/23708-cientificos-del-cicy-producen-biogas-a-partir-de-sargazo - http://www.ngvjournal.com/s1-news/c1-markets/mexico-yucatan-scientists-produce-biogas-from-algae/
	Recherche - Biogaz	ESETA, Greenaffair et INRA	France (Guadeloupe)		Bénéficiaire d'une subvention de l'ADEME en 2016 pour un essai pilote de méthanisation avec des sargasses.
	Recherche - Bio-granulés	Ecodec	France (Guadeloupe)		Bénéficiaire de la subvention de l'ADEME en 2016 pour un essai pilote visant à évaluer le potentiel des sargasses en tant que carburant pour alimenter une chaudière à biomasse.
	Recherche - Bio-huile	Université d'Exeter et Université de Bath	Royaume-Uni	Dr Mike Allen, Laboratoire marin de Plymouth	Cette équipe a développé une méthode de prétraitement des sargasses à l'échelle industrielle par fractionnement, qui peut

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
				mije@pml.ac.uk	ensuite passer par une liquéfaction hydrothermale pour produire de la bio-huile liquide. Ce produit final peut être transformé en précurseur de carburant et d'engrais. https://www.theguardian.com/environment/2020/jun/30/how-do-you-deal-with-9m-tonnes-of-suffocating-seaweed-aoe?fbclid=IwAR1W2QumIExNs5QmjVkvN31fPcCUmJZDyjH9VAXKry0U1-WIDG-US5e1_8
Bioplastiques	Bioplastiques - Microcapsules	Algopack	France et collaborateurs en Guadeloupe / Martinique	David Coti, fondateur contact@algopack.com	Experts développant des bioplastiques avec des algues brunes en France. Ils collaborent avec des chercheurs et des entreprises en Guadeloupe et en Martinique pour développer un bioplastique à base de sargasses. Bénéficiaire d'une subvention de l'ADEME en 2016 pour évaluer la faisabilité de la production de bioplastiques à base de sargasses, en collaboration avec le groupe Novundi. https://www.ouest-france.fr/bretagne/ille-et-vilaine/saint-malo-algopack-transforme-les-sargasses-en-plastique-6078218
	Bioplastiques, compost et paillis	AlgaeNova	République dominicaine	Manolo Despradel, Directeur général 809 959 2070 algeanovard@gmail.com	L'équipe produit un compost composé à 60 % de sargasses et à 40 % de faux mimosa, qui met environ 70 jours à maturer, ainsi qu'un paillis 100 % sargasses. En collaboration avec Bionova, elle a développé des assiettes à usage unique constituées à 50 % de sargasses et à 50 % de manioc, qui sont entièrement compostables (aucun compostage industriel requis) en 30 jours. - www.algeanova.com - https://www.facebook.com/algeanovard/
	Bioplastiques et bio-granulés	Energryn / Solesyto	Mexique	Andres Muñoz, fondateur et PDG info@energryn.com	L'équipe étudie l'utilisation des sargasses pour produire des bio-granulés mixtes utilisés dans les chaudières d'hôtels locaux et des produits en plastique, notamment des chauffe-eaux, des assiettes et des tasses. - https://www.energryn.com/nosotros.html - http://veracidadchannel.com/site/crean-calentador-de-agua-hecho-a-base-de-sargazo/
	Bioplastiques	Le Floch Dépollution	France	Pauline Morvan contact@leflochdepollution.com	L'équipe teste actuellement le développement de deux qualités différentes de bioplastiques : (1) 30 % de sargasses et 70 % de résines thermoplastiques et (2) 40 % de sargasses et 60 % d'acide polylactique. http://leflochdepollution.com
Bioplas-tiques	Bioplastiques	Abaplas	Mexique	Marco Moreno Sandoval, PDG 33 35 77 22 11 marco@abaplas.com	Cette société élabore des produits en plastique et bioplastique depuis 15 ans. Elle teste actuellement la production d'un bioplastique fait avec 30 % de sargasses et 70 % de plastique,

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
					destiné à différentes applications, notamment des logements écologiques et des voies ferroviaires. http://abaplas.com/
	Recherche - Bioplastiques	Université West Indies	Barbade et Trinité	Dr Srinivasa Popuri, Département de biologie et de chimie, Barbade srinivasa.popuri@cavehill.uwi.edu Kerri-Ann Bovell, étudiante de l'UWI, campus de Cave Hill kerri-ann.bovell@mycavehill.uwi.edu Dr Keeran Ward, Département d'ingénierie chimique, Trinité (composite à couche mince - Contenant biodégradable pour eau) keeran.ward@sta.uwi.edu	Des chercheurs des campus de Cave Hill et de Saint Augustine explorent les sargasses pour la fabrication de bioplastiques. https://www.bb.undp.org/content/barbados/en/home/presscenter/blog/2020/actioning-the-blue-economy-for-green-islands.html https://www.bb.undp.org/content/barbados/en/home/presscenter/pressreleases/20191/eight-pitch-innovative-solutions-to-blue-economy-challenges.html
	Recherche - Bioplastiques	Université de Clemson et Rochester Institute of Technology	États-Unis	William Scott Whiteside, Département des sciences de l'alimentation, de la nutrition et de l'emballage, Université de Clemson wwhtsd@clemson.edu	Des chercheurs des deux instituts travaillent ensemble sur le développement de films nanocomposites à base d'algue <i>Sargassum natans</i>
	Bioplastique, bioénergie, compost et amendements de sol	Projet GARAS (Groupe CAÏALI, La SARA et Holdex Environnement)	France (Guyane française, Guadeloupe, Martinique)	La SARA : information.comrse@sara.mq Groupe CAÏALI : 0596 57 10 23 Holdex : Mike Bernus, directeur 0596 50 36 58 mb@holdexenvironnement.com	Le projet GARAS est un consortium industriel de trois sociétés dans lequel SARA, une grande raffinerie de la région, étudie l'utilisation potentielle des sargasses pour développer un procédé de thermo-conversion (ex. : pyrolyse) pour produire du biocarburant ; le groupe CAÏALI étudie le potentiel des sargasses pour le bioplastique (essais d'extrusion avec des matières composites faites à partir de PVC/PE et de poudre de sargasse), et Holdex environnement se concentrera sur la valorisation des sargasses à travers le compostage. https://www.sara-antilles-guyane.com/le-projet/garas/ https://www.caiali.fr/ https://www.martinique2030.com/non-classe/holdex-environnement-une-solution-de-valorisation-des-sargasses-100-martiniquaise

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
Bioremédiation et purification	Charbon actif	NBC / TECMALAB	France (Guyane française) et République dominicaine	Nicolas Brehm, fondateur et directeur 594 05 94 29 07 70 / 809 817 7764 Nicolas.brehm@nbcsarl.com	En collaboration avec des équipes de recherche en Guyane française, en Guadeloupe et en République dominicaine, NBC et TECMALAB travaillent au développement et à la commercialisation d'un charbon actif à base de sargasses destiné au traitement de l'eau et des eaux usées et à la purification de l'air. www.nbcsarl.com www.tecmalab.com
	Charbon actif et biochar	Num SMO Technologies (NST)	France (Guadeloupe)	Franck Saint-Martin info@smo-process.com contact@smo-process.com	La technologie Active-SMO est une procédure à micro-ondes solaires basées sur la pyrolyse et la gazéification solaire. L'unité mobile et polyvalente peut générer de l'électricité, du charbon actif, de la poudre de charbon et du biochar https://feedelios.com/Investir-startup/buuyers https://www.youtube.com/watch?v=L7zUqutlubc
	Charbon actif	Transporte Maritima Mexicana (TMM)	Mexique	Jesus Davis businessdevelopment@tmm.com.mx	Cette très grande entreprise qui propose des services de transport maritime, de logistique et de stockage, étudie la possibilité de produire de l'électricité et du charbon actif avec des sargasses et d'autres déchets organiques (bateaux municipaux et de croisière) en utilisant un procédé de sublimation. https://www.elfinanciero.com.mx/peninsula/estas-cuatro-empresas-quieren-hacer-negocio-con-el-sargazo-de-quintana-roo
	Recherche - Charbon actif et biochar	Projet PYROSAR	France (Guadeloupe, Martinique) et collaborateurs	Pr Sarra Gaspard, coordinatrice de projet sarra.gaspard@univ-antilles.fr	Valorisation des sargasses par pyrolyse, et application pour la sécurité alimentaire
	Recherche - Charbon actif, biochar et stockage d'énergie	Université des Antilles, laboratoire COVACHIM-M2E	France (Guadeloupe, Martinique) et collaborateurs	Prof. Sarra Gaspard sarra.gaspard@univ-antilles.fr	L'équipe étudie le potentiel des sargasses dans la production de charbon actif destiné à la dépollution des sols, à la séquestration des pesticides chez les animaux, au traitement de l'eau et au stockage de l'énergie (électrodes pour supercondensateurs). http://www.univ-ag.fr/recherche/structures-de-recherche/covachim-m2e-connaissance-valorisation-chimie-des-materiaux
	Recherche - Charbon actif	Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC)	République dominicaine	Dr Ulises Jauregui ulises.jauregui@intec.edu.do	Charbon actif à base de sargasses pour le traitement de l'eau et d'autres applications.
	Recherche - Purification et	Centre pour la physique appliqué et technologie avancée	Mexique	Dr Miriam Rocio Esteves Gonzalez miries@fata.unam.mx	A développé des filtres à l'aide de sargasses pour la bioremédiation, le retrait de contaminants tels que les métaux, les sulfates et les pigments (composés phénoliques) de l'eau.

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
	bioremédiation, biofiltres	(CFATA), Université autonome du Mexique (UNAM)		www.fata.unam.mx/Academicos/DraMiriamEsteves	Résultats également prometteurs dans les essais de traitement des lixiviats de sargasse acides et riches en soufre.
	Recherche - Purification et bioremédiation, biofiltres / membranes	Université West Indies	Trinité, Barbade	Dr Keeran Ward, Département de génie chimique, Trinité (membranes pour biofiltre) keeran.ward@sta.uwi.edu Dr Srinivasa Popuri, Département de biologie et de chimie, Barbade (traitement des eaux usées) srinivasa.popuri@cavehill.uwi.edu	Polymères de sargasse pour créer des membranes utilisées comme biofiltres dans la dépollution des métaux lourds présents dans les eaux usées.
	Recherche - Charbon actif	Projet SARGOOD	Guadeloupe et collaborateurs	Marie-Ange Arsène, coordinatrice de projet maarsene@univ-ag.fr	Approche globale de la valorisation des sargasses, notamment du développement de bio-éliciteurs, de biostimulants et d'autres produits agricoles, de produits et sous-produits de bioraffinerie, d'éco-matières et de panneaux à partir de cendres et de particules, de charbon actif, d'agents gélifiants, de teintures anti-corrosives.
Vêtements, chaussures et accessoires	Chaussures	Renovare Ocean	Mexique	Jorge Castro Ramos, PDG Renovare.r@gmail.com	Depuis trois générations de cordonniers, cette société fabrique des chaussures respectueuses de l'environnement en utilisant des bouteilles en plastique recyclées, des résines biodégradables et des sargasses dans sa ligne de chaussures « Ocean Ova ». https://www.renovareco.com https://www.entrepreneur.com/article/336680 https://eldiariodefinanzas.com/jorge-castro-y-mario-lopez-los-creadores-de-los-tenis-hechos-de-sargazo/
Matériaux de construction	Briques	Blue Green	Mexique	Omar Vázquez Sánchez, fondateur et PDG Blue Green +52 984 175 0536	Omar a construit la première maison en sargasses en 2015, lorsqu'il a inventé les SargaBlocks, des blocs de construction faits à partir de sargasses et de déchets organiques. Depuis, il a réalisé des milliers de blocs et a amélioré sa méthode de production et ses équipements. Le meilleur de l'innovation et la clé du succès. https://www.facebook.com/bluegreenmx/ https://ecologica.jornada.com.mx/2019/08/25/omar-vazquez-el-mexicano-que-construye-casas-con-algas-marinas-5492.html
	Panneau de particules	Diseño y Decorativos del Caribe Maya	Mexique	Saúl Duarte Méndez, directeur 0152 331 980 4711 caribemayadiseno@gmail.com	Le concepteur industriel a développé un panneau aggloméré à base de sargasses qui peut être utilisé dans la construction et l'ameublement.

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
					https://noticias.canal10.tv/nota/municipios/disenador-industrial-desarrolla-un-conglomerado-a-base-de-sargazo-2018-08-21 https://noticaribe.com.mx/2018/08/28/patentan-proyecto-para-usar-sargazo-en-la-elaboracion-de-muebles-a-nivel-industrial/
Matériau de construction	Panneau de particules, biogaz	Biogen Biotechnologies Inc.	Barbade	Mark Hill, directeur biogengas.barbados@gmail.com markhill@thinkdesignbarbados.org	Biogen explore le potentiel des sargasses pour le développement de panneaux de particules. https://www.facebook.com/biogengas/
	Bio-bitume, produits en papier	The Marine Box	France (Martinique)	Christophe Germé et Priscilla Lambert, Fondateurs Jérôme Siniamin, PDG 596 696 17 93 70 / 569 696 30 47 07 j.siniamin@themarinebox.com c.germe@themarinebox.com	Ces jeunes entrepreneurs dirigent une start-up française et étudient la possibilité d'utiliser les sargasses pour produire différents biomatériaux, notamment des produits en papier et en carton, tels que des cercueils, et du bio-bitume. http://themarinebox.com/
	Recherche - Éco-matériaux	Projet SARGOOD	France (Guadeloupe) et collaborateurs	Marie-Ange Arsène, coordinatrice de projet maarsene@univ-ag.fr	Approche globale de la valorisation des sargasses, notamment du développement de bio-éliciteurs, de biostimulants et d'autres produits agricoles, de produits et sous-produits de bioraffinerie, d'éco-matières et de panneaux à partir de cendres et de particules, de charbon actif, d'agents gélifiants, de teintures anti-corrosives.
Cosmétiques	Savons	Oasis Laboratory	Barbade	Kemar Codrington et Mikhail Eversley, fondateurs, PDG 246 264 9543 sustainable@oasislaboratory.com	Ces deux jeunes entrepreneurs ont développé une gamme de soins pour la peau à base de sargasses. - https://www.facebook.com/OasisLaboratory/ - https://www.loopnewsbarbados.com/content/bajan-chemists-tap-beauty-industry-sargassum-skincare-line-3
	Produits de soin capillaire, engrais, paillis et papier	Salgax Biotecnología Marina Aplicada	Mexique	Mauricio Gómez 52 999 285 4541 / 52 999 374 3214 / 52 999 371 5107 salgaxventas@salgax.com	L'équipe de jeunes entrepreneurs développe plusieurs produits à base de sargasses comme des engrais, du paillis, des cosmétiques et du papier. - https://salgax.com - https://www.efe.com/efe/english/technology/mexican-young-entrepreneurs-turning-seaweed-into-eco-friendly-products/50000267-3709834

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
Industrie électrochimique	Recherche - Électrodes	Projet SARtrib	Guadeloupe et collaborateurs	Thierry Cesaire, coordinateur de projet thierry.cesaire@univ-antilles.fr	Valorisation des sous-produits de la pyrolyse sous vide des sargasses pour obtenir des électrodes de batterie lithium, des supercondensateurs, des lubrifiants, des solvants et des adhésifs nouvelle génération.
	Recherche - Stockage d'énergie, charbon actif et biochar	Université des Antilles, laboratoire COVACHIM-M2E	France (Guadeloupe, Martinique) et collaborateurs	Prof. Sarra Gaspard sarra.gaspard@univ-antilles.fr	L'équipe étudie le potentiel des sargasses dans la production de charbon actif destiné à la dépollution des sols, à la séquestration des pesticides chez les animaux, au traitement de l'eau et au stockage de l'énergie (électrodes pour supercondensateurs). http://www.univ-ag.fr/recherche/structures-de-recherche/covachim-m2e-connaissance-valorisation-chimie-des-materiaux
Restauration de l'environnement	Restauration des dunes	Université A&M du Texas	États-Unis	Dr Jens Figlus, Département d'ingénierie océanique 409 741 4317 figlusj@tamu.edu	Recherches approfondies menées par l'Université A&M du Texas, pour déterminer l'utilisation des sargasses dans la prévention de l'érosion côtière et la restauration des écosystèmes des dunes de sable. Les balles de sargasses ont été testées pour protéger les dunes de l'érosion et promouvoir la croissance des plantes.
	Restauration des dunes	Walkers Institute for Regenerative Research Education and Design (WIRRED)	Barbade	Kiesha Farnum, Directrice générale 246 622 4097 info@wirred.org	Le WIRRED est un groupe de réflexion à but non lucratif, un centre de recherche et de consultation qui se consacre à l'étude des pratiques agricoles « climato-intelligentes ». Parmi ses nombreux projets en cours, le WIRRED recherche de potentielles techniques pour la restauration des dunes et l'amélioration de la croissance des plantes côtières. - http://walkersreserve.com/wirred1/ - https://www.facebook.com/wirredbarbados/
	Restauration côtière et compost	Moon Palace Resort	Mexique	Antonio Ortiz, Responsable environnemental Info@palaceresorts.com	L'hôtel Moon Palace a collecté des sargasses sur sa plage de 2 km pendant plusieurs années et les a transformées en compost, utilisé sur le terrain de l'hôtel. La société s'est impliquée activement dans la restauration de sa zone côtière et a cultivé, à l'aide des sargasses, des plantes pour empêcher l'érosion des plages.
	Séquestration du carbone	Séquestration océanique du carbone à l'aide des sargasses (SOS carbone)	République dominicaine	Andrés Bisonó León et Luke Gray 833 767 2726 (SOS CRBN) Sales@soscarbon.com	Cette équipe d'ingénieurs basée à Boston et ses partenaires en République dominicaine ont développé un système pour pomper et couler efficacement les sargasses dans les grands fonds océaniques avant qu'elles n'atteignent les côtes. https://soscarbon.com/

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
Aliments et boissons	Cocktails	Bruno Lardelli	Mexique		Un mixologue mexicain a exploré l'utilisation potentielle des sargasses dans des boissons. https://www.villapalmarcancun.com/blog/destination/practical-and-creative-uses-of-Sargassum-seaweed-in-the-caribbean
	Alimentation	Tomfoodery Kitchen	Îles Caïmans	Thomas Tennant, Chef	Un chef des Îles Caïmans a essayé d'utiliser les sargasses comme ingrédients dans différents plats. https://www.caymancompass.com/2019/10/20/eat-it-to-beat-it-sargassum-seaweed-baked-boiled-and-fried/
	Bière	Université A&M du Texas et Galveston Island Brewery	États-Unis		En 2015, en collaboration avec Galveston Island Brewery, des étudiants et des chercheurs de l'Université A&M du Texas ont testé la production d'une bière artisanale avec des sargasses. https://www.houstonpublicmedia.org/articles/news/2015/04/02/58969/how-galveston-researchers-are-putting-seaweed-to-use/
Lubrifiants, tensioactifs et adhésifs	Recherche	Projet SARtrib	France (Guadeloupe) et collaborateurs	Thierry Cesaïre, coordinateur de projet thierry.cesaire@univ-antilles.fr	Valorisation des sous-produits de la pyrolyse sous vide des sargasses pour obtenir des électrodes de batterie lithium, des supercondensateurs, des lubrifiants, des solvants et des adhésifs nouvelle génération.
Produits en papier et en carton	Produits en papier	Sargánico	Mexique	Victoria Morfin, fondatrice et PDG 998 296 9700 ext 112 hola@sarganico.mx	Cette jeune entrepreneure a développé plusieurs produits en papier de grande qualité à base de sargasses comme des carnets, des agendas, des chemises, des cartes de visite, etc. https://sarganico.mx/
	Produits en papier et bio-bitume	The Marine Box	France (Martinique)	Christophe Germé et Priscilla Lambert, Fondateurs Jérôme Siniamin, PDG 596 696 17 93 70 / 569 696 30 47 07 j.siniamin@themarinebox.com c.germe@themarinebox.com	Ces jeunes entrepreneurs dirigent une start-up française et étudient la possibilité d'utiliser les sargasses pour produire différents biomatériaux, notamment des produits en papier et en carton, tels que des cercueils, et du bio-bitume. http://themarinebox.com/
	Produits en papier	Projet Sargasse	France (Saint-Barthélemy)	Pierre-Antoine Guibout, fondateur et PDG sargassesproject@gmail.com	Le projet Sargasse développe des produits en papier faits avec 100 % de sargasses et cherche à s'agrandir. http://sargasseproject.com/
	Produits en papier	Projet Golden Tide	Curaçao	Wouter Osterholt	Cet artiste a démarré le projet Golden Tide, qui consiste à faire du papier à base de sargasses, utilisé comme toile à peindre. Des

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
					restes de squelette y sont peints pour représenter la faune tuée par les afflux de sargasse. Les recettes des ventes ont été données à Amazon Watch. http://www.wouterosterholt.com/golden-tide/golden-tide
	Caisses en carton	Sargazbox	Mexique	sargazbox@gmail.com	Développement de caisses en carton avec de la cellulose de sargasse. https://www.facebook.com/Sargazbox/
	Papier, engrais, paillis et cosmétiques	Salgax Biotecnología Marina Aplicada	Mexique	Mauricio Gómez 52 999 285 4541 / 52 999 374 3214 / 52 999 371 5107 salgaxventas@salgax.com	L'équipe de jeunes entrepreneurs développe plusieurs produits à base de sargasses comme des engrais, du paillis, des cosmétiques et du papier. - https://salgax.com - https://www.efe.com/efe/english/technology/mexican-young-entrepreneurs-turning-seaweed-into-eco-friendly-products/50000267-3709834
	Recherche - Carton	Projet SAVE-C	France (Martinique) et collaborateurs	Valérie Stiger, coordinatrice de projet Valerie.Stiger@univ-brest.fr	Valorisation des sargasses dans l'agriculture (biopesticides) et en tant que biomatière (carton).
	Engrais et produits à base de papier	Dianco México	Mexique	Hector Romero 55 2731 3841 hromero@medialectica.com	Dianco est en train d'établir une usine de traitement des sargasses pour produire un engrais et des produits en papier à base de sargasses. - www.diancomexico.com - https://www.facebook.com/DiancoMexico/ - https://www.elfinanciero.com.mx/tv/la-nota-dura/sargazo-no-dejara-de-llegar-es-consecuencia-del-cambio-climatico-dianco
Produits pharmaceutiques et biomédicaux	Recherche	Projet SARGSCREEN	France (Martinique) et collaborateurs	Azaria Remion, coordinatrice de projet azaria.remion@gmail.com	Déterminer les potentiels pharmacologiques des extraits de sargasse contre des maladies non transmissibles courantes et répandues à travers les Caraïbes.
	Recherche	Université West Indies	Jamaïque et Trinité	Pr Rupika Delgoda, Institut de recherche naturelle (propriétés anti-cancer des extraits de sargasse) npi@uwimona.edu.jm Dr Winklet Gallimore, Département de chimie (composés bioactifs) Winklet.gallimore@uwimona.edu.jm Dr Frederick Boyd, Département des sciences de la vie (botanique médicale et propriétés antimicrobiennes)	Plusieurs projets en cours à l'UWI cherchant le potentiel des sargasses dans les applications pharmaceutiques et biomédicales.

