



# Projet SNOTRA

« Sargasses de NOrmandie : valorisaTion d'une Ressource Algale »

2017 – 2019

*Avec le concours financier de l'Union européenne : Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche (FEAMP)*

## Financement :

- Union Européenne (FEAMP)
- Etat Français (FEAMP)
- Région Normandie (FEAMP)
- Conseil Départemental de la Manche



## Partenariat Technique :

- Synergie Mer Et Littoral
- Comité Régional de la Conchyliculture Normandie / Mer du Nord
- Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de Normandie
- Société ALGAIA
- Station d'Expérimentation et de Développement Légumière de Normandie





### L'équipe du projet SNOTRA

Coralie Delaunay, Sébastien Pien, Suzy Moal, SMEL Synergie Mer Et Littoral (Blainville Sur Mer)

Manuel Savary, Jean-Marc Jacquette, Sandrine Corbet, Comité Régional de la Conchyliculture Normandie Mer du Nord (Gouville sur Mer)

Xavier Tétard, Marc Delahaye, Comité Régional des Pêches Maritimes de Normandie (Port-en-Bessin)

Marine Dehail, Jérémy Brebion, Benoit Queguineur, Franck Hennequart, ALGAIA (Saint Lô)

Pauline Bouteaux, Noémie Desmouceaux, Aurélie Scoarnec, Jacques Dubois SILEBAN (Barfleur)

### Rédaction :

Coralie Delaunay, Sébastien Pien, Stéphanie Pétinay, SMEL Synergie MER et Littoral (Blainville Sur Mer)

Manuel Savary, Jean-Marc Jacquette, Comité Régional de la Conchyliculture Normandie Mer du Nord (Gouville sur Mer)

Xavier Tétard, Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Maritimes de Normandie (Port-en-Bessin)

Marine Dehail, Franck Hennequart, Jérémy Brebion, Benoit Queguineur ALGAIA (Saint Lô)

Pauline Bouteaux, Noémie Desmouceaux, SILEBAN (Barfleur)

### Pour citer ce document

Delaunay, C.<sup>1</sup>, Bouteaux, P.<sup>5</sup>, Dehail, M.<sup>4</sup>, Savary, M.<sup>2</sup>, Tétard, X.<sup>3</sup>, Pien, S.<sup>1</sup>, Projet SNOTRA « Sargasses de Normandie : valorisation d'une Ressource Algale » : 2017 – 2019. 172p.

<sup>1</sup> SMEL, Blainville-sur-Mer

<sup>2</sup> CRC NMDN, Gouville-sur-Mer

<sup>3</sup>. CRPMEMN, Cherbourg

<sup>4</sup>. ALGAIA, Saint Lô

<sup>5</sup>. SILEBAN, Barfleur

### Remerciements :

L'équipe SNOTRA tient à remercier tous les collaborateurs de chaque structure qui ont participé aux travaux autour de ce projet, aux représentants de l'Etat qui ont participé à la réflexion (DDTM, DIRM, DREAL), aux financeurs (Europe, Etat et région Normandie), et aux pêcheurs qui ont participé aux récoltes expérimentales.





## Table des matières

CH I. INTRODUCTION .....	9
I.1. Contexte historique de la propagation de la sargasse japonaise et gênes occasionnées.....	9
I.2. Problématiques actuelles en Normandie .....	10
I.3.    Vers une exploitation de l'algue <i>Sargassum muticum</i> en Normandie.....	14
I.3.1. Le projet SARGASSES. ....	14
I.3.2. Le projet SNOTRA.....	15
CH II. DÉVELOPPEMENT D'UNE ACTIVITÉ DE PÊCHE DES SARGASSES (WP1 - 1 <sup>ère</sup> PARTIE) .....	19
1. Réglementation pour exercer une activité de pêche de la sargasse .....	19
II.1.1. Autorisations expérimentales. ....	19
II.1.2. Autorisations d'exploitation professionnelles. ....	19
II.1.3    Application sur la sargasse en Normandie. ....	23
II.2. L'acceptation d'une activité nouvelle sur le territoire. ....	23
II.2.1. Introduction .....	23
II.2.2 Communication vers les communes les plus impactées par la problématique sargasses. ....	24
II.2.3. Communication vers les professionnels. ....	25
II.2.4. Communication vers les acteurs du territoire.....	25
CH III. ETUDE DE LA VARIATION DES APPORTS EN SARGASSES EN VUE D'UNE EXPLOITATION (WP2).....	27
III.1.    L'algue <i>Sargassum muticum</i> . ....	27
III.1.1. Classification.....	27
III.1.2. Morphologie.....	27
III.1.3. Biologie.....	29
III.1.4. Ecologie .....	30
III.2. Dynamique de croissance.....	31
III.2.1. Matériel et méthode .....	31
III.2.2. Résultats et discussion .....	35
III.3. Dynamique d'échouage.....	53
III.3.1. Contexte .....	53
III.3.2. Matériel et méthode .....	54
III.3.3. Résultats et discussion .....	55
III.4. Biomasse disponible.....	56
III.4.1. Matériel et méthode .....	56

III.4.2. Résultats et discussion .....	59
III.5. Présence de la sargasse en Normandie .....	61
III.5.1. Matériel et méthode .....	61
III.5.2. Résultats et discussion .....	62
CH IV. DÉVELOPPEMENT DES TECHNIQUES DE PECHES (WP3) .....	79
IV.1. Le contexte général en Normandie. ....	79
IV.2. Matériels et méthodes .....	80
IV.2.1. La pêche manuelle. ....	80
IV.2.2. La pêche mécanisée .....	81
IV.3. Résultats .....	82
IV.3.1. La pêche manuelle .....	82
IV.3.2. La pêche mécanisée. ....	83
IV.4. Conclusions et discussion. ....	84
CH V. RETOUR SUR LA REGLEMENTATION APPLICABLE AUX SARGASSES (WP1 – Snde partie)..	87
V.1. Généralités.....	87
V.2. La sargasse dans le contexte du code rural et de la pêche maritime.....	87
V.3. Spécificités régionales à apporter pour la récolte de sargasse.....	88
V.3.1. Pour le goémon de rive.....	89
V.3.2. Pour le goémon d'échouages. ....	90
V.3.3. Pour les algues poussant en mer.....	90
V.3.5. Algues poussant en concessions conchylicoles.....	90
V.4. Conclusions. ....	90
CH VI. SUIVI ANALYTIQUE ET DÉVELOPPEMENT DU PROCÉDÉ DE TRANSFORMATION (WP4). 92	
VI.1. Suivi spatio-temporel de la composition saisonnière.....	92
VI.2 Comparaisons interannuelles et intra-annuelle (2017 – 2019).....	96
IV.3. Comparaison inter-sites (2017 – 2019).....	99
VI.4. Développement et optimisation des procédés d'extraction et de transformation.....	102
VI.4.1. Premier plan d'expérience : .....	103
CH VII. VALORISATION DES EXTRAITS (WP5) .....	129
VII.1. Contexte et objectifs .....	129
VII.2. Matériel et méthodes.....	131
VII.2.1. Tests de germination .....	131
VII.3. Résultats et discussion .....	137

VII.3.1.	Tests de germination .....	137
VII.3.2.	Tests de sélectivité en conditions semi-contrôlées.....	140
VII.3.3.	Essais en plein champ .....	143
VII.3.2.	Tests en soufflerie de stabilisation du sol par l'application d'alginate .....	155
VII.4.	Conclusion générale.....	157
CH VIII	MISE EN PLACE DE LA FILIERE EN NORMANDIE (WP6).....	158
VIII.1.	Les différents domaines de valorisations des algues.....	158
VIII.2.	Un modèle de valorisation pour la sargasse. ....	159
VIII.3.	La biomasse exploitable en sargasses. ....	160
VIII.4.	Les prémices d'une filière autour de la sargasse .....	161
TABLES DES TABLEAUX .....		163
TABLE DES FIGURES .....		165
ANNEXES.....		168



## CH I. INTRODUCTION

---

### I.1. Contexte historique de la propagation de la sargasse japonaise et gênes occasionnées.

L'algue *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt, 1955, communément appelée « sargasse » ou « sargasse japonaise » est une algue brune originaire du pacifique Nord-Ouest (Japon principalement) où elle forme des peuplements très localisés et peu denses.

Transportée sous forme de spores au sein d'huîtres japonaises *Magallana gigas*, destinées à la conchyliculture, elle s'est implantée dans deux autres parties du globe :

- sur la côte pacifique de l'Amérique du Nord, du sud-est de l'Alaska à la Basse Californie sud du Mexique, suite à une première introduction dans les années 1940 en Colombie-Britannique au Canada ;
- sur la côte atlantique de l'Europe, de la Norvège jusqu'en Espagne et ponctuellement en mer Méditerranée, suite à une seconde introduction majeure dans les années 1970 en mer de Manche à l'île de Wight en Angleterre (Critchley et al. 1983, Engelen et al. 2015 ; Figure 1).

Une fois introduite en Europe, la sargasse japonaise s'est rapidement développée le long des côtes grâce à ses grandes capacités d'adaptation (croissance rapide, fixation sur tout support, ... ) et aux conditions abiotiques propices à la colonisation sur les substrats libres, ou à une entrée en compétition avec certaines communautés d'algues intertidales (dans certaines zones la propagation de la sargasse a entraîné la diminution progressive en diversité et taille des algues natives, telles que pour *Laminaria digitata* et *Laminaria saccharina* sur la côte du Calvados, (Givernaud et al. 1991, Cosson 1999). Outre les conséquences écologiques, certaines activités humaines côtières ont également été touchées : obstruction des zones portuaires et des secteurs à nombreux chenaux (dans le golfe du Morbihan et le fier d'Ars à l'île de Ré, dans les ports de Grandcamp-Maisy et Granville), encombrement des engins et du matériel de pêche professionnels (lignes, casiers à filets, bouées...), encombrement du matériel et des parcs conchylicoles (tels que pour les parcs mytilicoles du Cotentin), entrave à la navigation, etc. (Belsher et Boyen 1983, Jupin 1989, Belsher 1991, Givernaud et al. 1991).



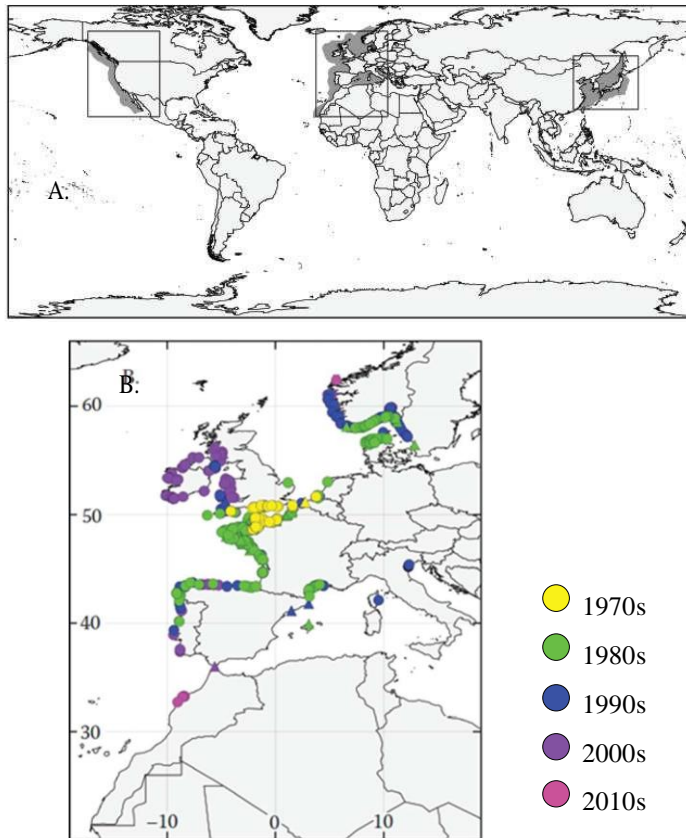


Figure 1 : Distribution géographique de l'algue *Sargassum muticum* dans sa région native au Japon et dans ses régions d'introduction en Amérique du Nord et en Europe (A). Etapes de propagation de la sargasse japonaise par décennie en Europe (B). (Engelen et al. 2015)

La sargasse japonaise est donc considérée comme une « espèce exotique envahissante » (Directive Cadre de la Stratégie pour le Milieu Marin, Descripteur 2).

En Angleterre, en Irlande et en France, différentes méthodes de lutte furent employées pour éradiquer la sargasse japonaise et lutter contre sa prolifération par arrachage manuel, mécanisé (herse sur tracteur, pelleuse, dragage par navire, aspiration...), lutte chimique (herbicides au sulfate de cuivre, hypochlorite de soude) et biologique, en vain (Belsher et Boyen 1983, Belsher 1991).

Aujourd'hui, sa phase de propagation est stabilisée. Mais du fait de sa longueur (1 à 2 mètres en moyenne, jusqu'à 12 mètres) et sa forte densité sur certains estrans, elle occasionne toujours des nuisances dans plusieurs secteurs d'activité maritime.

## I.2. Problématiques actuelles en Normandie

En Normandie, la sargasse japonaise est fortement implantée sur des zones bien localisées de la côte ouest de la Manche et du Calvados et deux problématiques locales en ressortent.

La première problématique concerne les échouages plurispécifiques d'algues sur certaines plages du Calvados (Figure 2). Les vastes platiers rocheux qui se situent en aval desdites plages sont très propices au développement des algues rouges, vertes et brunes adaptées aux zones intertidales, dont la sargasse qui s'y développe en très forte densité (Givernaud et al. 1991, Cosson 1999). Les échouages d'algues épaves occursents suites à des évènements climatiques précis (vents forts, marées à grand coefficient, courants...) ainsi que sur la période estivale (juin – septembre) lorsqu'une majorité des algues entrent dans leur phase de dégradation. La sargasse représente 18 à 33 % des algues brunes échouées (Michel 2013).

Bien que ces échouages fassent partie du cycle naturel des algues présentes, ils entraînent, quand ils sont massifs, des gênes pour les activités économiques (pêche, conchyliculture) et touristiques (gênes odorantes, visuelles, accès à la mer difficile). Pour limiter ces nuisances, des collectes mécanisées sont régulièrement menées par les communes concernées (Michel 2013).

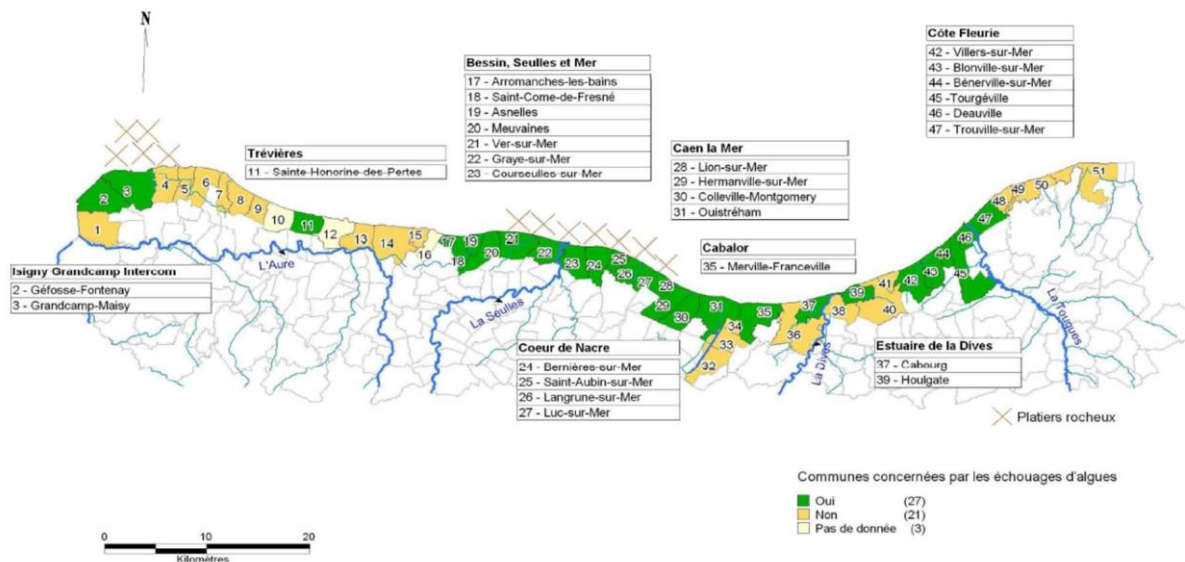
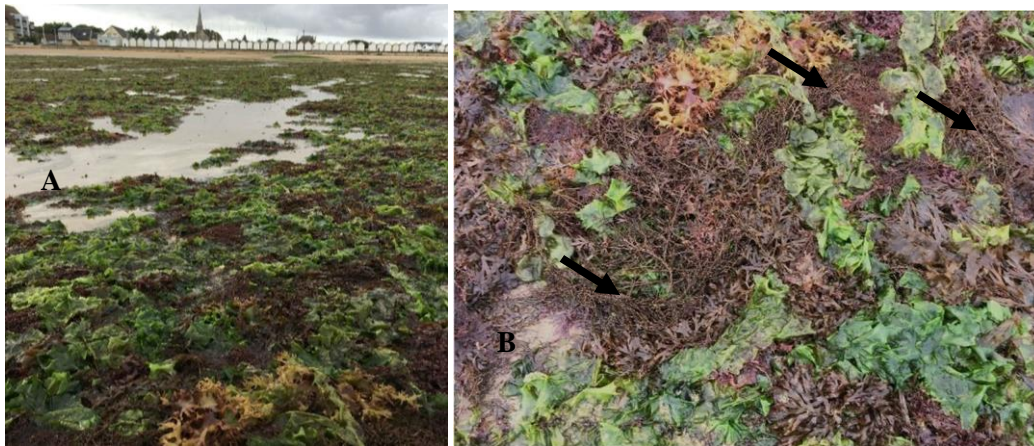


Figure 2 : Communes du littoral du Calvados concernées par les échouages d'algues. (Michel 2013)



*Figure 3 : Site de Bernières-sur-Mer (Calvados) : échouages de fin d'été-début d'automne des différentes espèces d'algues dont la sargasse sur le haut de plage (A), vue rapprochée des algues échouées, les flèches indiquent des fragments de sargasse (B) (septembre 2019)*

La seconde problématique concerne les échouages monospécifiques de sargasse sur les parcs conchylicoles de la côte ouest de la Manche, enregistrés dès le début des années 80 (Belsher et Boyen, 1983, Pien et al. 2016). Sur les zones touchées, les sargasses sont proches des parcs et poussent de manière dispersée au sein d'un substrat sableux grossier en se fixant sur des supports mobiles (galet, cailloux, coquillage...). Au printemps, lorsqu'elles atteignent une taille suffisante, certaines d'entre elles sont emportées par les courants de marées et les intempéries et dérivent entières avec leur support sur les installations conchylicoles. Ces phénomènes d'échouages sont parfois très massifs, et se répètent chaque année entre la fin du printemps au début de l'été.

Les bouchots à moules, les chantiers à naissain et les tables à huîtres sont fortement impactés par ces échouages (Figure 4). Les sargasses échouées s'enroulent autour de ces structures et s'y accumulent par paquet, engendrant différentes nuisances :

- mauvais accès à l'eau de mer, aux nutriments et à l'oxygène dissous pour les bivalves ;
- facilitation de la montée des prédateurs (crabes, bigorneaux perceurs...) sur le bas des bouchots ;
- augmentation du décrochage des petites moules sur les chantiers à naissain avec les frottements ;
- retournement des tables à huîtres par les courants ; - augmentation du temps d'entretien des structures.

Par ailleurs, une partie des sargasses dérivantes s'implantent au sein des parcs, ce qui augmente le temps d'entretien des parcs (passage de herse et barre IPN pour couper les sargasses) et peut altérer la circulation des tracteurs.



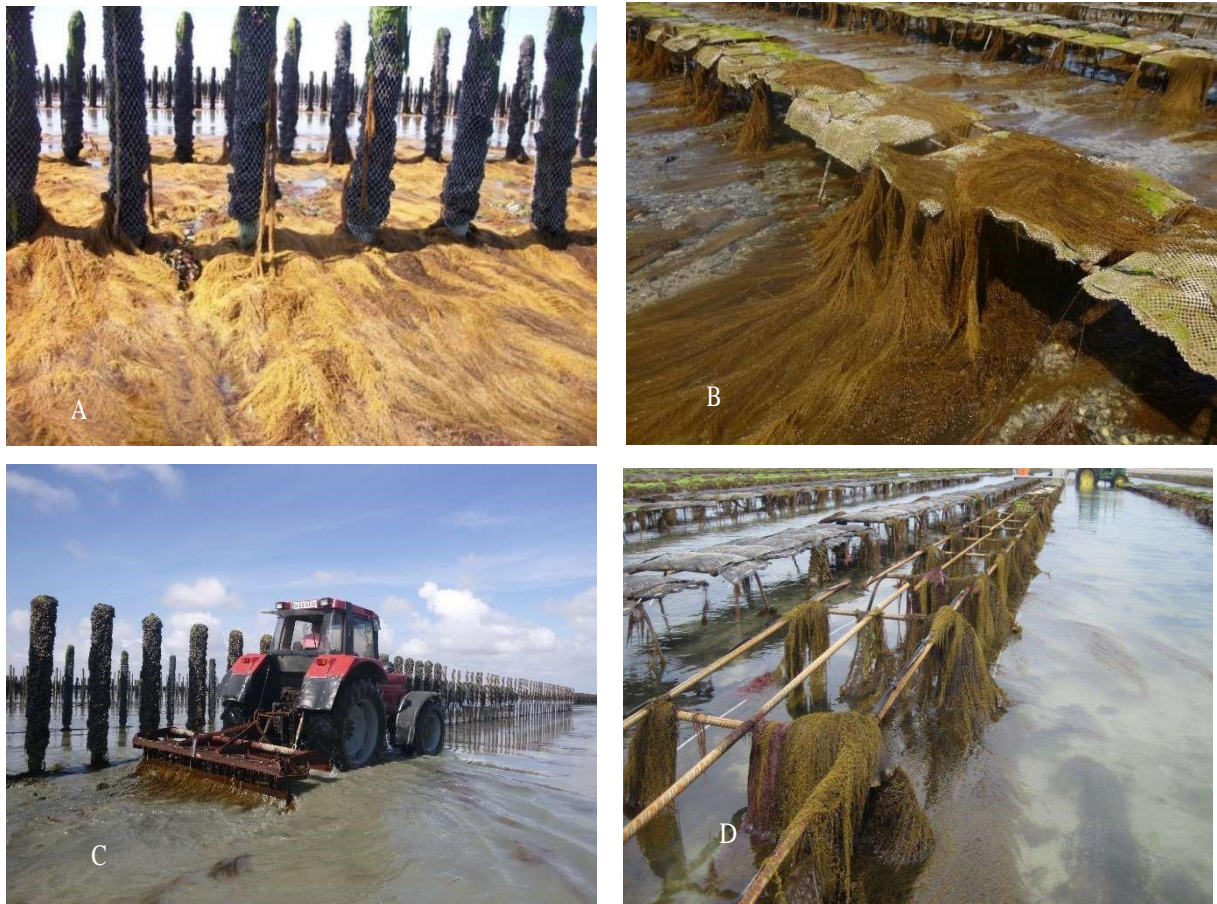


Figure 4 : Sargasses échouées aux pieds des bouchots à moules (A) et sur les tables à huîtres avec poches (B) ou vides (D), nettoyage des parcs avec une herse pour enlever les sargasses poussant au sein des parcs (C) sur les sites conchylicoles de Bricqueville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer (Manche)



Figure 5 : Barrages « sauvages » pour lutter contre les échouages printaniers de sargasse : rangée d'orins tendus entre des poteaux (A), avec des tables à huîtres retournées (B) – Sites de Bricqueville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer.

Pour contrer ces échouages répétitifs et massifs selon les années, les mytiliculteurs et ostréiculteurs de certaines zones (principalement à Donville-les-Bains, Bréville-sur-Mer, Bricqueville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer) ont

installé, le long des structures touchées, des barrages à l'aide d'orins tendus entre des poteaux ou bien en empilant et retournant des tables à huîtres (Figure 5).

Les premiers barrages ont été installés à partir de 2005. Afin de régulariser ces installations, deux demandes d'autorisation d'occupation temporaire (AOT) du domaine public maritime ont été adressées par le CRCNMdN à la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) en 2012 et 2013, sans réponse favorable.

Les interrogations soulevées furent les suivantes :

- la gestion et l'entretien des barrages ;
- le possible impact des barrages sur le milieu ;
- le devenir des sargasses accumulées en grande quantité par les barrages.

