



Exploration du potentiel socio-économique présent et futur des algues échouées au Québec : cas du Bas-Saint-Laurent

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en gestion des ressources maritimes
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

PAR

© GEDEONS MEKEM TINDO

Octobre 2024

Composition du jury :

Josée Laflamme, présidente du jury, Université du Québec à Rimouski

Philippe Kabore, directeur de recherche, Université du Québec à Rimouski

Eric Tamigneaux, codirecteur de recherche, École des pêches et de l'aquaculture du Québec, Cégep de la Gaspésie et des îles

Claude Rioux, professeur retraité, membre du jury, Université du Québec à Rimouski

Dépôt initial le 7 mai 2024

Dépôt final le 9 octobre 2024

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

REMERCIEMENTS

Tout comme Zénon de Citium, qui grâce au naufrage de son navire fonda le stoïcisme, je rends grâce également à cette providence divine de m'avoir fait vivre la dépression afin que je puisse découvrir cette philosophie de vie. Le présent rapport n'aurait pu être réalisé sans l'intervention de certaines personnes, en occurrence mon directeur de mémoire Phillipe Kabore à qui j'adresse ma profonde gratitude pour sa bienveillance et son soutien pour la réalisation de ce travail ; mon codirecteur Éric Tamigneaux pour son professionnalisme et son expertise concernant les algues marines et Fanny Noisette qui est la porteuse du projet « Wrack » dans lequel s'inscrit mon mémoire de recherche et pour son soutien financier. Je remercie également Aurélien Fopa mon grand frère, pour sa vision et de m'avoir offert une opportunité afin que ce rêve se réalise. Nzangué Gildas, Dakoméné Joël Vivien, Kuété Mekem Abiathar pour leur amour inconditionnel, leur encouragement moral et financier. Je vous dis merci chers frères. À mes parents Anatole Mekem, Lontsie Emilienne pour leurs prières et leurs motivations durant ce chemin très difficile. Enfin, je remercie encore cette providence divine de m'avoir donné une magnifique petite fille et une compagne magnifique.

RÉSUMÉ

Les échouages de macro-algues sont des phénomènes naturels observés dans les écosystèmes marins, influencés par divers facteurs tels que les courants océaniques et les conditions météorologiques. Environ 500 000 tonnes d'algues s'échouent chaque année sur certaines plages de la péninsule Gaspésienne et il existe très peu de politiques et programmes pour leur collecte et gestion rapide. Dans le futur, l'accumulation d'algues échouées le long des côtes pourrait être fortement amplifiée par l'eutrophisation des eaux côtières, l'augmentation des températures de surface et la hausse de la turbidité. Étant donné l'intérêt de plusieurs acteurs économiques pour l'exploitation de cette biomasse, la présente étude vise à évaluer la rentabilité de la valorisation des algues échouées dans le Bas-Saint-Laurent en produits granulés destinés à l'agriculture et à l'alimentation animale. La méthode employée a été l'analyse coût-bénéfice et elle s'est basée sur un scénario de marché duopolistique où deux entreprises se partagent équitablement la même ressource. En tenant compte de plusieurs hypothèses, il a été démontré que pour une entreprise représentative, le projet est financièrement rentable pour chaque scénario étudié. Cependant, l'intégration des externalités liées à la mise en œuvre du projet de valorisation des algues entraîne une diminution des différents indicateurs de rentabilité. Malgré cette réduction, le projet est économiquement attractif avec une valeur actuelle nette (VAN) positive, un ratio coût-bénéfice (RCB) supérieur à 1 et un retour sur investissement (ROI) élevé. Ensuite, une analyse de sensibilité a été réalisée pour évaluer la rentabilité du projet à travers différentes hypothèses de marché. Tout d'abord, en considérant un scénario où cinq entreprises exploitent les algues échouées, il a été constaté que la transformation des algues en granules reste rentable dans le scénario normal, pessimiste et optimiste. En revanche, dans un contexte de monopole, où une seule entreprise monopolise l'exploitation des algues, une amélioration significative des indicateurs de rentabilité est observée. L'étude conclut que, que ce soit dans un cadre d'oligopole, de duopole ou de monopole, le projet de valorisation des algues échouées au Bas-Saint-Laurent demeure financièrement et économiquement viable pour tous les scénarios étudiés.

Mots clés : valeur actuelle nette, algues échouées, analyse coût-bénéfice, monopole, oligopole, duopole.

ABSTRACT

Macroalgae strandings are natural phenomena observed in marine ecosystems, influenced by various factors such as ocean currents and weather conditions. Approximately 500,000 tons of seaweed wash up each year on some beaches on the Gaspé Peninsula and there are very few policies and programs for their collection and rapid management. In the future, the accumulation of seaweed washed up along the coast could be greatly amplified by eutrophication of coastal waters, increased surface temperatures and increased turbidity. Given the interest of several economic players in the exploitation of this biomass, this study aims to evaluate the profitability of the valorization of seaweed stranded in the Bas-Saint-Laurent into pellet products for agriculture and animal feed. The method used was cost-benefit analysis and was based on a duopolistic market scenario where two companies share the same resource in the same proportion. Considering assumptions, it has been shown that for a representative company, the project is financially profitable for each scenario studied. However, the integration of externalities related to the implementation of the algae valorization project leads to a decrease in the various profitability indicators. Despite this reduction, the project is economically attractive with a positive net present value (NPV), a cost-benefit ratio (RCB) above 1 and a high return on investment (ROI). Then, a sensitivity analysis was carried out to assess the project's profitability through different market assumptions. First, considering a scenario where five companies exploit the stranded algae, it was found that the transformation of algae into pellets remains profitable in the normal, pessimistic and optimistic scenarios. On the other hand, in a monopoly context, where a single company monopolizes the exploitation of algae, a significant improvement in profitability indicators is observed. The study concludes that, whether in an oligopoly, duopoly or monopoly framework, the project to reclaim seaweed stranded in the Bas-Saint-Laurent remains financially and economically viable for all the scenarios studied.

Keywords: net present value, stranded algae, cost-benefit analysis, monopoly, oligopoly, duopoly.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	vii
RÉSUMÉ	ix
ABSTRACT	xi
TABLE DES MATIÈRES.....	xiii
LISTE DES TABLEAUX	xvii
LISTE DES FIGURES	xix
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xxi
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 CONTEXTE JUSTIFICATIF ET PROBLÉMATIQUE	3
1.1 DÉFINITION DES ALGUES MARINES.....	3
1.2 SITUATION DES ALGUES MARINES AU QUÉBEC.....	3
1.2.1 Différentes espèces d’algues	3
1.2.2 Modes de production de macro-algues.....	4
1.2.3 Entreprises qui exploitent les algues marines au Québec et ailleurs dans le monde.....	6
1.2.4 Proportion des biomasses d’algues échouées au Québec et ailleurs dans le monde.....	9
1.3 IMPORTANCE DES ALGUES DANS L’ÉCONOMIE BLEUE	10
1.3.1 Opportunités et marchés des algues échouées.....	11
1.3.2 Enjeux des algues échouées au Québec.....	14
1.4 QUESTION DE RECHERCHE	15
CHAPITRE 2 CADRE THÉORIQUE	17
2.1 IMPACTS ÉCOLOGIQUE, ÉCONOMIQUE ET SANITAIRE DES ALGUES ÉCHOUÉES.....	17
2.1.1 Impact écologique des algues échouées	17
2.1.2 Impact économique des algues échouées	18
2.1.3 Impact sanitaire des algues échouées	19
2.2 GESTION DES ALGUES ÉCHOUÉES.....	20

2.2.1	Cas de gestion des échouages des sargasses aux Antilles françaises.....	21
2.2.2	Cas de gestion des échouages d'algues en Bretagne	23
2.2.3	Cas de gestion des échouages d'algues en Chine	25
2.2.4	Cas de gestion des algues au Québec.....	26
2.3	TECHNIQUES DE DÉTECTION DES ALGUES MARINES DÉRIVANTES	26
2.4	PRINCIPALES ÉTAPES DE VALORISATION DES ALGUES ÉCHOUÉES	28
2.4.1	Méthode de récolte des algues échouées et engins utilisés.....	28
2.4.2	Transport vers le lieu de stockage.....	33
2.4.3	Traitement.....	33
2.5	MÉTHODES D'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE D'UN PROJET.....	35
2.5.1	Analyse coût efficacité (ACE).....	36
2.5.2	Analyse coût utilité (ACU).....	37
2.5.3	Analyse de minimisation des coûts (AMC).....	37
2.5.4	Analyse coûts-bénéfices (ACB).....	38
2.6	OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	38
2.6.1	Déterminer les étapes de valorisation des algues échouées	39
2.6.2	Évaluer les coûts d'installation d'une unité de valorisation des algues échouées.....	39
2.6.3	Calculer les revenus potentiels.....	39
2.6.4	Analyser la rentabilité économique et financière du projet	39
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE		41
3.1	COLLECTE DES DONNÉES.....	41
3.2	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	43
3.2.1	Analyse financière	44
3.2.2	Analyse économique.....	44
3.3	INDICATEURS DE RENTABILITÉ	44
3.3.1	Valeur actuelle nette	45
3.3.2	Ratio coût-bénéfice	45
3.3.3	Retour sur investissement	45
3.4	STRUCTURES DES COÛTS ET BÉNÉFICES	46
3.4.1	Coût d'exploitation	46
3.4.2	Bénéfices.....	48

3.5	HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE	48
3.5.1	Hypothèse 1 : Situation de marché	49
3.5.2	Hypothèse 2 : Exploitation des algues et processus de collecte.....	50
3.5.3	Hypothèse 3 : Salaire et prix de vente	50
3.5.4	Hypothèse 4 : Coût d'installation	51
	CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	53
4.1	ANALYSE FINANCIÈRE	53
4.2	ANALYSE ÉCONOMIQUE	54
4.3	ANALYSE DE SENSIBILITÉ	57
4.3.1	Situation d'oligopole	57
4.3.2	Situation de monopole.....	58
4.4	LIMITES DE L'ÉTUDE	59
4.5	RECOMMANDATION	60
	CONCLUSION GÉNÉRALE	61
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	63
	ANNEXES.....	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Entreprises du Bas-Saint-Laurent qui exploitent des algues	7
Tableau 2 : Signes cliniques de toxicité du sulfure d'hydrogène H ₂ S chez l'humain	20
Tableau 3 : Avantages et inconvénients du ramassage mécanique	30
Tableau 4 : Performances des différents engins de collecte d'algues échouées	32
Tableau 5: Liste des coûts variables pour une entreprise typique à l'année 1	42
Tableau 6: Liste des coûts fixes d'une entreprise typique	43
Tableau 7: Analyse financière pour les deux entreprises qui exploitent les algues échouées	54
Tableau 8 : Analyse économique pour les deux entreprises qui exploitent les algues échouées	56
Tableau 9: Analyse financière pour les cinq entreprises qui exploitent les algues échouées	58
Tableau 10: Analyse économique pour les cinq entreprises qui exploitent les algues échouées	58
Tableau 11: Analyse financière pour une entreprise qui exploite les algues échouées	59
Tableau 12: Analyse économique pour une entreprise qui exploite les algues échouées.	59
Tableau 13 : Liste des coûts variables scénario normal – 2 entreprises	71
Tableau 14 : Liste des coûts variables scénario normal – 5 entreprises	72
Tableau 15 : Liste des coûts variables scénario normal – 1 entreprise	73
Tableau 16 : Liste des coûts variables scénario pessimiste – 2 entreprises	74
Tableau 17 : Liste des coûts variables scénario pessimiste – 5 entreprises	75
Tableau 18 : Liste des coûts variables scénario pessimiste – 1 entreprise	76
Tableau 19 : Liste des coûts variables scénario optimiste – 2 entreprises	77
Tableau 20 : Liste des coûts variables scénario optimiste – 5 entreprises	78
Tableau 21 : Liste des coûts variables scénario optimiste – 1 entreprise	79

Tableau 22 : Liste des revenus – 2 entreprises.....	80
Tableau 23 : Liste des revenus – 5 entreprises.....	80
Tableau 24 : Liste des revenus – 1 entreprise	81

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Volumes de production mondiale d'algues entre 1990 et 2020 (World Bank, 2023)	11
Figure 2. Composition générale des algues rouges, vertes et brunes (World Bank, 2023)	12
Figure 3. Principales étapes de transformation des macro-algues échouées	28

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ACB	Analyse coût-bénéfice
ACE	Analyse coût efficacité
ACU	Analyse coût utilité
AMC	Analyse de minimisation des coûts
CEVAM	Centre d'Étude pour la Valorisation des Algues Marines
CO₂	Dioxyde de carbone
DPA	Déduction pour amortissement
FAO	Food and Agriculture Organisation
GES	Gaz à effet de serre
H₂S	Sulfure de dihydrogène
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
PIB	Produit intérieur brut
PLAV	Plan de lutte contre les algues vertes
RCB	Ratio coût-bénéfice
ROI	Retour sur investissement
VAN	Valeur actuelle nette

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les macro-algues marines, classées en trois catégories distinctes selon leur couleur (les algues brunes ou phéophycées ; les algues rouges ou rhodophycées et les algues vertes ou chlorophycées) jouent un rôle crucial en fournissant divers services aux écosystèmes côtiers (Tamigneaux et Johnson, 2016). L'approvisionnement en macro-algues provient principalement de trois sources, à savoir l'algoculture qui représente 97% de la production mondiale, la cueillette manuelle ou en plongée et la récolte des algues échouées ou dérivantes (FAO, 2022). Les macro-algues, peu importe leur mode de production, sont utilisées comme matières premières dans de nombreuses applications industrielles (Fletcher, 2023).

Cependant, face à la croissance rapide de la demande en bioressources, l'algoculture seule ne suffit pas à satisfaire les besoins du marché. Bien que sous-exploitées, les algues échouées représentent une ressource naturelle renouvelable et abondante sur de nombreuses côtes maritimes. Elles suscitent un intérêt croissant, notamment au Québec, où elles sont largement disponibles, mais peu utilisées (Hersant, 2015).

Une étude réalisée au Québec a estimé que les côtes de la péninsule gaspésienne reçoivent environ 500 000 tonnes d'algues chaque année, mais seulement 10 % de cette biomasse est actuellement exploitée (Leblanc et Rondeau, 2005 ; Bernic et al., 2021). La région du Bas-Saint-Laurent compte une vingtaine d'entreprises impliquées dans l'exploitation des algues marines, mais seule, l'entreprise Pro-algue marine se distingue par l'exploitation des algues échouées, bien que de manière encore limitée (Cartier et Poirier, 2020).

La production actuelle des algues au Québec est principalement orientée vers des applications conventionnelles telles que l'agriculture et l'alimentation animale, qui absorbent plus de 90 % de la production totale (Dupré-Gilbert et Berger, 2018). Cette situation limite la disponibilité de la ressource pour d'autres secteurs comme les industries de la cosmétique et des nutraceutiques (Bernic et al., 2021). La valorisation des algues échouées pourrait constituer une opportunité de répondre à une part significative de la demande locale en

complément de l'algoculture. Une activité économique viable autour des algues échouées pourrait contribuer à réduire les importations d'algues au Québec et créer des avantages économiques pour la région du Bas-Saint-Laurent.

Ce mémoire s'inscrit dans un large projet dénommé «WRACK» qui vise à (1) comprendre le cycle de vie des algues échouées au Québec, (2) quantifier de manière précise les volumes d'algues échouées par année au Bas-Saint-Laurent et (3) mettre en lumière les usages possibles des algues échouées. Ce projet est dirigé par la professeure Fanny Noisette de l'Institut de Sciences de la Mer avec la collaboration d'une équipe pluridisciplinaire venant de l'université Laval, de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) et de l'École des pêches et de l'aquaculture du Québec (Cégep de la Gaspésie et des Îles). En lien avec l'objectif 3, ce mémoire cherche donc à analyser les gains potentiels liés à une valorisation économique des algues échouées.

Dans l'objectif de mener à bien cette étude, le mémoire est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre discute du contexte justificatif et de la problématique entourant les algues échouées. Le deuxième chapitre explore le cadre théorique, en examinant l'impact des algues échouées sur les plans écologique, économique et sanitaire. Ce chapitre décrit également les étapes de valorisation des algues échouées et présente les méthodes d'évaluation économique d'un projet. Le troisième chapitre est consacré à la méthodologie et le quatrième chapitre s'intéresse aux résultats obtenus.