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
				Frederick.boyd@uwimona.edu.jm Dr Jayaraj Jayaraman (Département des sciences de la vie) Jayaraj.Jayaraman@sta.uwi.edu	
Impacts sanitaires	Recherche - Arsenic et chlordécone	Sarg As Cld	France et collaborateurs	Christophe Mouvet, coordinateur de projet c.mouvet@brgm.fr	Évaluer l'écotoxicité des lixiviats de sargasse, avec une attention portée sur l'arsenic et le chlordécone.
	Recherche - Effets sur la santé humaine	SARGACARE	Martinique et collaborateurs	Rémi Nevieri, coordinateur de projet Remi.nevieri@chu-martinique.fr	Effets sur la santé humaine de l'exposition chronique aux gaz générés par la décomposition des sargasses.
Recherche générale	Recherche - Valeur commerciale	Université polytechnique de Quintana Roo (UPQRoo)	Mexique	Jorge Cantó, chercheur principal canto@corrosionproteccion.com	Financé par le Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) du Mexique, ce projet de recherche cherche à déterminer la valeur commerciale potentielle des sargasses par le biais d'interviews avec des parties prenantes locales, l'analyse des composés, et à déterminer la valeur de l'indicateur d'impact pour chaque utilisation potentielle. https://www.raconteur.net/sustainability/sustainable-business-2020/sargassum-seaweed-business
	Recherche	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México	Mexique	Dr Brigitta van Tussenbroek vantuss@cmarl.unam.mx	Évaluation de l'impact éco-toxicologique des lixiviats de sargasse et de la matière organique particulaire (MOP) sur les organismes et les écosystèmes marins. https://www.icmyl.unam.mx/puerto_morelos/en/node/24
	Recherche	Université de Greenwich	Royaume-Uni	Dr John Milledge jj.milledge@gre.ac.uk	Chercheur renommé en biotechnologies des algues, avec un intérêt pour les chaînes de valeur des macroalgues pour les hydrocarbures, le bilan énergétique des processus de production de bioénergie et d'algues, etc. Le Dr Milledge a publié sur ces sujets, plus particulièrement sur les sargasses.
	Transformation primaire	Thalasso As	Mexique et Norvège	Paulina Zanela et Frode Stolen Sønstebo 52 55 22 20 6751 paulinazanela@gmail.com frodesonstebo@gmail.com	Ce projet est soutenu par les Affaires étrangères norvégiennes au Mexique. L'équipe effectue actuellement des recherches pour la récolte côtière et l'endiguement, et la récolte en mer et le traitement primaire des sargasses.
	Recherche	Fearless Fund	États-Unis	Alyson Myers 202 297 9743 Alysonmyers1@gmail.com	Fearless Fund est une organisation à but non lucratif qui se consacre à la santé des écosystèmes océaniques. Elle est soutenue par l'US DOE ARPA-E pour produire des macro-algues à

Utilisation	Produit final / service	Nom de l'entreprise / organisation / institution / projet	Pays	Coordonnées	Informations complémentaires
					l'échelle énergétique. L'organisation cherche à intercepter efficacement la biomasse avant qu'elle ne s'échoue en vue d'une séquestration du carbone sur le long terme ou d'une conversion en énergie neutre en carbone. Ceci inclut des produits de construction, du ciment et différentes formes d'énergie. www.fearlessfund.org
	Recherche - Biomasse (sargasses + déchets organiques), nanocarbones et extraits	Tecnológico Nacional de México /IT de Cancún	Mexique	Pr J. Ysmael Verde Gómez, Département des études supérieures et de la recherche, TecNM/ITdeCancun jose.vg@cancun.tecnm.mx Dr Ana María Valenzuela-Muñiz, Département des études supérieures et de la recherche, TecNM/ITdeCancun ana.vm@cancun.tecnm.mx	Le groupe de recherche effectue des études fondamentales sur les propriétés des sargasses pour générer de nouvelles connaissances vers de futures applications durables : biocarburants, nanocarbones pour les applications énergétiques et environnementales, et extraits.

SECTION 5

Défis et conséquences



Photo : Hazel A. Oxenford

5. Défis et conséquences

Les sections précédentes ont décrit comment les afflux de sargasses ont incité de nombreuses parties prenantes à entreprendre et à innover, à travers des secteurs d'activité très variés dans la région caribéenne. Cependant, comme nous l'avons appris, l'exploration de ces opportunités s'est accompagnée de nombreux défis qui sont autant d'obstacles au démarrage, à l'expansion et à l'agrandissement des entreprises liées au secteur des algues sargasses. Nous mettons ici l'accent sur les principales contraintes rencontrées par les entrepreneurs et chercheurs du secteur dans la région. Ces contraintes sont divisées en cinq grandes catégories (approvisionnement imprévisible, composition chimique, collecte, gestion, financement) dans les sous-sections suivantes. Nous offrons également des conseils, particulièrement pertinents pour les responsables politiques et les financeurs, sur les actions qui peuvent être envisagées pour surmonter ces défis et promouvoir un environnement propice à l'innovation et à la créativité. Ils permettront à la région de tirer parti de ces afflux massifs de sargasses à travers la création d'entreprises et d'emplois, le recouvrement des coûts de nettoyage des plages et de traitement des sargasses, et de mieux faire face à ces afflux.

5.1 Approvisionnement imprévisible

DÉFIS CLÉS

- **Incertitude importante** concernant la période d'afflux des sargasses, leurs quantités et leur localisation
- **Surveillance insuffisante** en termes de localisation et de volume de sargasses échouées
- **Variabilité dans l'abondance** relative des différentes espèces de sargasses et dans leurs formes morphologiques

5.1.1 Quand, quelles quantités et où ?

Ne pas savoir quand ni où les afflux de sargasses se produiront, ni dans quelles quantités, est un défi majeur qui continue d'entraver les investissements dans le développement de voies de valorisation et dans la transformation des petites ou moyennes entreprises existantes en grandes entreprises commerciales.

L'un des principaux problèmes est le caractère « nouveau » des afflux de sargasses et le grand manque de connaissances sur ce phénomène. En résumé, la prolifération extraordinaire des sargasses pélagiques a été observée à partir de 2011 dans l'Atlantique tropical, où un système de courants océaniques persistants mais variables selon les saisons a commencé à retenir et à amalgamer de grandes quantités d'algues à travers l'équateur (Franks, Johnson et Ko 2016) (voir Figure). La « libération » quelque peu imprévisible de sargasses à partir de cette « nouvelle » région source rend difficile la prévision des afflux dans les

Caraïbes. Cette incertitude est encore plus exacerbée par la mobilité complexe des sargasses pélagiques qui se déplacent sur de grandes distances (des milliers de kilomètres) à partir de leur région source dans l'Atlantique équatorial jusqu'aux sites d'échouage, le long des côtes caribéennes, en prenant probablement différents itinéraires selon les mois (en fonction des courants de surface très variables et complexes qui les transportent), et provenant de différentes sous-régions sources dans l'Atlantique équatorial (Johnson *et al.* à paraître).



Carte schématique de l'Atlantique indiquant les zones d'accumulation de sargasses (régions sources). Au nord se trouve la mer des Sargasses, une zone d'accumulation historique, avec la classique « boucle de sargasses » (indiquée par les flèches orange clair), qui relie la mer des Sargasses et le golfe du Mexique et qui a toujours livré des quantités relativement faibles de sargasses, de façon saisonnière, au nord-est des Caraïbes. La « nouvelle » zone d'accumulation de l'Atlantique équatorial se trouve plus au sud. Les gyres des principaux courants océaniques qui retiennent les sargasses et les courants océaniques de surface qui les transportent quand elles sont libérées sont illustrés par les flèches rouges (les courants profonds sont illustrés en bleu).

La détection, la surveillance et la prédiction des afflux de sargasses ont connu d'importantes avancées au cours des dix dernières années qui ont permis de répondre à certain nombre d'incertitudes (ex. : Wang et Hu 2016, Brooks *et al.* 2018, Putman *et al.* 2018, Wang *et al.* 2018, Wang *et al.* 2019, Johns *et al.* 2020, Wang et Hu 2017, Hu *et al.* 2016). Cependant, d'importants obstacles techniques empêchent toujours de prévoir précisément les afflux de sargasses au-delà de quelques jours, notamment sur des périodes supérieures à trois mois. Ces défis sont :

- La couverture optique des satellites est limitée dans les régions de prolifération des sargasses qui peuvent être couvertes par les nuages et donc empêcher la détection des sargasses dans ces zones.

- La résolution relativement faible des images satellite, le bruit optique (ex. : reflet du soleil, brume de sable saharien, humidité atmosphérique, etc.) et les difficultés associées à la détection des sargasses dans les zones océaniques reculées pour valider l'interprétation des images satellite. Il est ainsi difficile de détecter les radeaux de sargasses à la surface de l'océan et de générer avec précision des modèles de transport prédictifs basés sur la prévision des courants océaniques en vue de prédire les arrivages.
- L'absence de validation des vents régionaux entraîne un écart dans les modèles prédictifs par rapport aux mouvements réels des nappes de sargasses *in situ*.
- L'incertitude quant à la précision des modèles de courants océaniques dans cette région océanique complexe et dynamique.
- La difficulté à associer les prédictions des modèles de haute mer et les conditions locales près des côtes (courant et vent).
- L'imagerie satellitaire et les radars de haute précision qui permettraient d'observer les déplacements des sargasses près des côtes afin de réaliser des prédictions locales des échouages, sont généralement coûteux.
- Le manque d'informations sur la croissance et la mortalité des sargasses durant leurs déplacements à travers différents environnements limite la précision du modèle de prédiction car ces facteurs peuvent influencer significativement sur la présence et le développement de sargasses entre leurs points de départ et d'arrivée.
- Le manque de suivi cohérent au niveau national et des sites d'échouage, notamment en termes d'emplacement et de quantités (volume ou tonnage) en jeu, limite la capacité à valider les modèles prédictifs et/ou à fournir des données approximatives de prévision des prochains échouages basées sur des événements passés.

5.1.2 Composition variable de l'espèce

L'abondance relative des trois morphotypes de sargasses pélagiques les plus reconnus (*Sargassum fluitans* III, *S. natans* I et *S. natans* VIII) est plutôt variable et présente de très vastes différences spatiales et temporelles (García-Sánchez *et al.* 2020, Schell, Goodwin, et Siuda 2015).

Dans les Caraïbes, les proportions relatives des différentes formes ont changé dans le temps, depuis les premiers afflux de 2011, et continuent de présenter des variations interannuelles et même sur de plus courtes périodes (variations mensuelles) (García-Sánchez *et al.* 2020). Ces auteurs signalent un changement marqué dans la forme prédominante qui s'échoue le long des côtes des Caraïbes mexicaines : les algues *S. fluitans* III et *S. natans* VIII étaient prédominantes initialement ; actuellement, ce sont les algues *S. fluitans* III et *S. natans* I qui prédominent. Des observations similaires ont été faites dans d'autres zones des Caraïbes (données non publiées). Les sargasses échouées se mélangent également avec d'autres varechs de plage, en particulier des herbiers marins, sur de nombreux sites, et les quantités relatives changent selon la saison et les conditions de mer.

5.1.3 Conséquences

La forte variabilité des approvisionnements et l'absence de prévisions fiables des afflux de sargasses, exacerbées par une absence globale de surveillance au niveau national ou local, a plusieurs conséquences importantes pour la valorisation des sargasses. Il est très difficile de déterminer les utilisations potentielles et de savoir sur quelle échelle une entreprise peut être développée si l'on ne connaît pas les volumes approximatifs de sargasses et leur période d'arrivée sur un site donné. Ceci limite aussi la capacité des investisseurs potentiels à réaliser des projections et des analyses de coûts exhaustives pour évaluer la faisabilité économique et la durabilité des entreprises proposées.

Les entreprises ont généralement besoin d'un approvisionnement fiable en matières premières pour assurer une production durable. En raison des approvisionnements incertains, le stockage devient un facteur important pour garantir la continuité de la chaîne de valorisation. Ceci constitue des défis supplémentaires, qui sont décrits dans la section 5.3.

La variabilité dans l'abondance relative des formes de sargasses est encore mal comprise et a des conséquences sur leur valorisation car les différentes formes semblent avoir des propriétés différentes (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020, Milledge *et al.* 2020, Webber *et al.* 2019). Par conséquent, leur adéquation pour certaines applications diffère.

5.1.4 Pour aller de l'avant

Pour surmonter les défis actuels, plusieurs lacunes importantes doivent être comblées par le biais d'actions concrètes :

- Continuer la recherche pour affiner les prévisions des afflux de sargasses : couverture plus vaste de l'Atlantique équatorial et développement de modèles de transport qui imitent le mouvement des sargasses et tiennent compte des changements de biomasse (ex. : la croissance et la mortalité, la subduction naturelle des cellules de Langmuir ou pendant les orages).
- Développer des modèles océanographiques qui aident à prédire les échouages de sargasses.
- Promouvoir des initiatives de vérification terrain pour valider la présence des sargasses en mer et la précision des prévisions.
- Développer des protocoles de surveillance simples et harmonisés utilisant des technologies de détection à distance (ex. : drones, imagerie satellite) et les sciences participatives pour faciliter la surveillance du volume et de la localisation des échouages de sargasses.
- Développer une méthodologie d'évaluation simple et rapide afin de surveiller la composition relative des différentes formes de sargasses pélagiques (espèces et morphotypes) dans l'espace et dans le temps.
- Développer des plateformes publiques facilement accessibles pour les observations et les prédictions des afflux de sargasses à l'échelle océanique, régionale et locale.

5.2 Composition chimique

DÉFIS CLÉS

- Forte teneur en **sel** et en **cendre**
- **Fortes variations et incertitudes sur les concentrations ou proportions relatives** de la plupart des composants chimiques des sargasses
- **Biosorption** de métaux lourds et d'autres polluants
- Recherches limitées sur la composition chimique, difficulté à accéder aux connaissances et aux résultats existants

5.2.1 Forte teneur en sel et en cendre

Les algues sont généralement connues pour leur forte teneur en sel et cendre (résidus inorganiques). C'est le cas des sargasses qui présentent une forte concentration d'éléments salins (Na, K, Ca, Mg et Cl) (voir le tableau de la section 1.4.2 : Minéraux et composés nutritionnels) et un pourcentage élevé de cendres (voir le tableau de la section 1.4 .1 : Principaux composants).

5.2.2 Incertitude et variation dans la composition chimique

Comme indiqué dans ce guide (section 1.4 Composition chimique), les analyses réalisées sur la composition des sargasses pélagiques originaires des Caraïbes sont assez limitées à ce jour. La plupart d'entre elles sont réalisées sur des échantillons de petite taille (parfois même sur un seul échantillon), sur un mélange d'espèces et de morphotypes, sur une zone géographique très restreinte (un seul site ou un nombre limité de sites), et sur des échantillons prélevés sur une courte période (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020). En outre, la plupart de ces analyses examinent un nombre limité de composants chimiques.

Il existe également une forte variation dans les concentrations ou les proportions relatives de la plupart des composants (comme le résumant les tableaux de la section 1.4), ce qui pourrait être attribué à la méthode d'analyse employée, et/ou à de réelles différences dans la composition chimique entre les espèces de sargasses pélagiques, ainsi que dans le temps et l'espace. Par exemple, il est bien connu que la composition chimique des algues varie de manière générale non seulement en fonction des facteurs biotiques (ex. : l'espèce, le stade du cycle de vie, l'âge), mais aussi des facteurs abiotiques (ex. : le pH, la salinité, le mouvement de l'eau, la température, la disponibilité de la lumière, la teneur de l'eau de mer en minéraux et les polluants environnementaux) (Mišurcová, Machů et Orsavová 2011).

Il est d'autant plus difficile de comprendre et de prédire leur variabilité de composition puisque les sargasses pélagiques sont mobiles et qu'elles parcourent de grandes distances (des milliers de kilomètres), de sa région source dans l'Atlantique équatorial aux différents sites d'échouage, le long des côtes africaines et caribéennes, en prenant différents itinéraires avec le temps, potentiellement en provenance

de différentes sous-régions sources dans l'Atlantique équatorial, où les conditions environnementales sont susceptibles de différer.

Ces observations sont étayées par l'étude la plus approfondie qui a été publiée à ce jour. Cette dernière a révélé que la concentration de 28 éléments présents dans les sargasses pélagiques arrivant le long de la côte caribéenne du Mexique et échantillonnées sur huit sites très espacés au cours d'une période de 11 mois, a considérablement varié non seulement entre les espèces et les morphotypes, mais aussi entre les emplacements et au fil du temps. On ne constate toutefois pas de modèle saisonnier (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020). Cette étude suggère qu'une grande partie de la variation observée dans la concentration des éléments dépendait probablement du chemin parcouru par les sargasses flottantes et de leur passage ou non à travers des zones contaminées, étant donné que les algues brunes ont d'excellentes propriétés de biosorption. D'autres études sont nécessaires pour étayer cette hypothèse.

La différence dans les proportions relatives du carbone inorganique, de l'azote et du phosphore (C:N, C:P et N:P) signalées pour les sargasses pélagiques à différentes saisons et sur des emplacements distincts de l'Atlantique Nord. Un changement est également observé dans ces rapports au cours des trois dernières décennies. Ce sont des exemples de la variabilité de composition chimique des sargasses dans l'espace et le temps (Lapointe *et al.* 2014). L'étude indique des rapports C:N plus élevés dans les années 1980 que dans les échantillons de sargasses pélagiques prélevés dans les années 2010, et des rapports C:P et N:P plus faibles dans les échantillons des années 1980 comparés à ceux des années 2010, ce qui suggère que ces variations reflètent les modifications des conditions océaniques.

5.2.3 Métaux lourds et autres toxines

La biosorption de certains métaux lourds et d'autres toxines potentielles (ex. : pesticides) de même que la présence de minéraux à des concentrations élevées sont particulièrement problématiques. Par exemple, parmi les échantillons limités de sargasses pélagiques testés dans la Caraïbe à ce jour, beaucoup contiennent des concentrations d'arsenic qui dépassent les concentrations autorisées par la plupart des pays pour certaines utilisations agricoles et nutritionnelles (Section 1.4.3 : Métaux lourds, et tableaux des sections 2.2 et 2.3). De même, les concentrations de cuivre, de molybdène et de manganèse dépassent les limites de sécurité dans 5 à 22 % des échantillons au Mexique (Rodríguez-Martínez *et al.* 2020). Du chlordécone a été détecté dans certains échantillons de sargasses prélevés dans des zones fortement contaminées au large de la Martinique et de la Guadeloupe (Tirolien 2019).

De fortes concentrations de certains micro et macronutriments (ex. : iode) peuvent être toxiques pour les humains, les animaux et les plantes.

De manière générale, il y a eu peu de tests réalisés dans les territoires impactés, en particulier en ce qui concerne les métaux lourds et la spéciation de l'arsenic, en raison du coût des analyses et de la rareté des laboratoires ayant cette capacité dans la région.

5.2.4 Conséquences

Une teneur élevée en sel constitue un obstacle pour les utilisations agricoles notamment au regard de la salinisation des sols, et du besoin plus important en eau et de la déshydratation des animaux), pour la production de biométhane et d'éthanol, et pour la bioremédiation des métaux (voir sections 2.2 Élevage, 2.3 Production végétale, 2.5 Bioénergie et 2.7 Bioremédiation). L'élimination de l'excès de sel est non seulement coûteuse et longue, mais elle nécessite aussi de grandes quantités d'eau douce.

L'insuffisance des essais à ce jour et l'absence de méthodes standardisées font qu'il y a toujours une grande incertitude dans la composition chimique des sargasses. Ceci limite l'évaluation de la valorisation potentielle.

Les variations dans les concentrations de certains composés peuvent aussi s'avérer problématiques, car des composants comme le soufre, le sel, les fibres insolubles et les faibles rapports carbone/azote, peuvent inhiber la croissance de bactéries méthanogènes. Cela signifie que les taux de méthanisation et le rendement de méthane (biogaz) seront fluctuants (Thompson, Young et Baroutian 2020). En outre, ces composants peuvent aussi être présents à des niveaux indésirables dans le digestat, ce qui limite son utilisation en agriculture (Milledge 2020). Bien que la teneur élevée en cendre des sargasses soit bénéfique pour les utilisations agricoles (ex. : engrais et aliments pour animaux), elle pourrait être problématique pour la production de bioénergie, en particulier pour la combustion directe et la gazéification. La forte teneur en cendre équivaut à une valeur calorifique brute plus faible (appelée notamment « pouvoir calorifique supérieur ») qui donne lieu à un rendement énergétique inférieur au rendement typique de la plupart des biomasses de plantes terrestres (Milledge 2014, Milledge 2016).