### I.3. Vers une exploitation de l'algue *Sargassum muticum* en Normandie.

#### I.3.1. Le projet SARGASSES.

Au vu de l'impact des échouages printaniers de sargasse sur les structures conchyliques et de la densité de biomasse disponible, le projet SARGASSES a été créé afin de valider l'efficacité des barrages et d'évaluer la faisabilité technique et scientifique d'une récolte de sargasse en vue d'une valorisation. Mené de 2014 à 2016 par le SMEL, le CRCNMN, le laboratoire BOREA de l'université de Caen et la société ALGANACT, ce projet a été effectué à Bricqueville-sur-Mer dans la Manche car ce site comporte un stock important de sargasse et voit sa zone mytilicole impactée chaque année par les échouages de sargasse. Les axes de recherche du projet SARGASSES furent :

- (i) BARRAGE : valider l'efficacité du barrage en tant que moyen de lutte contre les échouages printaniers de sargasse et évaluer son incidence environnementale ;
- (ii) STOCK : estimer le stock de sargasse présent et récoltable sur le site d'étude ;
- (iii) VALORISATION : analyser la composition de la sargasse, cibler les molécules d'intérêt économique, confirmer et approfondir les méthodes d'extraction industrielle et déterminer les voies de valorisation potentielles.

Les résultats<sup>1</sup> du projet SARGASSES ont été concluants.

---

<sup>1</sup> Le rapport du projet SARGASSES est accessible en ligne sur le site web du SMEL : <http://www.smel.fr/2016/12/22/les-sargasses-une-richesse-pour-la-normandie/>



- (i) Le système de barrage s'avère être un moyen de lutte efficace pour retenir les sargasses dérivantes ; l'étude environnementale menée par le GEMEL-N indique que ce système n'impacte ni la faune, ni la flore initialement présentes, seule l'accumulation des supports de fixation des sargasses (i.e. caillou, galet, coquillage) aux pieds des barrages est observée. A partir de ces résultats, les barrages ont fait l'objet d'un arrêté préfectoral d'autorisation sur 4 secteurs du littoral de la Manche (Gouville-sur-mer, Bricqueville-sur-Mer, Bréville et Donville-Les-Bains).
- (ii) Le stock au plus fort de sa croissance en fin de printemps est conséquent, avec une estimation de 2 000 tonnes de sargasse sur 3 km<sup>2</sup> (en juillet 2016) ; la récolte du champ de sargasse à marée basse (à pied ou en engin motorisé) ou à marée haute (barge mytilicole) est réalisable.
- (iii) Enfin, la sargasse japonaise est constituée de molécules déjà valorisées chez d'autres algues brunes telles que des polysaccharides (fucoïdanes, alginates, laminaranes, mannitol) et des composés phénoliques. Ces composés d'intérêts sont présents en quantité suffisante pour des extractions à caractère industriel ; leur nature oriente la valorisation vers l'agriculture et la culture légumière.

### I.3.2. Le projet SNOTRA.

Le projet SNOTRA « Sargasses de Normandie : valorisation d'une Ressource Algale » s'inscrit dans la continuité du projet SARGASSES. Il a pour but de valider le potentiel de création d'une filière de valorisation de la sargasse en Normandie ; les extraits et produits finis étant dans un premier temps à destination des cultures maraîchères – secteur d'activité économique d'importance en Normandie, et dans un second temps à destination des secteurs pharmaceutique et cosmétique.

Pour ce faire, le projet SNOTRA étudie la faisabilité technique, scientifique et économique de chaque étape de cette nouvelle filière en 6 axes de recherche (Figure 6) et un axe de gestion et communication autour du projet.

Le projet SNOTRA est mené en partenariat par le SMEL, le CRCNMdN, le Comité Régional des Pêches Maritimes de Normandie (CRPMN), la société ALGAIA, la Station Expérimentale et de Développement Légumière de Normandie (SILEBAN).

---

Il se déroule sur une période de trois ans (2017-2019) et s'élargit à six sites d'étude : Bréville-sur-Mer, Bricqueville-sur-Mer, Agon-Coutainville, Gouville-sur-Mer, dans la Manche ; Grandcamp-Maisy et Bernières-sur-Mer dans le Calvados.

Le projet SNOTRA s'inscrit dans le cadre de l'Appel à Projets « Innovation pêche et aquaculture 2016 » sous la mesure n° 26 du programme opérationnel Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche 2014-2020 (FEAMP). L'aide financière accordée par le programme opérationnel FEAMP est de 474 035,81 € : 50 % provenant de l'Union Européenne, 12 % provenant de l'Etat français et 5 % provenant de la Région Normandie. Le reste (33 %) est autofinancé par les partenaires du projet, dont 6 % provenant du Conseil Départemental de la Manche.

L'ensemble des actions réalisées et des résultats obtenus pour chaque Work Packages du projet SNOTRA est présenté dans le rapport ci-présent.



Figure 6 : Axes de recherche du projet SNOTRA (divisés en Work Package).

### **POUR INFO : LA PRODUCTION D'ALGUES ET LE MARCHE FRANCAIS**

*En 2016, la production mondiale d'algues s'élève à 30 000 000 de tonnes (poids frais ; FAO, 2018). 96.5 % de ce tonnage proviennent de la culture de macroalgues, pratiquée majoritairement dans les pays d'Asie de l'Est et du Sud-Est, le reste provenant d'Amérique du Sud, d'Afrique, d'Europe puis d'Océanie.*

*La production européenne ne suit pas les tendances mondiales : sur les 320 000 tonnes de macro-algues produites en 2013, la quasi-totalité provient de la récolte de populations d'algues naturelles.*

*En France, environ 90 000 tonnes de macroalgues sont produites, la quasi-totalité étant issue de la récolte d'algues sauvages en Bretagne :*

- *environ 72 000 tonnes d'algues sauvages sont récoltées en pêche embarquée (plus de 70 000 tonnes d'algues brunes *Laminaria digitata* et *Laminaria hyperborea* sont récoltées en Bretagne pour l'industrie des alginates, et environ 1 000 tonnes d'algues rouges *Gelidium sesquipedale* sont récoltées dans le Pays Basque pour l'industrie de l'agar) ;*
- *environ 10 000 tonnes d'algues sauvages sont cueillies en pêche à pied (au total, 12 espèces d'algues vertes, rouges et brunes sont récoltées manuellement par plus de 350 récoltants professionnels et occasionnels à destination de l'industrie des carraghénanes et des secteurs de la cosmétique et de l'alimentaire) ;*
- *et seules 150 à 350 tonnes proviennent d'algues cultivées (principalement *Undaria pinnatifida* et *Saccharina latissima* cultivées par une quinzaine d'entreprises).*

*16 000 à 20 000 tonnes d'algues séchées (soit 55 000 tonnes d'algues fraîches) sont importées pour approvisionner la ressource manquante.*

*Il existe plus de 80 entreprises de transformations de macroalgues en France, allant de la très petite entreprise à l'entreprise multinationale. Trois quarts de ces entreprises sont spécialisés dans la cosmétique et l'alimentaire. Et trois quarts sont installés en Bretagne. Le chiffre d'affaire hors production est estimé à 200 à 300 millions d'euros pour environ 1 000 emplois.*

## CH II. DÉVELOPPEMENT D'UNE ACTIVITÉ DE PÊCHE DES SARGASSES (WP1 - 1<sup>ère</sup> PARTIE)

---

Leader : CRCNMN

Autres partenaires impliqués : SMEL, CRPMN.

Objectifs : Identifier les enjeux réglementaires, environnementaux et sociaux pour le développement d'une pêche des sargasses en vue d'obtenir les autorisations nécessaires à la mise en place d'une activité professionnelle et l'acceptabilité des acteurs concernés (Etat, communes, usagers...).

Plan d'actions :

1. Réglementation pour exercer une activité de pêche de la sargasse
2. Réglementation pour l'installation des barrages à sargasse
3. Enjeux environnementaux
4. Enjeux sociétaux

### II.1. Réglementation pour exercer une activité de pêche de la sargasse.

#### II.1.1. Autorisations expérimentales.

Dans le cadre du projet SNOTRA, des demandes d'autorisations de prélèvements et de récoltes expérimentales ont été sollicitées à la DIRM Manche Est – Mer du Nord. Ces demandes documentées ont été renouvelées pour chaque année du projet et ont fait l'objet d'une suite favorable avec la prise d'arrêtés préfectoraux.

#### II.1.2. Autorisations d'exploitation professionnelles.

En France, la récolte de macroalgues se fait par navires dans les eaux territoriales et à pied sur l'estran, c'est-à-dire sur le domaine public maritime (DPM) qui est sous l'autorité administrative de l'Etat.

L'activité de récolte des algues est ainsi réglementée :

- au niveau national par le Code Rural et de la Pêche Maritime ;
- au niveau régional, départemental et local par des réglementations émises par les Préfets des Régions maritimes, en concertation avec les administrations compétentes que sont



les directions interrégionales de la mer (DIRM), les directions départementales des territoires et de la mer (DDTM) et les comités national et régionaux des pêches maritimes et des élevages marins (CNPMM et CRPMM).

#### a) Réglementation nationale

Au sein du Code Rural et de la Pêche Maritime, le Décret n° 90-719 du 9 août 1990 fixant les conditions de pêche, de récolte ou de ramassage de végétaux légifère notamment :

- la classification des algues en trois catégories (goémons de rives, poussant en mer, échoués),
- les dispositions générales relatives à la récolte des goémons de rive,
- les dispositions générales relatives à la récolte des goémons poussant en mer, - les dispositions générales relatives à la récolte des goémons épaves.

Les articles d'intérêt du Code Rural et de la Pêche Maritime dans le cadre du projet SNOTRA sont :

#### Article D922-30 :

« [...] sont considérés comme végétaux marins les algues, varechs, plantes marines et halophiles ciaprès dénommés goémons. Ces goémons sont classés et définis comme suit : [...] »

- Les goémons de rive sont ceux qui tiennent au sol et sont récoltés à pieds soit sur le rivage de la mer, soit sur les îles et îlots inhabités, soit sur les roches découvrant à basse mer.
- Les goémons poussant en mer sont ceux qui tenant aux fonds ne peuvent être atteints à pieds à la basse mer des marées d'équinoxe.
- Les goémons épaves sont ceux qui, détachés par la mer, dérivent au gré des flots ou sont échoués sur le rivage. »

#### Article R922-31 :

« La pêche des goémons poussant en mer ou qui dérivent au gré des flots ne peut être faite qu'au moyen de navires titulaires d'un permis d'armement à la pêche ou aux cultures marines. »

#### Article R922-32 :

« L'arrachage des goémons est interdit.

Les instruments employés pour la récolte des goémons doivent être conçus et utilisés de manière à éviter l'arrachage des crampons ou bases de fixation. [...] »

Article R922-33 :

« La hauteur au-dessus du crampon à partir de laquelle la coupe des algues est autorisée est fixée, selon les variétés d'algues, par arrêté de l'autorité mentionnée à l'article R. \* 911-3. »

Article R922-34 :

« Les goémons de toute espèce poussant ou déposés par la mer à l'intérieur des établissements ou des concessions de pêche ou de cultures marines ne peuvent être pêchés ou récoltés que par les exploitants de ces établissements ou concessions, ou par les personnes qu'ils ont autorisés à cet effet. »

Article R922-36 :

« La récolte des goémons de rive est autorisée durant toute l'année, à l'exception des lichens dont la récolte ne peut être pratiquée, sur le littoral métropolitain, que du 1er mai au 30 octobre. Cette période peut être modifiée, pour une ou plusieurs des espèces considérées, pour des motifs énoncés à l'article R. 922-37, par l'autorité désignée à l'article R. \* 911-3. »

R922-42

« L'établissement de pêcheries à goémons au moyen de piquets ou de tout autre procédé est interdit. »

### b) Réglementation régionale, exemple de la Bretagne

#### Algues de rive

En Bretagne – principale région productrice d'algues, la gestion de la récolte des algues de rive à pied est encadrée par un arrêté et des délibérations qui régulent les autorisations d'exploitation et fixent les conditions d'exploitation. Ces réglementations sont régulièrement renouvelées.

L'arrêté n° 2018-16159 du 4 mai 2018 relatif à la récolte des algues de rives en Bretagne fixe notamment :

- la période journalière autorisée pour la récolte des algues de rive,
- les mois autorisés pour la récolte de certaines algues,
- la hauteur de coupe obligatoire à respecter pour certaines algues,
- l'obligation de détention d'une autorisation individuelle nominative de récolte pour les récoltants professionnels, délivrée annuellement par le CRPMEM de Bretagne, sous le contrôle du préfet de la région Bretagne,

- l'obligation de déclaration mensuelle de récolte contenant la zone de récolte, les espèces récoltées et la quantité récoltée (kg en poids frais) que les professionnels transmettent à la DDTM du département où ont été récoltées les algues.

La délibération 2019-017 « RECOLTE A PIED ALGUES DE RIVE – CRPMEM – A » du 30 août 2019 fixant les conditions d'attribution de la licence de récolte à pied des algues de rive à titre professionnel sur le littoral de la région Bretagne caractérise notamment :

- les secteurs de récolte autorisés,
- les conditions d'éligibilité pour la licence algues de rive attribuée par le CRPMEM,
- les conditions d'éligibilité pour les extraits de licence et le fonctionnement de ces extraits de licence nécessaires à l'exploitation d'un secteur en plus de l'obtention de la licence,
- la démarche à effectuer pour la demande de licence avec la liste des documents à fournir.

La délibération 2019-018 « RECOLTE A PIED ALGUES – CRPMEM – B » du 30 août 2019 fixant les conditions de récolte à pieds des algues de rives sur le littoral de la région Bretagne régit :

- le nombre de licences d'algues de rive attribué,
- le nombre d'extraits de licence à titre annuel et à titre saisonnier attribué en fonction des secteurs et des espèces récoltées.

La délibération 2017-049 « RECOLTE A PIED ALGUES – C » du 24 novembre 2017 fixant les contributions financières pour l'attribution de la licence de récolte à pied des algues de rives et des végétaux marins sur le littoral de la région Bretagne fixe :

- le prix de la contribution financière pour l'obtention de la licence,
- le prix des contributions financières pour l'obtention des extraits de licence annuel et saisonnier en fonction des secteurs et des espèces récoltées.

### c) Algues poussant en mer

Les deux algues principalement pêchées par navire en Bretagne sont *Laminaria digitata* et *Laminaria hyperborea*. Tout comme pour la récolte des diverses algues de rive, la gestion de la pêche de ces deux laminaires poussant en mer est réglementée par des dispositions spécifiques qui régissent :

- les mesures de gestion (dates d'ouverture et de fermeture de la pêche, périmètres et zones de récolte, techniques de récolte autorisées, déclaration des quantités pêchées, utilisation d'équipements envoyant le positionnement du navire, etc.),

- les autorisations de pêche par navire à titre professionnel (modalité d'attribution des licences, contingent de licence, contribution financière, etc.).

Les délibérations relatives à la pêche de *Laminaria digitata* sont citées ci-dessous :

- 2018-047 DELIBERATION « ALGUES – CRPMEM – A » du 9 juillet 2018 fixant les conditions d'attribution de la licence de pêche des goémons poussant en mer (*Laminaria digitata* et *hyperborea*) sur le littoral de la région Bretagne (Annexe xxx).
- 2018-053 DELIBERATION « ALGUES – CRPMEM – B1 » du 31 août 2018 fixant le nombre de licences et l'organisation des campagnes de pêche des goémons poussant en mer (*Laminaria digitata*) sur le littoral de la région Bretagne (Annexe xxx).
- 2019-012 DELIBERATION « ALGUES – CRPMEM – B3 » du 27 juin 2019 fixant les conditions obligatoires de mise œuvre de la balise Vessel Monitoring System (VMS) pour la récolte du goémon poussant en mer sur le littoral de la région Bretagne (Annexe xxx).
- 2017-051 DELIBERATION PECHE COTIERE BRETAGNE – 2018 – C du 24 novembre 2017 fixant la contribution financière pour l'attribution des licences de pêche régionales et annuelles pour la campagne 2018 (Annexe xxx).

### II.1.3 Application sur la sargasse en Normandie.

Ce point sera traité après la présentation des résultats obtenus sur l'étude de la biologie, des stocks et des méthodes de pêche. En effet, l'adaptation de la réglementation sur la pêche des sargasses en Normandie fait appel aux connaissances acquises lors des différentes expérimentations effectuées au cours de ces trois années.

## II.2. L'acceptation d'une activité nouvelle sur le territoire.

### II.2.1. Introduction

SNOTRA a pour objet l'évaluation de la valorisation de la sargasse japonaise *Sargassum muticum*, ce qui entrainerait une récolte sur les estrans dont le stock est le plus important. L'activité de récolte d'algues n'existe pas pour le moment sur le littoral normand qui comporte par ailleurs de nombreuses

activités comme la conchyliculture, la pêche à pied professionnelle et de loisir ainsi que de nombreuses activités de tourisme. Par conséquent, intégrer une activité nouvelle sur un territoire demande un dialogue en amont avec l'ensemble des acteurs du territoire. C'est pourquoi, dans le cadre de ce projet, il était prévu de présenter les travaux qui seront effectués et l'objectif à moyen terme dans la mesure où les résultats conduiraient à une récolte professionnelle de cette algue.

## II.2.2 Communication vers les communes les plus impactées par la problématique sargasses.

Une série de présentation a été réalisée vers les maires et certains conseillers municipaux des communes les plus impactées par l'invasion de la sargasse sur le littoral et, pour 6 d'entre elles, concernées par les travaux du projet (Bréville-sur-Mer, Bricqueville-sur-Mer, Agon-Coutainville, Gouville-sur-Mer pour la Manche, Grandcamp-Maisy et Bernières-sur-Mer pour le Calvados).

Date	Commune	Élus rencontrés (fonction)	Représentants du projet SNOTRA
04/05/2017	Gouville-surMer	Erick BEAUFILS (Maire)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Manuel SAVARY (CRCNMN)
04/05/2017	Agon-Coutainville	Christian DUTERTRE (Maire) Marie DELAPLACE (Service Urbanisme – Social)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Manuel SAVARY (CRCNMN)
09/05/2017	GrandcampMaisy	Jean-Paul MONTAGNE (Maire) Olivier MADELEINE (2 <sup>ème</sup> Adjoint – Port de Pêche et Plaisance, Cultures Marines, Environnement, Association et Sport)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Sébastien PIEN (SMEL) Sandrine CORBET (CRCNMN)
09/05/2017	Bernières-surMer	Denis LEPORTIER (Maire)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Sébastien PIEN (SMEL) Sandrine CORBET (CRCNMN)
11/05/2017	Bricquevillesur-Mer	Mr Hervé BOUGON (Maire)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Sébastien PIEN (SMEL) Loïc MAINE (CRCNMN – Vice-Président)
11/05/2017	Bréville-surMer	Annick ANDRIEUX (Maire) Nicole MAUDUIT (1 <sup>ère</sup> Adjointe) Jacques BOUTOUYRIE (2 <sup>ème</sup> Adjoint) Émeline THEVENIN (Représentante auprès du SMEL)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Sébastien PIEN (SMEL) Loïc MAINE (CRCNMN – Vice-Président)
07/06/2017	Coudeville-surMer	Daniel BAZIRE (Maire)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Olivier RICHARD (SMEL)
07/06/2017	Donville-lesBains	Jean-Paul LAUNAY (Maire) Robert DI MASCIO (4 <sup>ème</sup> Adjoint – Travaux, Développement Durable, Urbanisme)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Olivier RICHARD (SMEL)
24/05/2018	Blainville-surMer	Michel BOIVIN (Maire)	Coralie DELAUNAY (SMEL) Sébastien PIEN (SMEL)

Tableau 1 : Calendrier des rencontres vers les mairies.



Ces rencontres ont permis d'informer les maires sur l'impact de ces algues sur l'activité conchylicole et/ou touristique même si certains étaient déjà sensibilisés à ce problème. En général, la discussion s'est poursuivie sur la possibilité d'une activité de récolte sur leur territoire à moyen terme. A l'issue de ces entretiens, plusieurs municipalités ont d'ailleurs souhaité communiquer sur cette rencontre par l'intermédiaire de leur bulletin municipal.

### II.2.3. Communication vers les professionnels.

Les instances représentatives des professionnels de la conchyliculture et de la pêche sont partenaires du projet et, à ce titre, ont pu communiquer à des nombreuses reprises lors des différentes assemblées qui se sont tenues lors des 3 années du projet, notamment lors d'assemblées générales ou dans la publication « Pleine Mer » (Numéros 235 de Novembre 2017, 236 de Novembre 2018 ou 237 de Janvier 2020).

Cependant, une réunion spécifique a eu lieu le 12 juin 2017 à Grandcamp-Maisy à destination des pêcheurs à pied professionnels, catégorie professionnelle particulièrement intéressée en cas d'activité de récolte. Au cours de cette réunion, le projet et ses objectifs ont été présenté et a permis de répondre, en état des connaissances du moment, aux interrogations des pêcheurs sur la pêche des végétaux en général. Cette réunion était également l'occasion de présenter les travaux prévus avec ces professionnels au cours du projet (cf. CH IV. Pêche expérimentale (WP3))

### II.2.4. Communication vers les acteurs du territoire.

Sur le territoire, plusieurs associations œuvrent pour la protection du littoral et l'accompagnement du public pour une meilleure connaissance du milieu. C'est le cas de l'association AVRIL, située à Coutances (Manche) et des Centres Permanents d'Initiatives pour l'environnement (CPIE) du Cotentin situé à Lessay (Manche) et de la Vallée de l'Orne situé à Caen (Calvados). Il a semblé opportun de communiquer vers ces acteurs afin qu'ils aient connaissance des travaux en cours et des perspectives futures pour le territoire. Deux rencontres ont eu lieu, le 14 mars 2018 avec Avril et le 26 juillet 2018 avec les deux CPIE concernés.

D'autres acteurs étaient ciblés à l'origine comme certaines associations de pêcheurs à pied de loisir mais, pour le moment, les rendez-vous pris en 2019 n'ont pas pu aboutir. Ils devront faire l'objet d'une relance dans le cadre d'une suite à ce projet. Cependant, lors de ces communications auprès de

différents acteurs, le projet fut salué pour sa volonté de créer une économie nouvelle tout en intégrant tous les acteurs du territoire dans sa démarche expérimentale.

## CH III. ETUDE DE LA VARIATION DES APPORTS EN SARGASSES EN VUE D'UNE EXPLOITATION (WP2)

Leader : SMEL

Autres partenaires impliqués : CRCNMN, ALGAIA

Objectifs : Déterminer la dynamique de croissance de la sargasse et sa dynamique d'échouage sur les sites d'étude, estimer le stock de sargasse présent sur les sites d'étude, identifier les zones de pousse de la sargasse en Normandie. L'ensemble de ces actions permettra de définir les possibilités d'approvisionnement pour une filière d'exploitation.

### III.1. L'algue *Sargassum muticum*.

#### III.1.1. Classification.

Anciennement décrite sous la forme *muticus* de l'espèce *Sargassum kjellmanianum*, la classification actuelle de l'algue *Sargassum muticum* est la suivante (Belsher et Boyen 1983) :

<b>Classe</b>	Phaeophyceae (algues brunes)
<b>Ordre</b>	Fucales
<b>Famille</b>	Sargassaceae
<b>Genre</b>	<i>Sargassum</i>
<b>Espèce</b>	<i>muticum</i>

Tableau 2 : Classification systématique de la sargasse.

#### III.1.2. Morphologie

La sargasse japonaise est une longue algue de couleur brune, verdâtre ou orangée suivant la saison. Elle est composée d'un disque basal qui lui permet de s'accrocher au substrat et d'un court stipe de quelques centimètres (inférieur à 10 cm) d'où partent les axes principaux qui se divisent eux-mêmes en axes secondaires et tertiaires (les axes sont aussi appelés rameaux) (Figure 1). Les rameaux portent de nombreux aérocystes (petites vésicules remplies d'air de quelques millimètres, permettant à l'algue de flotter), des pseudofeuilles, ainsi que des réceptacles coniques en période de reproduction.

La sargasse japonaise est une algue pérenne, elle alterne entre deux formes : au printemps et en été elle est sous sa forme développée, l'ensemble de ses rameaux est formé ; en hiver elle est sous sa forme réduite, seule la partie pérenne subsiste (la partie pérenne est composée du disque basal et de quelques centimètres du stipe comportant la base des anciens rameaux) (Figure 7).

La sargasse japonaise mesure généralement entre 50 cm et 2 mètres de long, les spécimens les plus grands atteignent jusqu'à 10-12 mètres (Belsher et Boyen 1983, Engelen et al. 2015).