CHAPITRE 1

CONTEXTE JUSTIFICATIF ET PROBLÉMATIQUE

La mise sur pied d'une unité de valorisation d'un produit nécessite de se concentrer sur la ressource et tout ce qui l'entoure. Ce premier chapitre définit premièrement ce qu'on entend par algues marines, il présente ensuite la situation des algues marines au Québec et l'importance des algues échouées dans l'économie bleue et enfin il expose clairement la question de recherche.

1.1 DÉFINITION DES ALGUES MARINES

Les algues marines sont des organismes photosynthétiques présents dans les océans et les mers. Elles appartiennent à un groupe diversifié de végétaux sans tiges appelés thallophytes. Elles sont généralement classées en fonction de leur pigment, de leur structure cellulaire et d'autres caractéristiques biologiques (Alcimed, 2023). En fonction de leur couleur, on distingue les algues vertes ou chlorophycées, les algues brunes ou phéophycées et les algues rouges ou rhodophycées. En fonction de leur taille, on distingue les microalgues dont la taille varie du micromètre au centimètre et les macro-algues pouvant atteindre une dizaine de mètres (World Bank, 2023).

1.2 SITUATION DES ALGUES MARINES AU QUÉBEC

1.2.1 Différentes espèces d'algues

Le Québec a plus de 6 000 kilomètres de côtes et la biomasse d'algues est pour l'instant grossièrement évaluée à 100 tonnes par kilomètre de côtes (Dupré-Gilbert et Berger, 2018). À la suite des inventaires qualitatifs réalisés dans les années 60 à 90, on dénombre au Québec

environ 240 espèces d'algues, dont 72 espèces d'algues vertes, 83 d'algues brunes et 85 d'algues rouges. Dans l'est du Canada, on a recensé 346 espèces d'algues avec respectivement 90 espèces d'algues vertes, 128 espèces d'algues brunes et 128 espèces d'algues rouges (Chabot et Rossignol, 2003). Parmi ces trois groupes d'algues, le groupe le plus abondant et le plus répandu à travers le territoire est celui des algues brunes, un groupe constitué des fucacées de la zone intertidale ainsi que des laminariales et tilopteridales dans la zone infralittorale (Tamigneaux et Johnson, 2016). Bien que l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent regorgent d'espèces de macro-algues qui pourraient être exploitées commercialement, la valorisation économique des algues est encore peu développée.

1.2.2 Modes de production de macro-algues

Les macro-algues marines exploitées par les industriels proviennent de trois sources majeures distinctes, mais complémentaires, à savoir la culture d'algues encore appelée algoculture, la récolte d'algues sauvages et la récolte d'algues échouées ou dérivantes. Chacune de ces méthodes présente des avantages et des défis (Cartier et Poirier, 2020).

1.2.2.1 Algoculture

Il s'agit de la méthode la plus couramment utilisée pour la production des macro-algues. Elle se traduit par la culture des algues dans un environnement contrôlé sur des fermes marines ou des sites aménagés dans les zones côtières (Tamigneaux et Johnson, 2016). Les différentes techniques utilisées sont : la culture sur filières qui consiste à cultiver les algues sur des cordes tendues horizontalement sous la surface de l'eau (par ex. la culture de *Laminaria japonica*) ; la culture sur treillage ou filet qui consiste à placer verticalement ou horizontalement des filets dans l'eau permettant aux algues de croître sur ces surfaces (par ex. la culture de *Porphyra sp.*); la technique des réservoirs où les algues sont cultivées à terre, dans des étangs ou des bassins (par ex. la culture de *Ulva sp.*), et dont les conditions de croissance (température, lumière) sont contrôlées (Julie Person, 2011).

1.2.2.2 Récolte sauvage

Encore appelée récolte sur le substrat, la récolte sauvage consiste à collecter les algues marines directement dans leur habitat naturel. Il s'agit d'une méthode traditionnelle pratiquée dans plusieurs régions du monde. Les différentes techniques utilisées sont d'une part la récolte manuelle qui se fait avec des instruments coupants (couteaux, faucilles, râpeaux) sur des petites surfaces à faible profondeur ou à marée basse et d'autre part la récolte mécanique caractérisée par l'utilisation d'engins mécaniques (scoubidou, peigne norvégien, etc..) opérés à partir d'un bateau pour couper ou arracher les algues à une certaine profondeur (Bernic et al., 2021).

1.2.2.3 Récolte d'algues échouées

Les algues échouées sont ces algues qui se retrouvent naturellement sur les rivages après avoir été détachées de leur habitat naturel par des courants, des tempêtes et d'autres phénomènes naturels (Bernic et al., 2021). Les deux principales techniques de récolte sont le ramassage manuel des algues déposées le long des rivages et le ramassage mécanisé avec des engins motorisés tels que les tracteurs qui sont utilisés pour collecter une grande quantité d'algues (Bernic et al., 2021). Dans les pays nordiques, les algues échouées sont pour la plupart décrochées lors du retrait des glaces au printemps ou lors de tempêtes en automne et dérivent au gré des courants et des vents pour éventuellement finir par s'échouer sur les berges dans un état de fraîcheur variable selon la durée de leur dérive (Cartier et Poirier, 2020).

1.2.3 Entreprises qui exploitent les algues marines au Québec et ailleurs dans le monde

1.2.3.1 Entreprises exploitant les algues au Québec

Au Québec, environ une vingtaine d'entreprises sont impliquées dans la récolte et la transformation des macro-algues pour produire des fertilisants, des biopesticides et des aliments pour animaux d'élevage (Bernic et al., 2021). Compte tenu de l'incertitude des volumes réels d'algues disponibles le long des côtes, les marchés qui dominent au Québec sont ceux qui permettent de rentabiliser les opérations avec des volumes de production modestes, telles que l'agriculture et l'horticulture (engrais, amendement, aliments pour animaux) (Côté-Laurin et al., 2016). Le tableau 1 présente les entreprises qui exploitent les algues dans le Bas-Saint-Laurent.

Tableau 1 : Entreprises du Bas-Saint-Laurent qui exploitent des algues

	Mode de production			Domaine d'application				
	Récolte sauvage	Récolte échouée	Culture	Agriculture Horticulture	Alimentaire	Nutraceutique	Cosmétique	Pharmaceutique
Brasserie Le Bien, le Malt								
Innov activ								
Les jardins de la mer								
Organic Océan								
Pro-Algue Marine								

Source : (Dupré-Gilbert et Berger, 2018)

1.2.3.2 Entreprises exploitant les algues marines ailleurs dans le monde

De nombreuses compagnies cultivent, récoltent et transforment les algues pour différentes utilisations. On peut ainsi mentionner :

- *ACADIAN SEAPLANT LIMITED (ASL)*

Acadian Seaplant Limited (www.acadianseaplants.com) est une entreprise canadienne fondée en 1981, qui exerce dans le domaine des biotechnologies marines. Ses principaux secteurs d'activité sont l'agriculture, l'alimentation humaine et la santé animale. Sur le plan agricole, ASL produit des biofertilisants et des biostimulants à base d'algues afin d'améliorer la croissance des plantes et la résistance des cultures au stress environnemental (Bernic et al., 2021). Sur le plan de la santé animale, elle a mis sur pied des produits dérivés des algues marines qui sont utilisés comme complément alimentaire et qui améliorent la santé intestinale des animaux d'élevage.

- *SEAWEED ENERGY SOLUTIONS*

Seaweed Energy Solutions (<https://seaweedsolutions.com>) est une entreprise norvégienne fondée en 2006, spécialisée dans la culture et l'exploitation des algues marines pour la production d'énergie renouvelable. Ses différents secteurs d'activité sont la production de biocarburant et la bioénergie. À partir des algues récoltées, l'entreprise développe les procédés de conversion d'algue en biogaz et en énergie électrique à travers la méthanisation (Dupré-Gilbert et Berger, 2018).

- Ocean Harvest Technology

Ocean Harvest Technology (<https://oceanharvesttechnology.com>) est une entreprise irlandaise fondée en 2006, spécialisée dans la production des compléments alimentaires pour l'alimentation animale à partir d'algues marines. Ses produits alimentaires sont conçus

principalement pour optimiser la santé animale en renforçant les défenses naturelles des animaux et en améliorant la santé intestinale et le système immunitaire (Milo Bussell, 2024).

1.2.4 Proportion des biomasses d'algues échouées au Québec et ailleurs dans le monde

Au Québec, dans le Bas-Saint-Laurent en particulier, il est important de signaler que très peu d'études ont été consacrées à l'estimation de la biomasse des algues récoltées, encore moins pour les algues échouées (Tamigneaux et Johnson, 2016). Ce constat justifie les recherches en cours, en particulier dans le programme WRACK, pour améliorer les connaissances sur la répartition de la biomasse exploitable.

Néanmoins, concernant la récolte d'algues, le ministère des Pêches et Océans (MPO) autorise 700 tonnes par année. L'Ascophylle noueuse est la principale espèce récoltée dans les provinces maritimes du côté de l'Atlantique (Chabot et Rossignol, 2003). Une seule étude mentionne que les échouages massifs peuvent atteindre jusqu'à 529 000 tonnes en automne sur certaines plages de la péninsule gaspésienne (Leblanc et Rondeau, 2005).

Par ailleurs, en France, plus précisément en Bretagne, on estime que la quantité d'algues échouées est comprise entre 50 000 et 90 000 tonnes. Ces quantités ne correspondent qu'à la partie émergée de l'iceberg (Person, 2011). Le stock total d'algues détachées et qui dérivent en mer est estimé de 5 à 6 fois plus important que les échouages, avec une capacité de régénération très rapide (Person, 2011). Certains chercheurs estiment que la récolte des algues échouées est une alternative pour combler la demande en algues marines. Cependant la non-régularité des échouages ne facilite pas la tâche pour développer une industrie tout autour ou pour une utilisation pérenne (Person, 2011).

1.3 IMPORTANCE DES ALGUES DANS L'ÉCONOMIE BLEUE

À la suite de la diminution des ressources halieutiques traditionnelles et pour répondre à l'enjeu de la diversification des espèces aquacoles, les algues marines suscitent un intérêt croissant chez les entrepreneurs et les organismes de développement (Hersant, 2015). En 2020, selon la Food and Agriculture Organization (FAO), les algues représentaient un marché mondial de 6,4 milliards de dollars. Cette même année, 36 millions de tonnes (poids frais) d'algues marines ont été produites (FAO, 2022). Au cours des dernières décennies, la production d'algues marines a enregistré une croissance importante, de 12 millions de tonnes en 2000 à 21 millions de tonnes en 2010 (FAO, 2022).

En Amérique du Nord, les algues représentent une ressource marine abondante et sous-exploitée, qui suscite un intérêt croissant chez les entrepreneurs et de nombreux organismes (Hersant, 2015). L'intérêt pour ces macro-algues marines repose sur de multiples domaines d'applications possibles telles que le cosmétique ; le nutraceutique (suppléments alimentaires) et le secteur agricole (Hersant, 2015).

Contrairement aux pays asiatiques, l'Europe et le Canada participent à ce secteur d'activité par la récolte d'algues sauvages qui ne représente toutefois que 0,3 % de la production mondiale (Camille, 2021). La figure 1 présente les volumes de production mondiale d'algues (1990-2020) dans les pays clés, en tonnes humides (World Bank, 2023). Entre 1993 et 2000, on observe une stagnation de la production d'algues dans la majorité des pays concernés, qui varie entre 2 et 5 millions de tonnes. Entre 2005 et 2015, on observe une croissance exponentielle (entre 5 millions et 30 millions de tonnes) de la production d'algues dans la majorité des pays. Entre 2015 et 2020, on observe une faible croissance de la production des algues dans la plupart des pays.

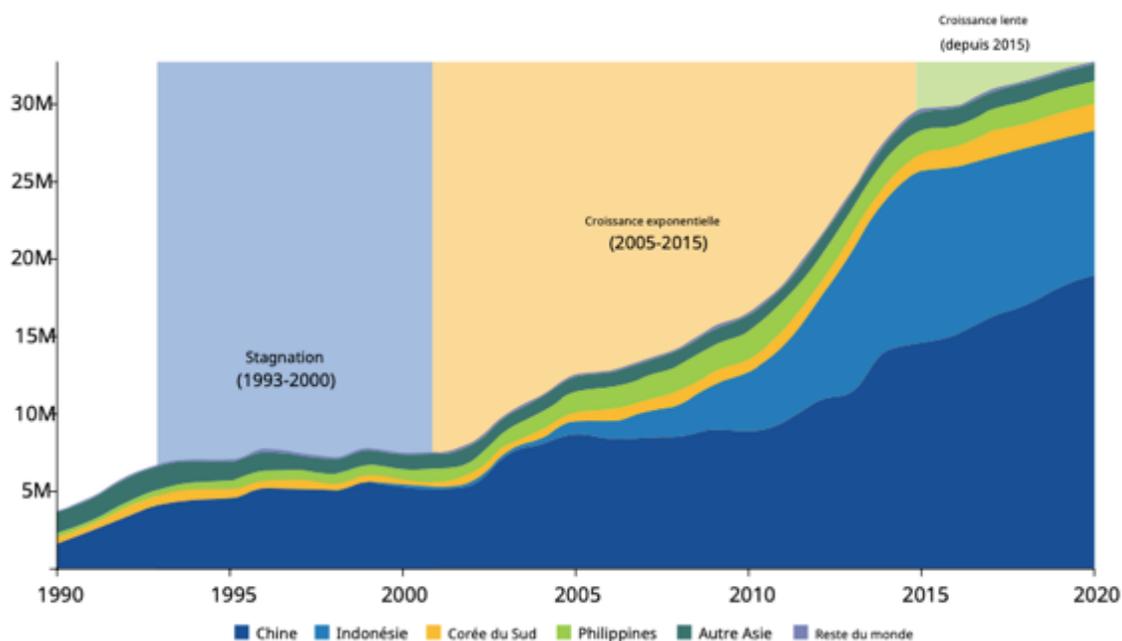


Figure 1. Volumes de production mondiale d’algues entre 1990 et 2020 (World Bank, 2023)

1.3.1 Opportunités et marchés des algues échouées

Les algues sont riches en différents composés (pigments, polysaccharides, polyphénols, macronutriments, etc.) qui intéressent plusieurs secteurs industriels (Figure 2). Elles sont considérées aujourd’hui comme une source importante d’innovation technologique dans différents domaines et de nouvelles applications apparaissent chaque année. Contrairement à l’Europe et aux pays d’Amérique du Nord où les macro-algues sont considérées comme une matière première pour les industries des colloïdes et agricole, dans les pays asiatiques elles sont majoritairement consommées comme ingrédient dans l’alimentation humaine (Person, 2011). Les algues marines présentent plusieurs enjeux économiques importants. Les marchés les plus importants sont décrits dans les paragraphes ci-dessous.

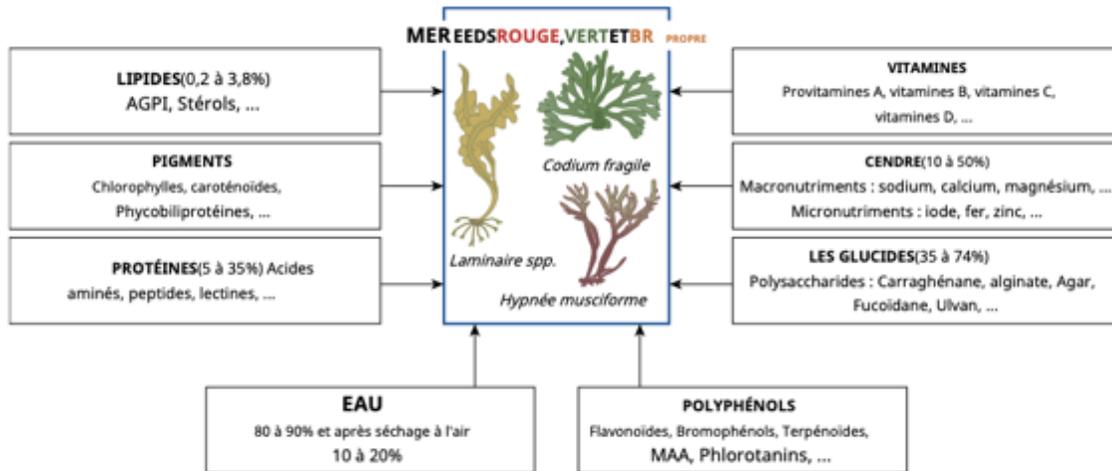


Figure 2. Composition générale des algues rouges, vertes et brunes (World Bank, 2023)

1.3.1.1 Marché des phycocolloïdes

Les phycocolloïdes sont des composés extraits d'algues marines qui ont une grande importance sur le marché mondial en raison de leurs propriétés gélifiantes, épaississantes et stabilisantes. Les plus utilisés sont les alginates, les carraghénanes et les agars (Cartier et Poirier, 2020a).