Pour les éléments toxiques, la variabilité est particulièrement problématique car il est nécessaire de constamment tester les produits finaux afin d'en garantir la sécurité.

5.2.5 Pour aller de l'avant

Pour surmonter les obstacles associés à la composition chimique des sargasses, plusieurs lacunes importantes doivent être comblées dans les connaissances par le biais des actions suivantes :

- Des échantillonnages et des analyses de composition plus étendus (dans le temps et dans l'espace) sur les sargasses de la région afin d'améliorer notre compréhension des variations géographiques, saisonnières et annuelles dans la composition.
- Des analyses de composition plus exhaustives (réalisées séparément par espèce et morphotype) utilisant des méthodes analytiques standardisées.
- Plus de tests pour déterminer les concentrations de composants potentiellement dangereux comme les métaux lourds, les composés organochlorés et d'autres polluants qui sont rapidement absorbés par les sargasses pélagiques lorsqu'elles se déplacent en mer.
- La spéciation de l'arsenic pour déterminer les niveaux d'arsenic inorganique (toxique) par rapport à l'arsenic total présent à de fortes concentrations dans la majorité des échantillons à ce jour.

- Mener plusieurs essais avec des sargasses provenant de différents endroits et collectées à différentes saisons, et en utilisant les mêmes méthodes d'analyse, afin de déterminer l'efficacité de certains produits à base de sargasses.
- Effectuer des tests fréquents sur les sargasses pélagiques et/ou sur les produits finaux à base de sargasses et les déchets qui en dérivent afin de déceler la présence et l'accumulation potentielle de composants toxiques, et ainsi déterminer les niveaux de sécurité pour le contact direct, la consommation, les utilisations agricoles, ainsi que les méthodes appropriées d'élimination.
- Examiner si les toxines comme l'arsenic sont transférées dans les cultures et si elles entrent dans la chaîne alimentaire.
- Développer des protocoles pour éviter le risque d'entrée de toxines dans la chaîne alimentaire ou le risque de dégradation environnementale liée à des applications étendues, au stockage inapproprié de la biomasse sargasses ou à la mauvaise élimination des déchets.
- Actuellement, les voies de valorisation les plus prometteuses sont celles qui n'entrent pas dans la chaîne alimentaire, en raison des incertitudes concernant la toxicité et de l'absence de normes concernant les produits à base de sargasses.

5.3 Collecte, transport et stockage

DÉFIS CLÉS

- Bien que les sargasses soient accessibles gratuitement, la **collecte et le transport sont généralement très coûteux** et requièrent souvent des **équipements très spécialisés**.
- **Partage insuffisant des connaissances** concernant les méthodes et les équipements adéquats de collecte.
- **Grande variabilité interannuelle et saisonnière** dans les afflux et les échouages de sargasses.
- Des **dommages environnementaux** peuvent facilement se produire si des équipements et des méthodes inappropriés sont utilisés pour la collecte.
- **Absence de politiques et de mécanismes** pour émettre des permis de collecte sur la plupart des territoires.

5.3.1 Collecte et transport

Les sargasses arrivent « gratuitement » mais, comme nous l'avons appris au cours de ces dix dernières années, elles requièrent des machines et des équipements spécialisés pour une collecte efficace à grande échelle, au sol ou en mer, afin de minimiser les dommages environnementaux. Ces équipements sont

généralement très coûteux à l'achat et à l'entretien. La collecte nécessite également des méthodes et des équipements adaptés aux nombreuses conditions rencontrées sur les sites concernés, comme les vents dominants, les conditions marines, la profondeur de l'eau, les habitats côtiers, le type de rivage (rocheux, sableux, falaise, artificiel), la pente et la largeur de la plage, l'accès au site, etc.

Depuis les premiers afflux de sargasses de 2011, il y a eu une très forte variabilité interannuelle et saisonnière dans les volumes de sargasses échoués (Ramlogan *et al.* 2017, Wang *et al.* 2019).

Des enseignements importants ont été tirés très tôt, souvent par le biais d'essais et d'erreurs mais ils n'ont pas été largement partagés. Ainsi, dans de nombreux cas, des machines lourdes, inadaptées mais immédiatement disponibles ont été déployées et des dommages environnementaux et esthétiques importants ont été occasionnés, surtout au regard du compactage et retrait de grandes quantités de sable sur les plages.

La prétraitement des sargasses collectées est aussi nécessaire pour empêcher des dommages environnementaux et pour fournir une matière première adaptée à autant de filières de valorisation que possible. La séparation du sable et des sargasses collectées sur les plages et le retrait de la faune associée (ex. : bébés tortues marines) et des débris marins (ex. : plastiques) sont des opérations fastidieuses qui requièrent une main d'œuvre importante ou des équipements de séparation spécialisés permettant d'automatiser ce processus mais potentiellement très coûteux.

Le transfert des sargasses des bateaux de collecte, des râtaux mécaniques à terre, et des stocks vers d'autres moyens de transport nécessite aussi des grappins ou des convoyeurs impliquant des dépenses supplémentaires. Le fait que les sargasses fraîches soient mouillées, lourdes et salées, implique aussi des frais de transport et de maintenance additionnels.

Certains de ces défis ont été relevés en modifiant des machines et des équipements existants pour les adapter, ou en développant de nouveaux équipements qui ont significativement augmenté l'efficacité et diminué les impacts environnementaux de la collecte et du prétraitement des sargasses. Des efforts importants se poursuivent également pour recueillir des informations, évaluer les méthodes de collecte et développer des documents d'information et des guides de bonnes pratiques, qui reconnaissent l'importance des méthodes adaptées au contexte local. On peut citer : le dossier de gestion des sargasses de l'UWI-CERMES (« UWI-CERMES Sargassum Management Brief », Hinds *et al.* 2016), la fiche d'information sur les sargasses du GCFI (Doyle et Franks 2015), l'affiche infographique sur les bonnes pratiques (GCFI 2018), le projet « Prévention et collecte des sargasses dans les Caraïbes

néerlandaises » de la Dutch Caribbean Nature Alliance (2019), le Protocole de Puerto Morelos et le

Options de collecte des sargasses

- Barrages au large pour concentrer les sargasses
- Collecte mécanisée au large (bateaux de collecte)
- Collecte manuelle au sol
- Collecte mécanisée au sol
- Équipements accessoires pour déplacer les sargasses

Ces 5 catégories de techniques de collecte d'algues sargasses sont décrites en détail et évaluées dans un rapport de Chereau (2019).

Le document peut être téléchargé sur ce lien : <http://bit.ly/ADEMESarg>

rapport « Suivi et évaluation des opérations de collecte de sargasses » produit par l'ADEME (voir encadré bleu) (Chereau 2019).

Des efforts sont actuellement menés pour améliorer la communication des nouvelles connaissances par le biais de colloques et d'expositions consacrés aux sargasses, de réseaux formels et de centres de connaissances qui partagent des informations, améliorent l'accès à la documentation et permettent d'échanger des idées et de poser des questions. En voici quelques exemples : camp de base du CAR-SPAW, SargNet Listserv et espace de travail Slack, Sarg'Expo en Guadeloupe ou encore la [plateforme d'information sur les sargasses](#).

Les obstacles restants à ce jour sont les suivants :

- Les équipements spécialisés sont toujours en développement et/ou ont une disponibilité limitée, et sont généralement très coûteux.
- L'accès ou l'utilisation limités aux connaissances disponibles se traduit encore par l'achat d'équipements et la mise en œuvre de méthodes de collecte qui ne sont pas adaptées aux contextes locaux et qui, en étant inefficaces, continuent d'entraîner un gaspillage de ressources.
- Il existe encore des techniques d'élimination des sargasses dans la région qui ne sont pas très connues et qui pour certaines, continuent d'entraîner des dommages environnementaux importants.
- Absence de politiques ou de cadre réglementaire dans la plupart des pays pour l'émissions de permis de collecte.

5.3.2 Stockage

L'exploitation d'une matière première à la disponibilité très variable nécessitera de stocker et de conserver et stabiliser les sargasses pour garantir un approvisionnement constant pour la filière en période de faible afflux de sargasses. Il faut donc disposer de surfaces importantes. En outre, le stockage ou l'élimination inapproprié des sargasses collectées peut entraîner plusieurs défis notamment des problèmes environnementaux et sanitaires. Par exemple, les lixiviats (contenant potentiellement des concentrations élevées de nutriments et de toxines) peuvent polluer les plans d'eau naturels (van Tussenbroek *et al.* 2017). Dans le cas où les sargasses sont laissées humides, le processus de décomposition s'entamera entraînant ainsi la production de sulfure d'hydrogène (H₂S) et de gaz d'ammoniac toxiques qui peuvent constituer un danger pour la santé de la population voisine (Anses 2017). Des méthodes de conservation pour prolonger la durée de stockage des sargasses sont encore à l'étude.

5.3.3 Conséquences

Les processus de collecte, de séparation (nettoyage), de transport et de stockage augmentent considérablement le coût de valorisation des sargasses comme matière première, et donc le coût des produits finis. Des sargasses fraîches et propres sont généralement une condition préalable au

développement de produits haut de gamme, en particulier ceux qui dépendent d'extraits. Les opérations de retrait du sable dans le cas d'une collecte au sol (plage) ou de séparation des sargasses des autres varechs et déchets marins représentent des coûts additionnels importants dans certaines zones.

La forte variabilité de l'approvisionnement en sargasses pose problème pour la collecte et le transport car les équipements (et le personnel) peuvent être inactifs pendant une certaine période.

La collecte de grands volumes de sargasses, au sol ou en mer, peut facilement causer des dommages à l'environnement et nécessite donc des équipements, des machines et des techniques hautement spécialisés et adaptés aux caractéristiques physiques et socio-économiques du site concerné.

L'absence de politiques ou de cadre légal pour permettre la collecte des sargasses constitue un obstacle supplémentaire, qui est abordé dans la section 5.4.

5.3.4 Pour avancer

Un certain nombre de lacunes doivent être comblées et plusieurs actions peuvent être envisagées pour relever les défis actuels en matière de collecte, de transport et de stockage. Les actions proposées sont les suivantes :

- Lorsque la collecte en mer est privilégiée, des études sur la biodiversité des sargasses flottantes à différentes distances du rivage sont nécessaires pour déterminer l'emplacement de collecte le plus approprié afin d'éviter la perte de biodiversité.
- Développer des machines à faible coût qui séparent efficacement et effectivement les encombrants (sable, plastiques, etc.) des sargasses collectées.
- Rechercher les meilleures solutions de stockage des sargasses (ex. : séchées, broyées, conservées) pour garantir un approvisionnement ininterrompu des filières de valorisation pendant les périodes de faibles afflux.
- Analyser la chaîne de valeur pour déterminer les meilleurs et plus bas coûts, notamment au niveau des coûts de processus, de transaction et de manutention pour l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.
- Améliorer l'accès aux connaissances et à la communication pour partager les enseignements et promouvoir les bonnes pratiques en matière de techniques de collecte au sol et en mer.
- Tenir compte du contexte local, du potentiel impact sur l'environnement et des filières de valorisation à développer avant d'investir dans un type d'équipement de collecte.
- Envisager des moyens pour réduire les coûts d'importation d'équipements dédiés à la collecte des sargasses.
- Développer des protocoles et des normes pour une collecte, un transport et un stockage sans danger des sargasses.

5.4 Gestion et réglementation

DÉFIS CLÉS

- Les afflux massifs de sargasses sont un **phénomène relativement nouveau** pour cette région et leur arrivage, leur collecte et leurs potentielles valorisation sont caractérisées par un **niveau élevé d'incertitude**.
- **Absence de politique d'orientation ou de cadre de gouvernance** spécifique pour la gestion des afflux de sargasses.
- Les sargasses sont plus **vues comme un risque** plutôt qu'une opportunité.
- Absence de mécanisme pour émettre des **permis de collecte** dans la plupart des territoires et absence de **politique régionale**.
- **Manque de protocoles et de normes** pour soutenir la collecte, le transport, le stockage et la valorisation sans danger (processus et produits finaux).

5.4.1 Incertitudes

Les afflux et échouages massifs de sargasses pélagiques dans les Caraïbes sont des phénomènes relativement nouveaux (pas de précédent avant 2011), caractérisés par de nombreuses incertitudes concernant : les arrivages (période, quantité, localisation), la composition des algues (chimique, espèces), les techniques de collecte, les méthodologies et les équipements de transport et de stockage (la recherche et le développement sont très dynamiques), la faisabilité des nombreuses voies de valorisation potentielles, la demande du marché pour les produits finaux et les impacts environnementaux. Ceci pose d'importants problèmes pour soutenir, gérer et réglementer la collecte et l'utilisation des sargasses.

5.4.2 Gouvernance

Les afflux inattendus et sans précédent de sargasses en 2011 ont nécessité le développement de stratégies de gestion en partant de zéro. Il n'existait en effet aucune politique d'orientation ou cadre de gouvernance applicable pour gérer ce nouveau phénomène (Oxenford, McConney et Sabir 2019). De plus, la grande incertitude concernant la répétition du phénomène a découragé le développement d'un mécanisme de gouvernance approprié pendant plusieurs années. L'objectif initial était de traiter les sargasses comme un risque et de les éliminer le plus rapidement possible des littoraux à enjeu. Quant aux opportunités potentielles de valorisation, elles ont fait et font toujours l'objet d'une attention relativement faible.

Plusieurs pays caribéens ont désormais constitué ou sont en train de constituer des groupes de travail ou des comités nationaux, composés à la fois d'agences gouvernementales et d'acteurs du secteur privé, pour soutenir et coordonner la gestion des afflux de sargasses. Cependant, dans de nombreux cas, la

capacité de ces groupes de travail/comités à fonctionner est limitée par les financements et l'accès difficile aux connaissances les plus récentes issues d'une recherche dynamique sur ce nouveau phénomène. Plusieurs pays ont également rédigé des plans/stratégies de gestion des sargasses, dont la plupart doivent encore être approuvés par les autorités compétentes et recevoir des ressources pour leur mise en œuvre. Les réglementations pour soutenir les plans de gestion et la valorisation des sargasses tardent à voir le jour (Cox, Oxenford et McConney 2019).

Les politiques et déclarations régionales qui soutiennent la valorisation et la commercialisation des algues sargasses sont : (1) Le livre blanc du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) « La prolifération des sargasses dans la Caraïbe : défis, opportunités et situation régionale » (PNUE 2018) et (2) La déclaration finale de la Conférence internationale de 2019 sur les sargasses en Guadeloupe « Programme Caribéen pour les Sargasses »³⁷.

5.4.3 Conséquences

Dans la plupart des pays concernés, le manque d'accords de gouvernance bien établis ou d'attention portée à la valorisation des sargasses continue de restreindre le développement des filières de valorisation, en particulier les entreprises commerciales à grande échelle. L'incertitude et la nature transfrontalière des afflux de sargasses sont également des freins à l'aboutissement de ce type d'accord.

L'absence d'une politique régionale considérant les sargasses comme une ressource commune est un obstacle au développement de toute entreprise mobile de collecte offshore à grande échelle. L'absence de réglementation locale sur la collecte accentue les incertitudes auxquelles sont confrontées les entreprises qui utilisent ou souhaitent utiliser les sargasses comme matière première.

Le manque de protocoles et de normes relatifs à la collecte des sargasses et aux déchets et produits finaux issus des voies de valorisation, peut potentiellement générer des impacts sur l'environnement et la santé humaine, et de même accroître les incertitudes auxquelles les entreprises sont confrontées.

5.4.4 Pour aller de l'avant

À ce stade de développement relativement précoce et incertain, il est particulièrement difficile de définir un plan de gestion et un modèle de réglementation pour soutenir la commercialisation des sargasses. Cependant, un certain nombre d'actions sont suggérées pour favoriser le développement de la filière :

- Il serait approprié de se concentrer sur des stratégies ou des plans de gestion adaptés aux circonstances locales, notamment au regard des incertitudes actuelles, qui doivent permettre d'examiner, d'actualiser et d'incorporer régulièrement les retours d'expérience.

³⁷ <https://pressroom.oecs.org/final-declaration-of-the-international-conference-on-sargassum-a-commitment-to-cooperation-in-the-caribbean>

- Il convient de remédier au manque général de dispositifs de gouvernance (politiques, plans de gestion et réglementations), applicables à la collecte et à la valorisation des sargasses.
- Les politiques et les programmes gouvernementaux doivent créer un environnement plus attractif et propice, qui encourage l'innovation et soutient l'expansion des entreprises existantes et le développement de nouvelles activités exploitant la biomasse sargasses.
- Des protocoles et des normes doivent être développés pour empêcher les dommages environnementaux et garantir la sécurité des produits de consommation ou de contact.

5.5 Financement et soutien

DÉFIS CLÉS

- **Disponibilité des financements** pour valoriser les sargasses
- **Difficulté à accéder** aux financements
- Faible niveau de soutien aux **nouvelles entreprises**
- Absence d'**infrastructure industrielle**

5.5.1 Financement pour développer les utilisations des sargasses

Étant donné que les afflux de sargasses étaient totalement inattendus en 2011 et que leur récurrence était incertaine, il n'est pas surprenant que les financements destinés à la recherche et au développement furent dans un premier temps indisponibles, puis relativement lents à mobiliser. Néanmoins, des financements substantiels sont à présent mobilisés pour soutenir de nombreuses initiatives à travers les Caraïbes et visent un ou plusieurs aspects des afflux de sargasses. Ces aspects sont (1) le développement d'activités efficaces d'atténuation, (2) l'amélioration de la surveillance et de la prévision, (3) l'investissement dans la recherche appliquée, (4) la constitution renforcée de réseaux et l'amélioration du partage d'informations entre les parties prenantes, et (5) la sensibilisation et l'éducation du public.

Cependant, la plupart des financements à ce jour ont été principalement investis dans des initiatives de recherche et d'éducation et soutiennent beaucoup moins la valorisation des sargasses. L'investissement dans la commercialisation de produits et le financement d'amorçage pour le marketing doivent être améliorés afin de créer des entreprises durables qui créent des emplois, développent la capacité d'adaptation et permettent un traitement viable des algues.

À ce jour, les principaux défis sont les suivants :

- Des financements très limités sont proposés aux petites et moyennes entreprises pour développer des utilisations commercialement viables des sargasses et étendre leurs activités.
- Les jeunes entrepreneurs n'ont pas nécessairement les garanties nécessaires pour le remboursement des prêts. Bien souvent, il est encore plus difficile d'accéder aux financements

quand il s'agit de développer des activités basées sur un approvisionnement imprévisible en matières premières.

- Les financements par des bailleurs de fonds sont difficilement accessibles, et le processus de candidature et les exigences en matière de reddition de compte peuvent s'avérer décourageants et longs.
- Les budgets gouvernementaux ne sont généralement pas assez adaptés pour soutenir les nouvelles entreprises, en particulier celles caractérisées par de fortes incertitudes.

5.5.2 Aide à l'innovation et aux entreprises

La région se caractérise généralement par des procédures bureaucratiques laborieuses pour la création, l'exploitation et la croissance d'une entreprise, qui constituent d'énormes obstacles, surtout pour les petites et moyennes entreprises. Le problème est souvent exacerbé par un système de taxation lourd et des infrastructures en mauvais état, et par le manque de structures institutionnelles efficaces. En outre, la plupart des économies de la région (en particulier dans les îles) dépendent des ressources marines (ex. : pêche) et côtières (ex. : tourisme) et manquent d'infrastructures industrielles.

5.5.3 Conséquences

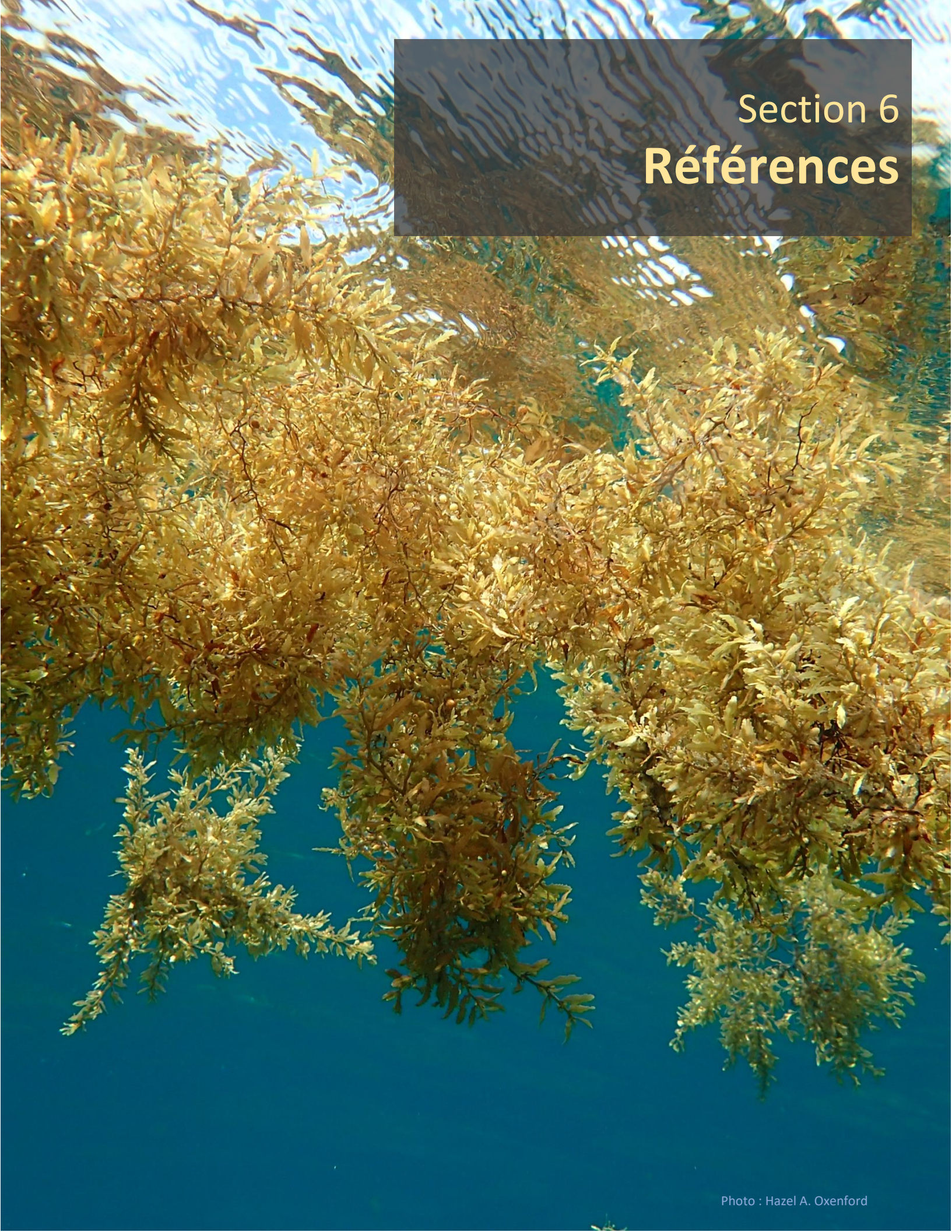
Les difficultés actuelles à accéder aux financements pour soutenir le développement des voies de valorisation des sargasses et leur commercialisation, ainsi que l'absence d'un environnement porteur pour encourager l'entrepreneuriat représentent une contrainte importante pour la croissance de l'industrie des sargasses. Le manque généralisé d'infrastructures industrielles dans de nombreux territoires est un frein supplémentaire à ce développement alors qu'il pourrait contribuer à résoudre le problème très coûteux du nettoyage des littoraux, actuellement pris en charge par les gouvernements et le secteur privé.