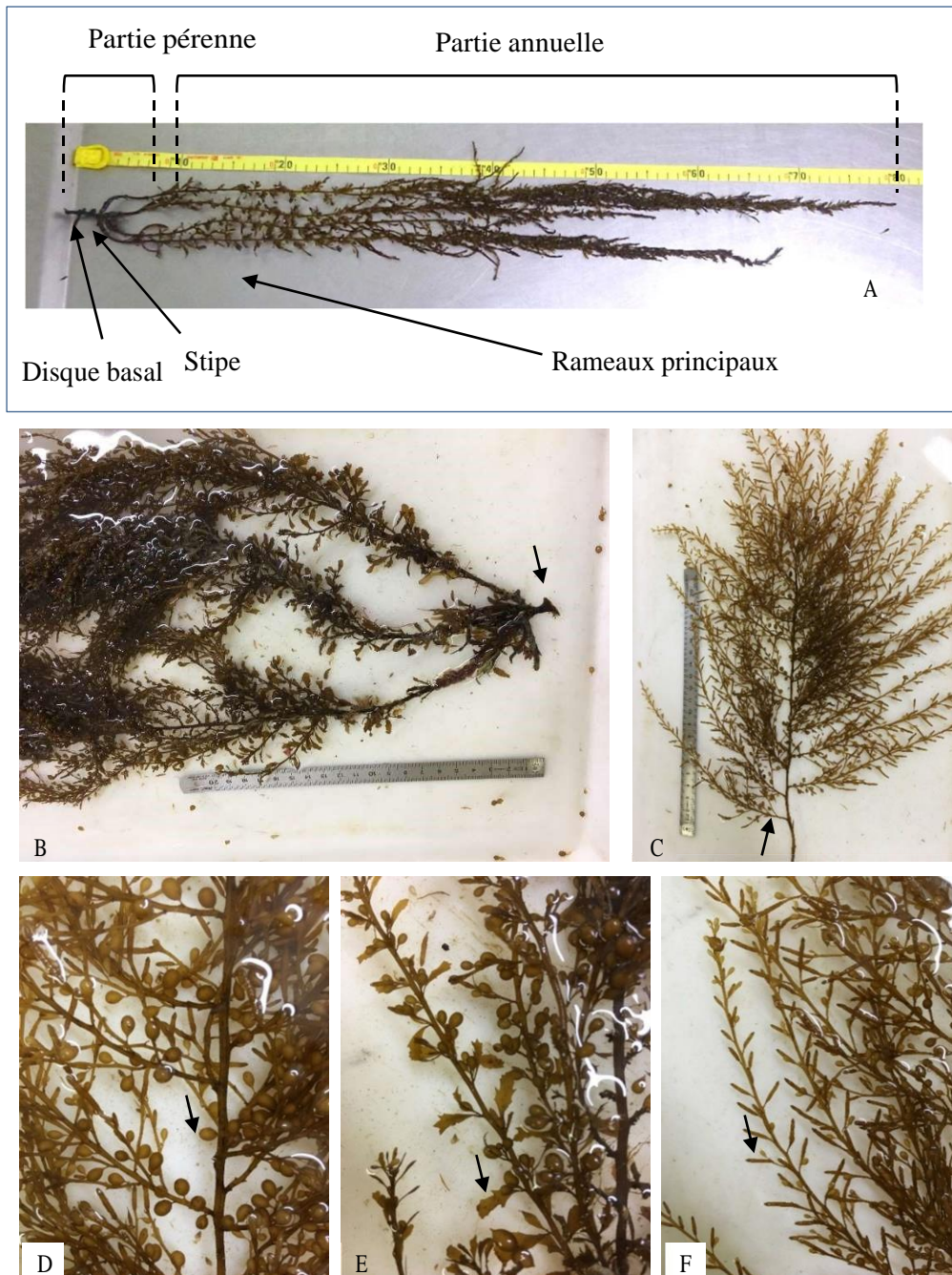


Figure 7: Morphologie de la sargasse japonaise (A). Partie inférieure d'un thalle de sargasse, la flèche indique son disque basal (B). Vue d'ensemble d'un rameau secondaire et de ses rameaux tertiaires, la flèche indique un rameau tertiaire (C). Vues rapprochées : la flèche indique un aérocyte (D), une pseudofeuille (E), un réceptacle (F).

### III.1.3. Biologie.

La sargasse est une espèce pérenne qui se dégrade annuellement et repousse à partir de sa partie pérenne. Elle suit un cycle de développement saisonnier caractérisé par quatre phases pouvant varier selon les latitudes (Loraine 1989, Arenas et al. 1995, Engelen et al. 2015) (Figure 8) :

- une phase de faible croissance en hiver : les jeunes pousses apparaissent, les rameaux des plants adultes repoussent lentement à partir des parties pérennes ;
- une phase de forte croissance au printemps : cette phase est induite par l'augmentation de la température de l'eau et de l'ensoleillement, les plants adultes et juvéniles se développent rapidement pour atteindre leur taille maximale entre 50 cm à 2 mètres en moyenne ;
- une phase de reproduction en fin de printemps et en été : la croissance est ralentie voire nulle, les cônes de reproduction mûres relarguent les gamètes mâles qui féconderont les gamètes femelles restés sur les cônes de reproduction ;
- une phase de dégradation en fin d'été : les rameaux se dégradent (perte des aérocytes, des feuilles, des rameaux eux-mêmes), il ne reste plus que la partie pérenne.

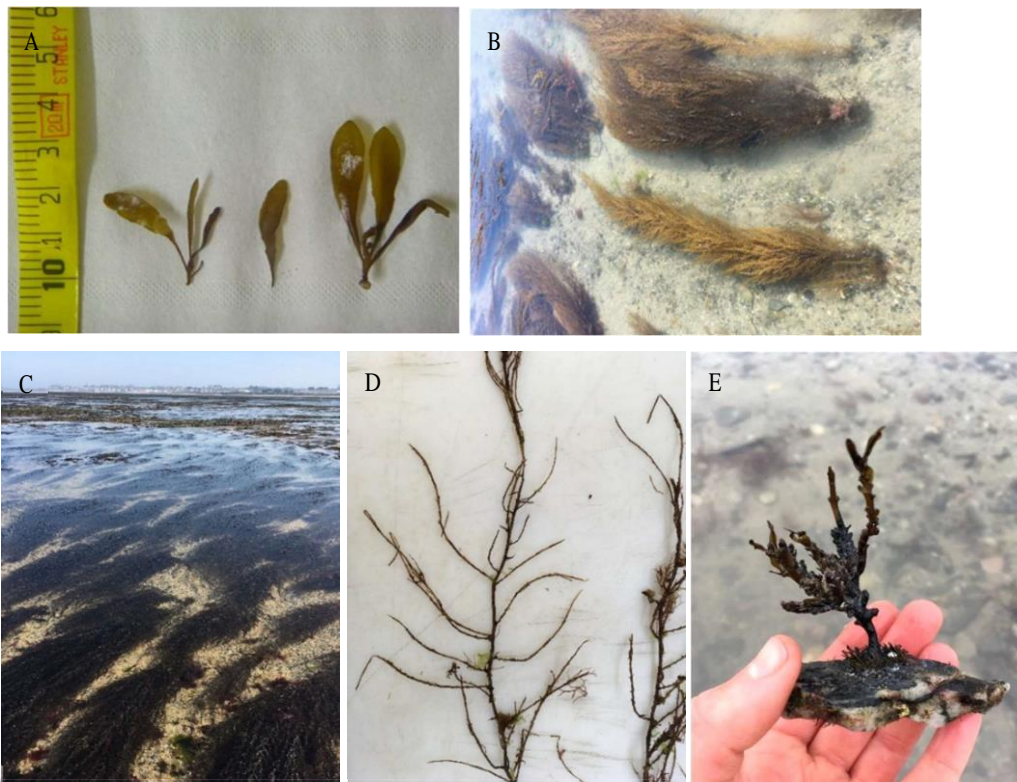


Figure 8 : Juvéniles (A). Sargasses développées, juin 2018 à Bricqueville-sur-Mer (B), avril 2019 à Grandcamp-Maisy (C). Rameaux dégradés nus (D). Partie pérenne sur son support (E).

En Europe, les réceptacles apparaissent en avril et disparaissent au cours de l'été avec la dégradation estivale des rameaux. Les réceptacles comportent les gamètes mâles et femelles dans des conceptacles



différents. Les gamètes mâles et femelles sont libérés après les grandes marées de printemps. Les gamètes mâles sont relâchés dans le milieu, les gamètes femelles sont retenus par un mucilage sur les réceptacles où la fécondation s'opère. Les zygotes formés restent quelques jours à la surface du réceptacle avant de tomber sur le substrat et de former de jeunes plantules (Belsher et Boyen 1983).

### III.1.4. Ecologie

En Europe, la sargasse est présente sur les estrans protégés ou modérément exposés à la houle et aux vagues, principalement sur la partie inférieure de la zone intertidale où l'eau subsiste aux basses mers (Critchley 1983, Loraine 1989). La sargasse peut aussi se situer sur la partie supérieure de la zone intertidale au sein de cuvettes qui retiennent l'eau à marée basse, ainsi que sur la partie supérieure de la zone subtidale – où les plus grands spécimens sont retrouvés. Son implantation est limitée par la dessiccation en partie supérieure (car la sargasse se dégrade si elle est exposée trop longtemps à l'air et au soleil, notamment en été), et par la lumière en partie inférieure (Belsher et Boyen 1983).

Elle pousse sur 3 types de substrats : les substrats durs (platiers rocheux, rochers...), les fonds meubles grossiers (cailloux, galets, rochers, coquillages...) (Figure 9), les infrastructures humaines (structures conchylicoles, zones portuaires, cordages...).

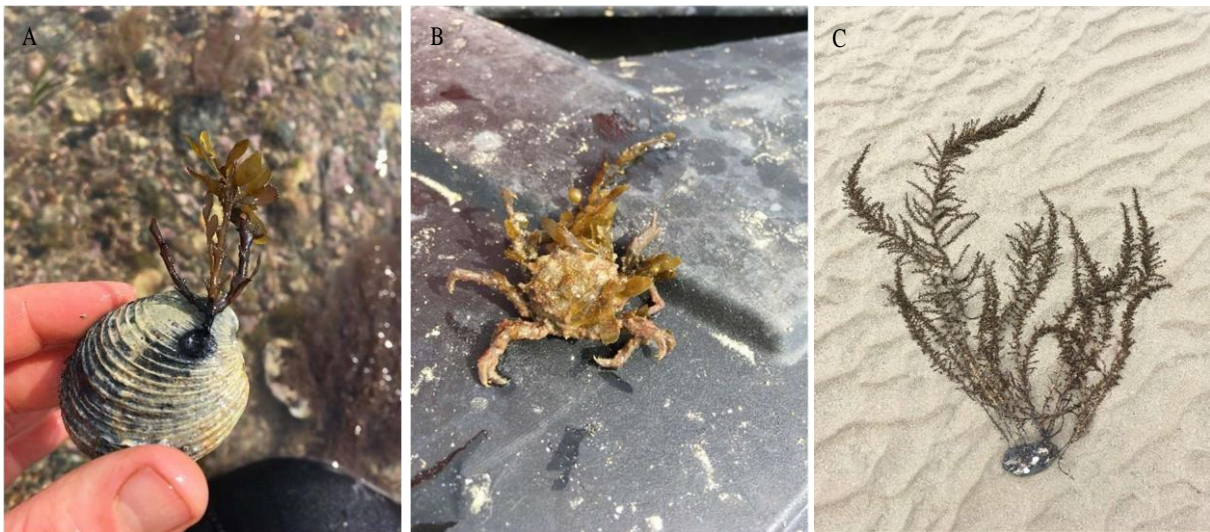


Figure 9 : Divers supports mobiles : repousse d'un thalle de sargasse sur une coquille vide (A), jeunes pousses de sargasses sur un crabe *Pisa sp.* (B), sargasse échouée sur le sable avec son caillou (C).

La sargasse a une grande tolérance vis-à-vis de la température et de la salinité. Sa température optimale de développement se situe entre 17 et 20 °C, avec une gamme de tolérance allant de – 9°C à 30 °C (seuils létaux au-delà). Sa salinité optimale se situe entre 30 et 35 g/l, avec une tolérance allant de 24 à 35 g/l. Les jeunes stades sont cependant moins tolérants (Belsher et Boyen 1983).

## III.2. Dynamique de croissance

### III.2.1. Matériel et méthode

#### a) Sites d'étude

La dynamique de croissance de la sargasse a été suivie sur 6 estrans normands : 4 estrans sur la côte ouest de la Manche et 2 estrans sur la côte du Calvados (Figure 10). Les sites manchois ont été sélectionnés principalement pour les gênes occasionnées par les échouages printaniers de sargasse sur les parcs conchylicoles, et les sites calvadosiens pour les champs de sargasse présents et les échouages d'algues constatés sur le haut de plage.

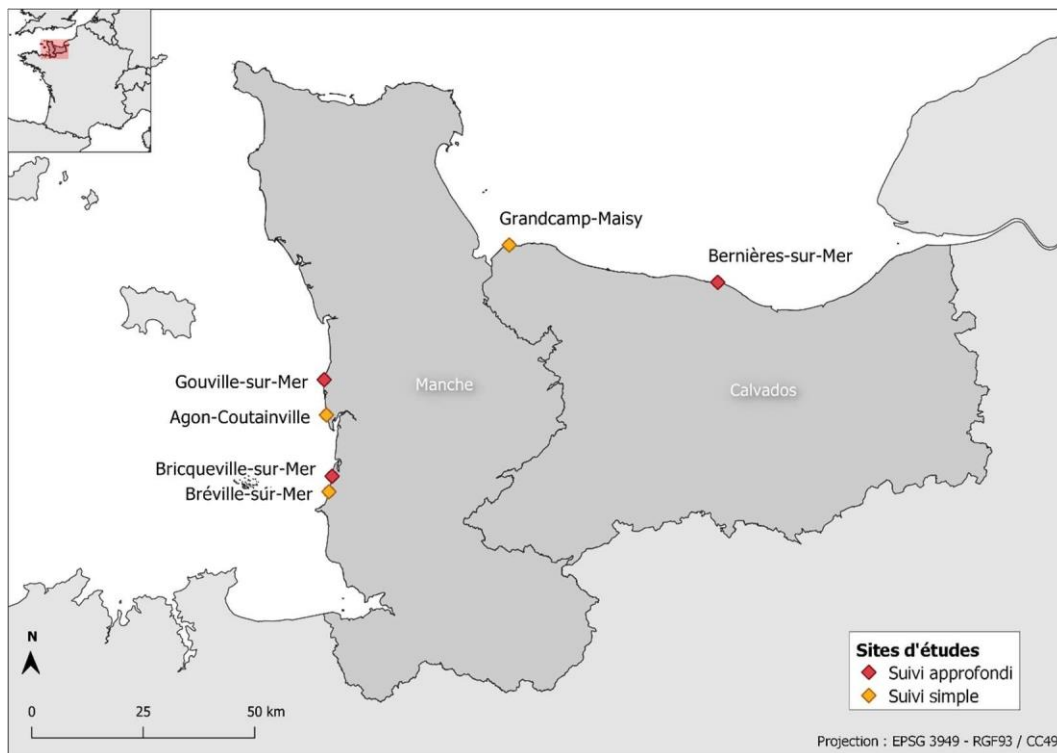


Figure 10 : Localisation des 6 estrans d'étude du projet SNOTRA.

Les caractéristiques principales des 6 sites d'étude sont décrites ci-dessous (Tableau 3) :

- Bréville-sur-Mer (Manche) : site comportant une zone d'activité mytilicole plus ou moins impactée par les échouages printaniers de sargasses.
- Bricqueville-sur-Mer (Manche) : ce site est le site référence/pilote car les premières estimations de stock et de dynamique d'échouage ont été effectuées en 2016 lors du projet SARGASSES. Ce site comporte une large zone de pousse de la sargasse située au sud de la zone d'activité mytilicole. La partie sud et ouest du parc est d'ailleurs impactée chaque année par les échouages printaniers de la

sargasse. Ce site est aussi très touristique l'été, et c'est l'un des deux sites de pêche à pied loisir les plus fréquentés de la Manche (palourde, bouquet).

- Agon-Coutainville (Manche) : site comportant une zone d'activité mytilicole. C'est le deuxième site manchois à forte fréquentation pour la pêche à pieds loisir.
- Gouville-sur-Mer (Manche) : site comportant une zone d'activité ostréicole fortement impactée par les échouages printaniers de sargasse.
- Grandcamp-Maisy (Calvados) : la zone de pousse des sargasses se situe sur un vaste platier rocheux, est étendue et sur un platier rocheux à l'est d'une zone d'activité ostréicole. L'impact de l'échouage printanier des sargasses est faible voire nul, mais les échouages de sargasses en voie de dégradation en fin de saison estivale sur le haut de plage sont conséquents. Une activité de pêche à pied loisir est présente.
- Bernières-sur-Mer (Calvados) : large champ de pousse sur platier rocheux, il n'y a pas d'activité conchylicole mais les échouages en fin de saison estivale en haut de plage sont importants comme à Grandcamp-Maisy. Il y a une forte affluence touristique estivale, et l'activité de pêche à pieds loisir est présente.

	Bréville-sur-Mer	Briqueville-sur-Mer	Agon-Coutainville	Gouville-sur-Mer	Grandcamp-Maisy	Bernières-sur-Mer
<b>Caractéristiques environnementales</b>						
<b>Substrat</b>	Sableux	Sableux Rocheux	Sableux Rocheux	Sableux	Platier rocheux	Platier rocheux
<b>Caractéristiques socio-culturelles</b>						
<b>Zone conchylicole</b>	Mytilicole	Mytilicole	Mytilicole	Ostréicole	Ostréicole	-
<b>Pêche à pieds loisir</b>	+++	+++	+++	++	+	+
<b>Tourisme</b>	++	++	++	+	+	+++
<b>Impact de la sargasse</b>						
<b>Echouages sur structures conch.</b>	+	+++	+	+++	-	-
<b>Echouage sur la plage</b>	+	+	+	+	+++	+++

Tableau 3 : Caractéristiques des sites d'étude. (-) absence ou nul, (+) faible, (++) moyen, (+++) fort.

#### b) Protocole de suivi

Le suivi de la dynamique de croissance de la sargasse a été réalisé sur les 6 sites d'étude, pendant les 3 ans du projet SNOTRA. Briqueville-sur-Mer, Gouville-sur-Mer et Bernières-sur-Mer sont en "suivi approfondi" : les prélèvements sont mensuels au printemps et en été (mars, avril, mai, juin, juillet,



août) et bimensuels en automne et en hiver (septembre, novembre, février). Les trois autres sites, Bréville-sur-Mer, Agon-Coutainville et Grandcamp-Maisy sont en "suivi simple" : les prélèvements sont effectués mensuellement seulement sur la période printemps/été.



Figure 11: Zone d'étude (en jaune) à Bricqueville-sur-Mer (A). Détail de la zone d'étude avec la délimitation des sous-zones (B). Plan d'échantillonnage effectué en 2018 à Bricqueville-sur-Mer (C).

Les sites d'études étant vastes, une zone d'étude plus restreinte a été définie pour chaque site : zone d'étude est de 800 mètres par 600 mètres pour les sites en suivi approfondi, et de 400 mètres par 300 mètres pour les sites en suivi simple. Les zones d'étude sont découpées en 10 sous-zones (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J). Chaque sous-zone est divisée en 15 blocs (la sous-zone A est délimitée de A1, A2... à

A15). Chaque mois, pour chaque site d'étude, 10 points sont aléatoirement choisis pour y effectuer les prélèvements (exemple : A7, B8, C5, D8, E6, F11, G5, H1, I9, J7 – février 2018 à Bricqueville-sur-Mer) (Figure 11).

Les prélèvements de sargasse sont effectués avec un quadrat de 1 m<sup>2</sup> sur chacun des 10 points de prélèvements sélectionnés (Figure 12).

Ce protocole d'échantillonnage permet d'avoir un échantillonnage réparti de façon homogène sur l'ensemble de la zone d'étude sélectionnée, tout en restant aléatoire. Il a été élaboré suite aux observations et résultats du projet SARGASSES.

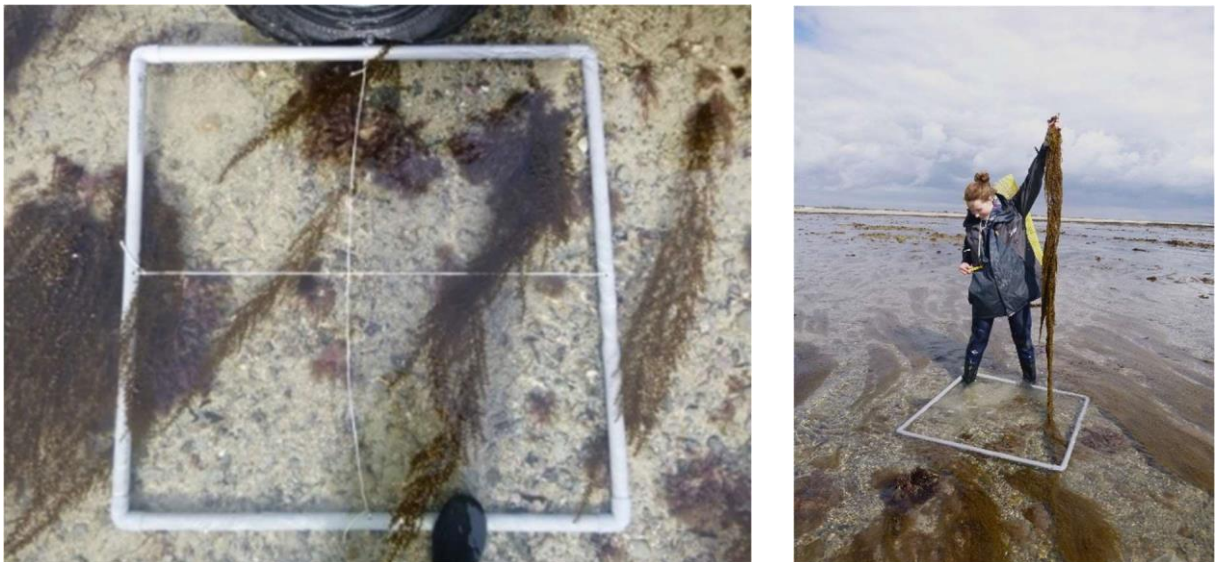


Figure 12 : Prélèvements des sargasses effectués avec un quadrat d'1 m<sup>2</sup>.

Les paramètres étudiés sont :

- la longueur moyenne et le poids frais moyen de plants individuels de sargasse (pour les 3 sites en suivi approfondi) ;
- la densité moyenne de sargasse par mètre carré (pour les 3 sites en suivi approfondi) ;
- le poids frais moyen de sargasse par mètre carré (pour les 6 sites) ;
- les stades de développement de la sargasse (pour les 6 sites).

Pour mesurer la densité moyenne de sargasses par mètre-carré (sargasse/m<sup>2</sup>), le nombre de thalles de sargasses au sein de chacun des 10 quadrats est compté. Sont pris en compte : les juvéniles isolés, les patchs de juvéniles (un patch est comptabilisé comme équivalent à 1 thalle), les thalles en cours de développement, les thalles développés, les parties pérennes. La densité moyenne de sargasse/m<sup>2</sup> d'un site donné à un mois donné est calculée comme suit :

$$\text{densité moyenne de sargasse/m}^2 = \frac{\sum \text{densité de sargasse par quadrat}}{\text{nombre de quadrat}}$$

Pour mesurer le poids moyen de sargasse/m<sup>2</sup>, la totalité des sargasses de chacun des 10 quadrats est prélevée. Les 10 lots de sargasses sont égouttés puis pesés en laboratoire. Le poids moyen de sargasse/m<sup>2</sup> d'un site donné à un mois donné est alors :

$$\text{poids moyen de sargasse/m}^2 = \frac{\sum \text{poids de sargasse par quadrat (g)}}{\text{nombre de quadrat}}$$

Pour mesurer la longueur moyenne individuelle et le poids moyen individuel, l'ensemble des thalles de sargasses issus de 3 des 10 lots sont mesurés et pesés. La longueur moyenne individuelle est calculée à partir de la moyenne des thalles mesurés. Il en est de même pour le poids moyen individuel.

Les observations in situ sur le cycle de développement de la sargasse sont notées chaque mois :

- la couleur des thalles (marron foncé, marron clair, marron très clair-jaune-roux, jaune-blanc),
- l'état des thalles (entier, dégradation moyenne avec quelques rameaux arrachés, forte dégradation, repousse des pseudofeuilles à la base),
- la présence de cônes de reproduction (absence, faible-moyenne, forte),
- la présence de parties pérennes (absence, faible, moyenne, forte),
- la présence de juvéniles (absence, faible, moyenne, forte).

### c) Traitement des données

Les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R. Les données de biomasse sont comparées avec des tests ANOVA suivis d'un test post-hoc de comparaison multiple.

## III.2.2. Résultats et discussion

### a) Suivi biométrique

#### Cycle de développement saisonnier (variations annuelles)

Les données de longueur moyenne individuelle et poids moyen individuel enregistrées mensuellement sur les trois sites en suivi approfondi sont présentées dans les graphiques suivants (Figure 13).