1.3.1.2 Industrie agroalimentaire

Les algues sont utilisées dans l'industrie agroalimentaire pour la production d'aliments et d'additifs. Elles sont riches en nutriments et peuvent être intégrées dans une variété de produits, y compris les produits de la mer, les produits laitiers, les compléments alimentaires et bien plus encore (World Bank, 2023).

1.3.1.3 Industrie cosmétique

Les extraits d'algues sont couramment utilisés dans les produits de soins de la peau et de beauté en raison de leurs propriétés hydratantes, apaisantes et antioxydantes. L'industrie cosmétique valorise les algues pour créer des produits de qualité (Person, 2011).

1.3.1.4 Agriculture

Les algues sont utilisées comme engrais biologiques et amendements du sol. Leur teneur élevée en éléments nutritifs, en particulier en azote et en potassium, les rend précieuses pour l'agriculture. Elles contribuent à l'amélioration de la qualité des sols et à la croissance des cultures (Cartier et Poirier, 2020b). Il s'agit d'un secteur accessible aux algues échouées et les exigences en termes de qualité de la biomasse utilisée sont moindres que dans d'autres secteurs.

1.3.1.5 Biocarburants

Les algues échouées ont un potentiel significatif en tant que source de biocarburants. Elles peuvent être utilisées comme matières premières pour la production de bioéthanol et de biogaz, ce qui contribue à réduire la dépendance aux combustibles fossiles (Person, 2011).

1.3.1.6 Biostimulants

Depuis plusieurs années, les algues sont utilisées comme engrais dans l'agriculture. Au cours de ces 30 dernières années, en raison de leurs composants bioactifs et de leurs effets uniques, l'utilisation de bioproduits à base d'algues a pris de l'ampleur dans les systèmes de production végétale (World Bank, 2023). Compte tenu du fait qu'elles ne contiennent pas naturellement un niveau suffisamment élevé de composés fertilisants pour être qualifiées d'engrais, les algues peuvent être utilisées comme des biostimulants pour les plantes et les mélanges de produits fertilisants. Les biostimulants sont des intrants agricoles qui atténuent

le stress abiotique, stimulent les défenses immunitaires et améliorent la productivité des plantes grâce à une activité biologique accrue (World Bank, 2023).

1.3.2 Enjeux des algues échouées au Québec

Les algues marines au Québec présentent un certain nombre d'enjeux économiques, environnementaux et scientifiques importants. Les plus marquants sont les suivants :

1.3.2.1 Ressource sous-exploitée

Les côtes du Québec, en particulier dans le Bas-Saint-Laurent et en Gaspésie, sont riches en algues marines. Cependant, la récolte et l'exploitation de ces algues restent relativement faibles par rapport à leur potentiel. L'enjeu réside dans l'optimisation de l'utilisation de cette ressource abondante et renouvelable (Bernic et al., 2021).

1.3.2.2 Biomasse mal estimée

L'estimation de la biomasse algale au Québec est un défi en raison du manque de données précises. Plusieurs études récentes et le programme de recherche Wrack ont été mis sur pied pour mieux comprendre la quantité d'algues échouées et exploitables le long des côtes québécoises. L'enjeu est de mieux évaluer la disponibilité de la biomasse algale pour une exploitation durable (Cartier et Poirier, 2020b).

1.3.2.3 Valorisation des algues échouées

Les algues échouées le long des côtes québécoises, en particulier après les tempêtes, représentent une opportunité d'exploitation. Cependant, l'enjeu consiste à mettre en place des opérations de collecte, de traitement et de valorisation efficaces pour transformer ces algues en produits utiles (Dupré-Gilbert et Berger, 2018). En raison de leur qualité plus variable que celle des algues cultivées ou récoltées fraîches sur le substrat, les algues échouées pourraient être valorisées dans les domaines tels que l'agriculture en tant que biofertilisants et

biostimulants, dans le domaine de la bio énergie en tant que bio carburant et dans le secteur des biomatériaux (Alcimed, 2023).

1.4 QUESTION DE RECHERCHE

À partir des éléments de contexte présentés plus haut, la présente étude vise à répondre à la question suivante : est-il économiquement rentable de développer une activité de valorisation des algues échouées dans la région du Bas-Saint-Laurent ?

CHAPITRE 2

CADRE THÉORIQUE

Ce chapitre représente le cadre conceptuel ou de référence de cette étude. Il permet de situer la recherche dans un cadre plus large en identifiant les concepts, les théories et modèles pertinents liés à la valorisation des algues échouées. Il présentera premièrement l'impact des algues échouées sur le plan économique, écologique et sanitaire, ensuite présentera des modes de gestion des algues échouées ; par ailleurs insistera sur les techniques de détection des algues dérivantes ; puis les différentes étapes de valorisation des algues échouées ; les méthodes d'évaluation économique d'un projet et enfin les objectifs de recherches.

2.1 IMPACTS ÉCOLOGIQUE, ÉCONOMIQUE ET SANITAIRE DES ALGUES ÉCHOUÉES

2.1.1 Impact écologique des algues échouées

Les algues marines constituent une composante essentielle pour les écosystèmes marins. En absorbant les nutriments dissous comme le CO₂, l'azote et le phosphore, elles constituent une source d'alimentation pour plusieurs herbivores et détritivores marins, contribuent à prévenir l'eutrophisation des mers et des océans (Bernic et al., 2021) et servent de niche écologique ou de refuge pour certaines espèces. Cependant, lorsque les équilibres naturels sont perturbés comme c'est le cas pour les proliférations des sargasses de l'Atlantique ou d'ulves, ces algues dérivent, s'échouent et s'accumulent sur le littoral en quantité excessive. Cela peut parfois entraîner des effets nuisibles sur l'environnement. Les conséquences de ces accumulations d'algues sont généralement :

- La destruction d'habitats pour certaines espèces : c'est le cas par exemple des plages qui servent de zone de ponte aux tortues marines et où l'accumulation d'algues dérivantes et algues échouées le long du littoral constitue une barrière physique qui empêche l'accès aux plages par les tortues (Demarets, 2020).

- L'eutrophisation des zones d'échouages : une fois échouées et accumulées près des eaux du rivage, les algues en décomposition, compte tenu de leur teneur élevée en azote et phosphore, vont enrichir les eaux du rivage en élément nutritif.

- Destruction des herbiers marins et des coraux : en contribuant au phénomène d'eutrophisation, qui par la suite augmente la turbidité de l'eau, les algues échouées peuvent entraver le passage de la lumière et avoir des conséquences sur les coraux et les herbiers, ou tout autre organisme qui effectue la photosynthèse (Demarets, 2020).

- Pollution de l'air : Après échouage, décomposition et fermentation, certaines algues échouées dégagent du sulfure d'hydrogène (H₂S) qui est un gaz toxique.

2.1.2 Impact économique des algues échouées

Les algues échouées causent aussi des effets néfastes sur l'économie. Les activités les plus touchées sont le tourisme et la pêche.

- Le tourisme est considéré comme le pilier économique pour certaines régions telles que la Martinique, la Guadeloupe et la Bretagne en France. Pour ces régions, il contribue respectivement à 7%, 9% et 8% du produit intérieur brut (PIB) (Demarets, 2020). Les centres de loisirs, les plages, les hôtels sont fortement impactés par les échouages d'algues. En plus du sulfure d'hydrogène qui constitue un répulsif olfactif pour les touristes, les dépôts d'algues échouées induisent une barrière physique pour les activités sportives, et de baignade (Demarets, 2020). Toutes ces nuisances entraînent d'énormes pertes financières pour l'activité touristique à travers une diminution du chiffre d'affaires induite par la baisse de la

clientèle, ainsi qu'une augmentation des frais d'entretien et de nettoyage des plages (Demarets, 2020)

- En ce qui concerne la pêche, les algues une fois échouées et ensuite transportées à nouveau lors d'un retour de la marée haute sont susceptibles de s'accrocher dans les moteurs, les filets et les hélices des bateaux, ce qui nuira à l'effort de pêche.

2.1.3 Impact sanitaire des algues échouées

Après dérive et échouage sur les plages, les algues s'accumulent, fermentent et dégagent du sulfure d'hydrogène (H_2S), qui constitue un gaz toxique. Le cas le plus marquant est celui de la Bretagne en France où on a enregistré plusieurs décès à la suite de l'exposition au H_2S . C'est le cas principalement d'un employé d'une société d'exploitation d'algue qui est décédé au pied de son camion en pleine activité de collecte et transport d'algue échouée. C'est seulement neuf ans plus tard que le tribunal de la région a reconnu le décès du travailleur comme accident du travail lié à son activité de manipulation d'algues vertes (Léraud et Van Hove, 2019). Le tableau 2 présente quelques signes cliniques de toxicité du sulfure d'hydrogène chez l'humain.

Tableau 2 : Signes cliniques de toxicité du sulfure d'hydrogène H₂S chez l'humain

	Seuil	Effets
Toxicité aigüe (Exposition de courte durée)	100 ppm (partie par million)	Irritation des muqueuses oculaires et respiratoires se traduisant par une conjonctivite, une rhinite, une dyspnée, voire un œdème pulmonaire retardé
	500 ppm	Rapide perte de connaissance, parfois suivie d'un coma convulsif et de troubles respiratoires, d'un œdème pulmonaire et de troubles du rythme cardiaque. Décès rapide si l'exposition n'est pas interrompue.
	1000 ppm	Décès en quelques minutes
Toxicité chronique (Exposition prolongée)		<p>Au niveau du système nerveux : céphalée, fatigue, insomnie, troubles de la mémoire</p> <p>Au niveau des yeux : irritations oculaires, sensation de brûlure, inconfort et photophobie.</p> <p>Au niveau du système digestif : nausée, anorexie, douleurs abdominales et éventuellement diarrhée.</p> <p>Autres : Bronchites irritatives, irritations cutanées</p>

Source : Institut national de recherche scientifique (2014).

2.2 GESTION DES ALGUES ÉCHOUÉES

Selon l'espèce d'algue impliquée, son abondance et le site des échouages, les algues échouées peuvent être considérées comme présentant des risques sur le plan environnemental, économique et sanitaire. Selon la région géographique dans laquelle on se trouve, on dénombre différents types d'échouages d'algues. Les plus marquants sont les échouages massifs de sargasses dans les Caraïbes et sur les côtes Antillaises, les épisodes massifs des algues vertes à l'Ile-du-Prince-Édouard (à l'est du Canada) (Crane et Ramsay, 2011), la prolifération des ulves en Bretagne (France) et à Qingdao (Chine) (López-Contreras et al., 2021).

2.2.1 Cas de gestion des échouages des sargasses aux Antilles françaises

Généralement considérées comme des algues brunes pélagiques, qui flottent à la surface des océans, les sargasses sont des macro-algues de la famille des *Sargassaceae*, qui prennent leur origine dans la mer des sargasses dans l'océan Atlantique (Férard, 2019). Elles vivent en pleine mer dans les eaux tropicales et sont en forte concentration dans la mer des Sargasses (Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation, 2018). En raison de la présence du courant circulaire subtropical nord-atlantique appelée gyre, elles s'y accumulent sur plusieurs kilomètres de large (Demarets, 2020). À la base, les bancs de sargasse jouent un rôle écologique important, car ils sont considérés comme des zones de refuges (pouponnière) et des dispositifs de concentration pour de nombreuses espèces marines. Ils sont également considérés comme une zone de ponte et de frayères des tortues marines (Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation, 2018). Cependant, depuis quelques années et pour des raisons encore mal connues par la communauté scientifique, les échouages de sargasses sont au cœur des pollutions des littoraux marins. C'est ainsi qu'en 2011, les côtes antillaises, notamment la Martinique et la Guadeloupe, ont fait face à des échouages massifs et épisodiques de sargasses. L'accumulation de ces algues suivie de leur décomposition dans les régions qui vivent du tourisme a constitué des enjeux importants sur le plan environnemental, économique et sanitaire (Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation, 2022).

2.2.1.1 Premier plan national de prévention et de lutte contre les sargasses

En 2018, à la suite du phénomène d'échouages des sargasses sur les côtes antillaises Françaises, les ministres chargés de l'écologie et des autres mers se sont rendus aux Antilles. Pour donner suite à cette mobilisation, le plan national de prévention et de lutte contre les sargasses a été élaboré (Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation, 2022). Les enjeux majeurs identifiés par ce plan sont : la préservation de la santé des populations exposées aux émanations de sulfure de dihydrogène (H₂S) ; la collecte

rapide et traitement des sargasses échouées ; et la protection de la biodiversité et des littoraux marins (Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation, 2022). Les différentes méthodes de collecte initiées afin de remédier à ce problème sont :

- La protection du proche côtier par les barrages : il s'agit d'une méthode qui consiste à installer les barrages qui pourront concentrer les algues transportées par les courants marins, facilitant leur collecte pour une utilisation ultérieure dans divers domaines.

- La collecte du proche côtier : il s'agit d'une méthode de collecte pouvant être effectuée manuellement ou mécaniquement à l'aide des machines principalement conçues pour ces tâches.

- La collecte sur les plages : il s'agit d'un moyen de collecte qui peut s'effectuer manuellement en ramassant des algues échouées à la main ou à l'aide d'outils simples tels que les râpeaux ou les pelles. Dans certains cas, de grandes machines spécialisées sont utilisées pour collecter de grands volumes (Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation, 2018).

2.2.1.2 Second plan national de prévention et de lutte contre les sargasses (émis en 2022)

Malgré la mise sur pied du « plan sargasse 1 » ayant produit des résultats positifs, mais pas l'objectif visé, les échouages massifs de sargasses ont perduré. Hormis la collecte et l'évacuation des algues dans les 48 heures après leur échouement afin d'éviter les phénomènes de putréfaction, les autres objectifs à savoir sanitaires, environnementales et techniques ont été insatisfaisants (Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation, 2022). Ce constat a conduit à un changement de paradigme, d'où la mise sur pied du « plan sargasse 2 ».

2.2.2 Cas de gestion des échouages d'algues en Bretagne

Depuis quelques années, le littoral breton reçoit sur ses côtes une quantité importante d'algues vertes, notamment les ulves, qui par la suite est devenue une nuisance préoccupante (Berger et al., 2015). Sur le littoral breton, les volumes ramassés varient d'année en année et peuvent atteindre les 70 000 m³ (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne, 2010). Cette prolifération d'algues vertes résulte de plusieurs facteurs physiques et chimiques combinés simultanément, à savoir l'apport en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore provenant des élevages animaux et de l'agriculture, une température optimale, une faible turbidité et un brassage des eaux marines (Berger et al., 2015). Une fois échouées et en absence de ramassage, les algues se putréfient et dégagent de l'hydrogène sulfuré dans l'air. Ce phénomène a fait un fort écho médiatique à la suite décès d'un joggeur et son chien sur les Côtes-d'Armor à Hillion (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne, 2016). Fort de ce constat et compte tenu de la gravité de ce phénomène, le Conseil Général de l'environnement, du développement durable et toute sa délégation ont tenu une mission conjointe sur le phénomène d'échouage d'algues vertes, dans le but de faire un état des lieux du phénomène, d'évaluer les risques, de proposer des solutions afin de remédier à ce problème (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne, 2016). C'est ainsi que le Plan de Lutte contre les Algues vertes (PLAV) a vu le jour.

2.2.2.1 Premier Plan de lutte contre les Algues vertes (PLAV1)

Afin d'accompagner la gestion des algues vertes sur le littoral breton et de prévenir leur prolifération, l'état français par l'intermédiaire du ministre chargé de l'environnement et de l'agriculture a mis sur pied le Plan gouvernemental de Lutte contre les Algues vertes (PLAV) (Berger et al., 2015). Le PLAV1 repose sur trois principaux volets à savoir :

- Un volet portant sur l'amélioration des connaissances et des risques du phénomène ;
- Un volet curatif avec l'amélioration du ramassage et le développement des capacités de traitement des algues échouées ;
- Un volet préventif qui comprend les moyens mis en œuvre afin de limiter les flux d'azotes vers les côtes (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne, 2016).