5.5.4 Pour aller de l'avant

Le développement d'un mécanisme de financement durable en faveur de la recherche et du développement, soutenant les entreprises de la filière sargasses, nécessitera d'investir beaucoup de temps et d'argent, et d'adopter des approches collaboratives entre les secteurs publics et privés. Malgré l'existence de nombreux obstacles, le lien entre la science et la politique bénéficie de certains catalyseurs qui pourraient favoriser le progrès dans un proche avenir.

- Certaines opportunités d'innovation autour des sargasses doivent être considérées comme des initiatives de croissance bleue qui peuvent être intégrées dans les cadres stratégiques et les feuilles de route de l'économie bleue. Cette approche peut favoriser la diversification et la résilience économique, et réduire la vulnérabilité économique et la dépendance à un petit nombre de secteurs. Ceci permettrait d'accroître le nombre de partenariats public-privé dans le domaine de la recherche et du développement de produits et de répartir le risque d'investissement tout en maximisant l'innovation.

- Créer un cadre politique national pour le développement de micro-entreprises (TPE), de petites et de moyennes entreprises (PME) pour soutenir le secteur des sargasses.
- Renforcer les capacités des petites et moyennes entreprises dans les zones de développement d'activité, favoriser leur accès aux subventions, améliorer la gestion des ressources marketing, financières et humaines.
- Créer un environnement propice pour que les parties prenantes concernées (pêcheurs et habitants des communautés côtières) utilisent les sargasses comme moyen de subsistance alternatif.
- Offrir des avantages aux entreprises qui contribuent aux dispositions gouvernementales de recouvrement des coûts liés au nettoyage des plages.
- Créer une « taxe sargasses » à travers le tourisme et d'autres initiatives (comme celle de Quintana Roo, 1 \$ par jour et par touriste en visite).
- Encourager la créativité par le biais de centres d'innovation, de hackathons et de concours.



Section 6

Références

6. Références

- Abdel-Raouf, N., A. A. Al-Homaidan & I. B. M. Ibraheem.** 2012. Agricultural importance of algae (L'importance agricole des algues). *African Journal of Biotechnology* 11:11648-11658.
- Abdul Khalil, H. P. S., E. W. N. Chong, F. A. T. Owolabi, M. Asniza, Y. Y. Tye, H. A. Tajarudin, M. T. Paridah et S. Rizal.** 2018. Microbial-induced CaCO₃ filled seaweed-based film for green plasticulture application (Film à base d'algues rempli de CaCO₃ d'origine microbienne pour une plasticulture écologique). *Journal of Cleaner Production* 199:150-163. doi : 10.1016/j.jclepro.2018.07.111.
- Abou El-Ezz, S. S. & F. E. Younis.** 2010. Salt and trace minerals for livestock and other animals -A review (Sel et oligo-éléments pour le bétail et autres animaux - Une revue). Huitième Conférence scientifique de la Société des sciences physiologiques et de leurs applications, Charm el-Cheikh, Égypte.
- Adamse P., H. J. Van der Fels-Klerx et J. de Jong.** 2017. Cadmium, lead, mercury and arsenic in animal feed and feed materials – trend analysis of monitoring results (Le cadmium, le plomb, le mercure et l'arsenic dans les aliments pour animaux et comme matière première - Analyse des résultats de suivi). *Food Additives & Contaminants: Part A* 34 (8):1298-1311. doi : 10.1080/19440049.2017.1300686.
- Addico G. N. D. et K. A. A. deGraft-Johnson.** 2016. Preliminary investigation into the chemical composition of the invasive brown seaweed *Sargassum* along the West Coast of Ghana (Étude préliminaire de la composition de l'algue brune invasive sargasse le long de la côte ouest du Ghana). *African Journal of Biotechnology* 15 (39):2184-2191. doi : 10.5897/AJB2015.15177
- Afonso, N. C., M. D. Catarino, A. M. S. Silva et S. M. Cardoso.** 2019. Brown macroalgae as valuable food ingredients (Les macroalgues brunes, un ingrédient alimentaire précieux). *Antioxidants (Bâle, Suisse)* 8 (9):365. doi : 10.3390/antiox8090365.
- Al-Harathi M. A. & A. A. El-Deek.** 2012. Effect of different dietary concentrations of brown marine algae (*Sargassum dentifebium*) prepared by different methods on plasma and yolk lipid profiles, yolk total carotene and lutein plus zeaxanthin of laying hens (Effet de différentes concentrations d'algues marines brunes dans l'alimentation (*Sargassum dentifebium*), avec différentes méthodes de préparation, sur les profils lipidiques du plasma et du jaune d'œuf, du carotène total, de la lutéine et de la zéaxanthine du jaune chez les poules pondeuses) *Italian Journal of Animal Science* 11 (4):e64. doi : 10.4081/ijas.2012.e64.
- Ali O., A. Ramsubhag & J. Jayaraman.** 2019. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment (Activités biostimulantes de l'extrait d'*Ascophyllum nodosum* dans les cultures de tomates et de poivrons en milieu tropical). *PLoS One* 14 (5):e0216710. doi : 10.1371/journal.pone.0216710.
- Allen V. G., K. R. Pond, K. E. Saker, J. P. Fontenot, C. P. Bagley, R. L. Ivy, R. R. Evans et al.** 2001. Tasco: Influence of a brown seaweed on antioxidants in forages and livestock—A review (Tasco : Influence d'une algue brune sur les antioxydants dans les fourrages et le bétail - Une revue). *Journal of Animal Science* 79 (suppl_E):E21-E31. doi : 10.2527/jas2001.79E-SupplE21x.
- Altenor S., M. C. Ncibi, E. Emmanuel et S. Gaspard.** 2012. Textural characteristics, physiochemical properties and adsorption efficiencies of Caribbean alga *Turbinaria turbinata* and its derived carbonaceous materials for water treatment application (Caractéristiques texturales, propriétés physicochimiques et efficacités d'adsorption de l'algue caribéenne *Turbinaria turbinata* et des matières carbonées dérivées pour le traitement de l'eau). *Biochemical Engineering Journal* 67:35-44. doi : <https://doi.org/10.1016/j.bej.2012.05.008>.
- Alvarez Y., C. Yacou, J. Louis-Thérèse, R. Liranzo-Gómez, N. Brehm, U. Jáuregui-Haza & S. Gaspard.** 2019. Adsorption of hexavalent chromium from water using acidic activated carbons from *Sargassum* seaweed (Adsorption du chrome hexavalent dans l'eau à l'aide de charbons actifs acides dérivés

- d'algues sargasses). Caribbean Science and Innovation Meeting, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, 2019-10-21.
- Amara I., W. Miled, R. B. Slama & N. Ladhari.** 2018. Antifouling processes and toxicity effects of antifouling paints on marine environment. A review (Processus antifouling et effets toxiques des peintures antifouling sur l'environnement marin. Une revue) *Environmental Toxicology and Pharmacology* 57:115-130. doi : <https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.12.001>.
- Angell A. R., L. Mata, R. de Nys et N. A. Paul.** 2016. The protein content of seaweeds: A universal nitrogen-to-protein conversion factor of five (La teneur en protéine des algues : un facteur de cinq pour la conversion de l'azote en protéine). *Journal of Applied Phycology* 28 (1):511-524. doi : 10.1007/s10811-015-0650-1.
- ANR (Agence Nationale de la Recherche).** 2019. Joint call for research, development and innovation on sargassum (Appel commun à la recherche, au développement et à l'innovation sur les sargasses).
- ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).** 2017. Expositions aux émanations d'algues sargasses en décomposition aux Antilles et en Guyane. 135 pp.
- Arumugam N., S. Chelliapan, H. Kamyab, S. Thirugnana, N. Othman et N. S. Nasri.** 2018. Treatment of wastewater using seaweed: A review (Traitement des eaux usées à l'aide d'algues : une revue). *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (12). doi :10.3390/ijerph15122851.
- Audo A., M. Paraschiv, C. Queffélec, I. Louvet, J. Hémez, F. Fayon, O. Lépine et al.** 2015. Subcritical hydrothermal liquefaction of microalgae residues as a green route to alternative road binders (Liquéfaction hydrothermale sous-critique des résidus de microalgues comme voie écologique vers des liants routiers alternatifs). *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 3 (4): 583–590. Doi :10.1021/acssuschemeng.5b00088.
- Aziz A., B. Poinssot, X. Daire, M. Adrian, A. Bézier, B. Lambert, J.-M. Joubert et A. Pugin.** 2003. Laminarin elicits defense responses in grapevine and induces protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola* (La laminarine provoque des réactions de défense dans la vigne et induit une protection contre le *Botrytis cinerea* et la *Plasmopara viticola*). *Molecular Plant-Microbe Interactions* 16 (12):1118-1128. doi : 10.1094/MPMI.2003.16.12.1118.
- Azizi N., G. Najafpour et H. Younesi.** 2017. Acid pretreatment and enzymatic saccharification of brown seaweed for polyhydroxybutyrate (PHB) production using *Cupriavidus necator* (Prétraitement acide et saccharification enzymatique des algues brunes pour la production de poly-hydroxybutyrate) (PHB) à l'aide du *Cupriavidus necator*). *International Journal of Biological Macromolecules* 101:1029-1040. doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.184>.
- Bach S. J., Y. Wang et T. A. McAllister.** 2008. Effect of feeding sun-dried seaweed (*Ascophyllum nodosum*) on fecal shedding of *Escherichia coli* O157:H7 by feedlot cattle and on growth performance of lambs (Effet de l'alimentation à base d'algues séchées au soleil (*Ascophyllum nodosum*) sur l'excrétion fécale d'*Escherichia coli* O157:H7 par les bovins en parc d'engraissement et sur la croissance des agneaux). *Animal Feed Science and Technology* 142 (1):17-32. doi : <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.033>.
- Bajpai S., P. S. Shukla, S. Asiedu, K. Pruski et B. Prithiviraj.** 2019. A biostimulant preparation of brown seaweed *Ascophyllum nodosum* suppresses powdery mildew of strawberry (Une préparation biostimulante à base d'algue brune *Ascophyllum nodosum* supprime l'oïdium du fraisier). *Plant Pathol J* 35 (5):406-416. doi : 10.5423/PPJ.OA.03.2019.0066.
- Balat, M.** 2011. Potential alternatives to edible oils for biodiesel production - A review of current work (Alternatives potentielles aux huiles comestibles pour la production de biodiesel - Une revue des travaux en cours). *Energy Conversion and Management* 52 (2):1479-1492. doi : 10.1016/j.enconman.2010.10.011.

- Balboa E., E. Conde, A. Constenla, E. Falqué et H. Domínguez.** 2017. Sensory evaluation and oxidative stability of a suncream formulated with thermal spring waters from Ourense (NW Spain) and *Sargassum muticum* extracts (Évaluation sensorielle et stabilité oxydative d'une crème solaire formulée à base d'eaux thermales d'Ourense (nord-ouest de l'Espagne) et d'extraits de *Sargassum muticum*). *Cosmetics* 4 (2):19.
- Baldassarre M. E., A. Di Mauro, M. C. Pignatelli, M. Fanelli, S. Salvatore, G. Di Nardo, A. Chiaro, L. Pensabene et N. Laforgia.** 2019. Magnesium alginate in gastro-esophageal reflux: A randomized multicenter cross-over study in infants (L'alginate de magnésium pour le reflux gastro-œsophagien : une étude multicentrique randomisée en cross-over chez le nourrisson). *Int J Environ Res Public Health* 17 (1). doi : 10.3390/ijerph17010083.
- Bazes A., A. Silkina, P. Douzenel, F. Faÿ, N. Kervarec, D. Morin, J. - P. Berge et N. Bourgoignon.** 2009. Investigation of the antifouling constituents from the brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt (Étude des constituants antifouling de l'algue brune *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt). *Journal of Applied Phycology* 21 (4):395-403. doi : 10.1007/s10811-008-9382-9.
- Béguin F.** 2010. *Carbons for electrochemical energy storage and conversion systems (Carbones pour systèmes électrochimiques de stockage et de conversion de l'énergie)*. Édité par F. Béguin et E. Frackowiak. Boca Raton : CRC Press. 529 pp.
- Ben Salah I., S. Aghrouss, A. Douira, S. Aissam, Z. El Alaoui-Talibi, A. Filali-Maltouf et C. El Modafar.** 2018. Seaweed polysaccharides as bio-elicitors of natural defenses in olive trees against verticillium wilt of olive (Les polysaccharides d'algue comme bio-éliciteurs des défenses naturelles de l'olivier contre la flétrissure verticillienne de l'olivier). *Journal of Plant Interactions* 13 (1):248-255. doi : 10.1080/17429145.2018.1471528.
- Benvegnu T. et J. - F. Sassi.** 2010. Oligomannuronates from seaweeds as renewable sources for the development of green surfactants (Les oligo-mannuronates d'algue comme sources renouvelables pour le développement de tensioactifs écologiques). *Topics in current chemistry* 294:143-64. doi : 10.1007/128_2010_48.
- Berger L. L.** 2006. *Salt and trace minerals for livestock, poultry and other animals*: Salt Institute (Sel et oligo-éléments pour le bétail, la volaille et d'autres animaux : Salt Institute). 52 pp.
- Bichat M. P., E. Raymundo-Piñero et F. Béguin.** 2010. High voltage supercapacitor built with seaweed carbons in neutral aqueous electrolyte (Supercondensateur haute tension construit avec du charbon d'algues dans un électrolyte aqueux neutre). *Carbon* 48 (15):4351-4361. doi : 10.1016/j.carbon.2010.07.049.
- Bird M. I., C. M. Wurster, P. H. de Paula Silva, A. M. Bass et R. de Nys.** 2011. Algal biochar - production and properties (Biochar d'algue - Production et propriétés). *Bioresource Technology* 102 (2):1886-91. doi : 10.1016/j.biortech.2010.07.106.
- Bitton R.** 2015. Chapter 7: Algal glue mimetics. dans *Bioadhesion and Biomimetics from Nature to Applications* (Bioadhésion et biomimétique, de la nature aux applications - Chapitre 7 : Mimétique de la colle d'algue), édité par H. Bianco-Peled et M. Davidovich-Pinhas, 314 pp. New York : Jenny Stanford Publishing.
- Blunden, G. et R. T. Jones.** 1973. Toxic effects of *Ascophyllum nodosum* as a rabbit food additive (Effets toxiques de l'*Ascophyllum nodosum* comme complément alimentaire pour lapins). Food-Drugs from the Sea. Proceedings 1972.
- Borines M. G., R. L. de Leon et J. L. Cuello.** 2013. Bioethanol production from the macroalgae *Sargassum* spp (Production de bioéthanol à partir de macroalgues *Sargassum*). *Bioresource Technology* 138:22-29. doi : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.108>.
- Bowen R.** 2015. Literature research and review on *Sargassum* use in animal husbandry (Recherche et revue de la littérature sur l'utilisation des sargasses dans l'élevage animal). Barbade : Ministère

- barbadien de l'Agriculture, de l'alimentation, de la pêche et de la gestion des ressources en eau ; Division Nutrition animale. 25 pp.
- Braden K. W., J. R. Blanton, V. G. Allen, K. R. Pond et M. F. Miller.** 2004. *Ascophyllum nodosum* supplementation: A preharvest intervention for reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in feedlot steers (Supplémentation en *Ascophyllum nodosum* : une intervention avant récolte pour réduire la présence de l'*Escherichia coli* O157:H7 et des espèces de *Salmonella* chez les bœufs des parcs d'engraissement). *Journal of Food Protection* 67 (9):1824-1828. doi : 10.4315/0362-028X-67.9.1824.
- Braden K. W., J. R. Blanton, Jr., J. L. Montgomery, E. van Santen, V. G. Allen et M. F. Miller.** 2007. Tasco supplementation: Effects on carcass characteristics, sensory attributes, and retail display shelf-life (Complément Tasco : Effets sur les caractéristiques de la carcasse, les attributs sensoriels et la durée de conservation en magasin). *Journal of Animal Science* 85 (3):754-768. doi : 10.2527/jas.2006-294.
- Brooks M. T., V. J. Coles, R. R. Hood et J. F. R. Gower.** 2018. Factors controlling the seasonal distribution of pelagic *Sargassum* (Facteurs contrôlant la répartition saisonnière des sargasses pélagiques). *Marine Ecology Progress Series* 599:1-18.
- Buschmann A. H., C. Camus, J. Infante, A. Neori, Á. Israel, M. C. Hernández-González, S. V. Pereda et al.** 2017. Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity (Production d'algues : aperçu de la situation mondiale en termes d'exploitation, d'élevage et d'activité de recherche émergente). *European Journal of Phycology* 52 (4):391-406. doi : 10.1080/09670262.2017.1365175.
- California department of food and agriculture.** (non daté). Réglementations proposées titre 3. Alimentation et agriculture division 4. Industrie des plantes Chapitre 1. Chimie Sous-chapitre 1. Engrais. <https://www.cdffa.ca.gov/is/ffldrs/pdfs/AdoptedText.pdf>
- Campos de Paula J., M. A. Vallim et V. Laneuville Teixeira.** 2011. What are and where are the bioactive terpenoids metabolites from Dictyotaceae (Phaeophyceae) (Que sont les métabolites terpénoïdes bioactifs des Dictyotaceae (Phaeophyceae) et où se trouvent-ils ?). *Revista Brasileira de Farmacognosia* 21:216-228.
- Agence canadienne d'inspection des aliments.** 2018. Guide to submitting applications for registration under the fertilizers act (Guide pour soumettre des demandes d'enregistrement au titre de la loi sur les engrais). 48 pp.
- Carrillo S., A. Bahena, M. Casas, M. E. Carranco, C. C. Calvo, E. Ávila et F. Pérez-Gil.** 2012. The alga *Sargassum* spp. as alternative to reduce egg cholesterol content (L'algue *Sargassum* comme alternative pour réduire la teneur en cholestérol des œufs). *Cuban Journal of Agricultural Science* 46 (2):181-186.
- Carrillo S., E. López, M. M. Casas, E. Avila, R. M. Castillo, M. E. Carranco, C. Calvo et F. Pérez-Gil.** 2008. Potential use of seaweeds in the laying hen ration to improve the quality of n-3 fatty acid enriched eggs (Utilisation potentielle d'algues dans les rations des poules pondeuses afin d'améliorer la qualité des œufs enrichis en acides gras oméga-3). *Journal of Applied Phycology* 20 (5):721-728. doi : 10.1007/s10811-008-9334-4.
- Carrillo S., V. H. Ríos, C. Calvo, M. E. Carranco, M. Casas et F. Pérez-Gil.** 2012. n-3 Fatty acid content in eggs laid by hens fed with marine algae and sardine oil and stored at different times and temperatures (Teneur en acides gras oméga-3 dans les œufs pondus par des poules nourries avec des algues marines et de l'huile de sardine, et stockés à différents moments et températures). *Journal of Applied Phycology* 24 (3):593-599. doi : 10.1007/s10811-011-9777-x.
- Casas-Valdez M. , H. Hernández-Contreras, A. Marín-Álvarez, R. N. Aguila-Ramírez, C. J. Hernández-Guerrero, I. Sánchez-Rodríguez et S. Carrillo-Domínguez.** 2006. El alga marina *Sargassum* (Sargassaceae): una alternativa tropical para la alimentación de ganado caprino (Les algues