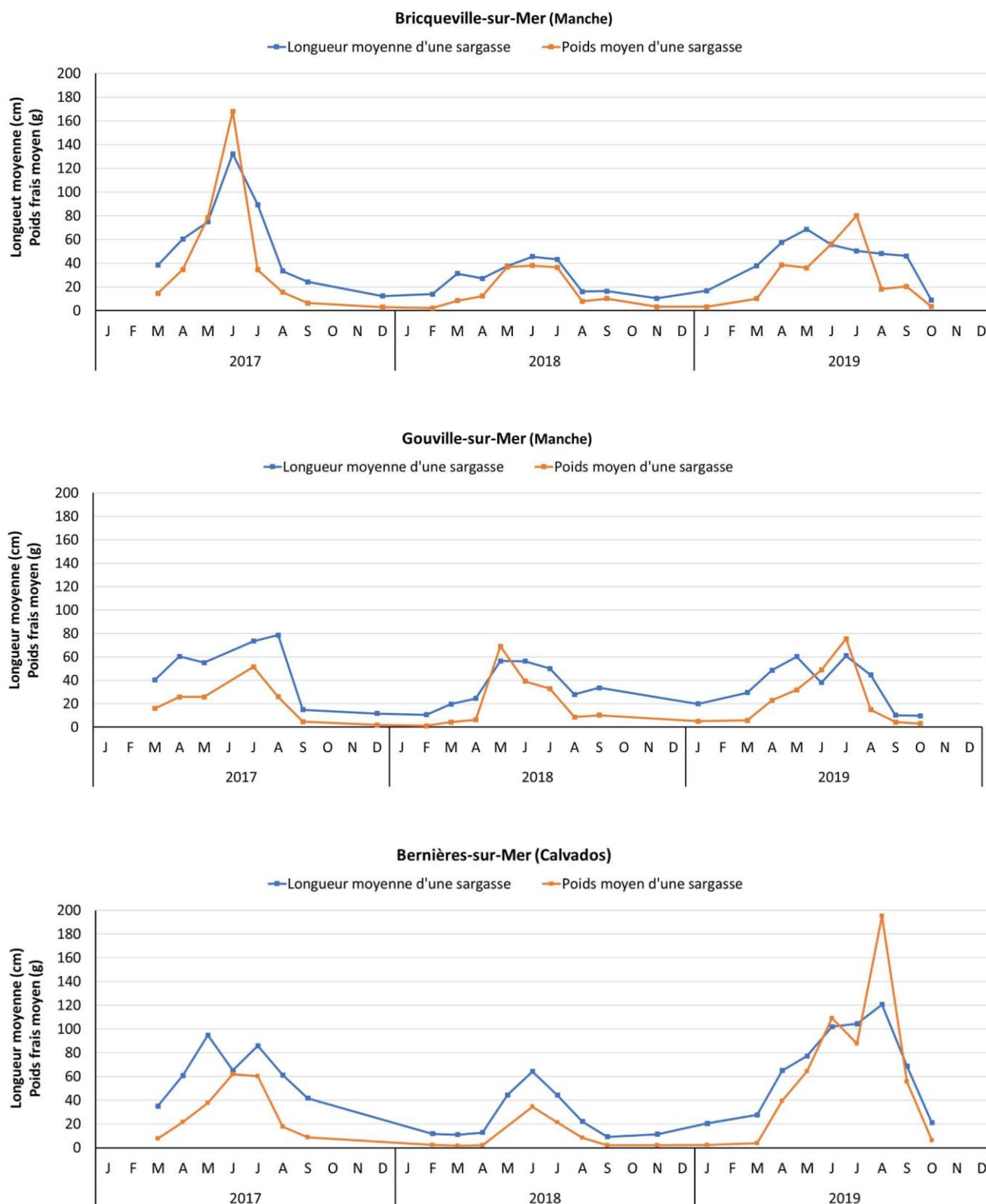


Figure 13 : Suivi de la longueur et du poids des thalasses de sargasse sur trois sites du littoral normand (les thalasses adultes, les juvéniles et les parties pérennes sont pris en compte)

La longueur individuelle et le poids individuel des sargasses évoluent suivant une courbe de croissance/décroissance au cours de l'année. Ces variations se reproduisent d'une année à l'autre, quel



que soit le site considéré. Ces variations sont caractéristiques du cycle de développement de cette espèce (cycle décrit précédemment).

Au regard des trois sites, la phase de faible croissance se situe de septembre à mars où la longueur et le poids sont à leur minimum. La phase de forte croissance débute ensuite en avril, et les sargasses atteignent leur longueur et poids maximaux en mai, juin ou juillet suivant les années. Puis la phase de décroissance s'effectue sur un ou deux mois à partir de juin, juillet ou août suivant les années. Et un nouveau cycle recommence.

Si l'on détaille plus finement l'évolution de la taille et du poids des sargasses, on observe que pendant la phase de faible croissance, la sargasse s'accroît lentement, sans que son poids augmente significativement : seul le rameau primaire s'allonge, les rameaux secondaires croissent peu et restent sous la forme buissonnante. Puis la phase de forte croissance débute, elle est marquée par une augmentation significative du poids de la sargasse : les rameaux secondaires et tertiaires s'allongent et s'étoffent à leur tour, ce qui augmente le poids du thalle ; le rameau principal continue de s'accroître en parallèle. Une fois la longueur maximale et le poids maximal atteints, les thalles se maintiennent et continuent de croître faiblement ou bien se dégradent directement le mois suivant. La phase de décroissance s'observe ensuite avec la chute significative du poids vers des valeurs minimales : les rameaux se dénudent en perdant leurs aérocystes, pseudofeuilles, cônes de reproductions et/ou sont entièrement arrachés. Une fois les valeurs minimales respectives atteintes, la longueur et le poids évoluent très peu durant l'automne et l'hiver, c'est de nouveau la phase de faible croissance.

Note :

Sur les graphiques, lors de la phase de dégradation, la longueur décroît moins rapidement que le poids car le rameau principal même s'il est nu (sans aérocyste, sans pseudofeuille...) met souvent plus de temps à se détacher. Or c'est le rameau principal qui est mesuré pour les données de longueur individuelle, le phénomène de décroissance est donc moins visible avec les données de longueur.

Le poids semble ainsi être un indicateur plus fiable que la longueur vis-à-vis de l'état de la sargasse (en croissance, optimal, dégradé) et du développement global des sargasses pour une année donnée.

Il est important de prendre en compte :

- l'année 2018 à Bernières-sur-Mer est présentée, mais les sargasses ont été arrachées par les tempêtes hivernales en janvier, leur développement a été impacté (ce qui se traduit par une diminution de la longueur et des poids maximaux atteints).

- la longueur moyenne et le poids moyen enregistrés en septembre 2019 à Bernières-sur-Mer sont faussés par la sélection et mesure des sargasses les plus développées, ces résultats doivent donc être sous-estimés.

Au développement optimal, la sargasse mesure entre 45 et 130 cm et elle pèse entre 40 et 190 g.

#### Variations intersites

Pour comparer la longueur des thalles de sargasses mûres entre les sites ainsi que les autres données de biométrie, la valeur moyenne des différents paramètres biométriques en période optimale (mai-juillet) est présentée pour chaque site (Tableau 4 & Figure 14). Les parties pérennes et juvéniles ne sont pas prises en compte dans les résultats suivants, et l'année 2018 à Bernières-sur-Mer étant une année « anormale » non plus. Les résultats des tests statistiques sont aussi présentés (Tableau 5).

	Briqueville-sur-Mer	Gouville-sur-Mer	Bernières-sur-Mer
<b>Longueur moyenne (cm)</b>	78 ± 7 cm	61 ± 5 cm	88 ± 5 cm
<b>Longueur maximale moyenne (cm)</b>	234 ± 39 cm	175 ± 36 cm	137 ± 19 cm
<b>Longueur maximale observée (cm)</b>	381 cm	279 cm	198 cm
<b>% thalles de sargasse supérieur 100 cm</b>	29 %	16 %	45 %
<b>% thalles de sargasse supérieurs à 200 cm</b>	4 %	1 %	0 %
<b>Poids moyen (g)</b>	70 ± 13 g	51 ± 12 g	74 ± 12 g
<b>Poids maximal moyen (g)</b>	470 ± 117 g	378 ± 129 g	372 ± 165 g
<b>Poids maximal observé (g)</b>	773 g	732 g	867 g
<b>% thalles de sargasse ayant plus de 2 rameaux supérieurs à 25 cm</b>	19 %	13 %	29 %

Tableau 4 : Valeurs moyennes des données biométriques des thalles de sargasse enregistrées en période de développement optimal (de mai à juillet) pendant trois ans (2017 à 2019) sur trois sites d'étude.

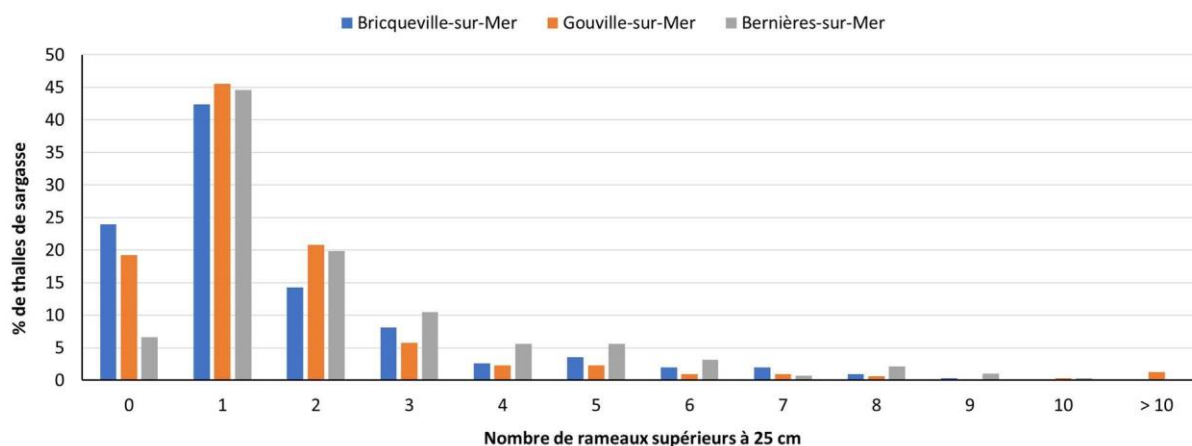


Figure 14 : Comptabilisation du nombre de rameaux supérieurs à 25 cm par thalle de sargasse, mesures effectuées sur des échantillonnages de sargasses adultes (juvéniles et parties pérennes non prises en compte) pendant la période optimale de développement (de mai à juillet) sur trois sites d'études

Sites comparés deux à deux	Longueur individuelle		Poids individuel		Nombre total de rameaux		Nombre de rameaux > 25 cm	
	P	Classement	P	Classe.	P	Classe.	P	Classe.
<u>Bricqueville - Bernières</u>	0.0071 **	b	0.9138	b	0.0555 .	a	0.0006 ***	a
<u>Bricqueville - Gouville</u>	0.0006 ***	a	0.0801 .	a	0.9882	a	0.9194	a
<u>Gouville - Bernières</u>	< 0.0001 ***	C	0.0321 *	b	0.0777 .	b	0.0245 **	b

. P < 0.1, \* P < 0.05, \*\* P < 0.01, \*\*\* P < 0,001

Tableau 5 : Comparaison de la longueur individuelle, du poids individuel, du nombre total de rameaux et du nombre de rameaux supérieurs à 25 cm des thalles de sargasse entre les trois sites d'étude (à partir des données enregistrées en période de développement optimal (de mai à juillet) pendant trois ans (2017 à 2019)).

Les observations in situ et les données de biométrie indiquent que les sargasses sont significativement plus développées dans le Calvados que dans la Manche. Premièrement, les sargasses à Bernières-sur-Mer sont significativement plus longues ( $88 \pm 5$  cm de longueur à Bernières-sur-Mer, contre  $78 \pm 7$  cm à Bricqueville-sur-Mer et  $61 \pm 5$  cm à Gouville-sur-Mer) et la longueur des thalles est plus homogène (45 % des thalles adultes dépassent 100 cm à Bernières-sur-Mer, contre 29 % à Bricqueville-sur-Mer et 16 % à Gouville-sur-Mer). Deuxièmement, les sargasses à Bernières-sur-Mer possèdent significativement plus de rameaux, et notamment plus de rameaux dépassant les 25 cm (29 % des thalles adultes possèdent plus de deux rameaux supérieurs à 25 cm à Bernières-sur-Mer, contre 19 % à Bricqueville-sur-Mer et 13 % à Gouville-sur-Mer).

Le poids moyen d'un thalle est cependant non significativement différent entre Bernières-sur-Mer et Bricqueville-sur-Mer ( $70 \pm 13$  g à Bricqueville-sur-Mer,  $74 \pm 12$  g à Bernières-sur-Mer,  $51 \pm 12$  g à Gouville-sur-Mer). Cependant, si les sargasses sont plus longues et comportent plus de rameaux secondaires dans le Calvados, les plus grands spécimens de sargasse sont observés dans la Manche. La longueur maximale moyenne est ainsi de  $234 \pm 39$  cm à Bricqueville-sur-Mer (longueur maximale enregistrée sur les trois années : 381 cm),  $175 \pm 36$  cm à Gouville-sur-Mer (longueur maximale enregistrée : 279 cm) et  $137 \pm 19$  cm à Bernières-sur-Mer (longueur maximale enregistrée : 198 cm). Pour exemple, une sargasse échouée avec son support d'environ 5 mètres a même été observée à Gouville-sur-Mer (cf. figure 15).

Le substrat semble être l'un des principaux facteurs qui influence la capacité de la sargasse à se développer. En effet, dans le Calvados, les sargasses poussent sur des platiers rocheux contrairement à la Manche où une partie des sargasses poussent sur des substrats mobiles (cailloux, galets...). Un substrat stable permettrait un développement plus optimal (en termes de longueur, de nombre de rameaux). De plus, le milieu plus riche en baie de Seine permet un meilleur développement des algues en général, les sargasses comme les autres.



*Figure 15 : Sargasse d'environ 5 mètres, échouée avec son support sur le sable à Gouville-sur-Mer en Juin 2017.*

Pour conclure, on observe deux morphologies distinctes entre les sargasses présentes dans le Calvados et celles de la Manche. Dans le Calvados les sargasses vont être très brunes (foncées), avec de nombreux rameaux rigides (peu cassants, très résistants) ; dans la Manche les sargasses vont être brunes-verdâtres (claires), avec moins de rameaux mais atteignant parfois de grandes longueurs, et avec



une plus grande plasticité des rameaux (effet élastique). Une analyse génétique permettrait de savoir si ces deux morphologies observées sont deux écotypes à part entière ou non.

### b) Suivi de la densité

#### Cycle de développement saisonnier (variations annuelles)

Les données de densité moyenne de sargasse par m<sup>2</sup> enregistrées mensuellement pendant trois ans sur les trois sites en suivi approfondi sont présentées dans le graphique suivant (Figure 16).

La densité moyenne des thalles de sargasse varie au cours de l'année. Il est difficile de voir des phases aussi distinctes que pour celles de l'élongation des rameaux et de la prise de poids des thalles de sargasse, cependant des tendances ressortent. En début d'automne la densité de sargasse augmente significativement, ceci est dû au recrutement des juvéniles issus des fécondations réalisées durant l'été. Les plants juvéniles apparaissent isolés ou en patch. La densité reste forte tout l'hiver, juvéniles et parties pérennes sont présents. Puis la densité diminue au printemps lors de la phase de forte croissance : seule une partie des juvéniles recrutés va se développer. On peut supposer que les juvéniles isolés ont moins de compétition pour pousser, mais ceux-ci sont plus vulnérables face aux pressions abiotiques telles que l'abrasion, l'hydrodynamisme... A l'inverse, les juvéniles en patch permettent d'avoir une stratégie de protection face aux pressions abiotiques, mais ils ne pourront pas tous atteindre le stade adulte – certains patches peuvent comporter une vingtaine de jeunes pousses de sargasse. Au sein d'un patch, seuls quelques thalles se développeront, c'est l'effet de « selfthinning », d'auto-éclaircissement (Arenas et Fernandez 2000). Quand les thalles de sargasse sont à leur développement optimal en fin de printemps et durant l'été, la densité est à son plus bas : seuls les thalles qui ont réussi à pousser sont présents. A cette période, très peu de juvéniles ou parties pérennes sont recensés. La densité chute en fin d'été. S'ensuit le nouveau cycle en fin d'été / début d'automne.

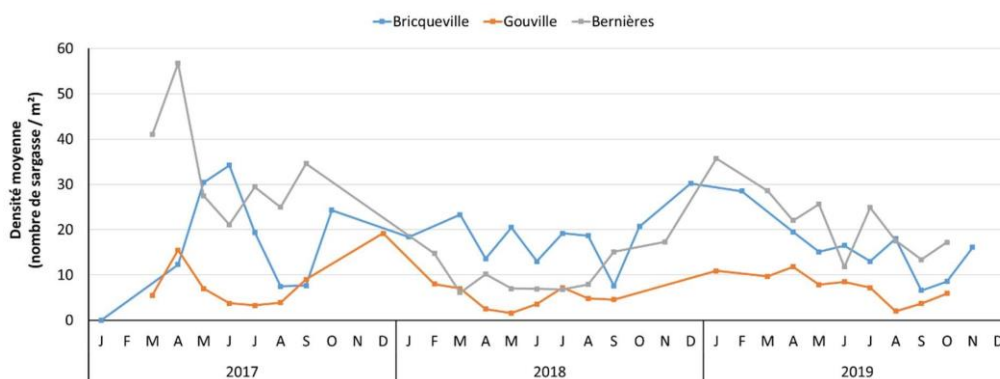


Figure 16 : Suivi de la densité de sargasse par m<sup>2</sup> sur trois sites du littoral normand (les thalles adultes, les juvéniles et les parties pérennes sont pris en compte).

### Variations intersites

Les densités moyennes, les densités maximales moyennes et les extrêmes ainsi que la comparaison de la densité entre les trois sites sont présentées dans les tableaux suivants (Tableau 6 et 7).

La densité moyenne de sargasse à Gouville-sur-Mer est très faible avec  $6 \pm 2$  sargasses / m<sup>2</sup>, elle diffère significativement des deux autres sites. Elle est moyenne à forte à Bricqueville-sur-Mer avec  $18 \pm 5$  sargasses / m<sup>2</sup> et forte à Bernières-sur-Mer avec  $23 \pm 5$  sargasses / m<sup>2</sup>.

Ce gradient de densité est dû au substrat. Le platier rocheux de Bernières-sur-Mer est large en surface et c'est un substrat stable, qui permet à la fois l'ancrage des sargasses et une large répartition des sargasses, à l'inverse du substrat sable grossier de Gouville-sur-Mer. Bricqueville-sur-Mer présente une forte densité car il y a aussi un substrat dur sur ce site, par ailleurs la quantité de juvénile y est forte.

	Bricqueville-sur-Mer	Gouville-sur-Mer	Bernières-sur-Mer
<b>Densité moyenne (sarg./m<sup>2</sup>)</b>	18 ± 5	6 ± 2	23 ± 5
<b>Densité maximale moyenne (sarg. / m<sup>2</sup>)</b>	64	23	61
<b>Densité maximale observée (sarg. / m<sup>2</sup>)</b>	142	50	157

Tableau 6 : Densités des thalles de sargasse enregistrées en période de développement optimal (de mai à juillet) pendant trois ans sur les trois sites d'étude en suivi approfondi.

Sites comparés deux à deux	Densité	
	P	Classement
<u>Bricqueville</u> - Bernières	0.162	b
Bricqueville - <u>Gouville</u>	< 0.0001 ***	a
Gouville - <u>Bernières</u>	< 0.0001 ***	c

. P < 0.1, \* P < 0.05, \*\* P < 0.01, \*\*\* P < 0,001

Tableau 7 : Comparaison de la densité des sargasses entre les trois sites d'étude (à partir des données enregistrées en période de développement optimal (de mai à juillet) de 2017 à 2019.

### c) Observations in situ : les réceptacles

Globalement en 2017, les cônes de reproduction sont apparus en avril, et sont devenus mûres en mai/juin sur les sites de la Manche et juin/juillet sur les sites du Calvados (Figure 17). En 2018, ils sont apparus en mai, et sont devenus mûres en juin pour les sites de la Manche et en juillet pour les sites du Calvados. En 2019, ils sont apparus en mai pour les sites de la Manche et en juin/juillet pour les sites du Calvados, et sont devenus mûres en juillet pour l'ensemble des sites.

On observe ainsi que l'année 2017 a été plus précoce avec une apparition des cônes de reproduction dès avril. Par ailleurs, l'apparition des cônes ainsi que leur maturité sur les deux sites du Calvados se fait généralement un mois plus tard par rapport aux sites de la Manche.

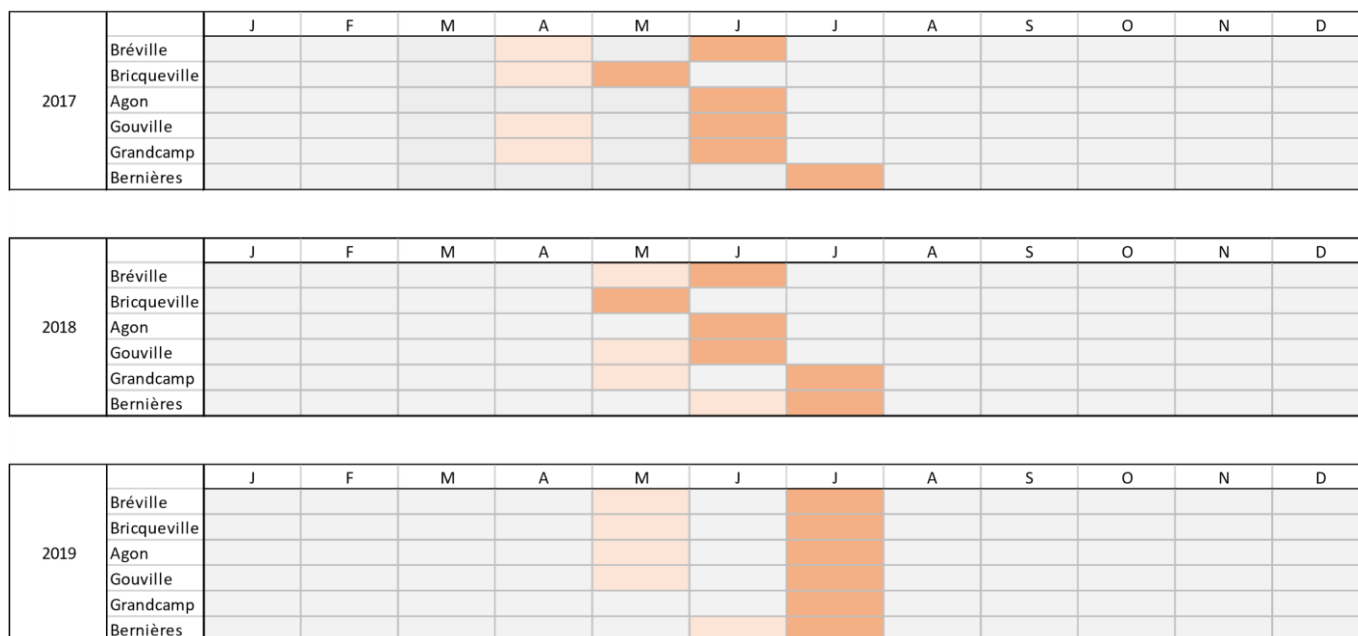


Figure 17: Période d'apparition des cônes de reproduction (orange pâle) et période de maturité des cônes de reproduction (en orange) observées sur les six sites d'étude de 2017 à 2019.

### d) Suivi de la biomasse

#### Cycle de développement saisonnier (variations annuelles)

Les données de poids moyen de sargasse par m<sup>2</sup> enregistrées mensuellement sur les six sites sont présentées dans les graphiques suivants (Figure 18).

Le cycle de développement de la sargasse est connu, il a été étudié dans sa zone d'origine au Japon, et sur ses zones d'introduction (Arenas et al. 2015). Il en résulte que suivant la zone du globe considérée, les phases du cycle de développement peuvent varier.

A l'issue du suivi de la biomasse réalisé sur 3 ans, les données confirment bien que la sargasse suit un cycle de développement saisonnier dans la Manche comme dans le Calvados. Ce cycle se réitère chaque année sur l'ensemble des sites étudiés.

En hiver, de novembre à mars, les sargasses repoussent lentement à partir de leur partie pérenne et les juvéniles formés se développent lentement – c'est la phase de faible croissance. La biomasse in situ reste faible : inférieure à 200 g/m<sup>2</sup> pour les sites de la Manche et inférieure à 400 g/m<sup>2</sup> pour les sites du Calvados.