Les grands objectifs sur lesquels repose le plan de lutte contre les algues vertes sont les suivantes :

- Développer les techniques de ramassage des algues échouées et leur évacuation vers les plates-formes de compostage ;
- Renforcer la sécurité sanitaire et la salubrité du littoral ;
- Développer les actions pour réduire le flux de nitrates.
- Obtenir un pourcentage d'abattement des flux de nitrates de 30 à 40% (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne, 2016)

2.2.2.2 Second Plan de Lutte contre les Algues vertes (PLAV2)

Le second plan de lutte contre les algues vertes (PLAV2) est une suite au premier plan gouvernemental. En plus de répondre aux enjeux sanitaires et environnementaux, il doit également tenir compte des enjeux économiques. L'une de ses missions est d'intensifier le ramassage côtier des algues fraîches, estimé à un coût de ramassage sur terre de 700 000 €,

de créer dans un premier temps des installations sécurisées de compostage et plus tard des unités de méthanisations pour la production d'énergie (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne, 2010).

Tout comme le premier plan, il s'appuie sur trois volets principaux :

- Un volet préventif portant sur les actions contractuelles et le droit commun ;
- Un volet curatif traitant de la sécurité sanitaire et la salubrité du littoral ;
- Un volet portant sur l'amélioration des connaissances (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne, 2010).

2.2.3 Cas de gestion des échouages d'algues en Chine

Tout comme en Bretagne, les marées vertes font également leur apparition dans la mer Jaune, en Chine. C'est le cas de la baie de Qingdao qui est victime d'un envahissement d'algues vertes filamenteuses « *Enteromorpha prolifera* » ou encore « *Ulva prolifera* » communément appelé « hutaï » (Levain, 2017). La biomasse accumulée ramassée sur le rivage de Qingdao est estimée à un million de tonnes d'algues, ce qui fait de cet événement, la plus grande marée verte en termes de biomasse échouée parmi toutes les proliférations algales (Levain, 2017). Tout comme pour les autres marées vertes, c'est l'apport excessif en éléments nutritifs tels que le phosphore et l'azote provenant des activités humaines, ainsi que l'augmentation de la température des eaux côtières qui ont créé des conditions favorables au développement de ces macro-algues.

Afin de lutter contre ce phénomène, un plan d'action d'urgence contre les catastrophes dues aux macro-algues marines a été publié en 2009 à Qingdao (Yi, 2016). Les mesures

d'urgence mises en place par ce plan s'articulent surtout sur l'information, la surveillance, la prévention et la mitigation.

2.2.4 Cas de gestion des algues au Québec

Concernant la réglementation des algues au Québec, seule la récolte des algues accrochées sur le substrat benthique et l'algoculture sont soumis à une réglementation et font intervenir le Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) (Bernic et al., 2021). La récolte des algues échouées n'est soumise à aucune réglementation, mais l'accès aux plages peut être régi par un règlement municipal et la présence d'oiseau migrateur ou d'espèces protégées peut nécessiter la demande d'un certificat d'autorisation au MELCCFP. De temps à autre, les municipalités peuvent procéder au ramassage des algues échouées afin de nettoyer les plages pour la saison touristique, mais s'il s'agit de gros volumes d'échouages, il est nécessaire d'utiliser des engins mécaniques ou de bateaux. Le MELCCFP responsable de la protection de l'environnement et la gestion des écosystèmes aquatiques dans la région doit valider le type d'embarcation avant son entrée en fonction (Bernic et al., 2021).

2.3 TECHNIQUES DE DÉTECTION DES ALGUES MARINES DÉRIVANTES

Il existe une multitude de techniques de détection et de cartographie à grande échelle des champs d'algues marines fixées sur les substrats benthiques, à savoir : la télédétection optique par satellite qui permet d'obtenir et interpréter les images provenant de satellites ; la télédétection aérienne, qui permet d'obtenir les images ou les vidéos provenant de caméras installées sur des avions, des hélicoptères ou des drones volant à basse altitude et enfin la télédétection acoustique (Côté-Laurin et al., 2016). Cependant, pour les algues dérivantes et les algues échouées, malgré le bon potentiel d'exploitation, peu de techniques d'estimation

des biomasses ont été développées. Leur détection est beaucoup plus complexe vu qu'elles restent imprévisibles et se déplacent en fonction des courants marins générés par les vents (Cartier et Poirier, 2020). Quelques rares méthodes anciennes sont encore utilisées afin de détecter les algues dérivantes. Il s'agit par exemple du repérage par bateau, qui est une technique qui fournit de très faibles rendements si elle n'est pas associée à une autre activité commerciale telle que la pêche (Cartier et Poirier, 2020). Il existe également une méthode basée sur une étude réalisée en 2004, qui a permis d'estimer le potentiel de la ressource algale échouée en Gaspésie. Cette méthode consistait à échantillonner les algues échouées sur les plages, à marée basse, à l'aide des contenants plastiques (pannes) et des rubans à mesurer. Plus précisément, trois mesures du volume du dépôt d'algues ont été réalisées et la moyenne a été divisée par le volume moyen d'une panne pour déterminer quel est le nombre de pannes totales représentées par le dépôt (Côté-Laurin et al., 2016).

Contrairement aux bancs de sargasses qui se développent dans l'Atlantique et dont la prolifération est surveillée par imagerie satellitaire, les bancs d'algues échouées du Québec maritimes sont de superficie plus petite (Cartier et Poirier, 2020a) et nécessitent des techniques adaptées à l'échelle géographique ainsi qu'à la superficie des bancs afin de faciliter le repérage et ainsi permettre d'optimiser la logistique de récupération en mer. Un repérage par drone pourrait par exemple être envisagé pour effectuer la localisation de bancs d'algues dérivantes (Cartier et Poirier, 2020).

C'est dans cette optique que le Gouvernement du Québec investit actuellement dans le développement des expertises en télédétection satellitaire appliquée aux milieux côtiers couplés au développement de modèles de dérive océanique avec pour objectif d'optimiser la logistique de récolte en mer des algues dérivantes (Cartier et Poirier, 2020). Un des principaux acteurs impliqués est le laboratoire d'optique aquatique et de télédétection basé à l'UQAR, dont l'un des travaux portait sur la détection des bancs d'algues dérivantes et l'utilisation de capteurs multispectraux installés sur des satellites Landsat-8 et Sentinel-2

pour détecter la biomasse dérivante à une résolution respectivement de 30 et 10 mètres (Cartier et Poirier, 2020).

2.4 PRINCIPALES ÉTAPES DE VALORISATION DES ALGUES ÉCHOUÉES

L'exploitation des algues échouées implique plusieurs étapes, de la collecte à la valorisation. La figure 3 présente un aperçu des opérations de collecte, de transport, de traitement et de valorisation des algues échouées.

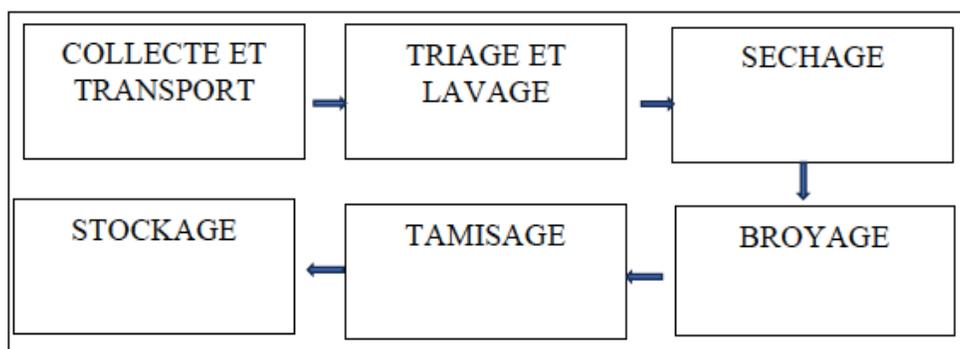


Figure 3. Principales étapes de transformation des macro-algues échouées

2.4.1 Méthode de récolte des algues échouées et engins utilisés

Face aux échouages massifs des algues sur le littoral, quelques rares pays utilisent des méthodes spécifiques de ramassage des algues afin de nettoyer les plages. Il existe deux principales méthodes de collecte des algues échouées ou dérivantes, à savoir : la collecte manuelle et la récolte mécanique. Dans le cadre de cette étude, compte tenu du volume important d'algues échouées nécessaire pour la transformation en produits granulés, le ramassage mécanique a été considéré comme la méthode la plus appropriée.

2.4.1.1 Ramassage mécanique

Il s'agit de la méthode de collecte qui nécessite l'utilisation de machineries lourdes telles que la pelle mécanique hydraulique, les tracteurs, les tractopelles, le ratisseur. Elle est utilisée principalement dans le ramassage de gros volumes d'algues échouées. Ces engins sont utilisés majoritairement pour le nettoyage des sargasses échouées. Comparativement à la récolte manuelle, son rendement est largement supérieur à 250 m³/h et nécessite un investissement financier plus important (ADEME, 2022). Sur le plan environnemental, il présente de nombreux inconvénients selon l'engin utilisé. On peut citer entre autres la destruction des nids de tortues et d'oiseaux et un prélèvement de quantité importante de sable qui concourt à l'amplification de l'érosion. Certaines études estiment qu'une récolte mécanique et incontrôlée des algues pourrait provoquer une réduction de la plage de 10 à 12 m en seulement 17 ans (Sallio, 2020).

Durant cette phase de collecte, il n'est pas conseillé de mettre le sol complètement à nu. Une distance de cinq centimètres entre le sol et les algues ramassées doit être laissée lors de la récolte. Le but de cette pratique est à la fois de conserver la biodiversité faunique et floristique qui dépend du substrat d'algue, et également d'éviter les prises de sables ou des galets dans le ramassage d'algue afin de faciliter les opérations de transformation une fois à l'usine (Sallio, 2020).

Afin de limiter ces dommages, les engins mécaniques de collecte doivent être munis de dispositifs supplémentaires comme les godets claires-voies pour les tractopelles et tracteurs ; les godets squelette pour les pelles mécaniques et les pneus basse pression (ADEME, 2022). Les avantages et inconvénients du ramassage mécanique sont présentés dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients du ramassage mécanique

Avantages	Inconvénients
Capable de nettoyer de gros volumes	Provoque l'érosion des plages
Capable de nettoyer de longues étendues	Met en danger la faune locale à cause de l'érosion des plages
Temps de nettoyage relativement court	Pas autorisé partout
Travail relativement faible	Équipement coûteux
	Pas écologiquement durable

Source: Vos et al. (2016)

2.4.1.2 Quelques engins mécaniques utilisés

Les engins utilisés pour la récolte mécanique des algues échouées sont les suivants :

- La pelle mécanique hydraulique

Il s'agit d'un engin régulièrement utilisé dans la construction et les travaux publics. Dans le domaine environnemental, il est majoritairement utilisé pour le nettoyage des sargasses sur les plages. Son rendement oscille entre 170-220 m³/h, avec un bon rayon d'action (Agence de la transition écologique, ADEME, 2022). Son principal inconvénient réside dans son taux de collecte de sable compris entre 20 et 40% de sable ramassé (Sallio, 2020).

- Le ratisseur

Il s'agit d'une machine tirée par un tracteur et qui est principalement utilisée dans le nettoyage des plages. Sa particularité est qu'elle est munie d'un tapis roulant qui lui permet

d'optimiser le ramassage de sargasse. Elle est considérée comme la machine de nettoyage des plages la plus répandue dans le monde (Vos et al., 2016). Elle limite l'érosion en récoltant très peu de sable dans son processus de collecte (1,5%). Son rendement est estimé à environ 30m³/h (Sallio, 2020).

- Le Cane loader

Il s'agit d'une machine initialement conçue pour la récolte de la canne à sucre dans les champs ou dans les centres de collecte. Elle est également utilisée pour le nettoyage des plages, comme le ramassage des sargasses échouées aux Antilles. C'est un dispositif polyvalent avec un rendement élevé de 170 à 210 m³/h (ADEME, 2022). Bien qu'il détienne le meilleur rendement des véhicules de récolte terrestre, il entraîne cependant des effets néfastes sur l'environnement, en mettant en danger la faune locale, en accélérant l'érosion des plages et en affectant la nidification des tortues marines (Sallio, 2020).

- Dispositif de collecte d'algue de la société Axinor

Il s'agit d'un nouveau dispositif de ramassage d'algues développé par la société Axinor. Il a été principalement développé pour la collecte des sargasses en Martinique et dans les Caraïbes. Il est constitué d'un tapis roulant et d'une benne de stockage de 20 m³ situé à l'arrière du camion. Sa particularité par rapport aux autres engins existants est qu'en plus d'un bon rendement de collecte (environ 120 m³/h), il possède un faible taux de collecte de sable (environ 1%), ce qui limite l'érosion des plages (Sallio, 2020).

2.4.1.3 Comparaison des performances des engins de collecte d'algues échouées

Le tableau 4, ci-dessous, présente un résumé des avantages et inconvénients des différents engins de collecte d'algues échouées. La pelle mécanique hydraulique et la cane loader possèdent un bon rendement, mais avec un risque de prise de volume sable élevé. Le véhicule Axinor est considéré comme l'équipement qui possède le meilleur ratio en termes de prise de sable (volume) et de rendement important.

Tableau 4 : Performances des différents engins de collecte d'algues échouées

Machinerie	Avantages	Inconvénient	Rendement (m³/h)	Sable récolté (%)
Pelle mécanique hydraulique	Rendement élevé Risque sanitaire faible	Prise de sable Endommagement du trait de côte	170 – 220	30
Ratisseur	Faible prise de sable Bonne mobilité Rendement moyen	Risque d'ensablement élevé Capacité de stockage limitée Accès réduit aux plages	30	1,5
Cane loader	Rendement élevé Peu de main-d'œuvre	Destruction des nids des tortues Risque sanitaire élevé	170 – 210	30
Véhicule Axinor	Faible prise de sable Équipé avec un détecteur de H ₂ S	Équipement coûteux Risque de destruction des nids des tortues	100 -120	1

Source : Agence de la transition écologique (ADEME) (2022); Sallio (2020)

2.4.2 Transport vers le lieu de stockage

Après le ramassage des algues échouées, celles-ci sont ensuite préparées pour être acheminées vers le site d'exploitation. La majorité est chargée dans des camions agricoles. Afin de minimiser le temps d'attente et les coûts, il est nécessaire de considérer la logistique du transport, y compris la planification des itinéraires et la coordination des horaires. La logistique consiste précisément à se rendre sur le site d'échouage, à l'aide des embarcations et des engins motorisés ; prélever les algues échouées ; les charger mécaniquement dans les embarcations, et puis les conduire dans la zone d'exploitation (Cartier et Poirier, 2020).

2.4.3 Traitement

Une fois présent sur le lieu d'exploitation, les algues doivent suivre un ensemble de procédés afin d'augmenter leur qualité et d'être stabilisées rapidement. Ces méthodes de traitement sont le lavage, le triage, le séchage, le broyage et le stockage (figure 3). Il est important de mentionner que la rapidité du passage des algues par ces étapes est cruciale dans le processus de transformation, car si les algues ne traversent pas ces phases dans les plus brefs délais, elles peuvent se dégrader et fermenter.

2.4.3.1 Le lavage

Les algues sont souvent lavées pour éliminer le sable et d'autres impuretés. Cela peut se faire à l'aide d'eau douce ou de l'eau de mer, dépendamment de l'espèce choisie, des installations disponibles ainsi que du type de transformation envisagé (Côté-Laurin et al., 2016). Il consiste parfois à immerger les algues dans un bain afin de séparer les matières par flottaison (Simon Cartier et Martin Poirier, 2020).

2.4.3.2 Le triage

Les algues sont triées pour éliminer les éléments indésirables tels que les débris, les organismes marins non souhaités ou les algues endommagées. Lors de cette étape, il est question de procéder au retrait des débris les plus volumineux entremêlés dans les algues.

2.4.3.3 Le séchage

Les algues triées sont ensuite séchées pour réduire leur teneur en humidité. La forte teneur en eau de la biomasse algale cause un grave problème si cette dernière n'est pas directement utilisée. L'activité de séchage s'avère alors nécessaire dans le but de les acheminer jusqu'aux sites de transformation sans dégradation de la biomasse (Person, 2011). Il existe plusieurs méthodes de séchage, à savoir : le séchage à l'air libre et l'utilisation d'un séchoir industriel. Dans le premier cas, les algues sont séchées naturellement par l'exposition au soleil et au vent. C'est une approche peu coûteuse, car elle consomme peu d'énergie. Cependant elle présente plusieurs désavantages tels que les variations météorologiques imprévisibles ainsi que la mauvaise protection face aux agressions extérieures et, au Québec, elle n'est pas autorisée si les algues sont destinées au marché de l'alimentation humaine (Côté-Laurin et al., 2016). Le séchage industriel nécessite une machinerie bien dimensionnée (séchoir industriel). Il est couramment utilisé dans des secteurs variés tels que l'agriculture, l'agroalimentaire ou l'industrie chimique (Loeuff, 2022).