- sargasses : une alternative tropicale pour l'alimentation des chèvres). *Revista de Biología Tropical* 54 (1):83-92.
- Casas-Valdez M., G. Portillo-Clark, N. Aguila-Ramírez, S. Rodríguez-Astudillo, I. Sánchez-Rodríguez et S. Carrillo-Domínguez.** 2006. Efecto del alga marina *Sargassum* spp. sobre las variables productivas y la concentración de colesterol en el camarón café, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) (Effet de l'algue *Sargassum* sur les variables productives et la concentration de cholestérol chez la crevette brune *Farfantepenaeus californiensis*). *Revista de biología marina y oceanografía* 41:97-105.
- Chaker Ncibi M., A. Menyar Ben Hamissa et S. Gaspard.** 2014. Chapter 7: Plantae and marine biomass (biomasse de plantes et biomasse marine). dans *Biomass for sustainable applications: Pollution remediation and energy* (La biomasse pour des applications durables : Dépollution et énergie), édité par S. Gaspard et M. Chaker Ncibi, 290-334. The Royal Society of Chemistry.
- Chambers L. D., K. R. Stokes, F. C. Walsh et R. J. K. Wood.** 2006. Modern approaches to marine antifouling coatings (Approches modernes des revêtements antifouling marins). *Surface and Coatings Technology* 201 (6):3642-3652. doi : <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.08.129>.
- Chapman V. J. & D. J. Chapman.** 1980. *Seaweeds and their uses* (Les algues et leurs utilisations). 3ème édition Londres : Chapman & Hall. 334 pp.
- Chaves Lopez C., A. Serio, C. Rossi, G. Mazzarrino, S. Marchetti, F. Castellani, Lisa Grotta, F. P. Fiorentino, A. Paparella et G. Martino.** 2016. Effect of diet supplementation with *Ascophyllum nodosum* on cow milk composition and microbiota (Effet de la supplémentation nutritionnelle en *Ascophyllum nodosum* sur la composition du lait de vache et le microbiote). *Journal of Dairy Science* 99 (8):6285-6297. doi : <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10837>.
- Chen H., D. Zhou, G. Luo, S. Zhang et J. Chen.** 2015. Macroalgae for biofuels production: Progress and perspectives (Macroalgues pour la production de biocarburants : progrès et perspectives). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47:427-437. doi : 10.1016/j.rser.2015.03.086.
- Chereau E.** 2019. Monitoring and evaluation of *Sargassum* collection operations - Summary report (Suivi et évaluation des opérations de collecte de sargasses - Rapport estival) 15MAG007. ADEME, SAFEGE et SUEZ. 227 pp.
- Choi B. W., G. Ryu, S. H. Park, E. S. Kim, J. Shin, S. S. Roh, H. C. Shin et B. H. Lee.** 2007. Anticholinesterase activity of plastoquinones from *Sargassum sagamianum*: lead compounds for alzheimer's disease therapy (Activité anticholinestérasique des plastoquinones de *Sargassum sagamianum* : composés principaux pour le traitement de la maladie d'Alzheimer). *Phytotherapy Research* 21 (5):423-426. doi : 10.1002/ptr.2090.
- Citkowska A., M. Szekalska et K. Winnicka.** 2019. Possibilities of fucoidan utilization in the development of pharmaceutical dosage forms (Possibilités d'utilisation du fucoïdane dans le développement de formes pharmaceutiques). *Marine drugs* 17 (8):458. doi : 10.3390/md17080458.
- CNN Chile.** 2019. Papel alga: innovación forestal « made in Chile » (Papier d'algue : innovation forestière « made in Chile »). May 26, 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=jsCbBYDJj1U>
- Cox S.-A., H. A. Oxenford et P. McConney.** 2019. Summary report on the review of draft national sargassum plans for four countries in the Eastern Caribbean (Rapport de synthèse relatif à l'examen des projets de plans nationaux sur les sargasses pour quatre pays des Caraïbes orientales). Rapport (D20) préparé pour le projet d'Adaptation au changement climatique du secteur de la pêche dans les Caraïbes orientales (CC4FISH) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et le Fonds pour l'environnement mondial (FEM). Centre pour la gestion des ressources et les études environnementales, Université West Indies, Cave Hill, Barbade. 20 pp.
- Creis, E., E. A. Gall et P. Potin.** 2018. Chapter 3: Ubiquitous phlorotannins prospects and perspectives (Chapitre 3 : Perspectives des phlorotannins omniprésents). In *Blue Biotechnology: Production and*

- Use of Marine Molecules* (Biotechnologie bleue : production et utilisation des molécules marines), édité par S. La Barre et S. S. Bates, 67-116. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- D'Amelio, F. S.** 1999. Botanicals : a phytocosmetic desk reference (Substances botaniques : une référence phyto-cosmétique) dans Boca Raton : CRC Press. 361 pp.
- de Vrije T. et A. M. López-Contreras.** 2016. Chemical analysis of *Sargassum* biomass (Analyse chimique de la biomasse de sargasses). Non publié : Food and Biobased Products (Aliments et bioproduits), Wageningen UR et Centre d'étude pour la valorisation des algues (CEVA).
- Deemy M. et L. Benjamin.** 2019. CVM CY15-17 Report on Heavy Metals in Animal Food (Rapport CVM CY15-17 sur les métaux lourds dans les aliments pour animaux). Center for Veterinary Medicine. 4 pp.
- Délérès P., H. Nazih et J. M. Bard.** 2016. Chapter 10 - Seaweeds in human health (chapitre 10 - Les algues dans la santé humaine). Dans *Seaweed in Health and Disease Prevention* (Les algues dans la santé et la prévention des maladies), édité par Joël Fleurence et Ira Levine, 319-367. San Diego : Academic Press.
- Diez S., P. Patil, J. Morton, D. Rodriguez, A. Vanzella, D. Robin, T. Maes et C. Corbin.** 2019. *Marine pollution in the Caribbean: Not a minute to waste* (Pollution marine dans les Caraïbes : plus une minute à perdre). Washington, DC : World Bank Group. 100 pp.
- Doh, H., K. D. Dunno et W. S. Whiteside.** 2020. Preparation of novel seaweed nanocomposite film from brown seaweeds *Laminaria japonica* and *Sargassum natans* (Préparation d'un nouveau film en nanocomposite d'algues à partir d'algues brunes *Laminaria japonica* et *Sargassum natans*). *Food Hydrocolloids* 105. doi : 10.1016/j.foodhyd.2020.105744.
- Dove C. A., F. F. Bradley et S. V. Patwardhan.** 2016. Seaweed biopolymers as additives for unfired clay bricks (biopolymères d'algue comme additifs pour briques d'argile crue). *Materials and Structures* 49 (11):4463-4482. doi : 10.1617/s11527-016-0801-0.
- Doyle, E. et J. Franks.** 2015. Fiche d'information sur les sargasses. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 3 pp.
- Dutch Caribbean Nature Alliance.** 2019. Prevention and clean-up of *Sargassum* in the Dutch Caribbean (Prévention et nettoyage des sargasses dans les Antilles néerlandaises). 30 pp.
- Echeverria C., F. Pahlevani, V. Gaikwad et V. Sahajwalla.** 2017. The effect of microstructure, filler load and surface adhesion of marine bio-fillers, in the performance of Hybrid Wood-Polypropylene Particulate Bio-composite (L'effet de la microstructure, de la charge et de l'adhérence de surface des bioremplisseurs marins, sur les performances du biocomposite particulaire hybride bois-polypropylène). *Journal of Cleaner Production* 154:284-294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.020>.
- Edwards B.** 2020. Turning seaweed into big business (Faire de l'algue une grande industrie). *Sustainable Business*, 06/03/2020, 26-27.
- El-Banna S. G., A. A. Hassan, A. B. Okab, A. A. Koriem et M. A. Ayoub.** 2005. Effect of feeding diets supplemented with seaweed on growth performance and some blood hematological and biochemical characteristics of male Baladi rabbits (Effet des régimes alimentaires complétés avec des algues sur la croissance et certaines caractéristiques hématologiques et biochimiques du sang des lapins Baladi mâles). 4ème Conférence internationale sur la production de lapins dans les climats chauds, Charm el-Cheikh, Égypte.
- El-Deek A. A et A. Mervat Brikaa.** 2009. Effect of different levels of seaweed in starter and finisher diets in pellet and mash form on performance and carcass quality of ducks (Effet de différents taux d'algues dans les régimes de démarrage et de finition, sous forme de granulés et de purée, sur les performances et la qualité de la carcasse des canards). *International Journal of Poultry Science* 8 (10):1014-1021. doi : 10.3923/ijps.2009.1014.1021.

- Elad Y., D. R. David, Y. M. Harel, M. Borenshtein, H. B. Kalifa, A. Silber et E. R. Graber.** 2010. Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent (Induction d'une résistance systémique chez les plantes par le biochar, un agent séquestrant le carbone, appliqué au sol). *Phytopathology* 100 (9):913-21. doi : 10.1094/PHYTO-100-9-0913.
- Erickson P. S., S. P. Marston, M. Gemmel, J. Deming, R. G. Cabral, M. R. Murphy et J. I. Marden.** 2012. Short communication: Kelp taste preferences by dairy calves (Communication courte : Préférences gustatives des veaux laitiers en matière de varech). *Journal Of Dairy Science* 95 (2):856-858. doi : 10.3168/jds.2011-4826.
- Evans F. D. & A. T. Critchley.** 2014. Seaweeds for animal production use (Les algues pour l'élevage animal). *Journal of Applied Phycology* 26 (2):891-899. doi : 10.1007/s10811-013-0162-9.
- Eyras M. C., C. M. Rostagno et G. E. Defossé.** 1998. Biological evaluation of seaweed composting (évaluation biologique du compostage des algues). *Compost Science & Utilization* 6 (4):74-81. doi : 10.1080/1065657x.1998.10701943.
- FAO.** 2018. The global status of seaweed production, trade and utilization (L'état mondial de la production, de la commercialisation et de l'utilisation des algues). *Globefish Research Programme*. Volume 124. édité par F. Ferdouse, Z. Yang, S. Løvstad Holdt, P. Murúa et R. Smith. Rome, Italie. 115 pp.
- FAO et OMS.** 2011. Document de travail sur l'arsenic dans le riz. Édité par la 5ème session du Comité du Codex du Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. La Haye, Pays-Bas, 21-25 mars 2011. 28 pp.
- Feitosa de Vasconcelos, A. C. et L. H. Garófalo Chaves.** 2019. Biostimulants and their role in improving plant growth under abiotic stresses, biostimulants in plant science (Les biostimulants et leur rôle dans l'amélioration de la croissance des plantes sous stress abiotique, les biostimulants en botanique). Dans *Biostimulants in plant science* (Les biostimulants en botanique), édité par S. M. Mirmajlessi et R. Radhakrishnan. IntechOpen. 14 pp.
- Fernández F., C. J. Boluda, J. Olivera, L. A. Guillermo, B. Gómez, E. Echavarría et A. M. Gómez.** 2017. Análisis elemental prospectivo de la biomasa algal acumulada en las costas de la República Dominicana durante 2015 (Analyse élémentaire prospective de la biomasse d'algues accumulée sur les côtes de la République dominicaine en 2015). *Centro Azúcar* 44:11-22.
- Figlus J., J. Sigren, R. Webster et T. Linton.** 2015. Innovative technology seaweed prototype: Dunes demonstration project (Prototype de technologie innovante utilisant des algues : projet de démonstration sur dunes). Rapport technique définitif. Université A&M du Texas. 46 pp.
- Fike J. H., V. G. Allen, R. E. Schmidt, X. Zhang, J. P. Fontenot, C. P. Bagley, R. L. Ivy, R. R. Evans, R. W. Coelho et D. B. Wester.** 2001. Tasco-Forage: I. Influence of a seaweed extract on antioxidant activity in tall fescue and in ruminants (Tasco-Forage : I. Influence d'un extrait d'algue sur l'activité antioxydante de la fétuque élevée et des ruminants). *Journal of Animal Science* 79 (4):1011-1021. doi : 10.2527/2001.7941011x.
- FitzGerald A.** 2008. Final report for SEAFISH: Abalone feed requirements (Rapport final pour SEAFISH : Exigences en matière d'alimentation des ormeaux). South West Abalone Growers Association. 34 pp.
- Fletcher R. L. et M. E. Callow.** 1992. The settlement, attachment and establishment of marine algal spores (Colonisation, fixation et établissement de spores d'algues marines). *British Phycological Journal* 27 (3):303-329. doi : 10.1080/00071619200650281.
- Foley P., E. S. Beach et J. B. Zimmerman.** 2012. Derivation and synthesis of renewable surfactants (Dérivation et synthèse de tensioactifs renouvelables). *Chemical Society Reviews* 41 (4):1499-1518. doi : 10.1039/C1CS15217C.
- Francoeur M., A. Ferino-Perez, C. Yacou, C. Jean-Marius, E. Emmanuel, Y. Chérémond, U. J. Jauregui-Haza et S. Gaspard.** 2019. Valorisation of *Sargassum* sp. and modelling of adsorption of emerging micropollutants on activated carbon (Valorisation de l'algue sargasse et modélisation de l'adsorption

- de micropolluants émergents sur charbon actif). Caribbean Science and Innovation Meeting, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, octobre 2019.
- Franks J., D. Johnson et D. Ko.** 2016. Pelagic *Sargassum* in the Tropical North Atlantic (Les sargasses pélagiques dans l'Atlantique Nord tropical). *Gulf and Caribbean Research* 27:SC6-SC11. doi : 10.18785/gcr.2701.08.
- García-Sánchez M., C. Graham, E. Vera, E. Escalante-Mancera, L. Álvarez-Filip et B. I. van Tussenbroek.** 2020. Temporal changes in the composition and biomass of beached pelagic *Sargassum* species in the Mexican Caribbean (Changements temporels dans la composition et la biomasse des espèces de sargasses pélagiques échouées dans les Caraïbes mexicaines). *Aquatic Botany* 167. doi : 10.1016/j.aquabot.2020.103275.
- Gaspard S.** 2019. *Sargassum* valorization by pyrolysis - Application for food safety (Valorisation des sargasses par pyrolyse - Application pour la sécurité alimentaire). Conférence internationale sur les sargasses, Guadeloupe, 24 octobre 2019.
- Gaspard S., N. Passé-Coutrin, A. Durimel, T. Cesaïre et V. Jeanne-Rose.** 2014. Activated carbon from biomass for water treatment (Charbon actif issu de la biomasse pour le traitement de l'eau). Dans *Biomass for sustainable applications: Pollution remediation and energy* (La biomasse pour des applications durables : Dépollution et énergie), édité par S. Gaspard et M. Chaker Ncibi, 46-105. The Royal Society of Chemistry.
- GCFI.** 2018. Affiche sur les bonnes pratiques concernant les sargasses - Suite à un afflux de sargasses
- Generalić Mekinić I., D. Skroza, V. Šimat, I. Hamed, M. Čagalj et Z. Popović Perković.** 2019. Phenolic content of brown algae (Pheophyceae) species: extraction, identification, and quantification (Teneur en phénols d'espèces d'algues brunes (Pheophyceae) : extraction, identification et quantification). *Biomolecules* 9 (6):244. doi : 10.3390/biom9060244.
- Gerber P.J. , H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci et G. Tempio.** 2013. Lutter contre le changement climatique grâce à l'élevage : Une évaluation des émissions et des opportunités d'atténuation au niveau mondial. Édité par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Rome. 116 pp.
- Ghosh S., R. Gnaim, S. Greiserman, L. Fadeev, M. Gozin et A. Golberg.** 2019. Macroalgal biomass subcritical hydrolysates for the production of polyhydroxyalcanoate (PHA) by *Haloferax mediterranei* (Hydrolysats sous-critiques de biomasse de macroalgues pour la production de polyhydroxyalcanoate (PHA) par l'*Haloferax mediterranei*). *Bioresource technology* 271:166-173. doi : 10.1016/j.biortech.2018.09.108.
- Gogotsi Y. et V. Presser.** 2014. Carbon nanomaterials (Nanomatériaux de carbone). Dans Boca Raton : CRC Press. 529 pp.
- Gourmelon, G.** 2018. Problematic plastic (Le plastique problématique). *USA Today Magazine* 147 (2878):69-69.
- Gouvêa L. P., J. Assis, C. F. D. Gurgel, E. A. Serrão, T. C. L. Silveira, C. M. Duarte, L. M. C. Peres et al.** 2020. Golden carbon of *Sargassum* forests revealed as an opportunity for climate change mitigation (Le carbone doré des forêts de sargasses révélé comme une opportunité pour l'atténuation du changement climatique). *Science of The Total Environment* 729. doi : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138745>.
- Gouvernement du Canada.** 2017. Proposal - Maximum Chemical Contaminant Levels in Livestock Feeds (Proposition - Niveaux maximums de contaminants chimiques dans les aliments pour bétail). Accès le 30 janvier 2020. <https://www.inspection.gc.ca/animal-health/livestock-feeds/consultations/maximum-chemical-contaminant-levels-in-livestock-f/eng/1501175158139/1501175158765>.
- Govindarajan A. F., L. Cooney, K. Whittaker, D. Bloch, R. M. Burdorf, S. Canning, C. Carter et al.** 2019. The distribution and mitochondrial genotype of the hydroid *Aglaophenia latecarinata* is correlated

- with its pelagic Sargassum substrate type in the tropical and subtropical western Atlantic Ocean (La distribution et le génotype mitochondrial de l'hydroïde *Aglaophenia latecarinata* sont corrélés à son type de substrat de sargasses pélagiques dans l'océan Atlantique occidental, tropical et subtropical). *PeerJ* 7:e7814. doi : 10.7717/peerj.7814.
- Grand View Research.** 2017. Alginate Market Analysis by Type (High G, High M), by Product (Sodium Alginate, Calcium Alginate, Potassium Alginate, Propylene Glycol Alginate), by Application, and Segment Forecasts (Analyse du marché de l'alginate par type (forte teneur en acide guluronique et acide mannuronique), par produit (alginate de sodium, alginate de calcium, alginate de potassium, alginate de propylène glycol), par application et prévisions de segment), 2014 - 2025.
- Han W., W. Clarke et S. Pratt.** 2014. Composting of waste algae: a review (Le compostage des algues inutilisées : une revue). *Waste Manag* 34 (7):1148-55. doi : 10.1016/j.wasman.2014.01.019.
- Hanisak M. D. et M. A. Samuel.** 1987. Growth rates in culture of several species of Sargassum from Florida, USA (Taux de croissance dans la culture de plusieurs espèces de sargasses de Floride, aux États-unis). *Hydrobiologia* 151/152:399-404. doi : 10.1007/BF00046159.
- Hasan M., E. W. N. Chong, S. Jafarzadeh, M. T. Paridah, D. A. Gopakumar, H. A. Tajarudin, S. Thomas et H. P. S. Abdul Khalil.** 2019. Enhancement in the physico-mechanical functions of seaweed biopolymer film via embedding fillers for plasticulture application-A comparison with conventional biodegradable mulch film (Amélioration des fonctions physico-mécaniques du film en biopolymère d'algues via l'enrobage de matières de remplissage pour la plasticulture - Une comparaison avec le film de paillage biodégradable conventionnel). *Polymers (Basel)* 11 (2). doi : 10.3390/polym11020210.
- Haykiri-Acma H., S. Yaman et S. Kucukbayrak.** 2013. Production of biobriquettes from carbonized brown seaweed (Production de bio-briquettes à partir d'algues brunes carbonisées). *Fuel Processing Technology* 106:33-40. doi : 10.1016/j.fuproc.2012.06.014.
- Hazelton P. et B. Murphy.** 2016. *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean? (Interprétation des résultats d'analyse de sol : que signifient les chiffres ?)* 3ème édition Victoria, Australie : CSIRO Publishing. 186 pp.
- He, E. X.** 2016. How carbon trading can help preserve coastal ecosystems (Comment le marché du carbone peut aider à préserver les écosystèmes côtiers). Washington DC, États-Unis : Climate Institute. 7 pp.
- Henry, J.** 2016. Sea Potential - Scientists Seek Opportunity in Sargassum Threat (Potentiel de la mer - Les scientifiques cherchent des opportunités dans la menace des sargasses). *The Pelican*, Janvier-juin 2016, 18-23.
- Hill R., A. Bellgrove, P. I. Macreadie, K. Petrou, J. Beardall, A. Steven et P. J. Ralph.** 2015. Can macroalgae contribute to blue carbon? An Australian perspective (Les macroalgues peuvent-elles contribuer au carbone bleu ? Un point de vue australien). *Limnology and Oceanography* 60 (5):1689-1706. doi : 10.1002/lno.10128.
- Hinds C., H. A. Oxenford, J. Cumberbatch, F. Fardin, E. Doyle et A. Cashman.** 2016. Sargassum management brief - Golden tides: Management best practices for influxes of Sargassum in the Caribbean with a focus on clean-up (Fiche sur la gestion des sargasses - Marées dorées : bonnes pratiques de gestion des afflux de sargasses dans les Caraïbes, en particulier concernant le nettoyage). Centre pour la gestion des ressources et les études environnementales (CERMES), Université West Indies ; Centre d'activités régional pour le protocole relatif aux zones et à la vie sauvage spécialement protégées (CAR-SPAW), Parc National de la Guadeloupe ; Gulf and Caribbean Fisheries Institute (GCFI). 17 pp.
- Hu, C., B. Murch, B. Barnes, M. Wang, J.-P. Maréchal, J. Franks, D. Johnson et al.** 2016. Sargassum watch warns of incoming seaweed (Le système de surveillance des sargasses alerte en cas d'afflux d'algues). *EOC* 97. doi : <https://doi.org/10.1029/2016EO058355>.