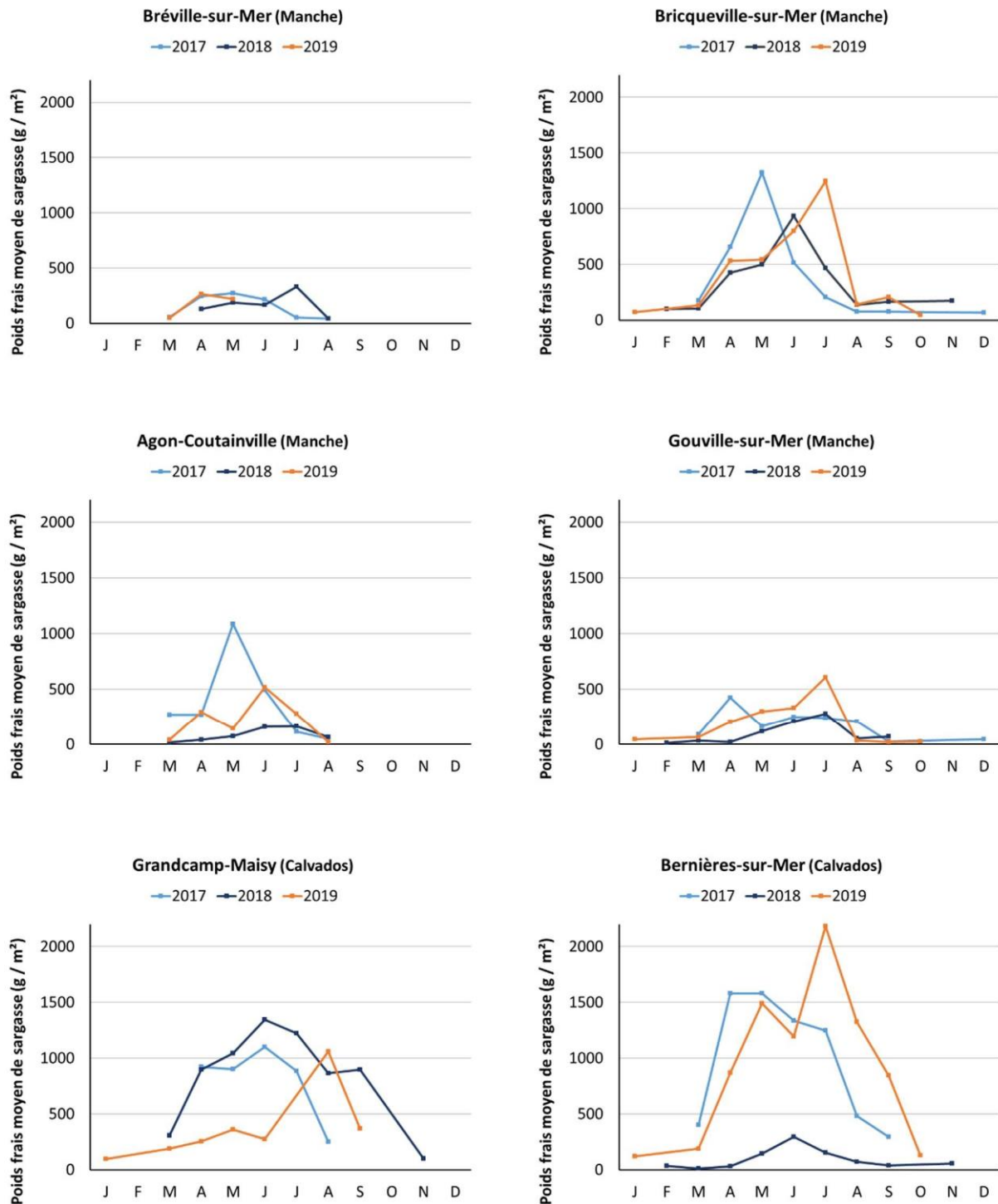


Figure 18 : Suivi du poids de sargasse par m<sup>2</sup> sur six sites du littoral normand (les thalles adultes, les juvéniles et les parties pérennes sont pris en compte).

Au printemps, à partir d'avril, les sargasses se développent très rapidement jusqu'à atteindre leur taille et poids maximaux en fin de printemps/début d'été, entre mai et juillet – c'est la phase de forte croissance. Les biomasses maximales sont décrites ci-après. En parallèle, les sargasses deviennent mûres au mois de mai jusqu'à leur dégradation – c'est la phase de reproduction.

En fin d'été, en juin, juillet ou août selon l'année, les sargasses perdent leurs rameaux et seul le crampon (partie pérenne) reste – c'est la phase de dégradation. La biomasse diminue rapidement et atteint des valeurs minimales dès août dans la Manche et en septembre/octobre dans le Calvados. En parallèle les juvéniles recrutés apparaissent.

S'ensuit le nouveau cycle qui recommence par la phase de faible croissance à partir de novembre.

Globalement, pour les 6 sites, le pic de biomasse maximale est atteint entre mai et juillet et les biomasses moyennes enregistrées sont comprises entre :

- 200 et 400 gr / m<sup>2</sup> à Bréville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer ;
- 200 et 1 000 gr / m<sup>2</sup> à Agon-Coutainville ;
- 800 et 1 400 gr / m<sup>2</sup> à Bricqueville-sur-Mer ;
- 1 000 et 1 400 gr / m<sup>2</sup> à Grandcamp-Maisy,
- 1 600 à 2 200 gr / m<sup>2</sup> à Bernières-sur-Mer

Note : les biomasses moyennes anormales de Bernières-sur-Mer en 2018 et de Grandcamp-Maisy en 2019 ne sont pas considérées pour ces biomasses moyennes (cf. c.(iii). Variations de faibles amplitudes entre les biomasses maximales atteintes, page 45).

On observe aussi que le pic maximal de biomasse est ponctuel sur les sites de la Manche : il est atteint sur un mois (courbe en cloche), puis la sargasse se dégrade dès le mois suivant. A l'inverse, sur les sites du Calvados, la biomasse reste à son niveau maximal pendant deux à trois mois (courbe en plateau) car la biomasse atteint de fortes valeurs tôt dans la saison (parfois dès avril, comme en 2019) et la sargasse maintient un état correct tard dans la saison (généralement jusqu'en juillet/août, voire septembre en 2018 à Grandcamp-Maisy) avant de se dégrader.

Ainsi, dans la Manche, la période de récolte est possible sur un mois seulement entre mai et juillet suivant l'année (voire deux mois si la saison est bonne). Et dans le Calvados, la période propice de récolte se répartit sur deux/trois mois entre avril et juillet.

#### Biomasses moyennes maximales (variations intersites)

Si l'on compare les biomasses moyennes maximales entre les sites, on observe que la biomasse de sargasse est significativement supérieure sur les sites du Calvados par rapport à celles des sites de la Manche (Tableau 8). La biomasse de sargasse à Bernières-sur-Mer est légèrement supérieure à celle observée à Grandcamp-Maisy. Bricqueville-sur-Mer (chaque année) et Agon-Coutainville (selon les années, comme en 2017) ont une biomasse moyenne à forte. Seuls les sites de Bréville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer ont de très faibles biomasses au mètre carré.

Sites comparés deux à deux	Densité
	<i>P</i>
Bernières - Agon	< 0.001 ***
Bréville - Agon	0.9658
Bricqueville - Agon	0.0106 *
Gouville - Agon	0.9993
Grandcamp - Agon	< 0.001 ***
Bréville - Bernières	< 0.001 ***
Bricqueville - Bernières	0.039 *
Gouville - Bernières	< 0.001 ***
Grandcamp - Bernières	0.6492
Bricqueville - Bréville	0.0015 **
Gouville - Bréville	0.9967
Grandcamp - Bréville	< 0.001 ***
Gouville - Bricqueville	0.0031 **
Grandcamp - Bricqueville	0.7749
Grandcamp - Gouville	< 0.001 ***

. P < 0.1, \* P < 0.05, \*\* P < 0.01, \*\*\* P < 0,001

Classement : Bréville "a" ; Bricqueville "b" ; Agon "a" ; Gouville "a" ; Grandcamp "bc" ; Bernières "c"

Tableau 8 : Comparaison de la biomasse de sargasse entre les six sites d'étude (à partir des données enregistrées en période de biomasse optimale (d'avril à juillet) pendant trois ans (2017 à 2019)).

Comme expliqué précédemment, ces différences de biomasse entre les sites sont dues à différents facteurs : le type de substrat, l'exondation liée à la topographie du terrain.

Le substrat conditionne la présence de sargasses et leur abondance. A Bernières-sur-Mer et Grandcamp-Maisy, les platiers rocheux offrent une surface de pousse très étendue et stable, propice à l'ancrage et au développement des sargasses. Ces algues poussent en « champs » qui recouvrent l'estran. La densité de sargasses y est donc forte (en moyenne  $23 \pm 5$  sargasses / m<sup>2</sup> en période

printanière et estivale d'avril à juillet), ce qui induit une biomasse conséquente. Dans la Manche, à Bricqueville-sur-Mer et Agon-Coutainville, la sargasse pousse sur des cailloux et coquillages dans le sable (substrat mobile), ainsi que sur de petites zones de platiers rocheux, la densité de sargasse observée est un peu plus faible (en moyenne  $18 \pm 5$  sargasses / m<sup>2</sup> en période printanière et estivale). A Bréville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer, les sargasses sont principalement présentes sur des cailloux et galets au sein d'un substrat sableux, la densité est faible (en moyenne  $6 \pm 2$  sargasses / m<sup>2</sup> en période printanière et estivale).

L'exondation conditionne la présence de sargasses et leur état (maintien ou dégradation des végétaux). Ce facteur dépend lui-même de la topographie du terrain (pente de l'estran, présence de cuvettes...). Dans le Calvados, les sargasses poussent sur des platiers rocheux qui comportent de larges cuvettes et couloirs, elles restent immergées la plupart du temps, même lors des marées de vives eaux (les plus grands marnages sont compris entre 0.5 et 8 mètres). A l'inverse, dans la Manche, les sargasses sont plus souvent à découvert ou dans une faible hauteur d'eau du à un plus grand marnage (la mer se retire plus loin lors des marées notamment lors des marées de vives eaux, les extrêmes de marnage sont compris entre 0 et 14 mètres).

Ainsi, dans le Calvados, la présence d'eau même à marée basse permet une plus large dispersion des sargasses (larges champs de sargasse). Par ailleurs cela permet de protéger la sargasse de la dessiccation, des variations de température et des UV notamment lorsque l'ensoleillement et les températures sont à leur maximal en fin de printemps/début d'été, et donc de maintenir plus longtemps le bon état des sargasses.

#### Les variations interannuelles

Au sein de chaque site, les biomasses moyennes maximales atteintes chaque année ont été comparées (Tableau 9). Généralement, les valeurs de biomasse maximale restent dans le même ordre de grandeur d'une année à l'autre. Ceci indique que la biomasse est relativement stable d'une année à l'autre, paramètre engageant pour la mise en place de récoltes professionnelles et leur pérennisation dans le temps.

Cependant, on peut observer d'une année à l'autre :

- (i) des variations significatives dans le cycle de développement (avance ou retard du mois du pic de biomasse maximale) ;
- (ii) des variations non significatives de faibles amplitudes entre les biomasses maximales atteintes ;



- et (iii) des variations significatives de fortes amplitudes entre les biomasses maximales atteintes (Figure 19).

Années comparées deux à deux		Densité	
		<i>P</i>	Classement
Bréville	<u>2017</u> - 2018	0.995	a
	<u>2018</u> - 2019	0.692	a
	<u>2019</u> - 2017	0.740	a
Bricqueville	<u>2017</u> - 2018	0.938	a
	<u>2018</u> - 2019	0.758	a
	<u>2019</u> - 2017	0.928	a
Agon	<u>2017</u> - 2018	0.0304 *	c
	<u>2018</u> - 2019	0.3818	a
	<u>2019</u> - 2017	0.4318	b
Gouville	<u>2017</u> - 2018	0.436	b
	<u>2018</u> - 2019	0.07 .	a
	<u>2019</u> - 2017	0.583	b
Grandcamp	<u>2017</u> - 2018	0.7343	b
	<u>2018</u> - 2019	0.0017 **	b
	<u>2019</u> - 2017	0.0215 *	a
Bernières	<u>2017</u> - 2018	< 0.000001 ***	b
	<u>2018</u> - 2019	< 0.000001 ***	a
	<u>2019</u> - 2017	0.998	b

.  $P < 0.1$ , \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0,001$

Tableau 9 : Comparaison de la biomasse de sargasse entre les trois années de suivi pour chaque site d'étude (à partir des données enregistrées en période de biomasse optimale (d'avril à juillet)).

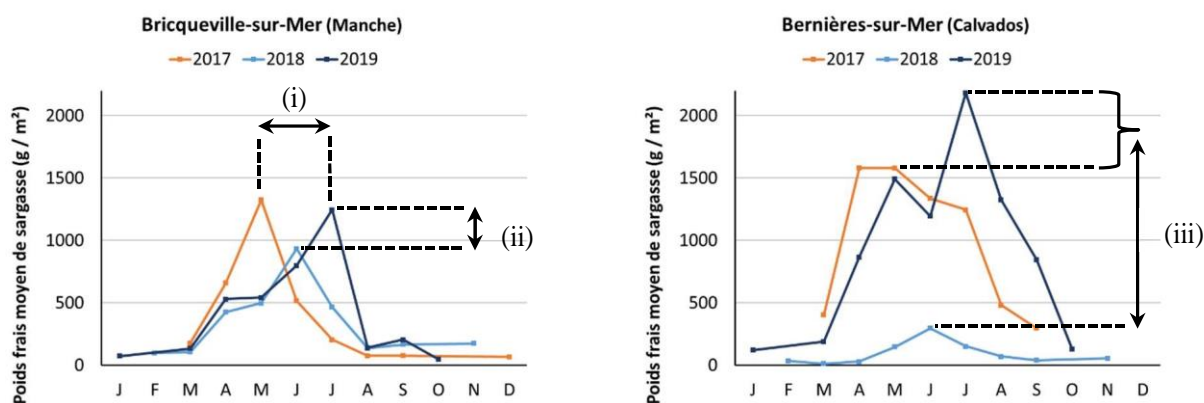


Figure 19 : Variations de la biomasse maximale au sein d'un site d'une année à l'autre : décalage dans le cycle de développement (i), différence de faible amplitude entre les biomasses maximales atteintes (ii), différence de forte amplitude entre les biomasses maximales atteintes (iii).

### (i) Variations dans le cycle de développement de la sargasse :

La phase de forte croissance est écourtée ou allongée, le pic de biomasse maximale est donc atteint plus rapidement ou tardivement.

Les biomasses moyennes maximales ont été atteintes au mois de mai en 2017 avec de fortes valeurs, au mois de juin en 2018, et au mois de juillet en 2019 avec de nouvelles de fortes valeurs. Or, quelle que soit l'année, le début de la phase de forte croissance des sargasses a débuté au mois d'avril. C'est bien la croissance et le bon état des thalles qui se sont maintenues un mois de plus en 2018 qu'en 2017, et deux mois de plus en 2019 par rapport à 2017 (exemple (i) avec le site de Bricqueville-sur-Mer, Figure 19).

L'hypothèse émise, quant au décalage de la période de biomasse maximale d'une année à l'autre, reprend les facteurs abiotiques cités précédemment : le facteur hauteur d'eau des basses mers couplé au facteur température, ainsi qu'au facteur ensoleillement. Plus les marées seront grandes (grand coefficient, pression atmosphérique forte), plus les sargasses seront exondées et se dégraderont. Plus les marées seront faibles, plus les sargasses resteront en eau et pourront continuer à se développer ou se maintenir et retarder leur dégradation.

Ainsi en 2017, l'ensoleillement a été supérieur à la normale en avril et la température a été favorable dès le mois de mai pour la croissance maximale des sargasses (Annexe 1). On émet ainsi l'hypothèse que ces conditions ont favorisé la croissance plus précoce des sargasses, avec de fortes valeurs de biomasse observées dès avril dans le Calvados et dans la Manche, et un pic maximal atteint en mai. Cependant, sur la période d'avril à juillet 2017, les marées sont de grande ampleur, les hauteurs d'eau aux basses mers sont très faibles ou nulles, l'exondation des sargasses est donc importante voire totale (11 % des hauteurs d'eau aux basses mers étaient inférieures à 1,20 m dans la Manche, et 17 % dans le

Calvados, hauteur à partir de laquelle l'estran est accessible à pied). S'ajoutent aux marées les températures de juin supérieures à la moyenne avec des pics de température atteignant 34,9 °C ; ainsi que l'ensoleillement (+ 24 % par rapport à la moyenne). La combinaison de ces trois facteurs expliquerait la dégradation rapide des sargasses observée dès juin dans la Manche.

A l'inverse, en 2019, l'ensoleillement était supérieur à la moyenne en avril, mai, juin, cependant la température était proche des normales habituelles et les marées étaient de très faible marnage (3 % des hauteurs d'eau aux basses mers étaient inférieures à 1,20 m dans la Manche et 9 % dans le Calvados) (Annexe 3). Ces conditions favorables ont certainement permis à la sargasse de continuer sa croissance et d'atteindre un pic de biomasse maximal plus tardif en juillet.

(ii) Variations de faibles amplitudes entre les biomasses maximales atteintes :

Au sein d'un même site, les différences de biomasses maximales atteintes d'une année à l'autre sont dues aux paramètres abiotiques décrits précédemment : des marées vives eaux à faibles coefficients (autour de 80) permettent de garder les algues en eau même à marée basse, ainsi d'éviter la dessiccation et d'augmenter significativement la biomasse maximale (ce qui est le cas pour l'année 2019, bien visible sur le site de Bernières-sur-Mer) ; la température, qui, si elle est optimale (comprise entre 17 et 20 °C) favorise le développement rapide de la sargasse ; l'ensoleillement nécessaire pour la photosynthèse, etc. L'analyse de la teneur en nutriments de l'eau de mer pourrait aussi apporter des éléments explicatifs supplémentaires.

(iii) Variations de fortes amplitudes entre les biomasses maximales atteintes :

On observe aussi des années où les biomasses sont anormalement faibles (anomalie de biomasse). C'est le cas de Bernières-sur-Mer en 2018, où les sargasses ont été arrachées par les tempêtes hivernales de janvier (tempête Eléanor). La pousse printanière a été très faible (biomasse maximale 297 g / m<sup>2</sup>), mais cela n'a pas impacté le développement des sargasses l'année suivante (biomasse maximale de 2 182 g / m<sup>2</sup>), détail important dans le cadre d'une récolte professionnelle. GrandcampMaisy a aussi eu une anomalie de biomasse en 2019 : les sargasses les plus hautes de l'estran ont été très fortement épiphytées par des algues rouges et des algues vertes (ulves), ce qui a empêché leur croissance printanière et même favorisé leur dégradation dès le mois de mai.

Ces deux exemples (tempête, épiphytes) indiquent que les sites de pousse de sargasse du Calvados sont plus susceptibles d'être impactés par des facteurs biotiques et abiotiques que les sites de la Manche, sur lesquels aucun impact externe n'a été observé pendant les 3 ans de suivi, voire 5 si on inclut les données du projet SARGASSES. En cause, le platier rocheux sur lequel pousse les sargasses dans le Calvados ne permet pas aux sargasses de résister face aux intempéries, leurs rameaux se font

arracher contrairement aux sargasses de la Manche qui poussent sur des substrats de petites tailles et qui peuvent être emportés par les vagues et les courants et ainsi l'algue avec son support continue son cycle en un autre endroit. Dans le Calvados, le milieu est fortement propice pour la pousse des autres algues (vertes, rouges et brunes) dont les algues opportunistes qui peuvent entrer en compétition avec les sargasses si les conditions leurs sont favorables (fort apport en nutriments, température, etc.).

#### Conclusion du suivi de la biomasse

Pour conclure :

- Le substrat est l'un des principaux facteurs qui conditionne l'expansion de la sargasse (densité, biomasse finale), tout comme avec l'exondation.
- Les paramètres abiotiques tels que la température, l'ensoleillement, les nutriments, etc. influencent la physiologie des algues et donc leur développement. La variation de certains de ces paramètres abiotiques peut expliquer les décalages interannuels et inter-sites de la croissance et les pics de biomasse maximale atteints. Par exemple, les années 2017 et 2019 ont été des années plus favorables. En 2017, la température printanière a permis un développement plus précoce de la sargasse. Comme en 2019, où la température combinée aux marées à faible marnage a favorisé le développement printanier et estival de la sargasse.
- Les sites du Calvados sont plus riches en sargasses que ceux de la Manche car la densité de sargasse y est plus forte et le développement des thalles de sargasse est plus homogène. Toutefois Bricqueville-sur-Mer et Agon-Coutainville présentent une biomasse d'intérêt.
- La biomasse maximale moyenne comprise entre 200 et 400 gr / m<sup>2</sup> à Bréville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer, entre 200 et 1 000 gr / m<sup>2</sup> à Agon-Coutainville, entre 800 et 1 400 gr / m<sup>2</sup> à Bricqueville-sur-Mer, entre 1 000 et 1 400 gr / m<sup>2</sup> à Grandcamp-Maisy, et 1 600 à 2 200 gr / m<sup>2</sup> à Bernières-sur-Mer.
- Le pic de biomasse maximale est atteint entre mai et juillet dans la Manche et dans le Calvados.
- La fenêtre de récolte est possible entre avril et juillet selon les années. Cette fenêtre est cependant plus courte dans la Manche que dans le Calvados, car la sargasse se dégrade rapidement une fois la biomasse maximale atteinte dans la Manche mais se maintient en bon état dans le Calvados.
- Certaines années, le développement de la sargasse des sites du Calvados peut être très fortement impacté par des facteurs biotiques et abiotiques (tempêtes qui arrachent les rameaux, algues entrant en compétition pour le substrat et la lumière, etc.) ce qui pénalise la biomasse totale. Cependant les parties pérennes persistent, ce qui assure la repousse l'année suivant l'impact.

### III.3. Dynamique d'échouage

#### III.3.1. Contexte

Une cartographie des barrages « actifs » et des barrages potentiellement mobilisables (poteaux présents mais cordes non installées) a été réalisée par le CRC NMdN. Les barrages ont été recensés sur les communes de Donville-les-Bains (1 300 mètres de barrage en 2014), Bréville-sur-Mer (2 000 m, Coudeville-sur-Mer inclus) et Bricqueville-sur-Mer (510 m). Ces barrages sont placés majoritairement au sud et sud-ouest des parcs, ainsi qu'autour des chantiers à naissains.

En parallèle, un suivi de la biomasse de sargasses échouée sur un barrage situé en haut d'estran à Bricqueville-sur-Mer a été réalisé de mars à septembre 2014 avec des prélèvements tous les 15 jours. Les échouages les plus importants ont été recensés en juin et juillet, avec un cumul total de 290,5 kg de sargasse sur 2,50 mètres linéaires. Il apparaît que les sargasses s'échouent avec leur support (majoritairement cailloux) dont le cumul atteint 112,3 kg sur la période, et qu'une faible proportion d'autres espèces d'algues s'échoue aussi sur les barrages (cumul de 17,1 kg sur la période).

En parallèle, une évaluation de l'impact des barrages sur le milieu a été réalisée par le GEMELNormandie qui n'a observé aucun impact sur la faune et la flore. Cependant, une accumulation des supports au pied des barrages est notée.

Enfin en 2016, le projet SARGASSES porté par le SMEL a entre autres étudié l'efficacité de différentes configurations de barrage (nombre de cordes nécessaire, hauteur, agencement parallèle ou croisé). Le suivi des échouages de sargasses a été poursuivi en 2015 et 2016 sur deux barrages (en milieu et haut d'estran) à Bricqueville-sur-Mer. Il apparaît ainsi que le barrage en haut d'estran captait moins de sargasses que le barrage situé en milieu d'estran (avec 7,7 kg / m en 2015 et 30,2 kg / m en 2016 pour le barrage du haut contre 91,9 kg / m en 2015 et 88,7 kg / m en 2016 pour le barrage du bas). Les échouages de sargasse ont été principalement observés en mai et juin en 2015 comme en 2016, avec des biomasses échouées comprises entre 30 et 40 kg / m linéaire en moyenne. En période de fort échouage, les barrages perdent de leur efficacité car ils sont rapidement pleins et finissent par laisser passer les sargasses au-dessus. Il est ainsi préconisé de débarrasser les barrages des sargasses au moins deux fois dans la saison de fort échouage. Enfin, sur les différentes configurations de barrage testées, les différences ne sont pas significatives mais il s'avère que deux cordes (l'une à 30 cm du sol et l'autre à 90 cm) sont suffisantes pour que le barrage soit efficace, la corde à 30 cm du sol pouvant capter les sargasses les moins longues.

Les suivis effectués dans le cadre du projet SNOTRA permettent d'affiner les données de biomasse d'échouage.