2.4.3.4 Le broyage

Il s'agit d'une étape qui consiste à réduire la taille des algues échouées en morceaux plus petits. Il permet d'obtenir une matière première plus homogène et facilite le traitement ultérieur. Son processus consiste à introduire les algues séchées dans le broyeur, où elles sont écrasées et fragmentées en morceaux plus petits, de la paillette aux farines. Le degré de réduction de la taille dépend des besoins spécifiques du processus de valorisation (Côté-Laurin et al., 2016).

2.4.3.5 Le tamisage

C'est un procédé qui consiste à séparer les différentes fractions de matière sèche en fonction de leur taille. Après l'étape de broyage, les morceaux d'algues sont introduits dans des tamis superposés, où ils sont soumis à des vibrations ou à des mouvements de tamisage. Les plus petits passent à travers les mailles du tamis, tandis que les morceaux plus gros restent sur le dessus et à la fin ils sont classés en fonction de leur granulométrie.

2.4.3.6 Le stockage

Il s'agit d'un procédé qui consiste à conserver le produit d'algue issue des activités précédentes dans des équipements bien adaptés. La méthode utilisée sera un stockage par sac pouvant contenir entre 20 à 50 kg. Durant ce processus, les algues sont conditionnées afin d'être utilisées dans divers produits. Selon les exigences du marché envisagé, le modèle de sac choisi peut protéger les algues contre l'humidité, la lumière et l'oxygène, afin de préserver leur qualité et d'augmenter la durée de conservation des algues.

2.5 MÉTHODES D'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE D'UN PROJET

Dans le cadre de la mise sur pied d'un projet, l'analyse économique est une étape essentielle afin d'évaluer la faisabilité ainsi que les impacts potentiels générés par ce dernier (Bey, 2023). Elle est considérée comme un processus qui vise à comparer les coûts et bénéfices des différents programmes et/ou politiques. Son objectif principal est d'optimiser les ressources allouées à un projet, tout en garantissant sur le long terme sa rentabilité (Bey, 2023). Il existe une multitude de méthodes d'analyse économique de projet, qui reposent sur des hypothèses fondamentales pouvant mener à d'importants questionnements lors de la prise de décision (Rozworski, 2014). Toutes ces méthodes d'évaluation économiques tentent de définir quelle est l'option la plus efficiente du point de vue économique, c'est-à-dire celle

apportant les bénéfices recherchés au plus faible coût (Rozworski et Olivier Bellefleur, 2013). Les méthodes d'évaluations les plus courantes sont : l'analyse coût-bénéfice (ACB), l'analyse coût-efficacité (ACE), l'analyse coût-utilité (ACU) et l'analyse de minimisation des coûts (AMC). Ces dernières se distinguent les unes des autres par la façon dont elles abordent l'évaluation des bénéfices, c'est-à-dire le ratio coût-bénéfice (Rozworski et Olivier Bellefleur, 2013).

2.5.1 Analyse coût efficacité (ACE)

L'analyse coût efficacité est un outil d'aide à la décision, qui dans son processus intègre à la fois une composante quantitative (évaluation des coûts) et une composante qualitative (évaluation de l'efficacité) d'un ensemble de programmes, politiques ou projet (ACTeon et al., 2017). C'est également un outil qui permet de comparer les différentes mesures contribuant à un même résultat par des cheminements différents (ACTeon et al., 2017). Elle peut être utilisée dans toutes les phases d'un projet. En amont, elle est utilisée comme outil d'aide à la décision, car elle met en valeur les résultats prioritaires quantifiables d'une part, et d'autre part permet aux décideurs de fixer les priorités en fonction des coûts et des conséquences économiques (ACTeon et al., 2017). Elle est majoritairement utilisée dans les projets et programmes où plusieurs options sont à l'étude et où toutes ces options visent au même objectif global (Rozworski et Olivier Bellefleur, 2013). Les différentes étapes de l'analyse coût efficacité sont : la définition de l'objectif et l'identification des actions pour l'atteindre ; l'estimation du coût et de l'impact de chaque action, le calcul du ratio coût-efficacité et finalement, la comparaison et la classification des alternatives (ACTeon et al., 2017). Elle présente un certain nombre de limites à savoir : les problèmes de monétarisation, où certains avantages sociaux ou environnementaux peuvent être difficiles à évaluer en termes monétaires, limitant ainsi la prise en compte de leur valeur réelle ; comme autre limite, on parle également la simplicité des mesures, car, l'ACE se base souvent sur des mesures monétaires excluant des aspects qualitatifs difficiles à quantifier comme la satisfaction des clients.

2.5.2 Analyse coût utilité (ACU)

L'analyse coût utilité est une méthode d'évaluation économique qui vise à comparer les options auxquelles les coûts sont mesurés en unités monétaires et les bénéfices en unité d'utilités (Rozworski, 2014). Elle est considérée comme la méthode d'évaluation qui couvre les limites de l'analyse coût efficacité, dans la mesure où, au lieu de comparer l'efficacité en se basant sur un bénéfice comme recommandé par l'ACE, elle analyse l'effet des interventions selon une approche plus globale de la quantité et de la qualité de vie (Rozworski, 2014). L'une de ses principales forces est qu'elle est considérée comme un type d'analyse coût efficacité qui présente les mêmes avantages qu'une analyse coût-bénéfice (Rozworski, 2014). Elle ne sera pas utilisée dans le cadre de cette analyse puisqu'elle se concentre uniquement sur les coûts et les bénéfices exprimés en termes de qualité de vie et ne saisit pas l'ensemble des aspects de la rentabilité économique d'un projet.

2.5.3 Analyse de minimisation des coûts (AMC)

Elle est considérée comme la méthode la plus simple parmi les méthodes d'évaluation économiques, car elle n'exige aucun calcul des bénéfices. Son principal objectif est de choisir la politique, le projet ou le programme le plus efficace, c'est-à-dire la moins coûteuse (Rozworski, 2014). Sa particularité principale est qu'elle classe selon les coûts les options ayant les mêmes effets directs et indirects. L'option la moins coûteuse est la plus efficace (Rozworski, 2014).

L'AMC fait un accent exclusif sur les coûts, c'est-à-dire ne prend en compte que les coûts, négligeant les bénéfices potentiels. Elle exclut les aspects qualitatifs ou d'autres facteurs non directement liés aux coûts, ce qui conduit à des décisions économiques limitées. Compte tenu de ces limites, elle ne sera pas utilisée dans le cadre de cette analyse.

2.5.4 Analyse coûts-bénéfices (ACB)

L'analyse coût-bénéfice est une méthode d'évaluation économique utilisée pour comparer les coûts et les bénéfices attendus d'un projet. Parmi les méthodes citées précédemment, elle est considérée comme la méthode la plus ancienne. Elle s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle tous les coûts et les effets d'une politique ou d'un programme sont exprimés en unité monétaire (Rozworski, 2014). Une fois toutes les politiques exprimées en valeur monétaire, la politique la plus efficiente est celle qui génère le ratio-bénéfice/coût le plus élevé (Rozworski, 2014). Sa particularité d'attribuer une valeur monétaire à tous les effets d'une politique constitue également sa principale limite. Dans certains cas, attribuer la valeur à un bénéfice à tout prix peut entraîner des distorsions et des inexactitudes. C'est le cas par exemple les services écosystémiques comme les océans qui régulent le climat en séquestrant le carbone. Donner une valeur monétaire à un tel service n'est pas toujours évident. (Rozworski, 2014).

À cause du fait que l'ACB est un outil d'aide à la décision qui met en avant les coûts et avantages économiquement clairs, elle constituera la méthode utilisée dans cette recherche afin d'évaluer la rentabilité du projet de valorisation des algues échouées dans le Bas-Saint-Laurent.

2.6 OBJECTIFS DE RECHERCHE

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la faisabilité et les impacts économiques de la mise en place d'une unité spécialisée dans la valorisation des algues échouées sous forme de granulés dans le Bas-Saint-Laurent. Les objectifs spécifiques qui ont été fixés sont les suivants :

2.6.1 Déterminer les étapes de valorisation des algues échouées

Il est question d'évaluer en détail les différentes étapes nécessaires pour valoriser les algues échouées en produits granulés. Cette analyse comprendra des études sur la collecte, le tri, le nettoyage, le séchage, le broyage et le stockage des algues échouées. Ces étapes seront couvertes en profondeur dans la section 2.4 de ce chapitre.

2.6.2 Évaluer les coûts d'installation d'une unité de valorisation des algues échouées

Une évaluation exhaustive des coûts impliqués dans la création d'une unité de transformation d'algues échouées en produits granulés sera effectuée. Cela inclut non seulement les coûts des équipements, mais aussi les coûts opérationnels tels que la main-d'œuvre, l'énergie et les matières auxiliaires nécessaires au processus de valorisation.

2.6.3 Calculer les revenus potentiels

Les revenus potentiels générés par l'activité de transformation des algues échouées en produits granulés seront estimés. Cette estimation prendra en compte les marchés cibles, les prix de vente projetés, et les volumes de production, en se basant sur des analyses de marché et des études de cas comparables.

2.6.4 Analyser la rentabilité économique et financière du projet

Enfin, une analyse approfondie de la rentabilité économique et financière du projet sera effectuée. Cette analyse comprendra l'évaluation des indicateurs clés de performance tels que le retour sur investissement (ROI), la valeur actuelle nette (VAN), et le ratio coût-bénéfice (RCB). En combinant ces différents aspects, cette étude fournira une compréhension complète et rigoureuse de la pertinence et du potentiel économique de valoriser les algues

échouées en produits granulés dans le Bas-Saint-Laurent, tout en identifiant les défis et les opportunités associés à ce projet.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE

Ce chapitre présente la méthode, l'approche et les démarches utilisées pour mener à bien l'étude. Elle définit la manière dont les données ont été collectées, analysées et interprétées.

3.1 COLLECTE DES DONNÉES

Dans le cadre de cette étude, les données ayant servi à l'analyse économique proviennent de plusieurs sources formelles et informelles. Les données sur la consommation moyenne d'énergie des entreprises manufacturières au Québec viennent de Statistiques Canada ([Statistique Canada, 2023](#)). Les informations sur les salaires moyens au Bas-Saint-Laurent viennent de l'Institut de Statistique du Québec et le Guichet Emploi Canada par catégorie de travail (Guichet-Emplois Canada, 2024 ; Institut de Statistique du Québec, 2024). Les informations sur les coûts liés aux activités de collecte et de transport des algues échouées viennent des rapports des études ayant porté sur les cas de valorisation des algues échouées dans le monde. Les coûts des matériels de production viennent des sites internet des entreprises spécialisées dans la vente des équipements industriels adaptés au secteur agroalimentaire.

Dans le but de mieux connaître les enjeux liés à la valorisation industrielle des algues, des discussions informelles et confidentielles ont eu lieu avec quelques acteurs. Certaines informations n'apparaissent pas dans ce mémoire à cause des informations sensibles qui ont été recueillies. En outre, des échanges informels avec des experts en algues et en développement d'entreprises dans la région du Bas-Saint-Laurent ont été menés pour mieux

comprendre les coûts d'installation et les équipements nécessaires à l'exploitation des algues échouées.

Les tableaux 5 et 6, ci-dessous, présentent une liste des coûts variables et coûts fixes utilisés dans cette étude. Les hypothèses formulées au point 3.5 permettent de mieux comprendre les chiffres contenus dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 5: Liste des coûts variables pour une entreprise typique à l'année 1

Activités	Pour une récolte donnée d'algues échouées (tonnes)	Coûts variables (\$)
Activité de collecte	11 000	515 625
Activité de transport		151 250
Lavage et triage		52 393
Séchage, broyage, tamisage		52 393
Stockage		52 393
Carburant		18 099
Gaz naturel		49 302
Électricité		188 325
Administration (agent RH)		66 528
Administration (Comptable)		82 656
Bâche de stockage (SNA)		27 500
Autres (imprévus)		188 470

Tableau 6: Liste des coûts fixes d'une entreprise typique

Matériels	Capacités	Prix unitaire \$
Tracteur	100 – 120 t/h	490 000
Semi-remorque	80 t/h	21 300
Pick up		100 000
Laveuses	30 t/h	15 000
Table de tri		3 000
Séchoir	30 t/h	130 000
Broyeur	30 t/h	75 000
Tamiseur	30 t/h	3 000
Coût d'installation		940 125 \$
Imprévus		125 595 \$
Coûts fixe total		1 903 020

3.2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Dans le cadre de l'exploration du potentiel socio-économique actuel et futur des algues échouées dans la région du Bas-Saint-Laurent, l'Analyse des coûts et bénéfices (ACB) est la méthode sélectionnée pour analyser la rentabilité du projet. L'ACB est un outil d'aide à la décision qui permet d'évaluer l'intérêt pour la société d'un projet, d'un programme ou d'une réglementation (Treich, 2005). Il est utilisé pour évaluer différents choix stratégiques en fonction de leurs conséquences sur l'ensemble des groupes de la société affectés par ses décisions (Meunier et Marsden, 2009). L'ACB est un outil d'évaluation économique qui

comprend deux approches d'évaluations à savoir : l'analyse financière et l'analyse économique. Bien que ces deux approches soient complémentaires pour évaluer la viabilité d'un projet, elles se différencient par leurs objectifs, leurs structures de coûts et les bénéfices qu'elles dégagent (Treich, 2005).

3.2.1 Analyse financière

Elle se concentre sur la rentabilité du projet du point de vue des investisseurs. Son objectif principal est de déterminer si le projet génère des bénéfices financiers suffisants et satisfaisants pour les investisseurs (Meunier et Marsden, 2009). Elle assure également que le projet est financièrement viable et aide le gestionnaire à prendre les décisions éclairées concernant la gestion des risques financiers (Treich, 2005).

3.2.2 Analyse économique

Contrairement à l'analyse financière, l'analyse économique prend une perspective plus large en évaluant les impacts globaux d'un projet au-delà des bénéfices financiers (Meunier et Marsden, 2009). Elle vise à déterminer si le projet contribue au bien-être économique, environnemental et social de la communauté.

En définitive, ces deux approches sont complémentaires et ensemble fournissent une évaluation complète des projets pour une prise de décision optimale (Meunier et Marsden, 2009).

3.3 INDICATEURS DE RENTABILITÉ

Afin d'évaluer la rentabilité d'un projet, des indicateurs de rentabilités sont utilisés pour déterminer si un projet est financièrement viable et s'il apportera une valeur ajoutée en termes de bénéfices par rapport aux coûts engagés. Les plus couramment utilisés sont : la valeur actuelle nette (VAN), le Ratio Coûts Bénéfice (RCB), le retour sur investissement (ROI).

3.3.1 Valeur actuelle nette

La valeur actuelle nette (VAN) correspond à la somme des flux de trésoreries futurs actualisés à un taux égal au coût du financement. Elle est considérée comme un indicateur synthétique qui met en balance le montant de l'investissement réalisé et les bénéfices actualisés du projet (Erdlenbruch et al., 2008). Elle est exprimée selon la formule ci-dessous, où C_0 représente le coût initial du projet, B_i : les bénéfices liés au projet à la période i ; C_i : les coûts de fonctionnement du projet à la période i et r_i : le taux d'actualisation à la période i .

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + r_i)} (B_i - C_i)$$

3.3.2 Ratio coût-bénéfice

Le Ratio coût-bénéfice (RCB) représente le rapport entre les bénéfices et les coûts sur une période donnée. Il permet d'évaluer la rentabilité d'un projet en comparant les coûts engagés avec les bénéfices attendus. Cet indicateur se base sur l'hypothèse que la valeur d'un dollar est le même sur toute la période du projet. Le RCB permet de connaître le montant de bénéfice engendré pour chaque dollar investi dans le projet.

$$RBC = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

3.3.3 Retour sur investissement

Le retour sur investissement (ROI), souvent appelé rendement du capital investi ou taux de profit. Il évalue l'efficacité d'un projet en mesurant le pourcentage de gain en fonction de l'investissement initial. Il est donné par la formule ci-dessous :

$$ROI = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i - C_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \cdot 1$$

3.4 STRUCTURES DES COÛTS ET BÉNÉFICES

Les coûts engagés pour la mise en place d'un projet sont appelés coûts d'exploitations. Ils sont généralement de 3 catégories, à savoir les coûts variables, les coûts fixes et le coût total (Treich, 2005).