- Ibrahim, A. E., M. N. Moawad, H. R. Z. Tadros, A. M. Attia et M. M. A. El-Naggar.** 2019. Production of antifouling paints' using environmentally safe algal extracts on laboratory scale (Production de peintures antifouling à l'aide d'extraits d'algues sans danger pour l'environnement à l'échelle de laboratoire). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 23 (3):171-184. doi : 10.21608/ejabf.2019.41237.
- Immirzi B., G. Santagata, G. Vox et E. Schettini.** 2009. Preparation, characterisation and field-testing of a biodegradable sodium alginate-based spray mulch (Préparation, caractérisation et essais sur le terrain d'un paillis biodégradable à pulvériser, à base d'alginate de sodium.) *Biosystems Engineering* 102 (4):461-472. doi : 10.1016/j.biosystemseng.2008.12.008.
- Inagaki M., F. Kang, M. Toyoda et H. Konno.** 2014. Chapter 11 - Carbon materials for electrochemical capacitors (Chapitre 11 - Matières carbonées pour condensateurs électrochimiques.). Dans *Advanced Materials Science and Engineering of Carbon (Science avancée des matériaux et ingénierie du carbone)*, édité par Michio Inagaki, Feiyu Kang, Masahiro Toyoda et Hidetaka Konno, 237-265. Boston : Butterworth-Heinemann.
- Indergaard M. et J. Minsaas.** 1991. Animal and human nutrition (Alimentation animale et humaine). Dans *Seaweed resources in Europe : uses and potential (Les ressources en algues en Europe : utilisations et potentiel)*, édité par M. D. Guiry et G. Blunden, 432 pp. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- IT2 & ADEME.** 2015. Données non publiées.
- Janarthanan M. & M. Senthil Kumar.** 2018. Extraction of alginate from brown seaweeds and evolution of bioactive alginate film coated textile fabrics for wound healing application (Extraction d'alginate à partir d'algues brunes et évolution des textiles enduits de film d'alginate bioactif pour une application cicatrisante). *Journal of Industrial Textiles* 49 (3):328-351. doi : 10.1177/1528083718783331.
- Jayaraj J., A. Wan, M. Rahman et Z. K. Punja.** 2008. Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot (L'extrait d'algue réduit les maladies fongiques foliaires sur la carotte). *Crop Protection* 27 (10):1360-1366. doi : 10.1016/j.cropro.2008.05.005.
- Jayaraman J., J. Norrie et Z. K. Punja.** 2010. Commercial extract from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* reduces fungal diseases in greenhouse cucumber (L'extrait commercial de l'algue brune *Ascophyllum nodosum* réduit les maladies fongiques du concombre de serre). *Journal of Applied Phycology* 23 (3):353-361. doi : 10.1007/s10811-010-9547-1.
- Jeffery S., T. M. Bezemer, G. Cornelissen, T. W. Kuyper, J. Lehmann, L. Mommer, S. P. Sohi et al.** 2015. The way forward in biochar research: targeting trade-offs between the potential wins (La voie à suivre dans la recherche sur le biochar : cibler les compromis entre les gains potentiels). *GCB Bioenergy* 7 (1):1-13. doi : 10.1111/gcbb.12132.
- Jesumani V., H. Du, M. Aslam, P. Pei et N. Huang.** 2019. Potential use of seaweed bioactive compounds in skincare-A review (Utilisation potentielle de composés bioactifs d'algues dans les soins pour la peau - Une revue). *Marine drugs* 17 (12):688. doi : 10.3390/md17120688.
- Ji Y., Y. Ma, R. Liu, Y. Ma, K. Cao, U. Kaiser, A. Varzi, Y.-F. Song, S. Passerini et C. Streb.** 2019. Modular development of metal oxide/carbon composites for electrochemical energy conversion and storage (Développement modulaire de composites oxyde métallique/carbone pour la conversion et le stockage électrochimique de l'énergie). *Journal of Materials Chemistry A* 7 (21):13096-13102. doi : 10.1039/C9TA03498F.
- JICA & CRFM.** 2019. Final Report: Fact-finding survey regarding the influx and impacts of Sargassum seaweed in the Caribbean region (Rapport définitif : Enquête concernant l'afflux et les impacts des algues sargasses dans la région des Caraïbes). 83 pp.
- Johns E. M., R. Lumpkin, N. F. Putman, R. H. Smith, F. E. Muller-Karger, D. T. Rueda-Roa, C. Hu et al.** 2020. The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event (Établissement d'une population de sargasses pélagiques dans l'Atlantique tropical : Conséquences biologiques d'un événement de

- dispersion à longue distance à l'échelle du bassin). *Progress in Oceanography* 182:102269. doi : <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102269>.
- Johnson D. L. et R. S. Braman.** 1975. The speciation of arsenic and the content of germanium and mercury in members of the pelagic *Sargassum* community (La spéciation de l'arsenic et la teneur en germanium et en mercure dans les sargasses pélagiques). *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* 22 (7):503-507. doi : 10.1016/0011-7471(75)90023-6.
- Johnson D. R., J. S. Franks, H. A. Oxenford et S.-A. Cox.** À paraître. Pelagic *sargassum* prediction and marine connectivity in the Tropical Atlantic (Prévision des afflux de sargasses pélagiques et connectivité marine dans l'Atlantique tropical).
- Kaaya G. P., P. N. Kadhila-Muandingi, H. R. Lofty et K. E. Mshigeni.** 2012. Determination of optimum seaweed concentration for mushroom cultivation and the ability of mushrooms to absorb iodine (Détermination de la concentration optimale d'algues pour la culture des champignons et de la capacité des champignons à absorber l'iode). *African Journal of Agricultural Research* 7 (25):3673-3676. doi : 10.5897/AJAR11.897.
- Kaladharan P.** 2006. Animal feed from seaweeds (Aliments pour animaux à base d'algues). National Training Workshop on Seaweed Farming and Processing for Food (Atelier national de formation sur la culture et la transformation des algues à des fins alimentaires), Kilakarai, Inde, 3-5 août 2006.
- Kale S. K., A. G. Deshmukh, M. S. Dudhare et V. B. Patil.** 2015. Microbial degradation of plastic: a review (Dégradation microbienne du plastique : une revue). *Journal of Biochemical Technology* 6 (2):952-961.
- Kang J.-I., E.-S. Yoo, J.-W. Hyun, Y.-S. Koh, N. H. Lee, M.-H. Ko, C.-S. Ko et H.-K. Kang.** 2016. Promotion effect of apo-9'-fucoxanthinone from *Sargassum muticum* on hair growth via the activation of wnt/ β -catenin and VEGF-R2 (Effet de promotion de l'apo-9'-fucoxanthinone issu de l'algue *Sargassum muticum* sur la croissance des cheveux via l'activation de la wnt/ β -caténine et du VEGF-R2). *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 39 (8):1273-1283. doi : 10.1248/bpb.b16-00024.
- Karan H., C. Funk, M. Grabert, M. Oey et B. Hankamer.** 2019. Green bioplastics as part of a circular bioeconomy (Les bioplastiques écologiques dans le cadre d'une bioéconomie circulaire). *Trends in Plant Science* 24 (3):237-249. doi : <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.010>.
- Khan W., U. P. Rayirath, S. Subramanian, M. N. Jithesh, P. Rayorath, D. M. Hodges, A. T. Critchley, J. S. Craigie, J. Norrie et B. Prithiviraj.** 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development (Les extraits d'algues comme biostimulants pour la croissance et le développement des plantes.). *Journal of Plant Growth Regulation* 28 (4):386-399. doi : 10.1007/s00344-009-9103-x.
- Kim N.-J., H. Li, K. Jung, H. N. Chang et P. C. Lee.** 2011. Ethanol production from marine algal hydrolysates using *Escherichia coli* KO11 (Production d'éthanol à partir d'hydrolysats d'algues marines avec la bactérie *Escherichia coli* KO11). *Bioresource Technology* 102 (16):7466-7469. doi : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.071>.
- Koul B. et P. Taak.** 2018. Soil remediation through algae, plants and animals (Dépollution des sols par les algues, les plantes et les animaux). Dans *Biotechnological strategies for effective remediation of polluted soils* (Stratégies biotechnologiques pour la dépollution efficace de sols pollués), édité par B. Koul et P. Taak, 129-195. Singapour : Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Krause-Jensen D. et C. M. Duarte.** 2016. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration (Rôle important des macro-algues dans la séquestration du carbone marin). *Nature Geoscience* 9 (10):737-742. doi : 10.1038/ngeo2790.
- Laffoley D. d'A. et G. Grimsditch (éds).** 2009. *The management of natural coastal carbon sinks* (La gestion des puits de carbone côtiers naturels). Gland, Suisse : UICN. 53 pp.
- Lapointe B. E.** 1986. Phosphorus-limited photosynthesis and growth of *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* (Phaeophyceae) in the western North Atlantic (Photosynthèse et croissance des algues

- Sargassum natans et Sargassum fluitans (Phaeophyceae) limitées par le phosphore dans l'ouest de l'Atlantique Nord). *Deep-Sea Research* 33 (3):391-399. doi : 10.1016/0198-0149(86)90099-3.
- Lapointe B., L. West, T. Sutton et C. Hu.** 2014. Ryther revisited: Nutrient excretions by fishes enhance productivity of pelagic Sargassum in the western North Atlantic Ocean (Ryther revisité : Les excréments de nutriments par les poissons améliorent la productivité des sargasses pélagiques dans l'ouest de l'océan Atlantique Nord). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 458:46–56. doi : 10.1016/j.jembe.2014.05.002.
- Lee J. Y., P. Li, J. Lee, H. J. Ryu et K. K. Oh.** 2013. Ethanol production from *Saccharina japonica* using an optimized extremely low acid pretreatment followed by simultaneous saccharification and fermentation (Production d'éthanol à partir de *Saccharina japonica* à l'aide d'un prétraitement optimisé à très faible teneur en acide, suivi d'une saccharification et d'une fermentation simultanées). *Bioresource Technology* 127:119-125. doi : 10.1016/j.biortech.2012.09.122.
- Leupp J. L., J. S. Caton, S. A. Soto-Navarro et G. P. Lardy.** 2005. Effects of cooked molasses blocks and fermentation extract or brown seaweed meal inclusion on intake, digestion, and microbial efficiency in steers fed low-quality hay (Effets des blocs de mélasse cuits et de l'extrait de fermentation ou de l'inclusion de farine d'algues brunes sur la consommation, la digestion et l'efficacité microbienne chez les bœufs nourris avec du foin de mauvaise qualité). *Journal of Animal Science* 83 (12):2938-2945. doi : 10.2527/2005.83122938x.
- Li K., S. Liu et X. Liu.** 2014. An overview of algae bioethanol production (Un aperçu de la production de bioéthanol d'algues). *International Journal of Energy Research* 38 (8):965-977. doi : 10.1002/er.3164.
- Li X., F. Li, H. Jian et R. Su.** 2018. Exploration of antifouling potential of the brown algae *Laminaria* « Sanhai » (Exploration du potentiel antifouling de l'algue brune *Laminaria* « Sanhai »). *Journal of Ocean University of China* 17 (5):1135-1141. doi : 10.1007/s11802-018-3524-8.
- Lim J.-Y., S.-L. Hii, S.-Y. Chee et C.-L. Wong.** 2018. *Sargassum siliquosum* J. Agardh extract as potential material for synthesis of bioplastic film (Extrait de *Sargassum siliquosum* J. Agardh comme matériau potentiel pour la synthèse de film bioplastique). *Journal of Applied Phycology* 30 (6):3285-3297. doi : 10.1007/s10811-018-1603-2.
- Liu L., M. Heinrich, S. Myers et S. A. Dworjanyn.** 2012. Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed *Sargassum* in Traditional Chinese Medicine: A phytochemical and pharmacological review (Vers une meilleure compréhension des usages médicinaux de l'algue brune sargasse en médecine traditionnelle chinoise : une revue phytochimique et pharmacologique). *Journal of Ethnopharmacology* 142 (3):591-619. doi : <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.05.046>.
- Liu Z., Y. G. Adewuyi, S. Shi, H. Chen, Y. Li, D. Liu et Y. Liu.** 2019. Removal of gaseous Hg⁰ using novel seaweed biomass-based activated carbon (Élimination du Hg⁰ gazeux à l'aide d'un nouveau charbon actif à base de biomasse d'algues). *Chemical Engineering Journal* 366:41-49. doi : <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.025>.
- Lopes G., C. Sousa, P. Valentão et P. Andrade.** 2013. Chapter 9 - Sterols in algae and health (chapitre 9 - Stérols dans les algues et santé). Dans *Bioactive compounds from marine foods: Plant and animal sources (Composés bioactifs issus d'aliments marins : sources végétales et animales)*, édité par B. Hernández-Ledesma et M. Herrero, 173-191 . John Wiley & Sons.
- López M., A. Moral, R. Aguado, L. Campaña et A. Tijero.** 2014. Evaluation of bloom algae as raw material for papermaking (Évaluation des algues comme matière première pour la fabrication de papier). 13ème atelier européen sur la lignocellulose et la pulpe, Séville, Espagne, 24-27 juin 2014.
- Lüning, K. et S. Pang.** 2003. Mass cultivation of seaweeds: current aspects and approaches (Culture massive des algues : aspects et approches actuels). *Journal of Applied Phycology* 15 (2):115-119. doi : 10.1023/A:1023807503255.

- Luthuli S., S. Wu, Y. Cheng, X. Zheng, M. Wu et H. Tong.** 2019. Therapeutic effects of fucoidan: a review on recent studies (Effets thérapeutiques du fucoïdane : une revue des études récentes). *Marine drugs* 17 (9):487.
- Maceiras R., L. Ortiz, A. Cancela et A. Sanchez.** 2015. Analysis of combustion products of seaweeds residue pellets (Analyse des produits de la combustion des granulés de résidus d'algues). *Environmental Progress and Sustainable Energy* 34 (4):1187-1190. doi : 10.1002/ep.12080.
- Machmud M. N., F. Fadi, Z. Fuadi et C. Kokarkin.** 2013. Alternative fiber sources from *Gracilaria* Sp and *Eucheuma Cottonii* for papermaking (Sources de fibres alternatives issues des algues *Gracilaria* Sp et *Eucheuma Cottonii* pour la fabrication du papier). *International journal of science and engineering (edisi elektronik)* 6 (1):1-10. doi : 10.12777/ijse.6.1.1-10.
- Macreadie P. I., A. Anton, J. A. Raven, N. Beaumont, R. M. Connolly, D. A. Friess, J. J. Kelleway et al.** The future of Blue Carbon science (L'avenir de la science du carbone bleu). *Nat Commun* 10 (1):3998. doi : 10.1038/s41467-019-11693-w.
- Maehre H. K., L. Dalheim, G. K. Edvinsen, E. O. Elvevoll et I. J. Jensen.** 2018. Protein determination-method matters (Importance de la méthode de détermination des protéines) *Foods* 7 (1). doi : 10.3390/foods7010005.
- Makkar H. P. S., G. Tran, V. Heuzé, S. Giger-Reverdin, M. Lessire, F. Lebas et P. Ankers.** 2016. Seaweeds for livestock diets: A review (Les algues dans les régimes alimentaires du bétail : une revue). *Animal Feed Science and Technology* 212:1-17.
- Maneein S., J. J. Milledge, B. V. Nielsen et P. J. Harvey.** 2018. A review of seaweed pre-treatment methods for enhanced biofuel production by anaerobic digestion or fermentation (Une revue des méthodes de prétraitement des algues marines pour la production améliorée de biocarburant par méthanisation ou fermentation). *Fermentation* 4 (100):1-31. doi :10.3390/fermentation4040100.
- Mansauda K. L. R., E. Anwar et T. Nurhayati.** 2018. Antioxidant and anti-collagenase activity of *Sargassum Plagyophyllum* extract as an anti-wrinkle cosmetic ingredient (Activité antioxydante et anti-collagénase de l'extrait de *Sargassum Plagyophyllum* comme ingrédient pour cosmétiques anti-rides). *Pharmacognosy Journal* 10 (5):932-936. doi : 10.5530/pj.2018.5.157.
- Marín A., M. Casas-Valdez, S. Carrillo, H. Hernández, A. Monroy, L. Sanginés et F. Pérez-Gil.** 2009. The marine algae *Sargassum* spp. (Sargassaceae) as feed for sheep in tropical and subtropical regions (Les algues marines *Sargassum* (Sargassaceae) comme aliment pour les moutons dans les régions tropicales et subtropicales). *Revista de Biología Tropical* 57:1271-1281.
- Marín A., M. Casas, S. Carrillo, H. Hernández et A. Monroy.** 2003. Performance of sheep fed rations with *Sargassum* spp. sea algae (Performances des moutons nourris avec des rations d'algues marines *Sargassum*). *Cuban J. Agric. Sci.* 37 (2):119-123.
- Marinho G. S., S. L. Holdt, M. J. Birkeland et I. Angelidaki.** 2015. Commercial cultivation and bioremediation potential of sugar kelp, *Saccharina latissima*, in Danish waters (Potentiel de culture commerciale et de bioremédiation de la laminaire sucrée, *Saccharina latissima*, dans les eaux danoises). *Journal of Applied Phycology* 27 (5):1963-1973. doi : 10.1007/s10811-014-0519-8.
- Matovic D.** 2011. Biochar as a viable carbon sequestration option: Global and Canadian perspective (Le biochar comme option viable de séquestration du carbone : perspective mondiale et canadienne). *Energy* 36 (4):2011-2016. doi : <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.031>.
- Mazé J., P. Morand et P. Potoky.** 1993. Stabilisation of "Green tides" *Ulva* by a method of composting with a view to pollution limitation (Stabilisation des « marées vertes » (ulves) par un procédé de compostage en vue de limiter la pollution). *Journal of Applied Phycology* 5:183-190.
- McDonnell P., S. Figat et J. V. O'Doherty.** 2010. The effect of dietary laminarin and fucoidan in the diet of the weanling piglet on performance, selected faecal microbial populations and volatile fatty acid concentrations (L'effet de la laminarine et du fucoïdane dans l'alimentation du porcelet sevré sur les

- performances, certaines populations microbiennes fécales et les concentrations d'acides gras volatils). *Animal* 4 (4):579-585. doi : 10.1017/S1751731109991376.
- McHugh D.** 2003. A Guide to the Seaweed Industry (Un guide de l'industrie des algues marines) Dans *Document technique sur les pêches FAO*. Rome, Italie : FAO. 106 pp.
- Milledge, J. J. et J. P. Harvey.** 2016. Golden tides: problem or golden opportunity? The valorisation of sargassum from beach inundations (Marées dorées : problème ou opportunité en or ? La valorisation des sargasses échouées). *Journal of Marine Science and Engineering* 4 (3). doi : 10.3390/jmse4030060.
- Milledge J. J., S. Maneein, E. Arribas López et D. Bartlett.** 2020. Sargassum inundations in Turks and Caicos: methane potential and proximate, ultimate, lipid, amino acid, metal and metalloid analyses (Inondations de sargasses aux îles Turques-et-Caïques : potentiel de méthanisation et analyses immédiates et élémentaires des lipides, des acides aminés, des métaux et des métalloïdes). *Energies* 13 (1523):1-27.
- Milledge J. J., B. V. Nielsen, S. Maneein et P. J. Harvey.** 2019. A brief review of anaerobic digestion of algae for bioenergy (Un bref examen de la méthanisation des algues pour la bioénergie). *Energies* 12 (6). doi :10.3390/en12061166.
- Milledge J. J., B. Smith, P. W. Dyer et P. Harvey.** 2014. Macro-algae-derived biofuel: A review of methods of energy extraction from seaweed biomass (Biocarburant dérivé de macroalgues : une revue des méthodes d'extraction d'énergie à partir de la biomasse d'algues). *Energies* 7:7194-7222. doi : 10.3390/en7117194
- Mišurcová L., L. Machů et J. Orsavová.** 2011. Chapter 29 - Seaweed minerals as nutraceuticals (Minéraux d'algues marines comme nutraceutiques.) Dans *Advances in Food and Nutrition Research (Avancées dans la recherche sur l'alimentation et la nutrition)*, édité par Se-Kwon Kim, 371-390. Academic Press.
- Molloy F. J., A. T. Critchley, L. Kandjengo & K. E. Mshigeni.** 2003. The use of the valuable oyster mushroom, *Pleurotus sajor-caju*, for conversion of waste materials produced from seaweed and brewing industries: preliminary investigations (L'utilisation du précieux pleurote *Pleurotus sajor-caju* pour la conversion des déchets produits par les industries des algues et brassicoles : enquêtes préliminaires). *Ambio* 32 (1):76-8. doi : 10.1579/0044-7447-32.1.76.
- Montingelli M. E., K. Y. Benyounis, J. Stokes & A. G. Olabi.** 2016. Pretreatment of macroalgal biomass for biogas production (Prétraitement de la biomasse de macroalgues pour la production de biogaz). *Energy Conversion and Management* 108:202-209. doi : 10.1016/j.enconman.2015.11.008.
- Mora Castro N., M. Casas Valdez, A. Marín Álvarez, R. N. Águila Ramírez, I. Sánchez Rodríguez, H. Hernández Contreras et L. Sanginés García.** 2009. The kelp *Macrocystis pyrifera* as nutritional supplement for goats (Le varech *Macrocystis pyrifera* comme complément nutritionnel pour les chèvres). *Revista Científica* 19:63-70.
- Morrison M. & D. Gray.** 2017. Anaerobic digestion economic feasibility study: Generating energy from waste, sewage and sargassum seaweed in the OECS (Étude de faisabilité économique de la méthanisation : Production d'énergie à partir de déchets, d'eaux usées et d'algues sargasses dans l'OECS). Centre for Process Innovation (CPI), The Caribbean Council. Angleterre. 79 pp.
- Mouritsen O. G., M. Johansen et J. D. Mouritsen.** 2013. *Seaweeds : Edible, Available, and Sustainable (Algues marines : comestibles, disponibles et durables)*. Chicago, États-Unis : University of Chicago Press. 306 pp.
- Moutinho S., F. Linares, J. L. Rodríguez, V. Sousa et L. M. P. Valente.** 2018. Inclusion of 10% seaweed meal in diets for juvenile and on-growing life stages of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) (Inclusion de 10 % de farine d'algues dans l'alimentation de la sole du Sénégal aux stades juvénile et de croissance). *Journal of Applied Phycology* 30 (6):3589-3601. doi : 10.1007/s10811-018-1482-6.
- Mshandete A. M.** 2014. Utilization of brown seaweeds *Sargassum* species organic supplements in grass basal substrate to enhance yield of edible *Coprinus cinereus* (Schaeff) S. Gray S. Lato. mushroom in