### III.3.2. Matériel et méthode

#### a) Site d'étude

L'échouage de sargasse a été suivi à Bricqueville-sur-Mer sur un barrage expérimental de 9 mètres de long, situé au milieu de l'estran (N 48.90899, W -1.57815435 ; Figure 20). Un suivi a aussi débuté à Bréville-sur-Mer (N 48.878588, W -1.584001), mais les échouages de sargasse sur les barrages étaient faibles ou nuls et la hauteur d'eau aux marées basses ne permettait pas toujours l'accès, le suivi a donc été arrêté.

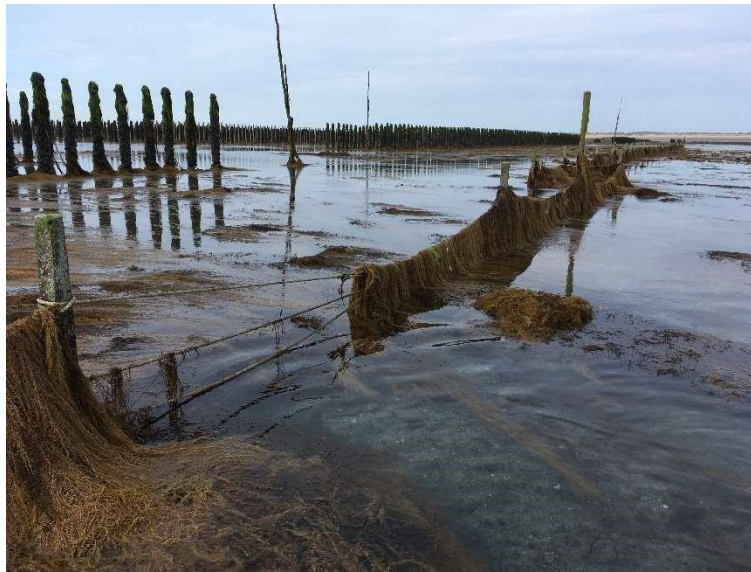


Figure 20 : Barrage expérimental à Bricqueville-sur-Mer débarrassé d'une partie des sargasses échouées (juillet 2018).

#### b) Protocole de suivi

A Bricqueville-sur-Mer, les prélèvements sont réalisés sur le même barrage, mensuellement de mars à août pendant les trois ans du projet (2017, 2018, 2019). Le barrage est constitué de deux poteaux espacés de 9 mètres, entre lesquels sont tendus deux orins : l'un à 40 cm du sol, l'autre à 100 cm ce qui permet une capture optimale des sargasses. Lors des prélèvements, suivant la quantité de sargasse, 1 à 9 mètres linéaires de sargasses échouées sont prélevés. Les supports (majoritairement des cailloux) sont enlevés, et le poids frais des sargasses est pesé directement sur site ou en laboratoire. Le poids frais moyen de sargasses échouées par mètre linéaire de barrage est calculé ainsi :

$$\text{poids moyen de sargasse échouée/mètre linéaire} = \frac{\sum \text{poids de sargasse prélevée (kg)}}{\text{longueur prélevée (m)}}$$

#### c) Traitement des données

Les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R. Les données de biomasse de sargasse échouée sont comparées avec des tests ANOVA suivis d'un test post-hoc de comparaison multiple.

### III.3.3. Résultats et discussion

La biomasse de sargasse échouée est présentée dans le graphique suivant (Figure 21).

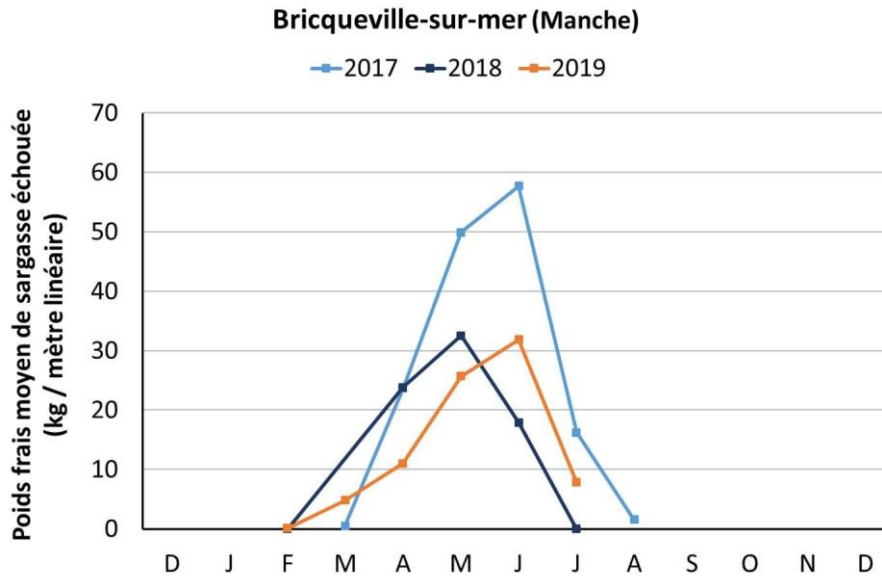


Figure 21 : Suivi de la biomasse de sargasse échouée sur le barrage expérimental entre 2017 et 2019 à Bricqueville-sur-Mer.

La quantité de sargasse échouée a une évolution saisonnière. Sur les trois ans de suivi, le phénomène d'échouage des sargasses est observé sur la période printanière et estivale, d'avril à juillet. Les échouages débutent en avril et atteignent leur maximum en mai, juin ou juillet suivant l'année, puis ils diminuent de façon nette le mois suivant le pic de biomasse maximale, pour atteindre des valeurs faibles ou nulles en août. Les biomasses maximales atteintes varient entre 30 et 55 kg par mètre linéaire : 57,5 kg / m en 2017, 32,5 kg / m en 2018 et 31,9 kg / m en 2019.

La période des échouages de sargasses et leur intensité (quantité échouée / mètre linéaire) sont directement induites par le développement des sargasses en amont sur l'estran, d'où les sargasses échouées proviennent. Ainsi, à Bricqueville-sur-Mer en 2017, les sargasses se sont développées tôt dans la saison et ont atteint des tailles particulièrement longues, ce qui se traduit par des échouages conséquents observés dès mai en 2017 (50 kg de sargasse échouée / m linéaire). En 2019, le développement des sargasses a été plus tardif et la biomasse maximale a été atteinte en juillet, ce qui se répercute sur les échouages qui ont été plus tardifs, avec un pic de biomasse de sargasse échoué lui aussi atteint en juillet.



La saisonnalité des échouages ainsi que les biomasses échouées enregistrées de 2017 à 2019 concordent avec les résultats issus des suivis effectués à Bricqueville-sur-Mer entre 2014 et 2016 dans le cadre du projet SARGASSES.

Beaucoup des sargasses échouées sur les barrages étaient encore accrochées à leur support (cailloux le plus souvent). Les supports représentent ainsi 60 à 20 % du poids total ramassé : 60 % au début et à la fin du phénomène d'échouage, lorsque les sargasses ne sont pas à leur développement maximal mais qu'elles ont une longueur et un poids suffisants pour être déportées avec leur support ; 20 % lors des périodes maximales d'échouage, lorsque les sargasses ont une longueur et un poids optimaux (ce qui contrebalance et diminue le poids total des supports).

Par ailleurs, la quantité des autres algues captées par le système de barrage est faible (quelques algues vertes, rouges et brunes dont des fucus qui poussent à même la corde). Comme décrit précédemment, la biomasse algale échouée hors sargasse a été estimée à 17,1 kg sur l'année 2014, soit 5,6 % de la biomasse algale échouée (Michel et al. 2014).

Une partie des sargasses échouées s'enroule autour des cordes, et celles qui se trouvent au milieu commencent parfois à se dégrader. Les échouages étant réguliers (à chaque marée, soit, un intervalle de 15 jours), débarrasser les barrages d'une marée à l'autre permettrait d'une part de désengorger les barrages et d'autre part de récolter des sargasses de bonne qualité.

### III.4. Biomasse disponible

#### III.4.1. Matériel et méthode

##### a) Sur estran

La biomasse annuelle disponible au sein d'un site a été calculée à partir des données de biomasses moyennes maximales (hors biomasses anormales) et de l'estimation de la surface de pousse des sargasses sur le site considéré.

$$\text{tonnage annuel} = \frac{\Sigma \text{ biomasse moyenne maximale (g m}^{-2}\text{)}}{\text{nombre de biomasse moyenne maximale}} \times \text{surface de pousse (km}^2\text{)}$$

Les surfaces de pousse sont délimitées à partir des vues aériennes ortholittorales sur le logiciel de SIG Quantum GIS (Figure 22).



Figure 22 : Délimitation des surfaces propices à la pousse de la sargasse sur les six sites étudiés. Bréville-sur-Mer (A), Bricqueville-sur-Mer (B), Agon-Coutainville (C), Gouville-sur-Mer (D), Grandcamp-Maisy (D), Bernières-sur-Mer (E).

### b) Les barrages

La biomasse annuelle échouée sur les barrages à Bricqueville-sur-Mer est calculée à partir des données de biomasses moyennes maximales enregistrées, du linéaire de barrage impacté et du nombre de marées susceptibles de déporter suffisamment de sargasses.

Le linéaire de barrage impacté est estimé à 1 325 mètres (Figure 23).

$$\text{tonnage annuel échoué} = \frac{\Sigma \text{ biomasse moyenne maximale (g m}^{-1}\text{)}}{\text{nombre de biomasse moyenne maximale}} \times \text{linéaire barrage (m)} \times \text{nombre de marées propices}$$

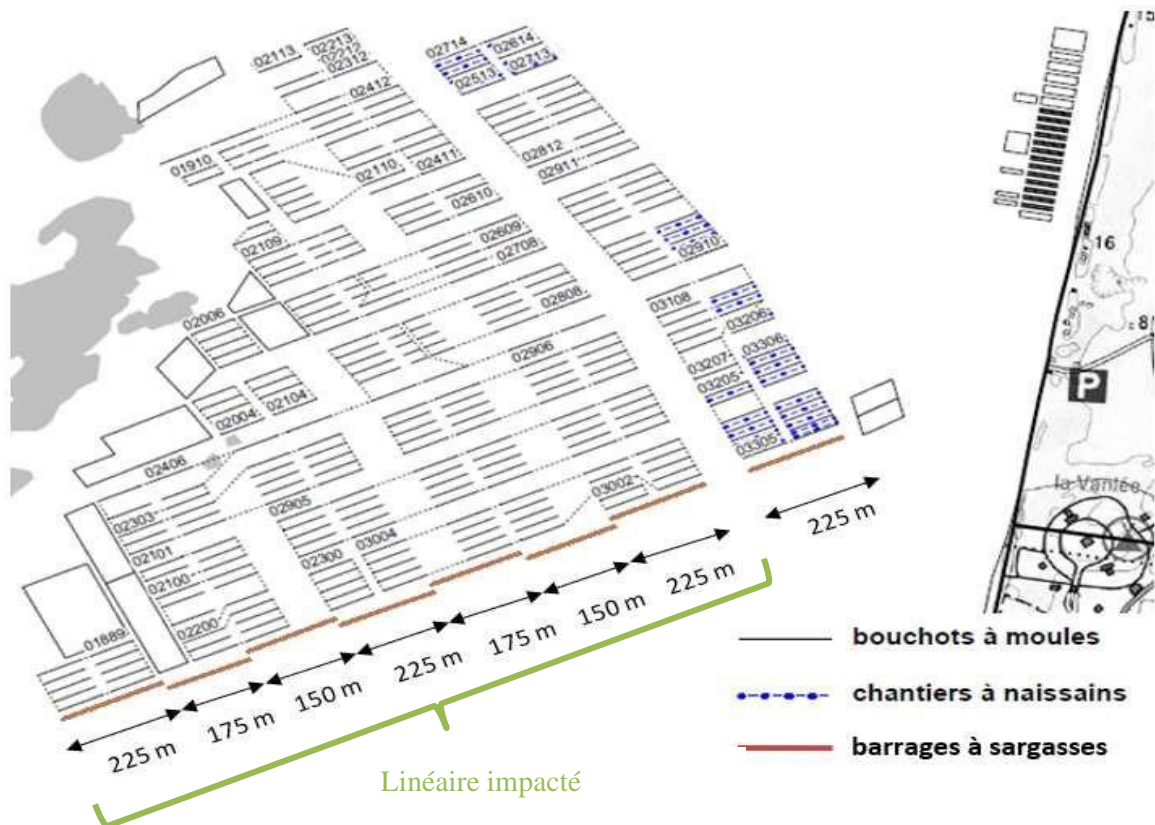


Figure 23 : Linéaire des barrages à sargasse implantables à Bricqueville-sur-Mer. En vert le linéaire potentiellement impacté par les échouages de sargasse.

Le nombre de marées susceptibles de déporter suffisamment de sargasses est estimé à 6.

Tout d’abord, à partir des résultats mensuels de biomasse échouée par mètre linéaire, 2 mois semblent favorables à la récolte des sargasses échouées (en amont et aval du pic de biomasse maximale échouée).

Ensuite, chaque mois comporte deux marées à grand coefficient : une marée « courte » et une marée « longue ». Or, en juillet 2014 à Bricqueville-sur-Mer, l’un des barrages étudiés a été débarrassé de ses sargasses au début d’une marée « longue », puis 5 jours plus tard sur cette même marée. Au total, 43,3 kg de sargasse / m linéaire se sont échoués entre les deux relevés (Pien et al. 2016). Ainsi, une marée longue permettrait deux récoltes, et une marée courte permettrait une récolte.

### III.4.2. Résultats et discussion

#### a) Sur estran

En 1991, une étude avait permis l'estimation des tonnages pour les sites de Bricqueville-sur-Mer (5 300 tonnes), Grandcamp-Maisy (8 220 tonnes) et Luc-sur-Mer à Bernières (3 700 tonnes) (Givernaud et al. 1991).

Mais, il semblait important de revoir ses estimations sur les mêmes sites qui correspondent à nos sites d'études. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 10).

Site	Surface estimée (km <sup>2</sup> )	Biomasse moyenne maximale mesurée (g / m <sup>2</sup> )	Biomasse fraîche annuelle estimée (tonnes)
Bréville-sur-Mer	0,5	202,5	145
Bricqueville-sur-Mer	2,3	3 269,5	2 686
Agon-Coutainville	3,3	2 519,8	1 934
Gouville-sur-Mer	2,4	654,5	1 047
Grandcamp-Maisy	5,2	4 089,2	6 075
Bernières-sur-Mer	3,6	4 328,6	6 775
<b>Total</b>			<b>18 662 tonnes</b>

Tableau 10 : Biomasses estimées de sargasse poussant sur les six sites d'étude.

Bréville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer présentent de faibles tonnages. La surface de recouvrement des sargasses sur ces sites est ponctuelle et les densités sont faibles. Il apparaît donc que ces deux sites semblent peu idéaux pour des récoltes professionnelles. Agon-Coutainville est un site entre-deux, le tonnage est intéressant sous condition d'avoir un bon développement de la sargasse, ce qui a été le cas en 2017 avec 1 085,7 g / m<sup>2</sup> (contre 162,7 g / m<sup>2</sup> en 2018). Par contre, Bricqueville-sur-Mer, Grandcamp-Maisy et Bernières-sur-Mer ont des tonnages très intéressants pour des récoltes professionnelles.

Cependant, il faut noter qu'à Bricqueville-sur-Mer le recouvrement des sargasses est assez éparé sur l'estran, et qu'il devient plus homogène et dense au niveau du platier rocheux localisé en bas de l'estran



devant les bouchots ainsi qu'au sein du parc conchylicole (Figure 24). La récolte de sargasse sera donc optimale au niveau du platier et des parcs conchylicoles.

Pour les sites du Calvados, un autre point est à prendre en compte : ils peuvent être touchés par des facteurs environnementaux qui impactent le développement des sargasses. Exemple avec les tempêtes hivernales en 2018 à Bernières-sur-Mer où la biomasse moyenne maximale atteinte fût de 296,6 g / m<sup>2</sup>. Autre exemple en 2019 avec le surdéveloppement d'ulves à Grandcamp-Maisy au détriment des sargasses, la biomasse moyenne maximale fût atteinte très tardivement en août. Ces facteurs à risques sont à prendre en compte dans le cas de récoltes professionnelles, comme en agricole, certaines années peuvent être de « mauvais crus ».



Figure 24 : Répartition de la sargasse à Bricqueville-sur-Mer : devant les parcs mytilicoles en juillet 2019 (A), au sein des parcs mytilicoles en mai 2019 (B).

Le tonnage estimé de sargasse échouée sur les barrages à Bricqueville-sur-Mer est présenté ci-dessous (Tableau 11).

Site	Linéaire de barrage touché (m)	Nombre de marées propices	Biomasse moyenne maximale mesurée (kg / m)	Biomasse moyenne annuelle estimée (tonnes)
Bricqueville-sur-Mer	1 325	6	40,7	323,5

Tableau 11 : Biomasse estimée de sargasse échouée sur un an à Bricqueville-sur-Mer.

Le tonnage échoué sur une année à Bricqueville-sur-Mer est estimé à 323,5 tonnes. Ce tonnage peut être classé avec les faibles tonnages estimés pour les estrans de Bréville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer. Cependant, ce tonnage a tout son intérêt. En effet, d'une part parce que l'ensemble du tonnage est condensé sur une zone bien définie, que sont les barrages, avec une biomasse moyenne maximale sur trois années atteignant 40,7 kg / m linéaire. La récolte peut y être facilitée voire optimisée. D'autre

part, la récolte des sargasses échouées répondrait à la problématique du désencombrement des barrages mis en avant par la DDTM de la Manche.

### III.5. Présence de la sargasse en Normandie

#### III.5.1. Matériel et méthode

Afin de déterminer la présence de la sargasse sur le littoral normand, son abondance, et à terme les possibilités de récolte, un travail d'état des connaissances a été mené suivi de prospections sur le terrain.

L'état des connaissances a été réalisé à partir de publications scientifiques recensant la présence de la sargasse en Normandie et à partir des connaissances terrain provenant de la Cellule de Suivi du Littoral Normand (CSLN), du CRCNMN, du CRPMEMN et du SMEL. En parallèle, les cartes de la nature des fonds sédimentaires du SHOM et les vues aériennes (ortholittorales) ont permis de déterminer les zones ayant un substrat propice à la présence de sargasses, c'est-à-dire les zones rocheuses et sableuses avec cailloutis ou graviers. Ces données ont permis de sélectionner les sites à prospecter.

Les prospections ont été effectuées sur le littoral de la Manche, du Calvados et de la Seine-Maritime entre 2017 et 2019. Au total, 37 sites ont été prospectés.

Les prospections se sont déroulées majoritairement au printemps et en été afin d'avoir des sargasses bien développées et donc visibles, sur la zone intertidale des estrans (pas de repérage en plongée en zone subtidale), lors de marées à coefficients moyens afin d'accéder le plus loin possible à l'estran – les marées à grand coefficient auraient été plus avantageuses pour prospecter sur l'ensemble de l'estran, mais elles étaient déjà prises pour les suivis par quadrat des 6 sites d'étude. Une fois sur site, la partie d'estran découverte étaient longée à pied ou en quad. Les données et observations recensées in situ ont porté :

- sur le site prospecté, de manière générale :
  - o le substrat global : vase / sable / gravier / cailloutis / roche / platier,
  - o l'hydrodynamisme : calme / semi-battu / battu ; - si présence de sargasse, sur :
  - o la localisation des sargasses sur l'estran : supérieure / moyenne / inférieure, o Leur emplacement : cuvette / couloir / roche / platier, o le substrat de pousse : cailloux / roche / platier / avec sable, o la surface de recouvrement : ponctuelle, groupée (=

- o îlot), dispersée (= répandue), o la densité : faible /moyenne /forte, o l'état des thalles : partie pérenne / développée,
- o si possibilité d'exploiter le gisement, la manière : manuelle /mécanique.

Une carte de l'abondance de la sargasse sur les sites prospectés a été établie à partir des données de prospection. Les données de prospection compilées aux données issues de l'état des connaissances (indications de présence, types de sédiment) ont permis d'établir une carte estimant l'abondance des sargasses sur l'ensemble du littoral normand et recensant les zones qui ont un potentiel d'exploitation. Les cartes ont été réalisées sur le logiciel de SIG Quantum GIS.

### III.5.2. Résultats et discussion

#### a) Prospections du littoral normand

##### Manche :

Les zones prospectées sur les côtes de la Manche sont présentées dans la carte ci-dessous (Figure 25).

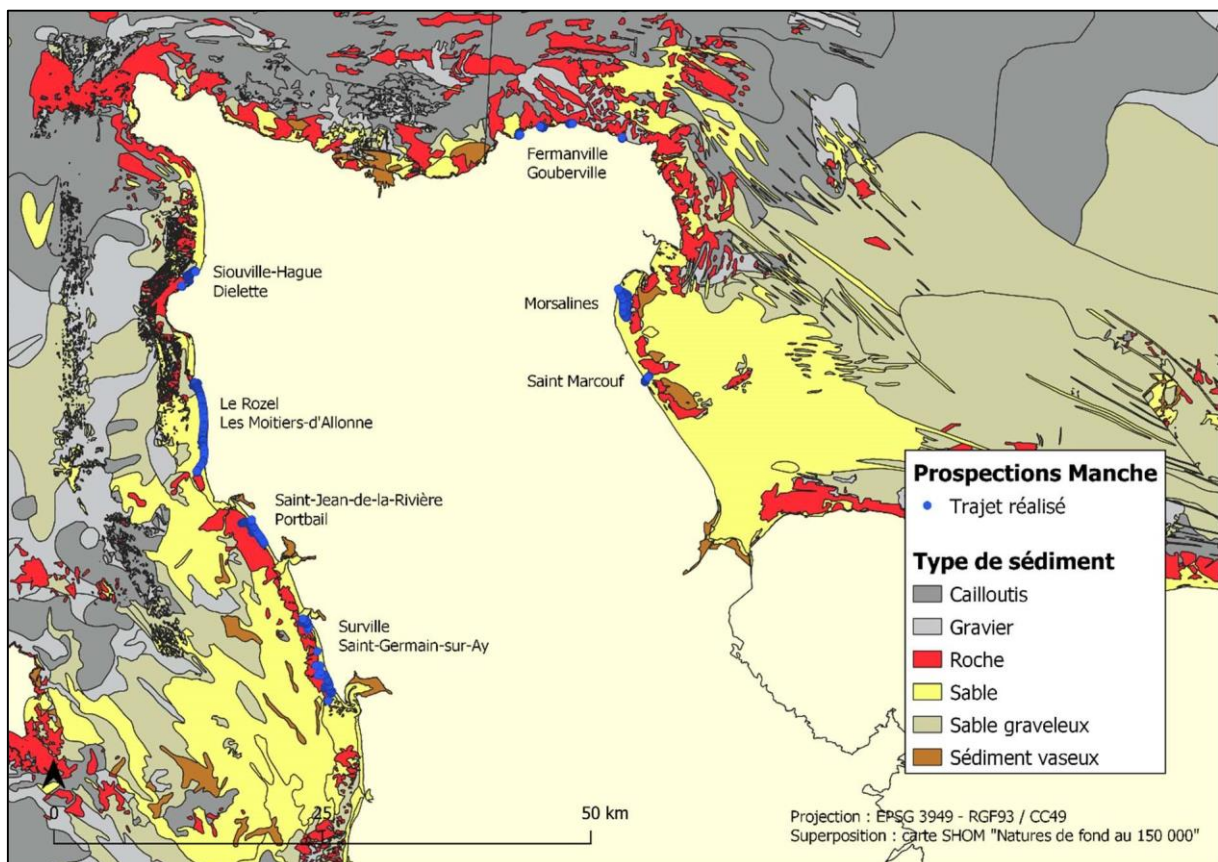


Figure 25 : Trajets effectués lors des prospections réalisées dans la Manche.



Tronçon de Saint-Germain-sur-Ay à Surville :

Présence faible à moyenne de sargasses, réparties de manière ponctuelle ou regroupées, le plus souvent le long de couloirs rocheux ou bien au sein de cuvettes assez larges. Bien que la sargasse soit présente, son exploitation reste inintéressante au vu des faibles quantités (Figure 26).

Tronçon Portbail / Saint-Jean-de-la-Rivière :

Présence moyenne à forte de sargasses, réparties de manière dispersée sur l'estran, au sein de larges cuvettes et en plus faible quantité le long de couloirs rocheux. Exploitation possible, de façon manuelle.

Tronçon de Les Moitiers-d'Allonne à Le Rozel :

- platier rocheux devant Les Moitiers-d'Allonne : platier rocheux à découvert avec de petites cuvettes, peu de retenue d'eau, présence faible de sargasses, la majeure partie est à l'état de parties pérennes présentes ce qui indique un fort hydrodynamisme ;
- zone sableuse entre Les Moitiers-d'Allonne et Le Rozel : pas de sargasse, quelques blocs rocheux mais à découverts et hydrodynamisme trop fort ;
- blocs rocheux devant Le Rozel : présence très faible à faible, au sein de cuvettes et des creux des blocs rocheux.