3.4.1 Coût d'exploitation

Il s'agit des éléments récurrents pour la production des biens et services d'un projet et qui sont nécessaires pour le maintien et la gestion courante d'un projet. Il constitue le coût des matières premières, le salaire des employés, les coûts de locations et autres charges opérationnelles (Rozworski, 2020).

3.4.1.1 Coûts variables

Les coûts variables (CV) sont des coûts des facteurs de production qui varient avec la quantité produite. Ils sont composés des coûts de fonctionnement pour les activités de collecte, de transport, ainsi que toute autre activité qui entre dans le processus de transformation des algues échouées. Dans cette analyse, les coûts variables incluent essentiellement l'énergie consommée et la main-d'œuvre.

3.4.1.2 Coûts fixes (CF)

Les coûts fixes (CF) sont des coûts qui ne dépendent pas de la quantité produite. Il est question ici d'attribuer un coût aux différents équipements utilisés dans le processus de la valorisation des algues échouées. La valeur de l'équipement à l'année N correspond au coût

de l'achat de l'équipement. Les coûts des années N+1 à N+10 correspondent au coût de l'amortissement de l'équipement pour les 10 prochaines années.

En ce qui concerne l'amortissement des équipements, la méthode utilisée est la déduction pour amortissement (DPA). La DPA est obtenue en calculant l'amortissement dégressif. Rappelons que l'amortissement est une méthode qui consiste à étaler la valeur d'un bien sur sa durée de vie ainsi que sa période d'utilisation (Gérard Casanova et Denis Abécassis, 2020). Avec cette méthode, l'actif est amorti selon le même taux chaque année de sa vie utile et perd plus de valeur au début de leur vie utile (Starky, 2006).

Pour cela le taux d'amortissement de chaque équipement comme recommandé par l'agence de revenu Canada a été considéré. La déduction pour amortissement est considérée comme une déduction fiscale qui sert à compenser certains coûts d'entretien, de remplacement ou d'usure de certains équipements (Starky, 2006). La législation canadienne établit plus de 40 catégories de biens avec des taux exprimés en pourcentage, ayant droit à la DPA (Starky, 2006).

3.4.1.3 Coût total (CT)

Le coût total est la somme des coûts variables et coûts fixes, représentant le montant total pour mettre en œuvre le projet de valorisation des algues échouées.

$$CT = CV + CF$$

3.4.1.4 Coût d'opportunité

Le coût d'opportunité est considéré comme la valeur alternative abandonnée pour investir dans un autre projet. Il s'agit d'un outil essentiel pour l'évaluation économique globale d'un projet (Bey, 2023).

3.4.2 Bénéfices

Les bénéfices sont les retombées positives du projet de valorisation des algues échouées. Elles sont généralement évaluées en comparaison avec les coûts pour déterminer la rentabilité globale du projet. Ils sont généralement de deux catégories à savoir le revenu total et le revenu net ou profit.

3.4.2.1 Revenu total

Le revenu total est considéré comme l'ensemble des recettes générées par un projet sur une période donnée. Dans le cadre de ce projet, il est obtenu en multipliant la quantité produite d'algues par le prix de vente d'un kilogramme d'algue granulé sur le marché.

3.4.2.2 Revenu net

Encore connu sur le nom de profit net ou bénéfices nets est le montant qu'il reste à une entreprise après avoir déduit tous les coûts. Il représente la véritable performance financière de l'entreprise ((Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2007).

3.5 HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE

Pour rappel, selon Leblanc et Rondeau (2005) dans le rapport du projet d'évaluation du potentiel des algues échouées en Gaspésie, environ 500 000 tonnes d'algues s'échouent sur certaines plages de la péninsule Gaspésienne. Il a été considéré une quantité similaire d'échouage sur les côtes de la région du Bas-Saint-Laurent tout en supposant que les échouages soient constants durant les années d'exploitations de la ressource. Dans le cadre de cette étude, une série d'hypothèses sera développée :

3.5.1 Hypothèse 1 : Situation de marché

Trois situations de marchés vont être abordées dans cette analyse : un marché en situation de duopole ; le second en situation d'oligopole et le troisième en situation de monopole.

3.5.1.1 Marché en situation de duopole

Afin de mener à bien cette analyse, ce mémoire considère, dans un premier temps, les deux entreprises du Bas-Saint-Laurent qui exploitent les algues pour le secteur agricole/horticole (Tableau 1). Il est supposé que ces deux entreprises ont accès à la ressource dans les mêmes proportions et partagent une structure de coûts et de bénéfices similaires. Le choix de ces deux entreprises se justifie par le fait que les débouchés actuels des algues échouées sont essentiellement agricoles.

3.5.1.2 Marché en situation d'oligopole

Secondairement, ce mémoire va conduire une analyse de sensibilité en supposant que toutes les entreprises du Bas-Saint-Laurent exerçant dans les algues s'intéressent à l'exploitation des algues échouées. D'après le tableau 1, il y a cinq entreprises au Bas-Saint-Laurent qui exploitent les algues pour diverses fins y compris l'agriculture, le nutraceutique, le cosmétique. Dans cette situation de marché, ainsi que celle de duopole, il a été considéré que toutes les entreprises ont les mêmes structures de coûts et de bénéfices.

3.5.1.3 Marché en situation de monopole

Il s'agit d'un marché caractérisé par la présence d'une seule entreprise qui contrôle de manière exclusive la production d'un bien ou de service. Il n'existe aucun concurrent sur le marché. Dans le cas d'une autre analyse de sensibilité, cette recherche va mener une analyse ACB en s'intéressant à la seule entreprise au Bas-Saint-Laurent qui exploite les algues échouées sur une période de dix ans (Tableau 1).

3.5.2 Hypothèse 2 : Exploitation des algues et processus de collecte.

Selon les informations disponibles dans le guide d'identification des algues et faune du littoral du Saint-Laurent maritime (Chabot et Rossignol, 2003), à peine 10% de la biomasse algale qui s'échoue sur les plages de la péninsule gaspésienne sont exploitées du fait du caractère aléatoire des échouages. Afin de refléter la réalité, ce même pourcentage sera considéré pour l'étude sur les côtes du Bas- Saint-Laurent. Ce qui, selon l'hypothèse initiale, équivaudrait à 50 000 tonnes disponibles pour la récolte dans le Bas-Saint-Laurent. Au cours du processus de collecte, trois scénarios vont être abordés. Dans le premier scénario 55% de la quantité disponible d'algues échouées sera collecté, soit une récolte nette de 27 500 tonnes humide qui constituera le scénario normal. Dans le second scénario 75% de de la quantité disponible d'algues échouées sera collecté soit une récolte nette de 37 500 tonnes humide qui constituera le scénario optimiste. Le scénario pessimiste a été construit en considérant l'écart entre le scénario normal et le scénario optimiste afin de garder une même distance par rapport au scénario normal. Afin de refléter le caractère sensible des algues échouées, une perte de 20% sera considérée durant cette phase de collecte. Ces différents scénarios reflètent le caractère imprévisible des échouages, mais également l'avènement de règlements futurs qui peuvent rendre la récolte des algues plus ou moins difficile. Compte tenu de la forte biomasse à récolter sur le site de collecte, les prélèvements se feront par sortie, soit 1 000 tonnes/sortie. En accord avec les travaux de Julie Person (2011) dans son document intitulé « algues : filière du futur », les algues perdent environ 90% de leur biomasse durant le processus de séchage industriel. Dans le cadre de ce mémoire, il est supposé que les équipements fonctionnent à 80% de leur capacité maximale afin de minimiser leur surchauffe.

3.5.3 Hypothèse 3 : Salaire et prix de vente

Pour la majorité des activités de ce projet, le taux horaire journalier est estimé en utilisant le salaire moyen dans le Bas-Saint-Laurent tel que décrit par l'Institut de Statistique du Québec et le Guichet Emploi Canada par catégorie de travail (Guichet-Emplois Canada,

2024 ; Institut de Statistique du Québec, 2024). Ainsi, le salaire moyen d'un comptable est estimé à 41 \$/l'heure, tandis que celui d'un agent des ressources humaines est estimé à 33 \$. Finalement, le salaire moyen dans la région du Bas-Saint-Laurent est estimé à 30 \$. Ce taux évoluera selon la cible d'inflation moyenne visée par la Banque du Canada, à savoir 2%. Conformément aux travaux de Florenne Tristan *et al.* (2016), le coût moyen de l'activité de collecte et l'activité de transport ont été estimés respectivement à 38\$ et 11\$ la tonne.

3.5.4 Hypothèse 4 : Coût d'installation

Les coûts d'installations et de construction de la bâtisse ont été obtenu durant des discussions informelles auprès des acteurs du secteur agricole. Ces coûts ont été bonifiés de 50% pour refléter l'appréciation des valeurs des biens depuis l'avènement de la covid-19, comparé à la valeur moyenne au Bas-Saint-Laurent. Pour l'ensemble des coûts (fixes et variables), des imprévus à hauteur de 15% ont été considérés, ce qui correspond à la moyenne des pourcentages venant des acteurs œuvrant dans le domaine de l'agriculture lors des discussions informelles.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Cette partie du travail présente de manière concise et objective les informations obtenues à partir des données collectées et des analyses effectuées dans le cadre de l'étude. Il sera présenté dans un premier temps les résultats de l'analyse financière et économique du projet de valorisation des algues échouées en produits granulés, ensuite les résultats de l'analyse de sensibilité et enfin les limites de l'étude et les recommandations seront formulées.

4.1 ANALYSE FINANCIÈRE

L'analyse financière se concentre exclusivement sur les aspects monétaires, tels que les coûts d'investissement et les prévisions de revenus provenant du projet de transformation des algues échouées. Dans le cadre de cette étude, l'analyse est limitée au secteur primaire, qui regroupe les étapes initiales de transformation telles que le lavage, le séchage, le triage et le broyage. Actuellement, la valeur du kilogramme d'algue séchée et granulée est estimée à 5,71 \$/kg, conformément aux prix du marché dans le Bas-Saint-Laurent (Pro Algue Marine, 2023). Pour refléter la concurrence entre les exploitants, ainsi que les effets des importations et des commandes en gros, les prix seront réduits d'un tiers. Cette analyse se concentre sur un marché en situation de duopole, impliquant deux entreprises du Bas-Saint-Laurent qui exploitent les algues échouées à des fins agricoles et horticoles. Le tableau 7 présente les résultats de l'analyse financière pour les deux entreprises qui exploitent les algues échouées.

Tableau 7: Analyse financière pour les deux entreprises qui exploitent les algues échouées

Scénario	Quantité récoltée (tonnes)	VAN (\$)	RCB (\$)	ROI (%)
Pessimiste	7 000	8 601 645	1,74	97,09
Normal	11 000	16 533 574	2,17	126,40
Optimiste	15 000	24 736 407	2,47	154,62

Dans un marché avec deux entreprises valorisant les algues échouées, la valeur actuelle nette d'une entreprise représentative varie entre 8 millions de dollars et 25 millions de dollars, en fonction des quantités récoltées dans le cadre du projet. Une plus grande quantité d'algues échouées récoltées permet à une entreprise de générer une VAN positive plus élevée.

Le ratio coût-bénéfice (RCB) est supérieur à 1 pour tous les scénarios analysés. Pour chaque dollar investi, les gains prévus sont de 1,74 \$ dans le scénario « pessimiste », 2,17 \$ dans le scénario « normal », et 2,47 \$ dans le scénario « optimiste ». L'analyse du retour sur investissement (ROI) indique que le projet est rentable pour tous les scénarios, avec un taux de rentabilité variant de 97,09 % (scénario pessimiste) à 154,62 % (scénario optimiste).

Cette analyse démontre la rentabilité financière du projet de valorisation des algues échouées. Les résultats confirment la rentabilité positive du projet dans tous les scénarios étudiés. Pour compléter cette analyse, une analyse économique sera abordée dans la section suivante.

4.2 ANALYSE ÉCONOMIQUE

L'analyse économique du projet de valorisation des algues échouées s'étend au-delà des simples considérations financières pour inclure les impacts sociaux et environnementaux potentiels. Par exemple, la mise en œuvre de ce projet aurait comme bénéfice secondaire de nettoyer les plages publiques affectées par l'accumulation d'algues, évitant ainsi la

putréfaction de ces matières et la nécessité pour les autorités publiques de collecter et d'enfourir les résidus, notamment en période touristique.

Quantifier ces bénéfices en termes monétaires nécessiterait des démarches supplémentaires, telles que des enquêtes auprès des résidents des plages affectées et des consultations avec les autorités municipales responsables. Ces enquêtes permettraient de déterminer la valeur économique associée à l'évitement des nuisances olfactives en estimant la volonté des riverains à payer pour ce service. Elles permettraient également de calculer les coûts supportés par les autorités locales pour le nettoyage des plages. Cependant, en raison de la complexité de cette traduction en valeur monétaire, ces bénéfices sont omis de l'analyse, ce qui constitue une certaine pénalité pour l'évaluation économique du projet.

Concernant la dégradation potentielle des plages due à la collecte des algues, il a été démontré (section 2.4.1.2) que les techniques modernes de collecte exercent une pression négligeable sur l'état des plages, justifiant ainsi l'exclusion de ce coût de l'analyse.

La mise en œuvre du projet entrainera inévitablement des émissions de gaz à effet de serre (GES) dues aux activités de collecte et de transformation des algues. Il est essentiel d'évaluer le coût nécessaire pour compenser ces dommages environnementaux, souvent appelé coût de compensation ou empreinte carbone. Ce coût est déterminé en estimant l'énergie requise pour la collecte et la transformation des algues en produits finis ou semi-finis. À partir de cette estimation énergétique, la quantité de CO₂ émise dans l'atmosphère peut être calculée, et le prix correspondant peut être déterminé en fonction de la taxe carbone fixée par le gouvernement du Canada. Il est important de noter que le Québec dispose de sa propre politique de gestion des GES, utilisant un système de plafonnement et d'échange des droits d'émission de GES (Gouvernement du Québec, 2024). Le tableau 8 présente les résultats de l'analyse économique pour les deux entreprises qui exploitent les algues échouées.

Tableau 8 : Analyse économique pour les deux entreprises qui exploitent les algues échouées

Scénario	Quantité récoltée (tonnes)	VAN (\$)	RCB (\$)	ROI (%)
Pessimiste	7 000	8 337 519	1,69	80,84
Normal	11 000	16 042 331	2,09	118,42
Optimiste	15 000	24 018 561	2,29	143,86

En intégrant les coûts externes associés à la mise en œuvre du projet d'exploitation des algues échouées, notamment ceux liés à la pollution, on observe une diminution des différents indicateurs financiers. Toutefois, malgré cette prise en compte des externalités environnementales, les résultats montrent que le projet reste économiquement viable dans tous les scénarios.

La valeur actuelle nette est comprise entre 8 millions de dollars et 25 millions de dollars. Cette fourchette indique que, malgré les dépenses supplémentaires engendrées par les effets négatifs sur l'environnement, le projet continue à générer des bénéfices significatifs au-delà des investissements initiaux.

Le ratio coût-bénéfice varie entre 1 et 3, ce qui signifie que pour chaque dollar investi, le retour est compris entre 1 et 3 dollars. Bien que ce ratio soit légèrement impacté par les coûts de compensation environnementale, il reste largement supérieur à 1, soulignant ainsi la viabilité économique du projet.

Le retour sur investissement se situe entre 80 % et 150 %, reflétant une rentabilité positive après déduction des coûts externes liés à la pollution. Ce taux de rentabilité démontre que le projet génère des rendements attractifs pour les investisseurs. Afin d'évaluer la sensibilité des indicateurs de rentabilité du projet face à la variation d'un ou deux paramètres clés, une analyse de sensibilité sera effectuée dans la section suivante.

4.3 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Sur la base des résultats obtenus précédemment, il a été démontré que le projet est financièrement et économiquement viable lorsqu'il repose sur l'exploitation des algues échouées par deux entreprises du Bas-Saint-Laurent. Cette analyse de sensibilité adoptera deux approches distinctes :

- La première approche évaluera la rentabilité du projet en considérant un scénario où cinq entreprises exploitent les algues échouées et offrent le même produit. Cette situation de marché en oligopole sera détaillée dans la section 4.3.1.

- La seconde approche examinera la rentabilité du projet dans un contexte où une seule entreprise exploite les algues échouées. Il est important de mentionner que les coûts fixes pour la mise sur pied de cette industrie de valorisation des algues échouées peuvent être accessibles par n'importe quelles entreprises désirant investir dans ce projet. La situation de marché dans ce contexte est qualifiée de monopole non naturel, car les coûts fixes sont raisonnables et donnent accès à n'importe quelle entreprise désirant réaliser le projet. Cette configuration sera explorée dans la section 4.3.2.