- Tanzania (Utilisation de compléments organiques à base d'algues brunes sargasses dans le substrat d'herbe pour améliorer le rendement du champignon *Coprinopsis cinerea* (Schaeffer) comestible en Tanzanie). *International Journal of Basic and Applied Sciences* 3 (4):177-186.
- Mukherjee, P. et J. P. Keshri.** 2018. Present status and development of algal pulp for hand-made paper making technology: a review (État actuel et développement de la pulpe d'algues pour la fabrication manuelle du papier : une revue). *Advances in Plants & Agriculture Research* 8 (1):10-18.
- Nawaim A., R. Aydi Ben Abdallah, H. Jabnoun-Khiareddine, A. Nefzi, R. Safa et M. Daami-Remadi.** 2017. *Sargassum vulgare* extracts as an alternative to chemical fungicide for the management of fusarium dry rot in potato (Extraits de *Sargassum vulgare* comme alternative au fongicide chimique pour la gestion de la fusariose de la pomme de terre). *Journal of Agricultural Science and Food Research* 8:197.
- Neori A., T. Chopin, M. Troell, A. H. Buschmann, G. P. Kraemer, C. Halling, M. Shpigiel et C. Yarish.** 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture (Aquaculture intégrée : logique, évolution et état de l'art, en particulier concernant la biofiltration des algues dans la mariculture moderne). *Aquaculture* 231 (1):361-391. doi : 10.1016/j.aquaculture.2003.11.015.
- Neveux N., J. Bolton, A. Bruhn, D. Roberts et M. Ras.** 2018. The bioremediation potential of seaweeds: recycling nitrogen, phosphorus, and other waste products (Le potentiel de bioremédiation des algues : recyclage de l'azote, du phosphore et d'autres déchets). Dans *Blue biotechnology - Production and use of marine molecules (Biotechnologie bleue - Production et utilisation de molécules marines)*, 217-239. Weinheim, Allemagne : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Nkemka V. N. et M. Murto.** 2010. Evaluation of biogas production from seaweed in batch tests and in UASB reactors combined with the removal of heavy metals (Évaluation de la production de biogaz à partir d'algues dans des essais par lots et dans des réacteurs UASB, combinés à l'élimination des métaux lourds). *J Environ Manage* 91 (7):1573-9. doi : 10.1016/j.jenvman.2010.03.004.
- Ocean Harvest Technology.** 2016. Preliminary results of biochemical composition of *Sargassum* collected from beach in BVI in March 2016 (Résultats préliminaires de la composition biochimique des sargasses collectées sur les plages des îles Vierges britanniques en mars 2016).
- Ody A., T. Thibaut, L. Berline, T. Changeux, J.-M. André, C. Chevalier, A. Blanfuné, J. Blanchot et al.** 2019. From In Situ to satellite observations of pelagic *Sargassum* distribution and aggregation in the Tropical North Atlantic Ocean (Des observations in situ aux observations satellitaires de la répartition et de l'agrégation des sargasses pélagiques dans l'océan Atlantique nord tropical). *PLOS ONE* 14 (9):e0222584. doi : 10.1371/journal.pone.0222584.
- Okab A. B., E. M. Samara, K. A. Abdoun, J. Rafay, L. Ondruska, V. Parkanyi, J. Pivko et al.** 2013. Effects of dietary seaweed (*Ulva lactuca*) supplementation on the reproductive performance of buck and doe rabbits (Effets de la supplémentation alimentaire en algues marines (*Ulva lactuca*) sur la reproduction des lapins mâles et femelles). *Journal of Applied Animal Research* 41 (3):347-355. doi : 10.1080/09712119.2013.783479.
- Orr K. K.** 2014. Floating seaweed (*Sargassum*) – at a glance (Les algues flottantes (sargasses) en bref). Dans *The significance and management of natural carbon stores in the open ocean. A summary. (L'importance et la gestion des réserves naturelles de carbone en haute mer. Un résumé)*, édité par D. Laffoley, J. M. Baxter, F. Thevenon et J. Oliver, p.10. Gland, Suisse : UICN.
- Oxenford H. A., P. McConney et K. Sabir.** 2019. Les défis de la gestion des afflux de sargasses : marche à suivre. 39ème Réunion scientifique de l'AMLC : Variabilité environnementale dans la grande région Caraïbes et les conséquences écologiques, sociales et économiques, Punta Cana, République dominicaine, 20-24 mai 2019.
- Oyesiku, O. & A. Egunyomi.** 2014. Identification and chemical studies of pelagic masses of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon and *S. fluitans* (Borgesen) Borgesen (brown algae), found offshore in Ondo

- State, Nigeria (Identification et études chimiques des masses pélagiques de *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon et *S. fluitans* (Borgessen) Borgesen (algues brunes), présentes au large de l'État d'Ondo, au Nigeria). *African Journal of Biotechnology* 13 (10):1188-1193. doi : 10.5897/AJB2013.12335.
- Panchal T. M., A. Patel, D. D. Chauhan, M. Thomas & J. V. Patel.** 2017. A methodological review on bio-lubricants from vegetable oil based resources (Une revue méthodologique sur les biolubrifiants à base d'huile végétale). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70:65-70. doi : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.105>.
- Paraguay-Delgado F., C. Carreno-Gallardo, I. Estrada-Guel, A. Zabala-Arceo, H. A. Martinez-Rodriguez et D. Lardizabal-Gutierrez.** 2020. Pelagic *Sargassum* spp. capture CO₂ and produce calcite (Les sargasses pélagiques *Sargassum* séquestrent le CO₂ et produisent de la calcite). *Environ Sci Pollut Res Int* 27 (20):25794-25800. doi : 10.1007/s11356-020-08969-w.
- Patrón-Prado M., B. Acosta-Vargas, E. Serviere-Zaragoza et L. C. Méndez-Rodríguez.** 2010. Copper and cadmium biosorption by dried seaweed *Sargassum sinicola* in saline wastewater (Biosorption du cuivre et du calcium par les algues marines *Sargassum sinicola* dans les eaux usées salines). *Water Air Soil Pollution* 210 (1-4):187-202.
- Paul R., L. Melville et M. Sulu.** 2016. Anaerobic digestion of micro and macro algae, pre-treatment and co-digestion-biomass — A review for a better practice (Méthanisation des micro et macroalgues, prétraitement et co-digestion de la biomasse - Une revue pour de meilleures pratiques). *International Journal of Environmental Science and Development* 7 (9):646-650.
- Peng Y., J. Hu, B. Yang, X.-P. Lin, X.-F. Zhou, X.-W. Yang et Y. Liu.** 2015. Chapter 5: Chemical composition of seaweeds (Composition chimique des algues) Dans *Seaweed sustainability : Food and non-food applications (Durabilité de l'algue : applications alimentaires et non alimentaires)*, édité par D. J. Troy et B. K. Tiwari, 79-118 p. Londres : Academic Press.
- Penn State.** 2019. Seaweed feed additive cuts livestock methane but poses questions (L'additif alimentaire à base d'algues réduit le méthane du bétail mais pose question). Dans *ScienceDaily*. 17 juin 2019. www.sciencedaily.com/releases/2019/06/190617164642.htm
- Pereira L. et J. Cotas.** 2020. Introductory chapter: alginates - A general overview (Chapitre d'introduction - Un aperçu général). Dans *Alginates - Recent uses of this natural polymer (Alginates - Utilisations récentes de ce polymère naturel)*, édité par L. Pereira. IntechOpen. 16 pp.
- Pereiro L. W.** 2010. Review: In situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments (Revue : bioremédiation in situ des polluants organiques dans les sédiments aquatiques). *Journal of Hazardous Materials* 177 (1-3):81-89. doi : 10.1016/j.jhazmat.2009.12.090.
- Perez-Salcedo K. Y., S. Ruan, J. Su, X. Shi, A. M. Kannan et B. Escobar.** 2020. Seaweed-derived KOH activated biocarbon for electrocatalytic oxygen reduction and supercapacitor applications (Biochar KOH dérivé d'algues pour la réduction électrocatalytique de l'oxygène et utilisation dans les supercondensateurs). *Journal of Porous Materials*. doi : 10.1007/s10934-020-00871-7.
- Perez M. J., E. Falque et H. Dominguez.** 2016. Antimicrobial action of compounds from marine seaweed (Action antimicrobienne des composés d'algues marines). *Mar Drugs* 14 (3). doi : 10.3390/md14030052.
- Petrone L., R. Easingwood, M. F. Barker et A. J. McQuillan.** 2011. In situ ATR-IR spectroscopic and electron microscopic analyses of settlement secretions of *Undaria pinnatifida* kelp spores (Analyses in situ par spectroscopie RTA-IR et microscopie électronique des sécrétions des spores de varech *Undaria pinnatifida*). *Journal of the Royal Society, Interface* 8 (56):410-422. doi : 10.1098/rsif.2010.0316.
- Pintor M.-J., C. Jean-Marius, V. Jeanne-Rose, P.-L. Taberna, P. Simon, J. Gamby, R. Gadiou et S. Gaspard.** 2013. Preparation of activated carbon from *Turbinaria turbinata* seaweeds and its use as supercapacitor electrode materials (Préparation de charbon actif à partir d'algues *Turbinaria*

- turbinata et son utilisation comme matériau d'électrode de supercondensateur). *Comptes rendus - Chimie* 16 (1):73-79. doi : 10.1016/j.crci.2012.12.016.
- Plouguerné E., K. Le Lann, S. Connan, G. Jechoux, E. Deslandes et V. Stiger-Pouvreau.** 2006. Spatial and seasonal variation in density, reproductive status, length and phenolic content of the invasive brown macroalga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt along the coast of Western Brittany (France) (Variation spatiale et saisonnière de la densité, du statut reproducteur, de la longueur et de la teneur en phénols de la macroalgue brune invasive *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt le long des côtes de la Bretagne occidentale (France)). *Aquatic Botany* 85 (4):337-344. doi : 10.1016/j.aquabot.2006.06.011.
- Putman N. F., G. J. Goni, L. J. Gramer, C. Hu, E. M. Johns, J. Trinanes et M. Wang.** 2018. Simulating transport pathways of pelagic *Sargassum* from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea (Simulation des voies de transport des sargasses pélagiques, de l'Atlantique équatorial à la mer des Caraïbes). *Progress in Oceanography* 165:205-214. doi : 10.1016/j.pocean.2018.06.009.
- Radulovich R., S. Umanzor, R. Cabrera et R. Mata.** 2015. Tropical seaweeds for human food, their cultivation and its effect on biodiversity enrichment (Algues tropicales pour l'alimentation humaine, leur culture et leur effet sur l'enrichissement de la biodiversité). *Aquaculture* 436:40-46. doi : 10.1016/j.aquaculture.2014.10.032.
- Rajauria G.** 2015. Chapter 15 - Seaweeds: a sustainable feed source for livestock and aquaculture (Algues marines : une source d'alimentation durable pour le bétail et l'aquaculture). Dans *Seaweed Sustainability (La durabilité des algues marines)*, édité by B. K. Tiwari et D. J. Troy, 389-420. San Diego : Academic Press.
- Rajendran N., P. Sharanya, M. S. Raj, B. R. Angeeleena et C. Rajam.** 2012. Seaweeds can be a new source for bioplastics (Les algues peuvent être une nouvelle source de bioplastiques). *Journal of Pharmacy Research* 5 (3):1476-1479.
- Ramlogan N. R., P. McConney et H. A. Oxenford.** 2017. Socio-economic impacts of *Sargassum* influx events on the fishery sector of Barbados (Impacts socio-économiques des afflux de sargasses sur le secteur de la pêche de la Barbade). Rapport technique CERMES n°81 Centre pour la gestion des ressources et les études environnementales (CERMES), Université West Indies, Cave Hill, Barbade. 86 pp.
- Ramos M. V., A. C. O. Monteiro, R. A. Moreira et A. Carvalho.** 2000. Amino acid composition of some Brazilian seaweed species (Composition en acides aminés de certaines espèces d'algues du Brésil) *Journal of Food Biochemistry* 24 (1):33-39. doi : 10.1111/j.1745-4514.2000.tb00041.x.
- Rana S., S. Pichandi, S. Parveen et R. Figueiro.** 2014. Regenerated cellulosic fibers and their implications on sustainability (Les fibres cellulosiques régénérées et leurs conséquences sur la durabilité). Dans *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing - Eco-friendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods (Feuille de route pour des textiles et des vêtements durables - Matières premières, technologies et méthodes de traitement respectueuses de l'environnement)*, édité par S. S. Muthu, 239-276. Singapour : Springer.
- Rani K., M. K. Pervez, A. Rehman, S. Perven, N. Akhtar et F. Ahmad.** 2020. A potential benefit of brown seaweed (*Stoechospermum marginatum*) using for sustainable fabric dyeing (Un potentiel avantage de l'utilisation des algues brunes (*Stoechospermum marginatum*) pour la teinture durable des tissus). *Journal of Research in Weed Science* 3 (2):120-132. doi : 10.26655/JRWEEDSCI.2020.2.1.
- Raymundo-Piñero E., M. Cadek, M. Wachtler et F. Béguin.** 2011. Carbon nanotubes as nanotexturing agents for high power supercapacitors based on seaweed carbons (Les nanotubes de carbone comme agents de nanotexturation pour les supercondensateurs de haute puissance à base de carbones d'algues). *ChemSusChem* 4 (7):943-949. doi : 10.1002/cssc.201000376.

- Reimann C., J. Matschullat, M. Birke et R. Salminen.** 2009. Arsenic distribution in the environment: The effects of scale (Répartition de l'arsenic dans l'environnement : les effets d'échelle). *Applied Geochemistry* 24 (7):1147-1167. doi : <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.03.013>.
- Roberts D. A., N. A. Paul, S. A. Dworjanyn, M. I. Bird et R. de Nys.** 2015. Biochar from commercially cultivated seaweed for soil amelioration (Biochar d'algues cultivées commercialement pour l'amélioration des sols). *Scientific Reports* 5 (1):9665. doi : [10.1038/srep09665](https://doi.org/10.1038/srep09665).
- Rodríguez-Martínez R. E., P. D. Roy, N. Torrescano-Valle, N. Cabanillas-Terán, S. Carrillo-Domínguez, L. Collado-Vides, M. García-Sánchez et B. I. van Tussenbroek.** 2020. Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019 (Concentrations d'éléments dans les sargasses pélagiques le long de la côte caribéenne mexicaine en 2018-2019). *PeerJ* 8:e8667. doi : [10.7717/peerj.8667](https://doi.org/10.7717/peerj.8667).
- Rodriguez Cueva A., E. Rivera et J. A. Gil.** 2020. Estudio de caso: Transformación de sargazo y desechos orgánicos en energía limpia (Étude de cas : Transformation des sargasses et des déchets organiques en énergie propre). Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions (LACCEI), 27-30 juillet 2020. 13 p.
- Ron E. Z. et E. Rosenberg.** 2014. Enhanced bioremediation of oil spills in the sea (Amélioration de la bioremédiation des déversements d'hydrocarbures en mer). *Current Opinion in Biotechnology* 27:191-194. doi : <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.02.004>.
- Ruslin M., A. F. Husain, H. Y. As et S. Subehan.** 2018. Analysis of total flavonoid levels in brown algae (*Sargassum* sp. and *Padina* sp.) as analgesic drug therapy (Analyse des taux totaux de flavonoïdes dans les algues brunes (*Sargassum* et *Padina*) comme traitement analgésique). *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 11 (7). doi : [10.22159/ajpcr.2018.v11i7.25657](https://doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i7.25657).
- Saderne V., N. R. Geraldi, P. I. Macreadie, D. T. Maher, J. J. Middelburg, O. Serrano, H. Almahasheer et al.** 2019. Role of carbonate burial in Blue Carbon budgets (Rôle de l'enfouissement du carbone dans les budgets de carbone bleu). *Nature Communications* 10 (1):1106. doi : [10.1038/s41467-019-08842-6](https://doi.org/10.1038/s41467-019-08842-6).
- Saha B. C. et F. M. Racine.** 2011. Biotechnological production of mannitol and its applications (Production biotechnologique de mannitol et ses applications). *Applied Microbiology and Biotechnology* 89 (4):879-891. doi : [10.1007/s00253-010-2979-3](https://doi.org/10.1007/s00253-010-2979-3).
- Saker K. E., V. G. Allen, J. P. Fontenot, C. P. Bagley, R. L. Ivy, R. R. Evans et D. B. Wester.** 2001. Tasco-Forage : II. Monocyte immune cell response and performance of beef steers grazing tall fescue treated with a seaweed extract (Réponse des cellules immunitaires monocytes et performance des bœufs nourris à la fétuque élevée et traités avec un extrait d'algue). *Journal of Animal Science* 79 (4):1022-1031. doi : [10.2527/2001.7941022x](https://doi.org/10.2527/2001.7941022x).
- Salima A., B. Benaouda, B. Noureddine et L. Duclaux.** 2013. Application of *Ulva lactuca* and *Systoceira stricta* algae-based activated carbons to hazardous cationic dyes removal from industrial effluents (Application de charbons actifs à base d'algues *Ulva lactuca* et *Systoceira stricta* pour l'élimination de colorants cationiques dangereux des effluents industriels). *Water Research* 47 (10):3375-3388. doi : [10.1016/j.watres.2013.03.038](https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.03.038).
- Schell J. M., D. S. Goodwin et A. N. S Siuda.** 2015. Recent sargassum inundation events in the Caribbean: shipboard observations reveal dominance of a previously rare form (Récents afflux de sargasses dans les Caraïbes : les observations à bord des navires révèlent la dominance d'une forme auparavant rare). *Oceanography* 28 (3):8-10.
- Sempera J. A., E. J. Meier et T. M. Waliczek.** 2018. Composting as an alternative management strategy for Sargassum sprints on coastlines (Le compostage comme stratégie alternative de gestion des afflux de sargasses sur les côtes). *HortTechnology* 28 (1):80-84. doi : [10.21273/horttech03836-17](https://doi.org/10.21273/horttech03836-17).

- Seo Y., Y.-W. Lee, C.-H. Lee et H.-C. You.** 2010. Red algae and their use in papermaking (Les algues rouges et leur utilisation dans la fabrication du papier). *Bioresource technology* 101:2549-53. doi : 10.1016/j.biortech.2009.11.088.
- Seok D., Y. Jeong, K. Han, D. Yoon et H. Sohn.** 2019. Recent progress of electrochemical energy devices: Metal oxide–carbon nanocomposites as materials for next-generation chemical storage for renewable energy (Récents progrès des dispositifs électrochimiques de stockage de l'énergie : nanocomposites d'oxyde métallique et de carbone comme matériaux pour le stockage chimique nouvelle génération des énergies renouvelables). *Sustainability* 11:3694. doi : 10.3390/su11133694.
- Shanura Fernando I. P., K. K. Asanka Sanjeewa, K. W. Samarakoon, H.-S. Kim, U. K. D. S. S. Gunasekara, Y.-J. Park, D. T. U. Abeytunga, W. W. Lee et Y.-J. Jeon.** 2018. The potential of fucoidans from *Chnoospora minima* and *Sargassum polycystum* in cosmetics: antioxidant, anti-inflammatory, skin-whitening, and antiwrinkle activities (Le potentiel des fucoïdanes issus des algues *Chnoospora minima* et *Sargassum polycystum* en cosmétique : activités antioxydantes, anti-inflammatoires, blanchissantes et antirides). *Journal of Applied Phycology* 30 (6):3223-3232. doi : 10.1007/s10811-018-1415-4.
- Shukla P. S., E. G. Mantin, M. Adil, S. Bajpai, A. T. Critchley et B. Prithiviraj.** 2019. *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management (Biostimulants à base d'*Ascophyllum nodosum* : applications durables dans l'agriculture pour la stimulation de la croissance des plantes, la tolérance au stress et la gestion des maladies). *Front Plant Sci* 10:655. doi : 10.3389/fpls.2019.00655.
- Siddhanta A. K., M. U. Chhatbar, G. K. Mehta, N. D. Sanandiya, S. Kumar, M. D. Oza, K. Prasad et R. Meena.** 2011. The cellulose contents of Indian seaweeds (La teneur en cellulose des algues indiennes). *Journal of Applied Phycology* 23 (5):919-923. doi : 10.1007/s10811-010-9599-2.
- Siddhanta A. K., K. Prasad, R. Meena, G. Prasad, G. K. Mehta, M. U. Chhatbar, M. D. Oza, S. Kumar et N. D. Sanandiya.** 2009. Profiling of cellulose content in Indian seaweed species (Profilage de la teneur en cellulose des espèces d'algues indiennes). *Bioresource technology* 100 (24):6669-73. doi : 10.1016/j.biortech.2009.07.047.
- Sigren J., J. Figlus et A. Armitage.** 2014. Coastal sand dunes and dune vegetation: Restoration, erosion, and storm protection (Dunes de sable côtières et végétation dunaires : restauration, érosion et protection contre les tempêtes). *Shore and Beach* 82:5-12.
- Singh B., R. Chopra, S. Rai, M. Verma et R. Mohanta.** 2015. Nutritional evaluation of seaweed on nutrient digestibility, nitrogen balance, milk production and composition in Sahiwal cows (Évaluation nutritionnelle des algues sur la digestibilité des nutriments, le bilan azoté, la production et la composition du lait chez les vaches Sahiwal). *Proceedings of the National Academy of Sciences, India - Section B: Biological Sciences* 87. doi : 10.1007/s40011-015-0616-8.
- Sissini M. N., M. B. Barbosa de Barros Barreto, M. T. Menezes Széchy, M. Bouças de Lucena, M. Cabral Oliveira, J. Gower, G. Liu et al.** 2017. The floating *Sargassum* (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean - likely scenarios (Les sargasses flottantes (Phaeophyceae) de l'océan Atlantique Sud - scénarios probables). *Phycologia* 56 (3):321-328.
- Smartfiber AG.** SeaCell: The power of seaweed in a fiber (SeaCell : Le pouvoir de l'algue dans une fibre) Accès le 4 juillet 2020. <https://www.smartfiber.de/en/fibers/seacelltm/>.
- Solarin B. B., D. A. Bolaji, O. S. Fakayode et R. O. Akininbagbe.** 2014. Impacts of an invasive seaweed *Sargassum hystrix* var. *fluitans* (Børgesen 1914) on the fisheries and other economic implications for the Nigerian coastal waters (Impacts d'une algue invasive *Sargassum hystrix* var. *fluitans* (Børgesen 1914) sur la pêche et autres conséquences économiques pour les eaux côtières nigérianes). *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science* 7 (7):1-6.
- Sudaryono A., P. Sukardi, E. Yudiarti, E. H. Hardi, S. Hastuti et T. Susilowati.** 2018. Potential of using tropical brown macroalgae *sargassum cristaefolium* meal in the diets for juvenile white shrimp