Pas d'exploitation possible.

Tronçon de Dielette à Siouville-Hague :

- Dielette : éboulis de blocs rocheux avec quelques cuvettes, présence faible à moyenne de sargasses au sein des cuvettes, fort hydrodynamisme ;
- Siouville-Hague : une large cuvette en haut d'estran contenant des sargasses bien développées sur un substrat sableux caillouteux, en bas d'estran plateforme rocheuse basse à hauteur moyenne comportant de petites cuvettes et couloirs impliquant une répartition groupée de la sargasse, faible à moyenne densité.

Pas assez de sargasse pour mettre en place une exploitation.

Tronçon d'Herqueville au Nez de Jobourg (prospection effectuée dans le cadre du projet HLiN):

Blocs rocheux très importants avec une présence de sargasses dans les nombreuses cuvettes. Il existe deux grandes « cuvettes » de plusieurs centaines de mètres carrés avec une densité assez forte en sargasses. Cependant, l'accès y est très difficile pour une récolte, uniquement par petites embarcations.

Tronçon de Fermanville à Gouberville :

Estrans sableux caillouteux avec des blocs rocheux hors d'eau, très faible à faible présence de sargasses, répartition ponctuelle, au sein de cuvettes ou isolée dans le sable sur support rocheux, hydrodynamisme fort (Figure 27). Il n'y a pas d'exploitation possible.

Tronçon de Morsalines à Saint Marcouf :

- Morsalines : estran sableux, présence ponctuelle de thalles de sargasses échoués avec leur support (cailloux) ;
- Saint Marcouf : estran sableux caillouteux, aucune sargasse ni autre algue.

Pour conclure, les zones investiguées de la côte ouest de la Manche propices au développement de la sargasse présentent les caractéristiques suivantes :

- point d'accroche possible sur les platiers rocheux, cuvettes et couloirs sableux caillouteux,
- stagnation de l'eau à marée basse,
- hydrodynamisme moyen à faible, ou zone abritée.

La pousse de sargasse reste confinée aux cuvettes, l'abondance reste faible à moyenne car la répartition de la sargasse dépend de la taille des cuvettes.

Ce qui est aussi le cas à Gouville-sur-Mer et Blainville-sur-Mer, sites qui présentent des patches de sargasses parfois abondants, dispersés dans les cuvettes et chenaux abrités. Agon-Coutainville présente un champ de sargasse au sud des parcs avec une répartition le long de longs et larges couloirs, sur un estran sableux caillouteux.

Bricqueville-sur-Mer est le seul site où la sargasse est répartie en un large champ sur l'estran et au sein des parcs. Cette forte présence s'explique en partie par une barrière rocheuse située au large de la zone (environ au niveau du zéro des cartes) qui retient l'eau sur une très large superficie, même à forts coefficients.

Les Iles Chausey comporteraient elles aussi des zones à sargasse (Givernaud 1984) mais elles n'ont fait l'objet d'études particulières dans le cadre de SNOTRA. Une exploitation sur l'archipel semble de toutes manières par principe moins rentable que sur le continent.

Sur la côte nord-est de la Manche, bien qu'il y ait d'autres algues présentes (algues rouges et brunes, dont laminaires), l'hydrodynamisme (fort) combiné au substrat (sable avec blocs rocheux immergés, pas de zone abritée) ne permettent pas à la sargasse de s'y développer à grande échelle. Elle est donc absente ou limitée à quelques pieds isolés.

IL semble en aller de même pour la côte nord-ouest qui n'a pas été prospectée (falaises, fort hydrodynamisme).

Le sud de la côte Est de la Manche est trop sableux pour permettre à la sargasse d'y pousser. La sargasse pourrait être présente de Foucarville jusqu'à Saint-Vaast-La-Hougue sur la bande rocheuse (Givernaud 1984), mais les coefficients n'ont pas permis l'accès à cette zone lors des prospections. Dans la littérature des années 80, la sargasse est présente à Saint-Vaast, sur le pourtour de l'île de Tatihou et dans les parcs du Val de Saire (Givernaud 1984). Actuellement, la taille de cette population semble avoir régressé, mais des observations in situ seraient nécessaires pour le confirmer.

Le nord de la côte Est de la Manche n'a pas été prospecté. A Réville la sargasse est présente ponctuellement dans des cuvettes ou couloirs entre les platiers et blocs rocheux (données internes SMEL). On peut ainsi supposer qu'il en va de même jusqu'à la pointe de Saire. De même, le sud de la côte Ouest du Cotentin (au sud de Granville) n'a pas été investiguée, cependant, les observations effectuées dans le cadre du projet HLiN (réseau de suivi des huitres naturelles) montrent une absence de sargasses sur cette zone, excepté au pied des falaises de Carolles où elles sont faiblement présentes dans les cuvettes.



Figure 26 : Tronçon Saint-Germain-sur-Ay à Surville : couloir (A), large cuvette ou mare (B), cuvette le long de blocs rocheux (C). Tronçon Portbail à Saint-Jean-de-la-Rivière : large cuvette (D). Les Moitiers-d'Allonne : platier découvert avec petites cuvettes (H)



*Figure 27 : Tronçon Fermanville à Gouberville : estran sableux avec blocs rocheux (A), cuvette au sein de blocs rocheux (B), : estran sableux avec blocs rocheux subissant le ressac (C). Morsalines : estran sableux (D), sargasse échouée avec son support (E).*

Calvados :

Les zones prospectées sur les côtes du Calvados sont présentées dans la carte ci-dessous (Figure 28).

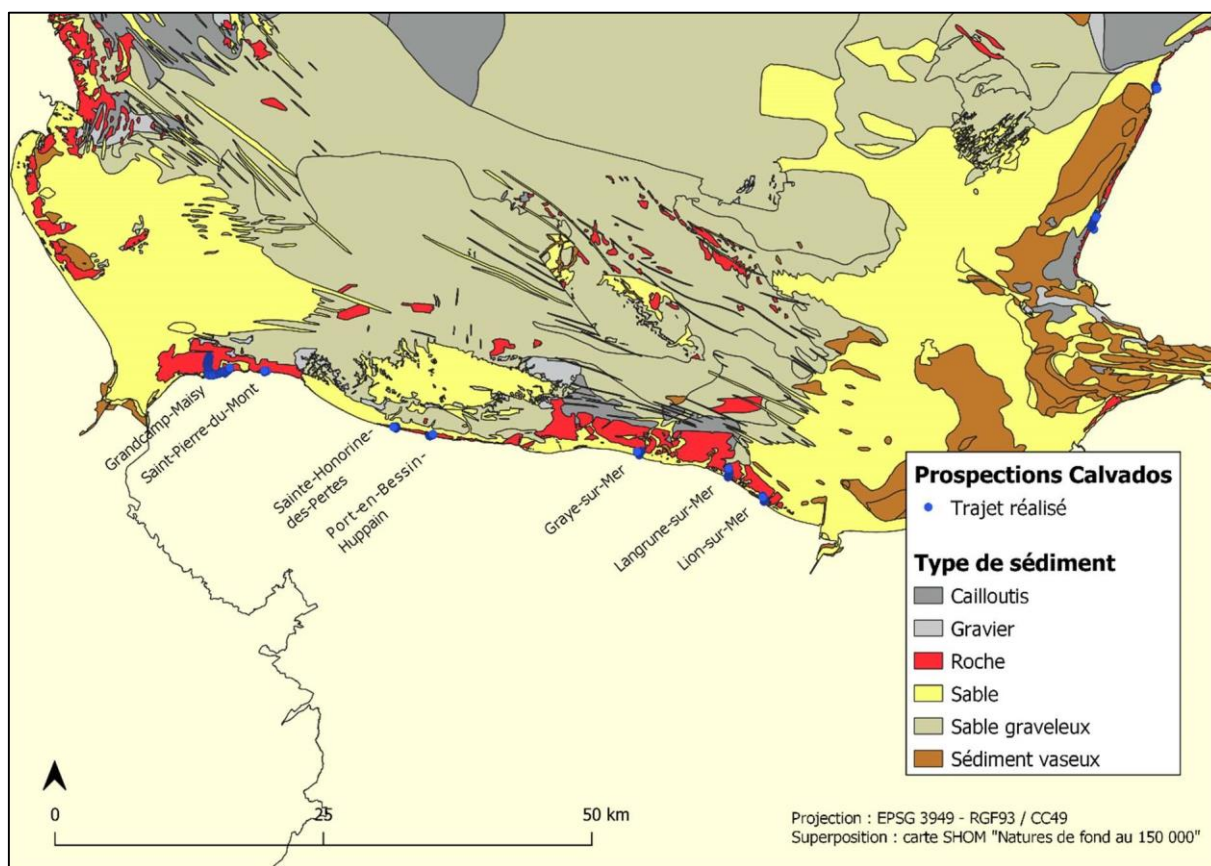


Figure 28 : Trajets effectués lors des prospections réalisées dans le Calvados.

Grandcamp-Maisy (zone prospectée à l'est du port) :

Présence forte de sargasses, répartition homogène et dispersée sur un substrat sableux caillouteux au sein de larges mares retenant l'eau ou sur le platier rocheux toujours en eau. C'est un site d'intérêt pour la récolte, manuelle ou mécanique (Figure 29).

Saint-Pierre-du-Mont :

Eboulis de blocs rocheux formant un large platier rocheux hors d'eau surplombant la mer, présence ponctuelle de la sargasse au sein de cuvettes et couloirs, fort hydrodynamisme.

Sainte-Honorine-des-Pertes :

Faible présence de la sargasse, répartie de manière ponctuelle ou groupée au sein de cuvettes de taille moyenne.

Port-en-Bessin :

Platier rocheux surplombant la mer comportant cuvettes et couloirs, faible présence de sargasses. Cependant, la hauteur d'eau n'a pas permis d'accéder à la totalité de l'estran, une deuxième prospection pourrait être envisagée.

Asnelles-sur-Mer :

Lors de la prospection la zone sableuse de l'estran (qui comporte les tables à huîtres) était émergée, sans sargasse. Le platier rocheux au nord des tables était sous l'eau, il est possible qu'il y ait de la sargasse.

Graye-sur-Mer :

Présence moyenne à forte des sargasses, réparties de manière similaire à Grandcamp-Maisy, dans de larges mares sableuses caillouteuses et sur le platier rocheux, l'ensemble toujours en eau.

L'exploitation semble possible, manuelle ou mécanisée.

Langrune-sur-Mer :

Dans la continuité du plateau de Courseulles-sur-Mer et Bernières-sur-Mer, moyenne à forte densité des sargasses, présentes comme décrit précédemment, au sein de larges mares et sur platier rocheux encore en eau. L'exploitation semble possible, manuelle ou mécanisée.

Lion-sur-Mer :

La hauteur d'eau n'a pas permis d'aller loin sur l'estran, étant dans la continuité du platier rocheux de Langrune-sur-Mer, on peut supposer que la présence de sargasse soit moyenne à forte et que ce site ait un potentiel pour la récolte de sargasse. Ce secteur devra faire l'objet d'une nouvelle observation.

Pour conclure, Grandcamp-Maisy, Graye-sur-Mer et le tronçon Courseulles-sur-Mer à Langrune-sur-Mer ont une forte densité de sargasses qui poussent en champs répartis sur les platiers rocheux encore immergés ou au sein de larges mares ou cuvettes.

Les platiers rocheux entre Saint-Côme-de-Fresné et Ver-sur-Mer peuvent comporter de la sargasse, mais, alors que sa présence était une problématique il y a une dizaine d'années pour les parcs ostréicoles de cette zone, il est aussi possible qu'elle ait été remplacée par des laminaires (source CRCNMN).



Les zones rocheuses aux alentours de Saint-Pierre-du-Mont et Port-en-Bessin-Huppain comportent des brins épars de sargasses.

Les zones sableuses que sont Omaha Beach et de Cabourg jusqu'à l'estuaire de la Seine ne sont pas propices à la pousse de la sargasse, elles n'ont pas été prospectées.



Figure 29 : Grandcamp-Maisy : larges cuvettes (A), sargasses sur platier rocheux (B), champs de sargasses à découvert (C). Saint-Pierre-du-Mont : éboulis rocheux à l'aplomb des falaises (D), large plateau rocheux avec cuvettes, en surplomb de la mer (E). Saint-Honorine-des-Pertes : alternance de cuvettes (F). Graye-sur-Mer : large champ de pousse de sargasses sur platier rocheux (G). Langrune-sur-Mer : sargasses sur platier rocheux (H).

Seine-Maritime :

Les zones prospectées sur les côtes de la Seine-Maritime sont présentées dans la carte ci-dessous (Figure 30).

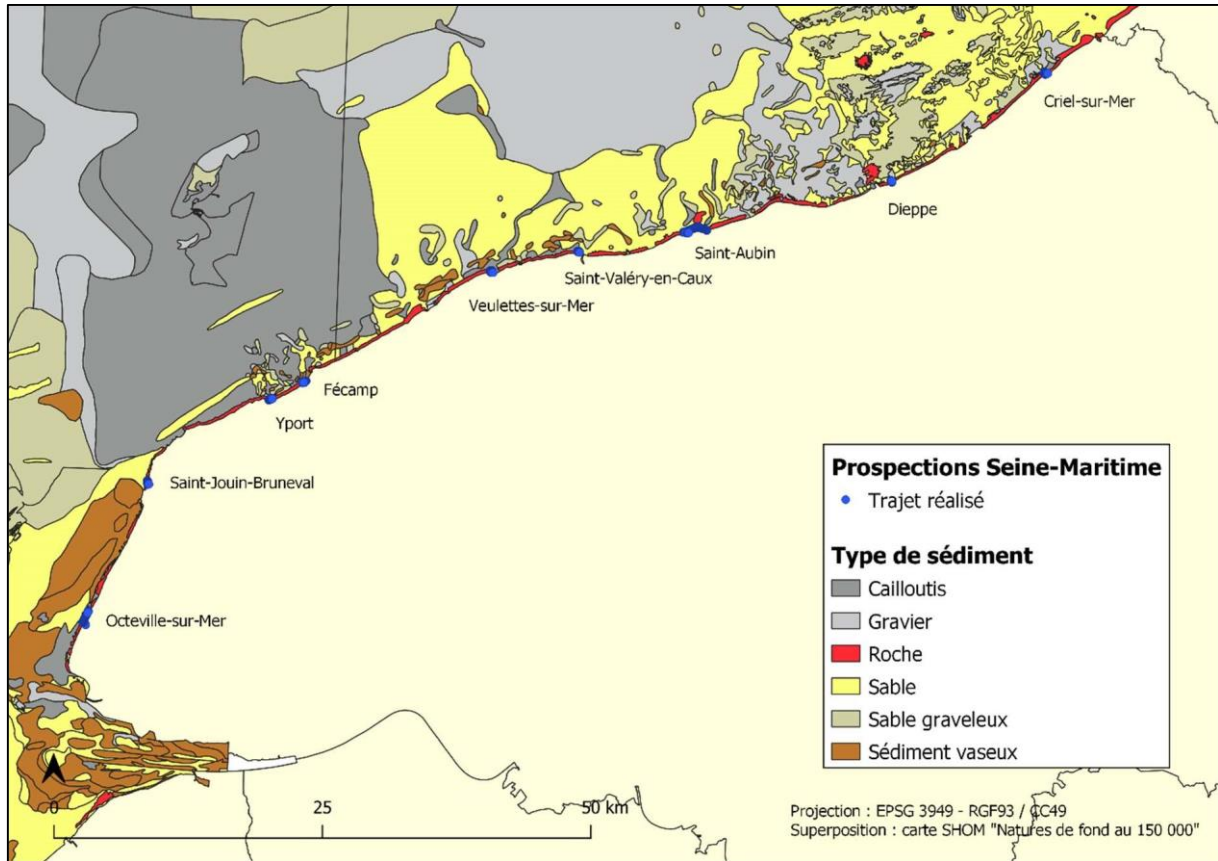


Figure 30 : Trajets effectués lors des prospections réalisées en Seine-Maritime.

L'ensemble des estrans prospectés en Seine-Maritime comportent généralement une falaise au pied de laquelle se trouvent des éboulis et galets, puis le substrat est soit sableux/avec ou non des blocs rocheux, soit le substrat est composé d'un platier calcaire hors d'eau ou rocheux avec cuvettes et couloirs (Figure 31).

Octeville-sur-Mer :

Estran sableux avec rochers parsemés, aucune sargasse, très peu d'algues (Figure 26).

Saint-Jouin-Bruneval :

Estran avec blocs rocheux directement immergés, site très riche en algues (*Laminaria digitata*, *Palmaria palmata* et autres algues rouges, ulves, corallines...) comportant une grande mare de sargasses non accessible à pied (en eau), la densité de sargasse y est forte, et elles sont bien développées. La zone est renommée pour la chasse sous-marine (nombreux pêcheurs aux harpons sur

2019

place). Cette zone est en partie protégée à l'ouest par la digue du port d'Antifer, ce qui a certainement favorisé le développement des populations algales observées.

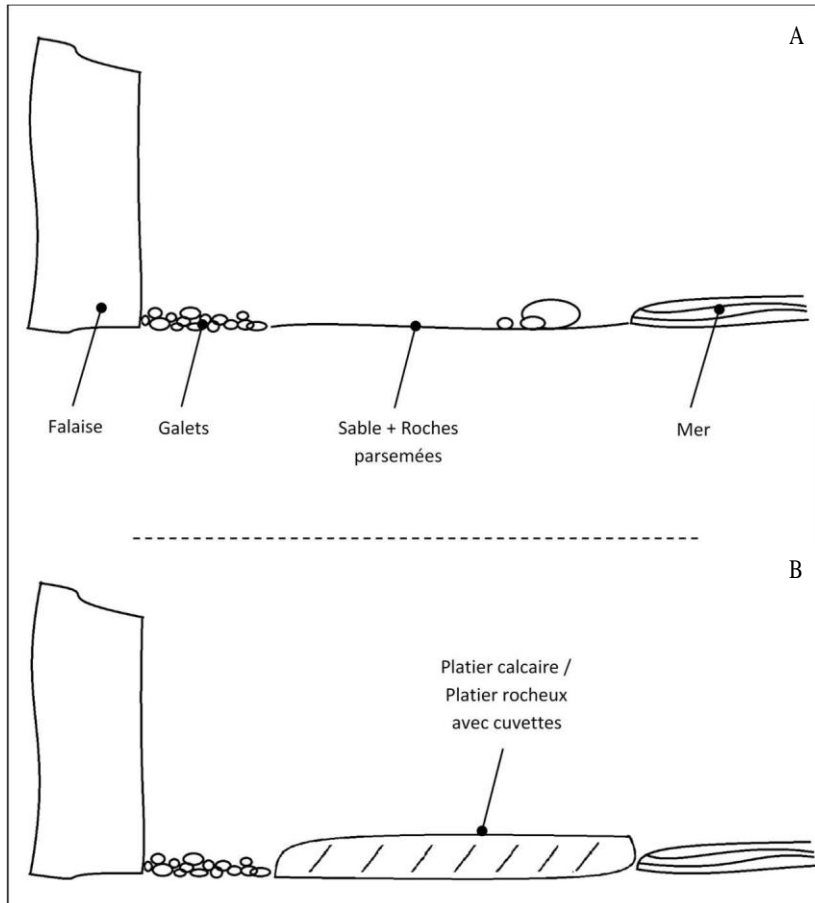


Figure 31 : Agencement des estrans en Seine-Maritime : estran sableux (A) ou estran avec un platier calcaire ou rocheux (B).

Yport et Fécamp :

Sites avec platiers rocheux hors d'eau comportant des cuvettes et couloirs, la densité de sargasse à Yport est très faible, quelques thalles parsemés, la densité de sargasse à Fécamp est faible au sein des cuvettes.

Veulettes-sur-Mer :

Site avec platier rocheux avec cuvettes et couloirs hors d'eau, la présence de sargasse est ponctuelle, densité très faible (Figure 32).

Saint-Valéry-en-Caux :

Site avec platier rocheux hors d'eau recouvert de fucus, présence de nombreux couloirs et cuvettes comportant parfois des sargasses, la densité de sargasse est faible, mais elle est bien développée.

Saint-Aubin-sur-Mer :

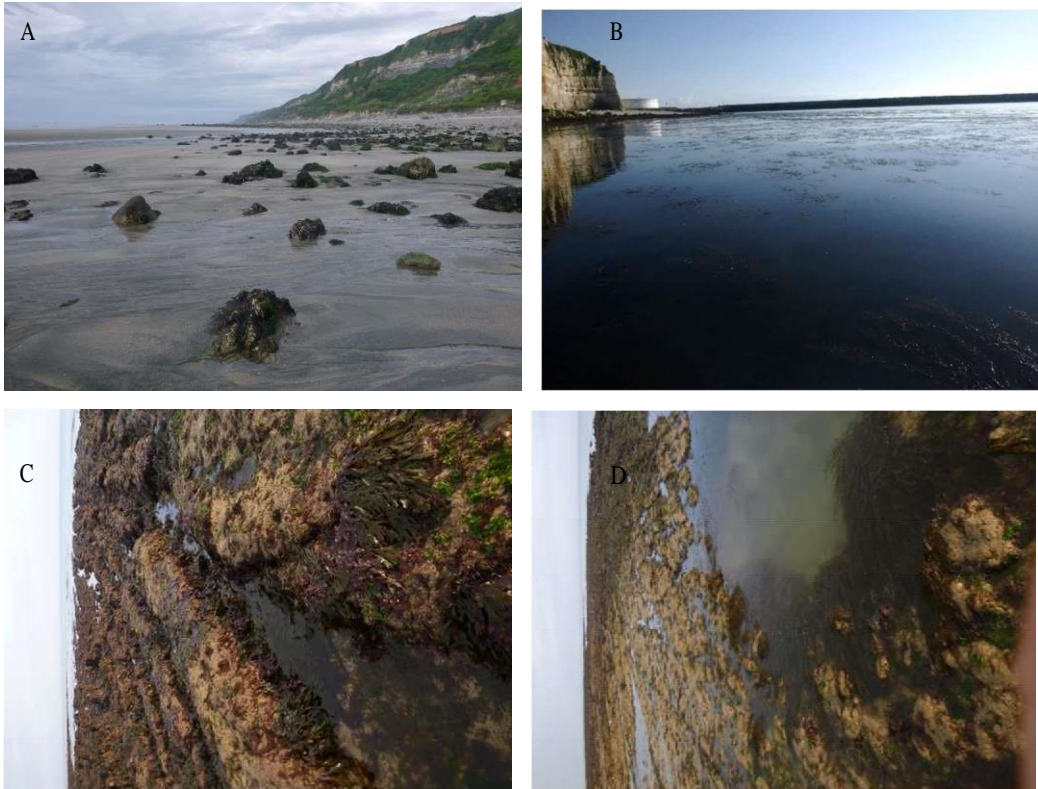
Site sableux avec rochers épars, très peu d'algues en général (quelques Fucus serratus, entéromorphes, ulves, algues rouges calcaires encroûtantes ...) et aucune sargasse.

Dieppe et Criel-sur-Mer :

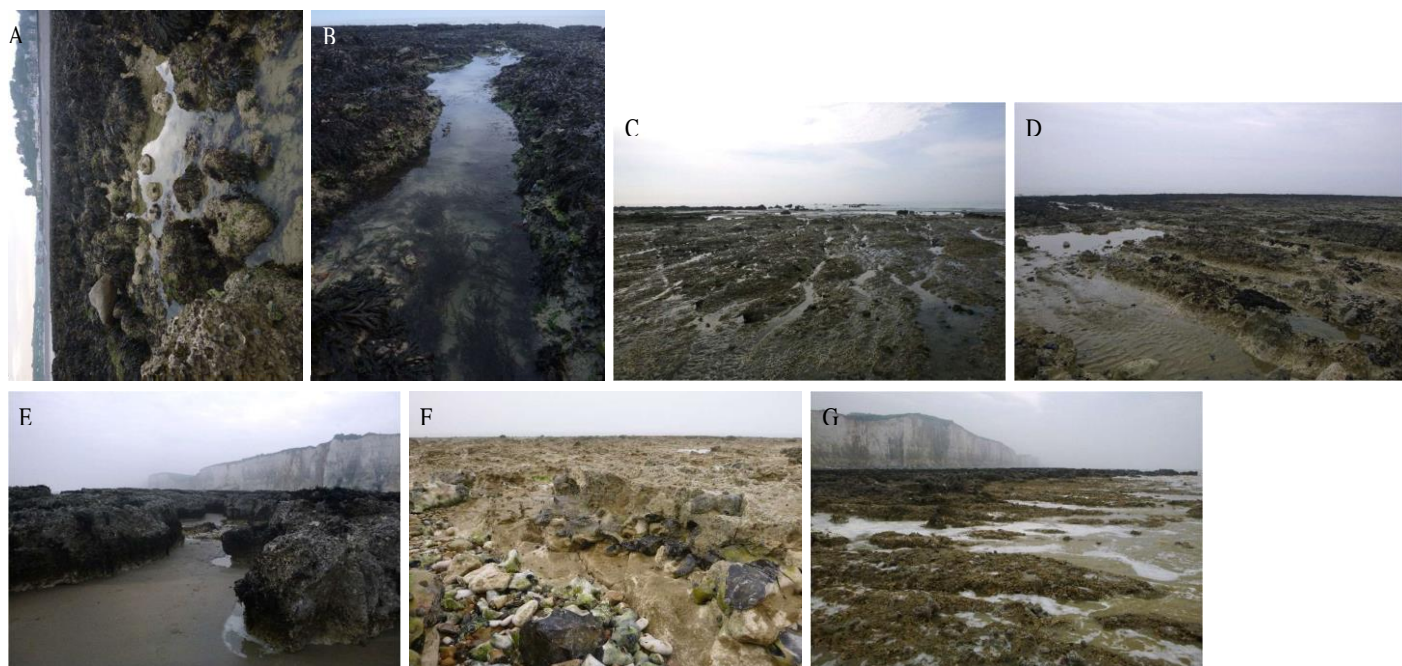
Sites avec plateau calcaire hors d'eau, très peu d'algues, aucune sargasse.