Ces deux approches permettront d'observer comment les indicateurs de rentabilité se comportent en fonction des variations de la structure du marché.

4.3.1 Situation d'oligopole

Dans les scénarios normal, pessimiste et optimiste, où cinq entreprises du Bas-Saint-Laurent exploitent les algues échouées, la VAN reste positive et le ROI dépasse 20 %, indiquant la viabilité financière et économique du projet, comme le montrent les tableaux 9 et 10. Bien que chaque entreprise récolte moins d'algues, les coûts fixes restent les mêmes. Les coûts variables, notamment liés à la main-d'œuvre sont ajustés à la baisse ainsi que le temps nécessaire pour la transformation des algues échouées. Le temps de transformation dépend de la capacité des équipements et de la quantité d'algues récoltée. Pour chaque dollar investi, le projet rapporte plus d'un dollar dans les différents scénarios des analyses financière

et économique. Dans les scénarios normal, pessimistes et optimiste, bien que la VAN et le ROI demeurent positifs, ils sont inférieurs par rapport aux résultats obtenus dans les tableaux 6 et 7.

Tableau 9: Analyse financière pour les cinq entreprises qui exploitent les algues échouées

Scénario	Quantité récoltée (tonnes)	VAN (\$)	RCB (\$)	ROI (%)
Pessimiste	3 080	1 109 449	1,25	25,48
Normal	4 400	3 780 632	1,59	58,52
Optimiste	6 000	6 967 977	1,88	88,44

Tableau 10: Analyse économique pour les cinq entreprises qui exploitent les algues échouées

Scénario	Quantité récoltée (tonnes)	VAN (\$)	RCB (\$)	ROI (%)
Pessimiste	3 080	868 541	1,21	21,01
Normal	4 400	3 347 434	1,50	49,71
Optimiste	6 000	6 358 064	1,76	75,75

4.3.2 Situation de monopole

Dans les scénarios pessimiste, normal et optimiste, où une seule entreprise au Bas-Saint-Laurent exploite les algues échouées, la VAN financière et économique reste positive, et le ROI dépasse 100 %. Pour chaque dollar investi, plus d'un dollar de profit est généré, tant sur le plan financier qu'économique. Ces résultats, illustrés par les tableaux 11 et 12, démontrent clairement la rentabilité du projet. Lorsque l'exploitation est réalisée par une seule entreprise, les bénéfices augmentent de façon significative. Cette forte amélioration des indicateurs de rentabilité dans un contexte de monopole s'explique principalement par la

capacité de l'entreprise à traiter un volume d'algues bien plus important. Dans cette configuration, les coûts fixes demeurent inchangés, mais les coûts variables notamment la main-d'œuvre productive est ajustée à la hausse ainsi que le temps nécessaire à la transformation des algues. En l'absence de concurrence, l'entreprise monopolistique est en mesure d'optimiser ses revenus en récoltant une plus grande part de la ressource.

Tableau 11: Analyse financière pour une entreprise qui exploite les algues échouées

Scénario	Quantité récoltée (tonnes)	VAN (\$)	RCB (\$)	ROI (%)
Pessimiste	15 400	23 275 560	2,74	173,73
Normal	22 000	34 777 617	2,93	193,48
Optimiste	30 000	49 774 229	3,51	239,40

Tableau 12: Analyse économique pour une entreprise qui exploite les algues échouées.

Scénario	Quantité récoltée (tonnes)	VAN (\$)	RCB (\$)	ROI (%)
Pessimiste	15 400	22 999 066	2,68	168,29
Normal	22 000	34 240 755	2,85	185,05
Optimiste	30 000	48 954 546	3,04	203,88

4.4 LIMITES DE L'ÉTUDE

Il est important de mentionner quelques limites de cette analyse. La première limite est liée au fait que les quantités réelles des algues échouées au Bas-Saint-Laurent année après année ne sont pas connues. Cette information est en cours de compilation par une équipe de l'UQAR dans le cadre d'un projet dénommé « WRACK ». La deuxième limite est l'exactitude des prix considérés dans l'ACB. Étant donné que les prix sont fluctuants et que

la situation économique est facilement changeante, cela peut fortement influencer l'analyse des coûts et remettre en question les signes positifs issus de cette étude. La dernière limite fait référence au caractère aléatoire des échouages des algues qui sont essentiellement tributaires des événements climatiques. La possibilité de bâtir une entreprise dont la disponibilité de la matière première est aléatoire vient augmenter les risques de perte encourus par ladite entreprise.

4.5 RECOMMANDATION

Cette première analyse économique de la valorisation des algues échouées au Bas-Saint-Laurent a permis de montrer de façon générale les revenus découlant de la commercialisation des produits faits à base d'algues échouées à partir d'un investissement spécifique. Dans l'optique de rendre cette analyse plus précise et plus proche de la réalité du marché des algues, il conviendrait de prendre en compte les volumes d'algues d'échouage réellement disponibles dans le Bas-Saint-Laurent ; la variabilité des sites et des périodes d'échouages. Ultérieurement, à la suite des travaux de recherche en cours, ces informations seront disponibles, elles pourront alors être intégrées dans l'analyse pour affiner les conclusions de la présente étude. Un programme Excel a été créé afin de faciliter la mise à jour des indicateurs financiers et économiques advenant une mise à jour des quantités d'algues échouées ou des prix.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de cette étude a porté sur la possibilité de valoriser les macro-algues échouées au Bas-Saint-Laurent. Dans un premier temps, il a été discuté de l'importance des algues marines qui constituent une composante essentielle pour les écosystèmes marins, notamment leur rôle dans l'absorption des nutriments et leur fonction de niche écologique. Cependant contrairement aux régions où les échouages de masse, tel que les sargasses dans les Caraïbes ou les ulves en Bretagne et en Chine causent des problèmes environnementaux, économiques et sanitaires, les échouages au Québec restent pour l'instant un phénomène naturel et saisonnier de petite ampleur. L'exploitation des algues échouées est complexe en raison de l'imprévisibilité des échouages et des besoins en équipements spécifiques, tels que des engins de prélèvement et des séchoirs. Cette étude vise à évaluer la rentabilité économique de l'exploitation des algues échouées au Bas-Saint-Laurent. Les coûts d'investissement, d'opération, et de compensation pour les effets externes ont été estimés, ainsi que les revenus potentiels issus de la transformation des algues en granules. L'analyse principale a été réalisée dans le contexte d'un marché de duopole impliquant deux entreprises qui exploitent les algues échouées et une analyse secondaire ou analyse de sensibilité qui évalue dans un premier temps la rentabilité du projet dans un marché où cinq entreprises se partagent les algues échouées et ensuite dans le cas où une seule entreprise exploite la totalité de la ressource. La méthodologie employée est l'analyse coût-bénéfice, un outil d'aide à la décision qui évalue les coûts et les avantages pour la société d'un projet, programme ou réglementation. Les résultats indiquent que la transformation des algues échouées en granules est rentable dans la totalité des scénarios évalués. Cette étude souligne les opportunités économiques qu'offre la valorisation des algues échouées au Bas-Saint-Laurent. Dans des scénarios autres que le cas extrême de concurrence élevée, l'activité présente des perspectives lucratives, démontrant que, sous des conditions de marché plus favorables, l'exploitation de cette ressource naturelle peut contribuer de manière significative à la croissance économique de la région.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abécassis, G. C. D. (2014). Gestion de projet-calculs des coûts. Université de Lorraine, 11.
- ACTeon, Ecodecision, Eco Logique Conseil, et Contrechamp. (2017). Eclairer les dimensions sociales et économiques de la gestion de l'eau du bassin Loire-Bretagne : mettre en pratique des analyses économiques de la gestion de l'eau à l'échelle des territoires. Économie Eaufrance. <https://economie.eaufrance.fr/eclairer-les-dimensions-sociales-et-economiques-de-la-gestion-de-leau-du-bassin-loire-bretagne-0>
- Agence de la transition écologique, ADEME. (2020). Stockage, prétraitement et valorisation L'ADEME en Guadeloupe. <https://guadeloupe.ademe.fr/expertises/algues-sargasses/stockage-pretraitement-et-valorisation>
- Agence de la transition écologique, ADEME. (2022). Dispositifs de collecte des sargasses. <https://guadeloupe.ademe.fr/sites/default/files/dispositifs-collecte-sargasses-decembre-2022.pdf>
- Agence du revenu du Canada. (2004a). Catégories de biens amortissables [descriptions de services]. <https://www.canada.ca/fr/agencerevenu/services/impot/entreprises/sujets/entreprise-individuelle-societe-personnes/declarer-vos-revenus-depenses-entreprise/reclamer-deduction-amortissement/categories-biens-amortissables.html>
- Agence du revenu du Canada. (2004b). Catégories de biens amortissables [descriptions de services]. <https://www.canada.ca/fr/agence-revenu/services/impot/entreprises/sujets/entreprise-individuelle-societe-personnes/declarer-vos-revenus-depenses-entreprise/reclamer-deduction-amortissement/categories-biens-amortissables.html>
- Agence du revenu du Canada. (2004c). Renseignements de base sur la déduction pour amortissement (DPA) [descriptions de services]. <https://www.canada.ca/fr/agence-revenu/services/impot/entreprises/sujets/entreprise-individuelle-societe-personnes/declarer-vos-revenus-depenses-entreprise/reclamer-deduction-amortissement/renseignements-base-deduction-amortissement.html>
- Alcimed. (2023). Un océan d'opportunités autour de l'utilisation des algues pour les industriels. Alcimed. <https://www.alcimed.com/fr/les-articles-d-alcim/utilisation-algues-industrie/>

- Berger, Y., Conde, J., Hubert, C., Rathouis, P., et Roussel, F. (2015). Evaluation du volet préventif du plan 2010-2015 de lutte contre les algues vertes en Bretagne. Ministère de l'écologie, ministère de l'Agriculture. <https://www.actuenvironnement.com/media/pdf/news-24858-rapport-algues-vertes.pdf>.
- Bernic, D., Rioux, C., Côté, C., Buissières, G. et Benyagoub, M. (2021). Étude Économique sur la Chaîne de Valeur des Macroalgues au Québec. CRIBIQ. https://cribiq.qc.ca/content/file/filemanager/Nouvelles/%C3%89tude_Macroalgues_publication.pdf
- Bey, D. (2023). Analyse économique du projet : une étape-clé de la gestion de projet. Pairform. <https://www.pairform.fr/gestion-de-projet-analyse-economique-du-projet.html>
- Biocean. (2023). Production d'algues marines artisanale en Bretagne. BIOCEAN | BIOCEAN, ROSCOFF. <https://www.biocean-algues-marines.com/production-algues-bretagne.php>
- Boudia, S. (1945). Gouverner par les instruments économiques. La trajectoire de l'analyse coût-bénéfice dans l'action publique. Le gouvernement des technosciences. Gouverner le progrès et ses dégâts depuis, 231-259.
- Bouvier, E. (2020). Mise en valeur des résidus d'algues sargassum en contexte d'échouage massif dans les Antilles. Université de Sherbrooke.
- Bureau, D. (2018). Applicabilité de l'analyse coûts-bénéfices en santé et environnement. Environnement, Risques & Santé, 17(4), 368-372.
- Camille. (2021). Le marché des algues : un secteur d'innovation pour les marques food. Pepswork. <https://pepswork.com/2021/05/04/le-marche-des-algues-un-secteur-dinnovation-pour-les-marques-food/>
- Cartier, S et Poirier, M. (2020a). Valorisation et evaluation de la qualité de la biomasse algale derivante dans l'estuaire et le Golfe du Saint Laurent. <https://tmq.ca/wp-content/uploads/2022/02/RAPPOR1.pdf>
- Chabot, R et Rossignol, A. 2003. Algues et faune du littoral du Saint-Laurent maritime : Guide d'identification. Institut des sciences de la mer de Rimouski, Rimouski; Pêches et Océans Canada (Institut Maurice-Lamontagne), Mont-Joli. 113 pages..
- Changzhou KODI Machinery Co., Ltd. (2023). Sécheur à bande d'algues China Cottonii DW - Produits - Changzhou KODI Machinery Co., Ltd. <http://m.fr.chinaspraydryer.com/cottonii-seaweed-belt-dryer-dw>

- Côté-Laurin, M. C., Berger, K., et Tamigneaux, É. (2016). Manuel pour la Récolte Commerciale des Macroalgues du Québec. Merinov: Grande-Rivière, QC, Canada.
- Coulibaly, L. P. (2023). Implantation de la téléadaptation comme modalité novatrice de suivi à la clinique externe de physiothérapie : Analyse coût-utilité et identification des caractéristiques les plus importantes pour les usagers en liste d'attente.
- Crochard-Lacour, A. et LeLorier, J. (2018). Les différents types d'évaluation. Dans Introduction à la pharmacoeconomie (p. 43-62). Presses de l'Université de Montréal. <https://doi.org/10.4000/books.pum.14349>
- Crane, C., et Ramsay, A. (2011). Sea lettuce harvest pilot project report. PEI Department of Environment, Labour and Justice and PEI Department of Fisheries. Aquaculture and Rural Development.
- Demarets, L. (2020). Échouages de sargasses dans les Antilles Françaises : Analyse Socio-Environnementale et recommandations quant à la gestion du phénomène. Université de Sherbrooke.
- Desrochers, A., Cox, S.-A., Oxenford, H. A. et Tussenbroek, B. van. (2020). guide valorisation sargasses: Une ressource pour les chercheurs, les entrepreneurs et les responsables politiques des caraïbes.
- Direction des services législatifs. (2019, 28 août). Lois codifiées, Loi sur les pêches. <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/F-14/page-8.html#h-225975>
- Direction des services législatifs. (2022, 27 septembre). Lois codifiées, Règlement de pêche de l'Atlantique de 1985. <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-86-21/page-7.html#h-880676>
- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne. (2010). Plan de lutte contre les algues vertes. https://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Plan_de_lutte_contre_les_algues_vertes_cle8acd68.pdf
- Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement en Bretagne, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Conseil régional de Bretagne. (2016). Plan de lutte contre algues vertes 2017 - 2021 - Cadre général. http://www.pays-de-saintbrieuc.org/documents/FTP/214/000/007/730/7730215_1593_projet-document-cadre-PLAV2-v14nov16.pdf
- Dolique, F., Sédrati, M., et Josso, Q. (2021). Impact des laines végétales sur la dynamique des plages sableuses, Martinique, Petites Antilles. VertigO, 21(1), 1-19.