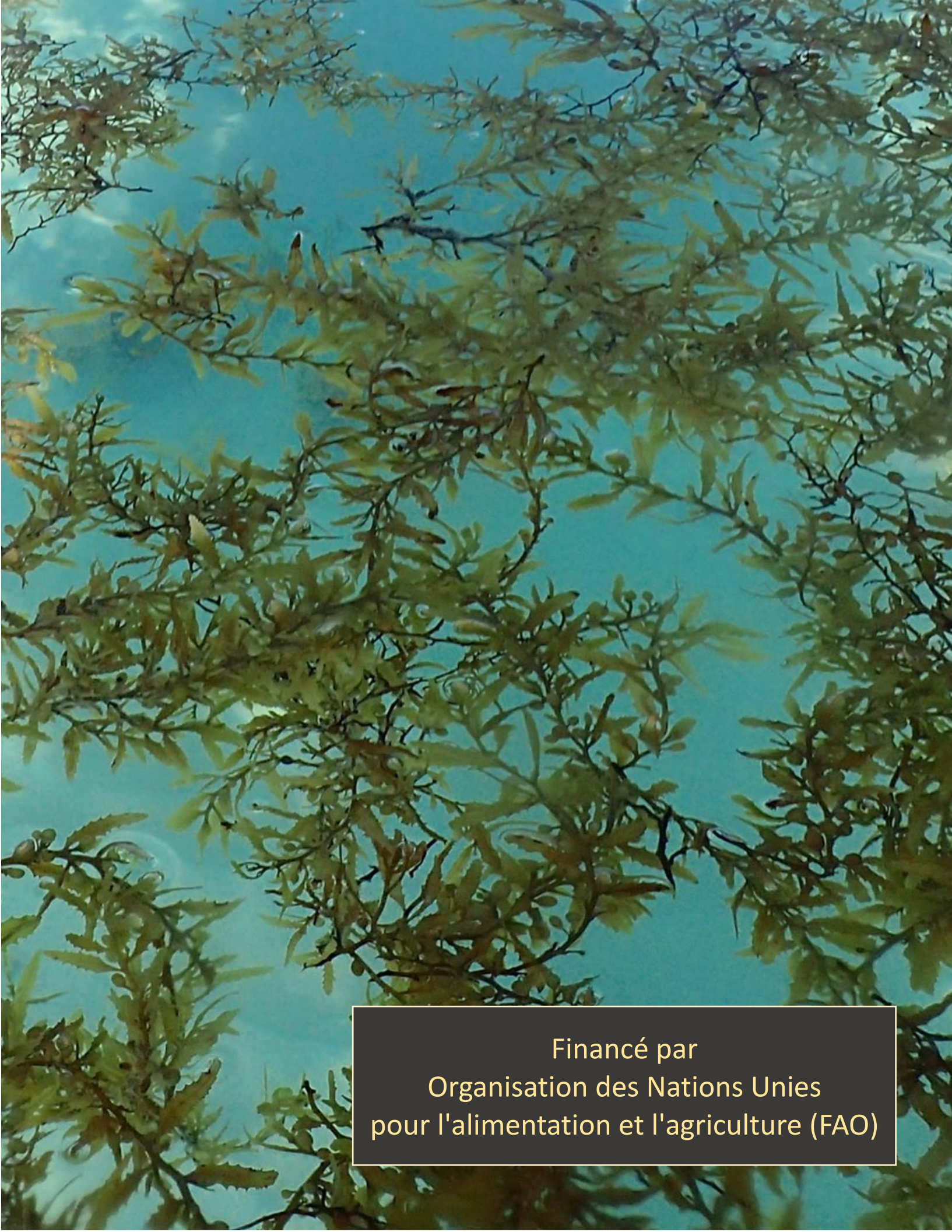
- (*litopenaeus vannamei*) (Potentiel de l'utilisation de la farine de macroalgues brunes tropicales sargassum cristaefolium dans l'alimentation des crevettes blanches juvéniles (*litopenaeus vannamei*)). *IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci.* 144:012049
- Sun N., Z. Li, X. Zhang, W. Qin, C. Zhao, H. Zhang, D. H. L. Ng, S. Kang, H. Zhao et G. Wang.** 2019. Hierarchical porous carbon materials derived from kelp for superior capacitive applications (Matériaux carbonés poreux hiérarchiques dérivés du varech pour des applications capacitatives supérieures). *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 7 (9):8735-8743. doi : 10.1021/acssuschemeng.9b00635.
- Sustainable Fashion Earth.** 2020. Textile produit à partir d'algues. Accès le 4 juillet 2020. <https://www.sustainablefashion.earth/type/waste/is-digital-clothing-the-future-of-fashion/>.
- Szekalska M., A. Puciłowska, E. Szymańska, P. Ciosek et K. Winnicka.** 2016. Alginate: Current use and future perspectives in pharmaceutical and biomedical applications (Alginate : Utilisation actuelle et perspectives d'avenir dans les applications pharmaceutiques et biomédicales). *International Journal of Polymer Science* 2016:1-17. doi : 10.1155/2016/7697031.
- Tabassum M. R., A. Xia et J. D. Murphy.** 2017. Potential of seaweed as a feedstock for renewable gaseous fuel production in Ireland (Potentiel des algues comme matière première pour la production de carburants gazeux renouvelables en Irlande). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68 (Part 1):136-146. doi : 10.1016/j.rser.2016.09.111.
- Taberna P.-L. et S. Gaspard.** 2014. Nanoporous carbons for high energy density supercapacitors (Carbones nanoporeux pour supercondensateurs à haute densité énergétique). Dans *Biomass for Sustainable Applications: Pollution Remediation and Energy (La biomasse pour des applications durables : dépollution et énergie)*, édité par Sarra Gaspard et Mohamed Chaker Ncibi, 366-399. The Royal Society of Chemistry.
- Tang J., M. Wang, Q. Zhou et S. Nagata.** 2011. Improved composting of *Undaria pinnatifida* seaweed by inoculation with *Halomonas* and *Gracilibacillus* sp. isolated from marine environments (Amélioration du compostage des algues *Undaria pinnatifida* par inoculation avec des bactéries *Halomonas* et *Gracilibacillus*, isolé des milieux marins). *Bioresour Technol* 102 (3):2925-30. doi : 10.1016/j.biortech.2010.11.064.
- Tapia-Tussell R., J. Avila-Arias, J. Domínguez Maldonado, D. Valero, E. Olguin-Maciél, D. Pérez-Brito et L. Alzate-Gaviria.** 2018. Biological pretreatment of Mexican Caribbean macroalgae consortiums using Bm-2 Strain (*Trametes hirsuta*) and its enzymatic broth to improve biomethane potential (Prétraitement biologique de consortiums de macroalgues des Caraïbes mexicaines à l'aide de la souche Bm-2 (*Trametes hirsuta*) et de son bouillon enzymatique pour améliorer le potentiel de biométhane). *Energies* 11 (3). doi : 10.3390/en11030494.
- Tarvainen T., S. Albanese, M. Birke, M. Poňavič et C. Reimann.** 2013. Arsenic in agricultural and grazing land soils of Europe (L'arsenic dans les sols agricoles et les pâturages en Europe). *Applied Geochemistry* 28:2-10. doi : 10.1016/j.apgeochem.2012.10.005.
- Teas J., S. Pino, A. Critchley et L. E. Braverman.** 2004. Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds (Variabilité de la teneur en iode des algues comestibles courantes disponibles dans le commerce). *Thyroid : official journal of the American Thyroid Association* 14 (10):836-41.
- Thomas M., D. Chauhan, J. Patel et T. Panchal.** 2013a. Bioassay of biostimulants extracted from brown seaweed using various solvents and their comparison with extracts of terrestrial plants (Bio-essai de biostimulants extraits d'algues brunes à l'aide de divers solvants et leur comparaison avec des extraits de plantes terrestres). *International Journal of Current Research* 2 (1):405-407.
- Thomas M., D. Chauhan, J. Patel et T. M. Panchal.** 2013b. Analysis of biostimulants made by fermentation of *Sargassum tenerimum* seaweed (Analyse de biostimulants issus de la fermentation de l'algue *Sargassum tenerimum*). *International Journal for current trends in Research* 2:405-407.

- Thompson T. M., B. R. Young et S. Baroutian.** 2020. Pelagic Sargassum for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study on Barbados (Les sargasses pélagiques pour la production d'énergie et d'engrais dans les Caraïbes : une étude de cas à la Barbade). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 118:109564. doi : <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564>.
- Tirolien J.** 2019. Présentation : Valorisation agronomique des algues sargasses. Conférence internationale sur les sargasses en Guadeloupe, France, 25 octobre 2019.
- Trilaksana A. C., I. Kirana et Arisandi.** 2020. Effectiveness of brown algae extract (*Sargassum* sp) 15% in dissolving root canal smear layer (a SEM study) (Efficacité de l'extrait d'algue brune (*Sargassum*) à 15 % pour dissoudre la boue dentinaire du canal radiculaire (une étude MEB)). *Medicina Clínica Práctica* 3:100095. doi : <https://doi.org/10.1016/j.mcpsp.2020.100095>.
- Turner J. P. et J. R. Rooker.** 2006. Fatty acid composition of flora and fauna associated with Sargassum mats in the Gulf of Mexico (Composition en acides gras de la flore et de la faune associées aux nappes de sargasses dans le golfe du Mexique). *Marine Biology* 149 (5):1025-1036. doi : 10.1007/s00227-006-0269-5.
- Tye A., M. Fullen et T. Hocking.** 2001. Mode of action of calcified seaweed on grassland (Mode d'action des algues calcifiées sur les prairies). *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32 (3-4):311-329. doi : 10.1081/CSS-100103010.
- PNUE.** 2018. Livre blanc sur les sargasses - Prolifération des sargasses dans les Caraïbes : défis, opportunités et situation régionale. PNUE(DEPI)/CAR WG.40/ INF8. Adopté à la 8ème assemblée du Comité consultatif scientifique et technique (STAC) pour le Protocole relatif aux Aires Spécialement Protégées et à la Diversité Biologique (SPAW) dans la grande région Caraïbes, Panama City, Panama, 5-7 décembre 2018. 14 pp.
- Vallini G., A. Pera, F. Cecchi, M. M. Valdrighi et M. A. Sicurani.** 1993. Compost stabilization of algal biomass drawn in eutrophic lagoon ecosystems (Stabilisation du compost de la biomasse d'algues puisée dans les écosystèmes lagunaires eutrophes). *Compost Science & Utilization* 1 (2):49-53. doi : 10.1080/1065657X.1993.10757872.
- van Ginneken V. J. T., J. P. F. G. Helpsper, W. de Visser, H. van Keulen et W. A. Brandenburg.** 2011. Polyunsaturated fatty acids in various macroalgal species from north Atlantic and tropical seas (Acides gras polyinsaturés dans diverses espèces de macroalgues de l'Atlantique nord et des mers tropicales). *Lipids in Health and Disease* 10 (1).
- van Tussenbroek B. I., H. A. Hernández Arana, R. E. Rodríguez-Martínez, J. Espinoza-Avalos, H. M. Canizales-Flores, C. E. González-Godoy, M. G. Barba-Santos, A. Vega-Zepeda et L. Collado-Vides.** 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities (Les graves impacts des marées brunes causées par les algues *Sargassum* sur les communautés d'herbiers côtières des Caraïbes). *Marine Pollution Bulletin* 122 (1-2):272-281. doi : 10.1016/j.marpolbul.2017.06.057.
- Veira A. K. et F. B. Lopez.** 2016. Potential for use of Sargassum mulch in sweet potato production (Potentiel de l'utilisation du paillis de sargasses dans la production de patates douces). Caribbean Food Crops Society, 52ème Assemblée annuelle, Le Gosier, Guadeloupe, 10-16 juillet 2016.
- Vera J., J. Castro, A. Gonzalez et A. Moenne.** 2011. Seaweed polysaccharides and derived oligosaccharides stimulate defense responses and protection against pathogens in plants (Les polysaccharides d'algues et les oligosaccharides dérivés stimulent les réactions de défense et la protection contre les agents pathogènes des plantes). *Mar Drugs* 9 (12):2514-25. doi : 10.3390/md9122514.
- Vergara-Fernández A., G. Vargas, N. Alarcón et A. Velasco.** 2008. Evaluation of marine algae as a source of biogas in a two-stage anaerobic reactor system (Évaluation des algues marines comme source de biogaz dans un système de réacteur anaérobie à deux étages). *Biomass and Bioenergy* 32 (4):338-344. doi : 10.1016/j.biombioe.2007.10.005.

- Vreeland V., J. H. Waite et L. Epstein.** 1998. Minireview—Polyphenols and oxidases in substratum adhesion by marine algae and mussels (Polyphénols et oxydases dans l'adhésion au substrat par les algues marines et les moules). *Journal of Phycology* 34 (1):1-8. doi: 10.1046/j.1529-8817.1998.340001.x.
- Walsh K. T.** 2019. Examining the quality of a compost product derived from *Sargassum* (*Sargassum fluitans* and *Sargassum natans*) (Examen de la qualité d'un compost dérivé de sargasses (*Sargassum fluitans* et *Sargassum natans*)). Master en éducation avec majeure Enseignement agricole, Université d'État du Texas. 48 p.
- Wang M. et C. Hu.** 2016. Mapping and quantifying *Sargassum* distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations (Cartographie et quantification de la répartition et de la couverture des sargasses dans le centre-ouest de l'Atlantique à l'aide des observations MODIS). *Remote Sensing of Environment* 183:350-367. doi : <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.019>.
- Wang M. et C. Hu.** 2017. Predicting *Sargassum* blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations (Prédiction des proliférations de sargasses dans la mer des Caraïbes à partir des observations MODIS). *Geophysical Research Letters* 44 (7):3265-3273. doi : 10.1002/2017gl072932.
- Wang M., C. Hu, B. B. Barnes, G. Mitchum, B. Lapointe et J. P. Montoya.** 2019. The great Atlantic *Sargassum* belt (La Grande ceinture des sargasses de l'Atlantique). *Science* 365 (6448):83. doi : 10.1126/science.aaw7912.
- Wang M., C. Hu, J. Cannizzaro, D. English, X. Han, D. Naar, B. Lapointe, R. Brewton et F. Hernandez.** 2018. « Remote sensing of *Sargassum* biomass, nutrients, and pigments » (Détection à distance de la biomasse, des nutriments et des pigments des sargasses) *Geophysical Research Letters* 45 (22):12,359-12,367. doi : 10.1029/2018gl078858.
- Wang S.-B., Y.-H. Jia, L.-H. Wang, F.-H. Zhu et Y.-T. Lin.** 2013. *Enteromorpha prolifera* supplemental level: effects on laying performance, egg quality, immune function and microflora in feces of laying hens (Niveau de supplément d'*Enteromorpha prolifera* : effets sur la ponte, la qualité des œufs, la fonction immunitaire et la microflore dans les matières fécales des poules pondeuses). *Chinese Journal of Animal Nutrition* 25 (6):1346-1352.
- Wang S., X. Shi, C. Zhou et Y. Lin.** 2013. *Enteromorpha prolifera*: Effects on performance, carcass quality and small intestinal digestive enzyme activities of broilers (*Enteromorpha prolifera* : Effets sur les performances, la qualité de la carcasse et les activités des enzymes digestives de l'intestin grêle des poulets). *Chinese Journal of Animal Nutrition* 25 (6):1332-1337.
- Wardani A. K. et R. Herrani.** 2019. Bioethanol from *sargassum* sp using acid hydrolysis and fermentation method using microbial association (Bioéthanol de sargasse par hydrolyse acide et méthode de fermentation par association microbienne). *Journal of Physics: Conference Series* 1241 (1). doi : 10.1088/1742-6596/1241/1/012008.
- Webber M., H. Reid, R. Delgoda, W. Gallimore, F. Boyd, T. Stephenson, A. Maxam, O. Campbell, D. Davis et J. Freeman.** 2019. *Sargassum* update from Jamaica 2: The UWI response (Mise à jour par la Jamaïque : la réponse de l'UWI) Kingston, Jamaïque (document de travail) : Atelier international de l'AIEA sur l'utilisation de techniques nucléaires pour le contrôle des sargasses. 5 pp.
- Wells M. L., P. Potin, J. S. Craigie, J. A. Raven, S. S. Merchant, K. E. Helliwell, A. G. Smith, M. E. Camire et S. H. Brawley.** 2017. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding (Les algues comme sources d'aliments nutritionnels et fonctionnels : revoir notre point de vue). *Journal of applied phycology* 29 (2):949-982. doi : 10.1007/s10811-016-0974-5.
- Wijesinghe W. A. J. P. et Y.-J. Jeon.** 2011. Biological activities and potential cosmeceutical applications of bioactive components from brown seaweeds: a review (Activités biologiques et applications cosméceutiques potentielles des composants bioactifs des algues brunes : une revue). *Phytochemistry Reviews* 10 (3):431-443.

- Williams A. et R. Feagin.** 2010. Sargassum as a natural solution to enhance dune plant growth (Les sargasses comme solution naturelle pour favoriser la croissance des plantes dunaires). *Environmental management* 46 (5):738-747. doi : 10.1007/s00267-010-9558-3.
- Williams J. E., D. E. Spiers, L. Thompson-Golden, T. J. Hackman, M. R. Ellersieck, L. Wax, D. P. Colling, J. B. Corners et P. A. Lancaster.** 2009. Effects of Tasco in alleviation of heat stress in beef cattle (Effets de Tasco dans l'atténuation du stress thermique chez les bovins de boucherie). *Professional Animal Scientist* 25 (2):109-117.
- Wilson-Howard M.** 2015. Potential for the use of Sargassum seaweed in Barbados (Potentiel d'utilisation des algues sargasses à la Barbade). *Non publié.*
- Wiseman M.** 2012. Evaluation of Tasco as a candidate prebiotic in broiler chickens (Évaluation de Tasco comme candidat prébiotique chez les poulets de chair). Master de science, Département des sciences végétales et animales, Université Dalhousie. 234 pp.
- Wylie L., A. E. Sutton-Grier et A. Moore.** 2016. Keys to successful blue carbon projects: Lessons learned from global case studies (Les clés de la réussite des projets de carbone bleu : enseignements tirés d'études de cas mondiaux). *Marine Policy* 65:76-84. doi : 10.1016/j.marpol.2015.12.020.
- Xu, W. J. Pan, B. Fan et Y. Liu.** 2019. Removal of gaseous elemental mercury using seaweed chars impregnated by NH₄Cl and NH₄Br (Élimination du mercure élémentaire gazeux à l'aide de charbons d'algues imprégnés de NH₄Cl et NH₄Br). *Journal of Cleaner Production* 216:277-287. doi : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.195>.
- Yamashita Y.** 2014. Method of removing inorganic arsenic from dried hijiki seaweed products (Méthode d'élimination de l'arsenic inorganique des produits à base d'algues hijiki séchées). *NIPPON SUISAN GAKKAISHI* 80 (6):973-978. doi : 10.2331/suisan.80.973.
- Yang E.-J., Y. M. Ham, K.-W. Yang, N. H. Lee et C.-G. Hyun.** 2013. Sargachromenol from Sargassum micracanthum inhibits the lipopolysaccharide-induced production of inflammatory mediators in RAW 264.7 macrophages (Le sargachroménol de Sargassum micracanthum inhibe la production, induite par les lipopolysaccharides, de médiateurs inflammatoires dans les macrophages RAW 264.7). *Scientific World Journal*:1-6. doi : 10.1155/2013/712303.
- Yangthong M., S. Oncharoen et J. Sripanomyom.** 2014. Effect of Sargassum meal supplementation on growth performance of sex-reversed tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.) (Effet de la supplémentation en farine de sargasses sur la croissance du tilapia à sexe inversé (*Oreochromis niloticus* Linn)). Compte rendu de la conférence annuelle de l'Université Kasetsart, Chatuchak, Bangkok : Université Kasetsart.
- Yende S. R., U. N. Harle et B. B. Chaugule.** 2014. Therapeutic potential and health benefits of Sargassum species (Potentiel thérapeutique des espèces de sargasses et leurs bienfaits pour la santé). *Pharmacognosy Reviews* 8 (15):1-7. doi : 10.4103/0973-7847.125514.
- Yeon J.-H., S.-E. Lee, W. Y. Choi, D. H. Kang et H.-Y. Lee.** 2011. Repeated-batch operation of surface-aerated fermentor for bioethanol production from the hydrolysate of seaweed *Sargassum sagamianum* (Fonctionnement discontinu répété d'un fermenteur aéré en surface pour la production de bioéthanol à partir de l'hydrolysate d'algue sargassum sagamianum). *Journal of Microbiology and Biotechnology* 21 (3):323-331. doi : 10.4014/jmb.1010.10057.
- Yu Z., X. Zhu, Y. Jiang, P. Luo et C. Hu.** 2014. Bioremediation and fodder potentials of two Sargassum spp. in coastal waters of Shenzhen, South China (Potentiels de bioremédiation et de fourrage de deux espèces de sargasses dans les eaux côtières de Shenzhen, dans le sud de la Chine). *Marine Pollution Bulletin* 85 (2):797-802. doi : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.018>.
- Zahid P. B., A. Ali et M. J. Zahid.** 2001. Brown seaweed as supplement for broiler feed (Les algues brunes comme complément alimentaire pour poulets de chair). *Hamdard medicus* 154 (2):98-101.
- Zhao W., P. Yuan, X. She, Y. Xia, S. Komarneni, K. Xi, Y. Che, X. Yao et D. Yang.** 2015. Sustainable seaweed-based one-dimensional (1D) nanofibers as high-performance electrocatalysts for fuel cells

(Nanofibres unidimensionnelles (1D) durables à base d'algues comme électrocatalyseurs haute performance pour les piles à combustible). *Journal of Materials Chemistry A* 3 (27):14188-14194. doi : 10.1039/C5TA03199K.



Financé par
Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)