- Dupré-Gilbert, È. et Berger, K. (2018). Stratégie de développement de l'industrie des algues au Québec. Merinov; Gimxport. <https://merinov.ca/wp-content/uploads/2021/10/Merinov-Strategie-Algues.pdf>
- Ecolow. (2023). Consommation des tracteurs agricoles: calcul, coût et solutions. Ecolow®. <https://www.ecolow.fr/consommation-tracteur/>
- Eranova. (2020). Eranova, des algues pour sauvegarder la planète. Eranova. <https://eranovabioplastics.com/>
- Erdlenbruch, K., Gilbert, È., Grelot, F., & Lescoulier, C. (2008). Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre des inondations. Application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l'Orb. Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires, (53), p-3.
- FAO. (2022). La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461fr>
- Férard, E. (2019). L'origine des invasions d'algues sargasses sur les plages des Caraïbes enfin élucidée ? Geo.fr. <https://www.geo.fr/environnement/lorigine-des-invasions-dalgues-sargasses-sur-les-plages-des-caraibes-enfin-elucidee-196894>
- Fletcher, R. (2023, 21 août). The 10 most promising emerging applications for seaweed. The Fish Site. <https://thefishsite.com/articles/the-10-most-promising-emerging-applications-for-seaweed-world-bank-hatch-inovation-services>
- Florenne, T., Guerber, F., et Colas-Belcour, F. (2016). Le phénomène d'échouage des sargasses dans les Antilles et en Guyane. Rapport interministériel, ministère des Outre-Mer, Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.
- Gouvernement du Québec. (2024). Ministère des Finances du Québec | Ratio de tarification du carbone. https://www.finances.gouv.qc.ca/ministere/environnement_economie_verte/changements_climatiques/ratio_tarification_carbone.asp
- Guichet-Emplois Canada. (2024). Comptable financier/comptable financière au Canada. http://www.guichetemplois.gc.ca/explore_career/job_market_report/wage_occupation_report.xhtml
- Hamann, J. (2010). Un trésor dans le Saint-Laurent ? ULaVal Nouvelles. <https://nouvelles.ulaval.ca/2010/01/13/un-tresor-dans-le-saint-laurent-a:a666251b-1533-4a83-81ac-3ce86aee0739>

- Herald, P. K. N. (2023). Kelp dryer could allow Maine seaweed farms to triple output. Press Herald. <https://www.pressherald.com/2023/05/15/kelp-dryer-could-allow-maine-seaweed-farms-to-triple-output/>
- Hersant, G. (2015). Valorisation des huiles et des fibres d'une algue brune (*Saccharina longicuris*) pour le marché des biomatériaux. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3136.0725>
- ICI.Radio-Canada.ca. (s. d.). Les algues de l'île d'Anticosti, des trésors sous-marins. Radio-Canada.ca. <https://ici.radio-canada.ca/recit-numerique/5734/algues-ile-anticosti-carbone-sous-marins>
- Institut de Statistique du Québec. (2024). Banque de données des statistiques officielles. https://bdso.gouv.qc.ca/pls/ken/ken213_afich_tabl.page_tabl?p_iden_tran=REPER_UB61F74530947295521uwPJ&p_id_raprt=2305#tri_sal=1&tri_sexe=1
- Leblanc, M. J., & Rondeau, M. H. (2005). Projet d'évaluation du potentiel de la ressource des algues échouées en Gaspésie pour des fins d'élevage de spécialité : Phase II. Rapport final présenté à l'Union des producteurs agricoles de la Gaspésie. Cégep de la Gaspésie et des Îles, Centre collégial de transfert de technologie des pêches, Grande-Rivière, 43.
- Le Loeuff, J. (2022). Caractérisation des procédés de séchage de macroalgues brunes en vue de leur valorisation en bioraffinage (Doctoral dissertation, Université de Bretagne Sud).
- Levain, A. (2017). Hütái, une sortie de l'insignifiance. L'apparition des marées vertes en baie de Qingdao. *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, (68), 66-83.
- Lodhia, R. (2023). Analysis of Farmed Seaweed Carbon Crediting and Novel Markets to Help Decarbonize Supply Chains. *The Nature Conservancy*, 12
- López-Contreras, A. M., van der Geest, M., Deetman, B., van den Burg, S., Brust, H., et de Vrije, T. (2021). Opportunities for valorisation of pelagic *Sargassum* in the Dutch Caribbean (No. 2137). Wageningen Food & Biobased Research.
- Méral, P. (2012). Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes. *Natures Sciences Sociétés*, 20(1), 3-15. <https://doi.org/10.1051/nss/2012002>
- Meunier, V. et Marsden, E. (2009a). Analyse coût-bénéfices : guide méthodologique. Fondation pour une culture de sécurité industrielle. <https://doi.org/10.57071/492acb>

- Meunier, V. et Marsden, E. (2009b). Analyse coût-bénéfices : guide méthodologique. Fondation pour une culture de sécurité industrielle. <https://doi.org/10.57071/492acb>
- Milo Bussell. (2024, 11 avril). Ocean Harvest Technology — Harvesting the power of seaweed. Edison Group. <https://www.edisongroup.com/research/harvesting-the-power-of-seaweed/33455/>
- Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation. (2018). Plan national de prévention et de lutte contre les sargasses. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Le%20plan%20national%20de%20pr%C3%A9vention%20et%20de%20lutte%20contre%20les%20sargasses.pdf>
- Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation. (2022). Plan national de prévention et de lutte contre les sargasses. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/sites/default/files/2022-03/dossier-de-presse---plan-national-de-pr-vention-et-de-lutte-contre-les-sargasses-2022-2025-17198.pdf>
- Ministère Ecologie Energie des Territoire. (2018). Sargasse. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2018.05.04_dossier_de_presse_sargasses.pdf
- Notre-environnement (2023). Pourquoi des algues sargasses s'échouent aux Antilles ? notre-environnement. <http://www.notre-environnement.gouv.fr/actualites/breves/article/pourquoi-des-algues-sargasses-s-echouent-aux-antilles>
- Nouvelle, L. (2017). Cinq utilisations étonnantes des algues dans l'industrie. <https://www.usinenouvelle.com/article/cinq-utilisations-étonnantes-des-algues-dans-l-industrie.N1823607>
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2022). La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461fr>
- Oxenford, H. A., Cox, S. A., van Tussenbroek, B. I., & Desrochers, A. (2021). Challenges of turning the Sargassum crisis into gold: current constraints and implications for the Caribbean. *Phycology*, 1(1), 27-48.
- Pauchet, B. (2015). Les algues, un trésor caché du Québec. *Quatre-temps* ;39 (2), 5.
- Person, J. (2011). Livre turquoise : algues, filières du futur. AdebioTech.
- Pillard, S. (2016a). Mise au point sur les algues vertes : risques environnementaux et valorisations en 2016.

- Pillard, S. (2016b). Mise au point sur les algues vertes : risques environnementaux et valorisations en 2016.
- Pro Algue Marine. (2023). Farine d'algues marines mouillable. Pro-Algue Marine Inc. <https://pro-alguemarine.com/boutique/fr/biomer/farine-d-algues-marines-mouillable-prix-au-kilo-p65/>
- Rozworski, M. (2013). Introduction aux implications éthiques des évaluations économiques pour les politiques publiques favorables à la santé : Implications éthiques des évaluations économiques pour les politiques publiques favorables à la santé. desLibris.
- Rozworski, M., 2020. Méthodes d'évaluation économique : quelles sont les implications éthiques pour les politiques publiques favorables à la santé?, Institut national de santé publique du Québec. Canada.
- Sallio, R. (2020). Évaluation du potentiel des sargasses comme source de biomasse pour la production de biogaz au Quintana Roo, Mexique. https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/17645/Sallio_Robin_MEI_2020.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. (2007, 26 septembre). Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada : Propositions de réglementation [lignes directrices]. <https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/services/etablissement-rapports-depenses/ce-que-nous-faisons/guide-analyse-couts-avantages-canada-propositions-reglementation.html>
- Starky, S. (2006). La déduction pour amortissement, 7.
- Statistique, Gouvernement du Canada. (2021). Indice des prix des machines et du matériel, selon le produit, trimestriel. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1810026901>
- Statistique Canada. (2023a). Le Quotidien — Indice des prix à la consommation, octobre 2023. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/231121/dq231121a-fra.htm>
- Statistique Canada. (2023b). Le Quotidien — Indice des prix à la consommation : revue annuelle, 2022. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/230117/dq230117b-fra.htm>

- Tamigneaux, É., et Johnson, L. E. (2016). Les macroalgues du Saint-Laurent : une composante essentielle d'un écosystème marin unique et une ressource naturelle précieuse dans un contexte de changement global. *Le Naturaliste Canadien*, 140(2), 62-73.
- Treich, N. (2005). L'analyse coût-bénéfice de la prévention des risques. LERNA-INRA, Université de Toulouse.
- Treillefort, M. (2023). Structure et diversité génétique d'espèces fondatrices : un outil pour la gestion des zostères marines (*Zostera marina*) et des laminaires sucrées (*Saccharina latissima*) du St-Laurent. Université du Québec à Rimouski.
- Tremblay-Gratton, A., Tamigneaux, E., Vandenberg, G.W. Boussin, J-C.1 et Le François, N.R1,2 1Biodôme de Montréal, 2Sciences animales, ULaval, 3École des pêches et de l'aquaculture du Québec (ÉPAQ) Colloque de l'ARC dans le cadre du 84e Congrès de l'Acfas, 10 mai 2016, Montréal
- Van Hove, P., et Leraud, I. (2019). *Algues vertes, l'histoire interdite*. Delcourt.
- Vos, B., Foursoff, W., de Bruijn, L. et Bruijn, W. (2016). *COASTAL SEAWEED SOLUTIONS*, 137.
- World Bank. (2023). *Global seaweed new and emerging markets report 2023*.
- Yang, Y. (2016). Contribution à l'évaluation économique des marées vertes (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest).
- Young, C. (2022). Guide technique de l'Indice des prix des machines et du matériel.

ANNEXES

Tableau 13 : Liste des coûts variables scénario normal – 2 entreprises

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario normal (\$)	Collecte	515 625	525 938	536 456	...	604 137	616 220	628 544
	Transport	151 250	154 275	157 361	...	177 213	180 758	184 373
	Lavage et triage	52 393	53 441	54 510	...	61 387	62 614	63 867
	Séchage, broyage,	52 393	53 441	54 510	...	61 387	62 614	63 867
	Stockage	52 393	53 441	54 510	...	61 387	62 614	63 867
	Carburant	18 099	18 461	18 830	...	21 206	21 630	22 063
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	27 500	28 050	28 611	...	32 221	32 865	33 522
	Imprévus	196 329	200 255	204 260	...	230 030	234 631	239 323

Tableau 14 : Liste des coûts variables scénario normal – 5 entreprises

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario normal (\$)	Collecte	206 250	210 375	214 583	...	241 655	246 488	251 418
	Transport	60 500	61 710	62 944	...	70 885	72 303	73 749
	Lavage et triage	23 286	23 751	24 227	...	27 283	27 829	28 385
	Séchage, broyage,	23 286	23 751	24 227	...	27 283	27 829	28 385
	Stockage	23 286	23 751	24 227	...	27 283	27 829	28 385
	Carburant	6 464	6 593	6 725	...	7 574	7 725	7 880
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	11 000	11 220	11 444	...	12 888	13 146	13 409
	Imprévus	111 132	113 355	115 622	...	130 209	132 814	135 470

Tableau 15 : Liste des coûts variables scénario normal – 1 entreprise

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario normal (\$)	Collecte	1 031 250	1 051 875	1 072 913	...	1 208 274	1 232 439	1 257 088
	Transport	302 500	308 550	314 721	...	354 427	361 516	368 746
	Lavage et triage	139 715	142 509	145 359	...	163 698	166 972	170 311
	Séchage, broyage,	139 715	142 509	145 359	...	163 698	166 972	170 311
	Stockage	139 715	142 509	145 359	...	163 698	166 972	170 311
	Carburant	35 552	36 263	36 988	...	41 655	42 488	43 338
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	55 000	56 100	57 222	...	64 441	65 730	67 045
	Imprévus	334 539	341 229	348 054	...	391 965	399 805	407 801

Tableau 16 : Liste des coûts variables scénario pessimiste – 2 entreprises

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario pessimiste (\$)	Collecte	328 125	334 688	341 381	...	384 451	392 140	399 983
	Transport	96 250	98 175	100 139	...	112 772	115 028	117 328
	Lavage et triage	23 286	23 751	24 227	...	27 283	27 829	28 385
	Séchage, broyage,	23 286	23 751	24 227	...	27 283	27 829	28 385
	Stockage	23 286	23 751	24 227	...	27 283	27 829	28 385
	Carburant	11 635	11 868	12 105	...	13 632	13 905	14 183
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	17 500	17 850	18 207	...	20 504	20 914	21 332
	Imprévus	147 005	149 946	152 944	...	172 240	175 685	179 199

Tableau 17 : Liste des coûts variables scénario pessimiste – 5 entreprises

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario pessimiste (\$)	Collecte	144 375	147 263	150 208	...	169 158	172 541	175 992
	Transport	42 350	43 197	44 061	...	49 620	50 612	51 624
	Lavage et triage	17 464	17 814	18 170	...	20 462	20 871	21 289
	Séchage, broyage,	17 464	17 814	18 170	...	20 462	20 871	21 289
	Stockage	17 464	17 814	18 170	...	20 462	20 871	21 289
	Carburant	5 171	5 275	5 380	...	6 059	6 180	6 304
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	7 700	7 854	8 011	...	9 022	9 202	9 386
	Imprévus	95 820	97 736	99 691	...	112 269	114 514	116 804

Tableau 18 : Liste des coûts variables scénario pessimiste – 1 entreprise

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario pessimiste (\$)	Collecte	721 875	736 313	751 039	...	845 792	862 707	879 962
	Transport	211 750	215 985	220 305	...	248 099	253 061	258 122
	Lavage et triage	90 232	92 037	93 878	...	105 722	107 836	109 993
	Séchage, broyage,	90 232	92 037	93 878	...	105 722	107 836	109 993
	Stockage	90 232	92 037	93 878	...	105 722	107 836	109 993
	Carburant	25 856	26 373	26 901	...	30 294	30 900	31 518
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	38 500	39 270	40 055	...	45 109	46 011	46 931
	Imprévus	248 323	253 290	258 356	...	106 574	108 705	110 879

Tableau 19 : Liste des coûts variables scénario optimiste – 2 entreprises

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario optimiste (\$)	Collecte	703 125	717 188	731 531	...	823 823	840 299	857 105
	Transport	206 250	210 375	214 583	...	241 655	246 488	251 418
	Lavage et triage	96 054	97 975	99 934	...	112 542	114 793	117 089 \$
	Séchage, broyage,	96 054	97 975	99 934	...	112 542	114 793	117 089
	Stockage	96 054	97 975	99 934	...	112 542	114 793	117 089
	Carburant	24 563	25 054	25 556	...	28 780	29 355	29 942
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	37 500	38 250	39 015	...	43 937	44 816	45 712
	Imprévus	246 962	251 901	256 939	...	289 355	295 142	301 045

Tableau 20 : Liste des coûts variables scénario optimiste – 5 entreprises

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario optimiste (\$)	Collecte	281 250	286 875	292 613	...	329 529	336 120	342 842
	Transport	82 500	84 150	85 833	...	96 662	98 595	100 567
	Lavage et triage	32 018	32 658	33 311	...	37 514	38 264	39 030
	Séchage, broyage,	32 018	32 658	33 311	...	37 514	38 264	39 030
	Stockage	32 018	32 65	33 311	...	37 514	38 26	39 030
	Carburant	9 050	9 231	9 415	...	10 603	10 815	11 031
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	15 000	15 300	15 606	...	17 575	17 926	18 285
	Imprévus	130 600	133 212	135 876	...	153 018	156 079	159 200

Tableau 21 : Liste des coûts variables scénario optimiste – 1 entreprise

	Activités	ANNÉES						
		N	N+1	N+2	...	N+8	N+9	N+10
Scénario optimiste (\$)	Collecte	1 406 250	1 434 375	1 463 063	...	1 647 646	1 680 599	1 714 211
	Transport	412 500	420 750	429 165	...	483 309	492 976	502 835
	Lavage et triage	192 108	195 950	199 869	...	225 085	229 586	234 178
	Séchage, broyage,	192 108	195 950	199 869	...	225 085	229 586	234 178
	Stockage	192 108	195 950	199 869	...	225 085	229 586	234 178
	Carburant	49 126	50 109	51 111	...	57 559	58 711	59 885
	Gaz naturel	49 302	50 288	51 294	...	57 766	58 921	60 099
	Électricité	188 325	192 092	195 933	...	220 653	225 066	229 567
	Agent ressource humaine	66 528	67 859	69 216	...	77 948	79 507	81 097
	Comptable	82 656	84 309	85 995	...	96 845	98 782	100 757
	Bâche de stockage	75 000	76 500	78 030	...	87 874	89 632	91 425
	Imprévus	435 902	444 620	453 512	...	510 728	520 943	531 362

Tableau 22 : Liste des revenus – 2 entreprises

Scénario	Quantité	ANNÉES						
		N+1	N+2	N+3	...	N+8	N+9	N+10
Pessimiste	700	2 677 990	2 704 770	2 731 818	...	2 871 168	2 899 879	2 928 878
Normal	1100	4 208 270	4 250 353	4 292 856	...	4 511 835	4 556 953	4 602 523
Optimiste	1500	5 738 550	5 853 321	5 911 854	...	6 213 418	6 275 552	6 338 308

Tableau 23 : Liste des revenus – 5 entreprises

Scénario	Quantité	ANNÉES						
		N+1	N+2	N+3	...	N+8	N+9	N+10
Pessimiste	308	1 178 316	1 190 099	1 202 000	...	1 263 314	1 275 947	1 288 706
Normal	440	1 683 308	1 700 141	1 717 142	...	1 804 734	1 822 781	1 81 009
Optimiste	600	2 295 420	2 318 374	2 341 558	...	2 461 001	2 485 611	2 510 467

Tableau 24 : Liste des revenus – 1 entreprise

Scénario	Quantité	ANNÉES						
		N+1	N+2	N+3	...	N+8	N+9	N+10
Pessimiste	1540	5 891 578	5 950 494	6 009 999	...	6 316 569	6 379 735	6 443 532
Normal	2200	8 416 540	8 500 705	8 585 712	...	9 023 670	9 113 907	9 205 046
Optimiste	3000	11 477 100	11 706 642	11 823 708	...	12 426 836	12 551 105	12 676 616