Pour conclure, les estrans de Seine-Maritime ne sont pas propices au développement de la sargasse bien qu'ils comportent des platiers rocheux, car ces derniers sont totalement hors d'eau à marée basse. La présence de cuvettes et couloirs sur certains sites laisse la possibilité à quelques thalles de sargasse de se fixer, mais la densité reste très faible voire ponctuelle. Seul le site de Saint-Jouin-Bruneval diffère de la description précédente : le site reste immergé à marée basse, et la densité algale, dont la sargasse y est forte. Les sargasses poussent dans une large et profonde cuvette devant la cale et sont protégées par la digue côté ouest.





*Figure 32 : Octeville-sur-Mer : plage de sable parsemée de blocs rocheux (A). Saint-Jouin-Bruneval : mare étendue de sargasse (B). Fécamp : platier rocheux avec rigoles (C) ou cuvettes (D) comportant de la sargasse.*



*Figure 33 : Veulettes-sur-Mer : haut platier rocheux hors d'eau (A). Saint-Valéry-en-Caux : platier rocheux hors d'eau à fucus, avec couloirs comportant de la sargasse (B). Saint-Aubin-sur-Mer : substrat sableux avec rochers (C). Dieppe : platier calcaire hors d'eau (D) se finissant en grands blocs rocheux en front de mer (E). Criel-sur-Mer : platier rocheux calcaire nu et hors d'eau en amont (F), platier recouvert de fucus en aval (G).*

### Conclusion des prospections

L'ensemble des données sur l'abondance de la sargasse provenant des prospections et des 6 sites étudiés est retranscrit dans la carte suivante (Figure 34).

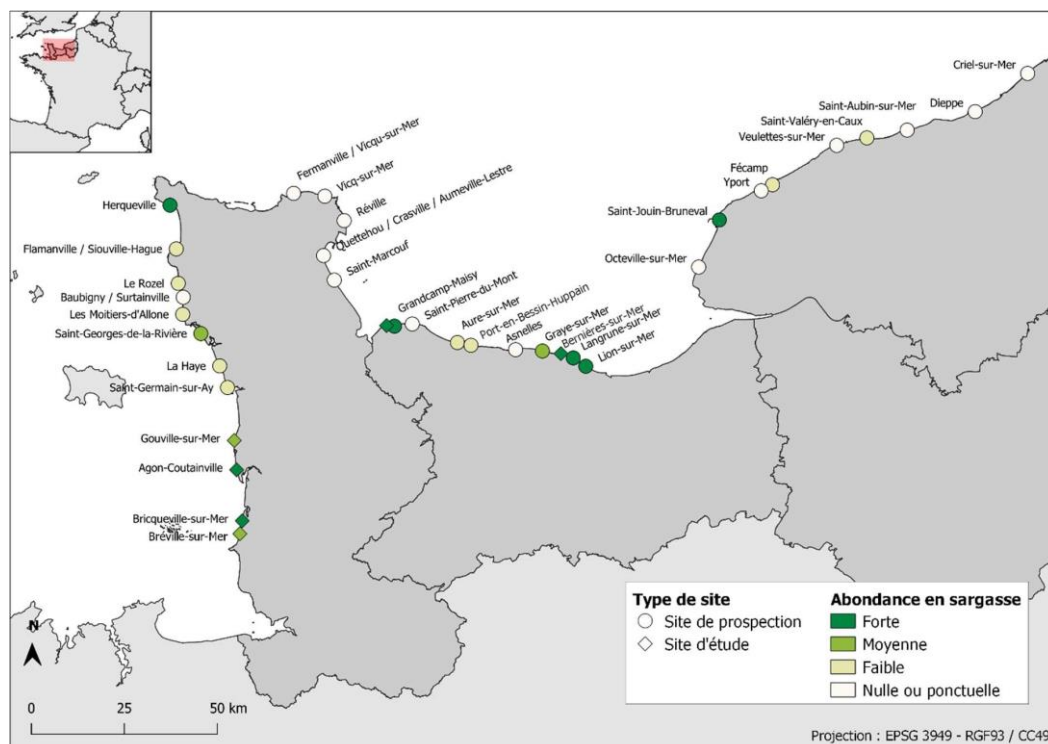


Figure 34 : Abondance de la sargasse sur les sites prospectés et sur les sites étudiés du littoral normand.

Pour résumer, seules quelques zones bien délimitées montrent des peuplements importants de sargasse. Les populations de sargasse n'ont pas été observées sur les estrans où l'hydrodynamisme est fort, les thalles ne résistant pas aux vagues, ils sont arrachés et seules les parties pérennes subsistent (exemple : Les Moitiers-d'Allonne). L'algue n'est pas observée sur les estrans découvrant totalement aux basses mers sauf s'il y a présence de cuvettes ou mares retenant l'eau (exemple : en Seine-Maritime, le substrat est rocheux mais il n'y a pas ou très peu de retenue d'eau), ni sur les estrans sableux qui ne permettent pas l'accroche de la sargasse (exemple : Morsalines).

A l'issue de ces prospections, on peut ainsi conclure que trois facteurs abiotiques majeurs conditionnent la présence de la sargasse en Normandie :

- le substrat : rocheux ou caillouteux pour permettre l'attache, ;
- l'exondation : présence d'eau à marée basse soit sur l'estran dans sa totalité (dans ce cas, grande quantité de sargasses comme dans le Calvados), soit dans des mares, cuvettes



(faible à moyenne quantité de sargasses, comme dans la Manche) pour préserver la sargasse ; - l'hydrodynamisme : faible à moyen, pour ne pas arracher les sargasses.

### Zones potentielles de récolte

Les zones d'intérêt pour des récoltes professionnelles de la sargasse sont indiquées dans la carte suivante (Figure 35).

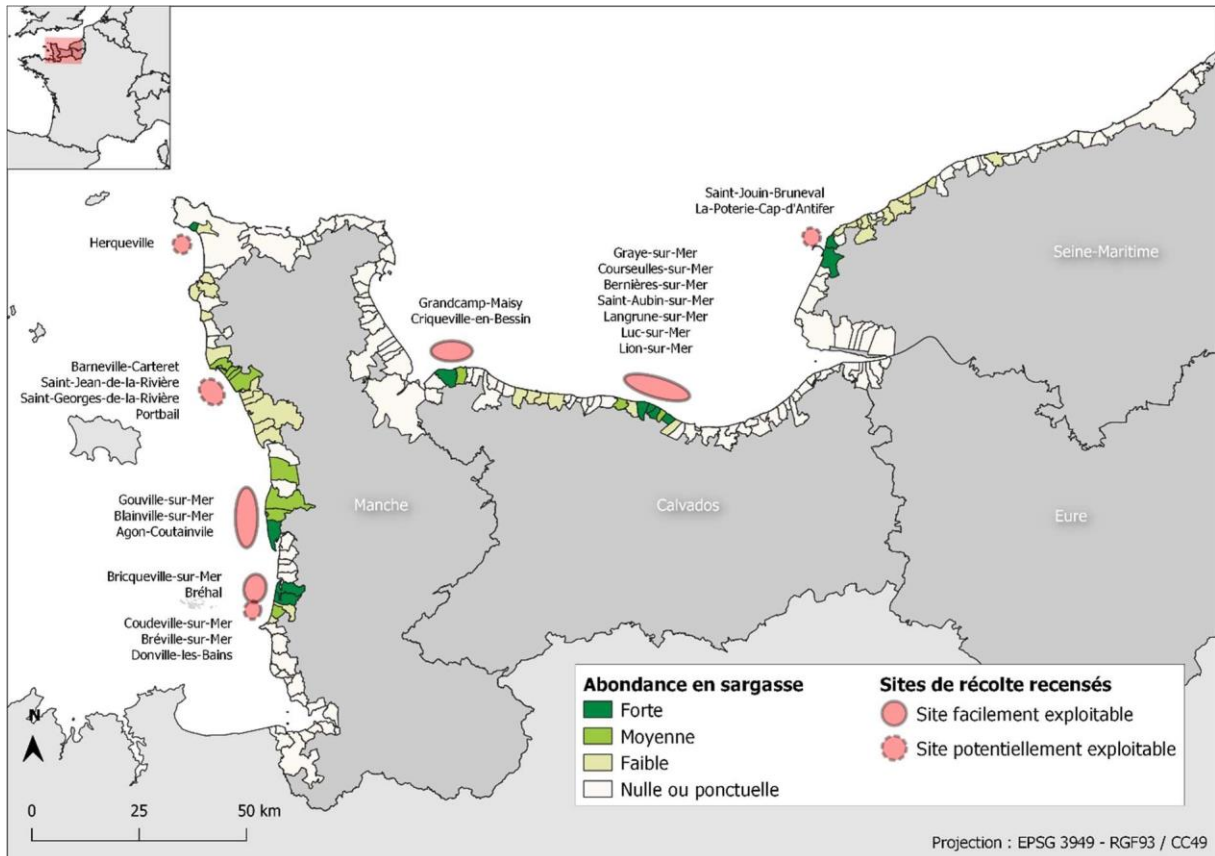


Figure 35 : Abondance de la sargasse et zones de récoltes identifiées sur le littoral normand.

Au total, 4 zones sont identifiées comme facilement exploitables dans le cadre de récoltes professionnelles de la sargasse :

- 2 zones dans la Manche :
  - o [Bréhal, Bricqueville-sur-Mer] : grand potentiel, stock poussant sur l'estran et au sein des parcs stable, de plus, fort potentiel vis-à-vis des sargasses échouées sur les barrages ;
  - o [Agon-Coutainville, Blainville-sur-Mer, Gouville-sur-Mer] : potentiel moyen, car les sargasses sont réparties en patchs sur ces estrans et le stock est variable selon les années ;
- 2 zones dans le Calvados :

- o [Grandcamp-Maisy, Cricqueville-en-Bessin] : très grand potentiel, dû au platier rocheux et cuvettes qui permettent une vaste répartition de la sargasse, cependant le stock peut être impacté par des phénomènes climatiques ou biotiques certaines années ;
- o [Graye-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer, Bernières-sur-Mer, Saint-Aubin-sur-Mer, Langrune-sur-Mer, Luc-sur-Mer, Lion-sur-Mer] : très grand potentiel, dû au platier rocheux plat qui permet une très vaste répartition de la sargasse, cependant le stock peut être impacté par des phénomènes climatiques ou biotiques certaines années.

4 zones pourraient aussi présenter un intérêt d'exploitation. Cependant, soit le développement de la sargasse doit être plus finement évalué pour attester de l'intérêt ou non d'une récolte professionnelle sur ces zones, soit ces zones peuvent présenter un conflit d'intérêt (une zone en particulier, en Seine-Maritime).

- 3 zones dans la Manche :

- o [Donville-les-Bains, Bréville-sur-Mer, Coudeville-sur-Mer] : stock de sargasse dans la continuité de Bricqueville-sur-Mer, mais peu souvent atteignable aux basses mers, et le potentiel semble plus faible, zone à observer en saison forte pour voir s'il y a un intérêt d'exploitation ;
- o [Portbail, Saint-Georges-de-la-Rivière, Saint-Jean-de-la-Rivière, Barneville-Carteret] : potentiel moyen, présence de grandes mares de sargasse, zone à observer en forte saison pour voir s'il y a un intérêt d'exploitation ;
- o [Herqueville] : grande mare de sargasses, stock très localisé et difficilement accessible ;

- 1 zone en Seine-Maritime :

- o [Saint-Jouin-Bruneval, La-Poterie-Cap-d'Antifer] : large patch de sargasses bien localisé, cependant c'est une zone de chasse sous-marine très prisée par les plongeurs et le port jouxtant la zone est un port pétrolier (conçu pour des navires pétroliers « géants » de 600 000 tonnes).

## CH IV. DÉVELOPPEMENT DES TECHNIQUES DE PECHES (WP3)

---

Leader : CRPMEM

Autres partenaires impliqués : SMEL, CRCNMdN.

Objectifs : Tester et analyser les différentes possibilités techniques de récolte de la sargasse en fonction des différentes configurations possibles.

Plan d'actions :

Tester à l'échelle ½ différentes possibilités de récolte

### IV.1. Le contexte général en Normandie.

La sargasse se retrouve en quantité importante sur plusieurs sites de la côte normande (cf. WP2). La majeure partie de la biomasse se situe sur l'estran, accessible à marée basse à partir de coefficients de vives eaux. Dans certains endroits comme à Bricqueville-sur-Mer (Manche), d'importantes quantités sont également disponibles et récoltables dans les parcs conchylicoles, aux mêmes coefficients que sur estran. Ensuite, les barrages, structures de protection des parcs conchylicoles contre la dérive des grandes sargasses au printemps sont également des concentrateurs d'algues qui peuvent être récoltées relativement facilement. Enfin, même si cette biomasse n'a pas pu être inventoriée pour des raisons budgétaires, il existe une quantité de sargasses disponibles en mer, notamment dans le Calvados, entre les isobathes 0 et -3 mètres qui pourrait être récoltée par bateau.

Aujourd'hui, la récolte des algues en Normandie n'est pas une activité économique, il n'existe donc pas de données disponibles sur des savoir-faire ou des organisations de récolte sur les côtes normandes.

Si l'on se réfère à la Bretagne, seule région avec une véritable filière algues en France, la récolte est assurée par des pêcheurs professionnels. Il s'agit des marins pêcheurs pour la pêche embarquée de laminaires et des pêcheurs à pied professionnels pour la cueillette sur estran. Or, la Normandie compte aujourd'hui 600 navires dont une forte proportion de petite pêche côtière qui pourrait s'adapter à la pêche des algues. D'autre part, 300 pêcheurs à pied exercent en Normandie sur différentes espèces (coques, palourdes, vers marins, salicornes...) et beaucoup ont déjà interrogé le CRPMEM de Normandie sur la récolte des algues sur les côtes normandes. Enfin, la particularité de la sargasse est la biomasse présente dans les parcs conchylicoles où la récolte ne peut se faire sans l'autorisation du concessionnaire.

Les sargasses récoltables en bateau sont identifiées dans la catégorie « algues poussant en mer » dans le Code Rural et de la Pêche Maritime. Ces dernières n'ayant pas pu être étudiées dans le cadre de suivi de biomasse, elles n'ont pas pu faire l'objet de récoltes expérimentales. En revanche, pour tous les autres cas, des pêches expérimentales ont pu être effectuées avec des pêcheurs à pied professionnels et des conchyliculteurs pour la biomasse présente dans les concessions mytilicoles (notamment pour les récoltes mécanisées).

La récolte de la sargasse n'est pas une activité professionnelle dans le monde. Il s'agissait donc d'imaginer et de travailler sur des techniques efficaces, adaptées au contexte normand (grande algue sur pied poussant dans une zone de balancement des marées de fort marnage), de les tester à l'échelle semi industrielle et de suivre les premières indications de rendements.

## IV.2. Matériels et méthodes

### IV.2.1. La pêche manuelle.

Pour cette récolte, il a été décidé de faire appel aux pêcheurs à pied professionnels, futurs acteurs de cette filière potentielle. Une réunion préparatoire a permis de déterminer, en concertation entre les acteurs du projet et les pêcheurs à pied présents, la méthodologie pour les trois années d'étude.

Deux sites ont été choisis, selon la densité de sargasses d'une part, et la proximité immédiate de parcs conchylicoles (et la possibilité de travailler avec un tracteur et une remorque) d'autre part. Il s'agit de Grandcamp-Maisy (Calvados) et de Bricqueville-sur-Mer (Manche).

A Grandcamp-Maisy, le secteur choisi était en milieu d'estran à l'est des parcs conchylicoles. A Bricqueville-sur-Mer, le premier secteur choisi était en milieu d'estran sur une zone située à mi-chemin des parcs mytilicoles de Bréville-sur-Mer et Bricqueville-sur-Mer. Sur ce dernier secteur, la densité y était plus faible qu'attendue la première année. Un nouveau secteur a donc été sélectionné pour les deux années suivantes, toujours en milieu d'estran mais à proximité des parcs de Bricqueville-sur-Mer. Sur cette zone, des récoltes ont été faites sur l'estran et sur les barrages.

Lors des récoltes expérimentales, les pêcheurs étaient entre 2 et 4 selon leurs disponibilités, accompagnés par 2 agents des structures partenaires du projet. Equipés de couteaux, de faucilles ou de machettes, les algues étaient coupées à 15 cm minimum du pied, ramassées dans des sacs à oignons sur la première récolte puis dans des paniers à crabes par la suite. Le sac plein était laissé sur place, ramassé et pesé individuellement en fin de cueillette. Les paniers à crabes une fois remplis, étaient acheminés vers la remorque pour être pesés individuellement. Une récolte sur estran durait entre 30 mn et 60 mn et environ 15 mn sur les barrages.

Cinq récoltes ont été organisées au cours de ces trois années d'étude, trois sur Bricqueville-sur-Mer et deux sur Grandcamp-Maisy (Figures 36 à 38).



Figure 36 : Première pêche expérimentale à Bricqueville-sur-Mer le 26 juin 2017. A droite : Coupe avec faucille et ramassage dans un sac. A gauche : La totalité de la récolte prête à être remontée.



Figure 37 : Pêches expérimentales à Grandcamp-Maisy les 18 juin 2019 (à droite) et 15 mai 2018 (à gauche). A droite : Coupe avec faucille et ramassage dans un panier. A gauche : Retour des paniers pleins vers la remorque



Figure 38 : Pêche sur le barrage de Bricqueville-sur-Mer le 18 mai 2018 avec faucille ou couteau et paniers.

#### IV.2.2. La pêche mécanisée

La première étape consistait à déterminer le système de coupe le plus adéquat tout en restant adaptable au matériel existant. Après réflexions entre les partenaires du projet et la société MULTIMER,



entreprise spécialisée dans le matériel pour la conchyliculture et la pêche, le choix s'est porté sur un godet faucardeur (cf. figure 39), outil prévu pour le nettoyage des marais et des cours d'eau. Ce matériel est parfaitement adaptable sur les fourches avant des tracteurs comme, pour l'avenir, en lieu et place des grappins des barges mytilicoles pour une pêche en mer. Un godet de 1,5 mètre de large a été commandé et réceptionné durant l'été 2018. En septembre 2018, un premier test a permis de faire l'adaptation technique de l'engin sur le tracteur et de faire quelques essais « à blanc », la période ne permettant pas de tester la coupe sur les algues.

Un deuxième test a eu lieu le 08 avril 2019 dans les parcs mytilicoles de Bricqueville-sur-Mer afin de tester la qualité de la coupe et la faisabilité d'une telle récolte.

A l'issue de ces tests, une récolte expérimentale a pu être organisée le 21 mai au même endroit. Au cours de cette récolte, un tracteur équipé du godet faucardeur a récolté pendant 30 minutes. Sur la remorque, chaque godet plein était déversé et les algues pesées.

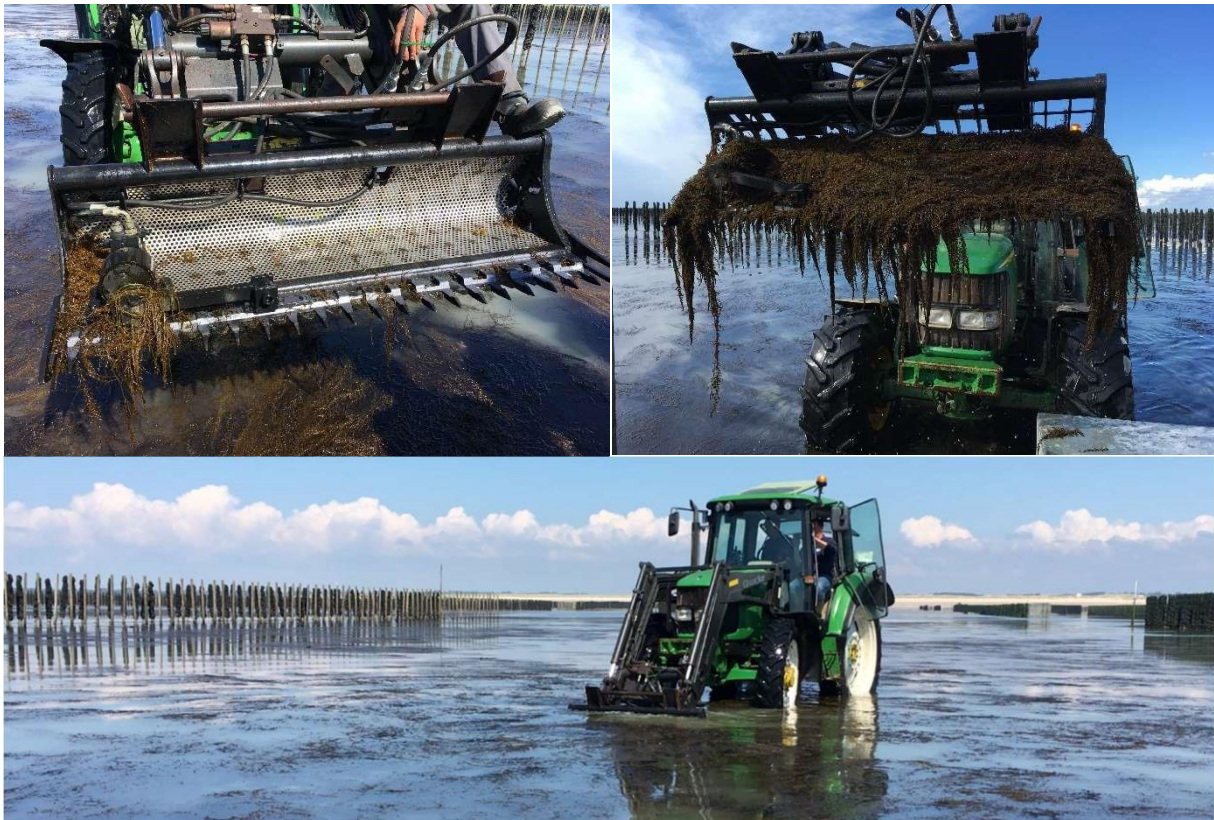


Figure 39 : Pêche mécanisée du 21 mai 2019. En haut à droite : l'engin de coupe. En haut à gauche : le godet plein après une séance de coupe. En bas : une séance de coupe.

## IV.3. Résultats

### IV.3.1. La pêche manuelle

Le tableau 12 montre les différents résultats obtenus au cours des 5 récoltes expérimentales sur estran.

RENDEMENT - RECOLTES MANUELLE SUR ALGUES DE RIVE								
Date	Site	Mode de récolte	Sargasse	Temps de récolte	Nombre de personne récoltant	Total de sargasses récoltées (kg)	Rendement = Moyenne de sargasses récoltées / heure / 1 personne	Remarque
26/06/2017	Bricqueville	Manuelle	Rive	60 min	4	659	165	Très faible densité, en état de dégradation.
15/05/2018	Grandcamp	Manuelle	Rive	60 min	4	1190	297	Bonne densité mais sargasse de petite taille.
16/05/2018	Bricqueville	Manuelle	Rive	30 min	3	701	467	Forte densité et grande taille.
17/05/2019	Bricqueville	Manuelle	Rive	30 min	3	751	501	Forte densité et grande taille.
18/06/2019	Grandcamp	Manuelle	Rive	50 min	2	370	246	Faible densité, en état de dégradation.

Tableau 12 : Résultats des récoltes sur estran

La première récolte (26 juin 2017) donne un résultat de 165 kg/h/pers. Cette récolte a permis de voir plusieurs imperfections dans l'approche faite en préambule. En effet, la densité d'algues sur la zone choisie (face à Saint-Martin-de-Bréhal) ne correspond pas aux résultats obtenus lors des suivis de densités (cf. WP2). De plus, en 2017, la croissance de la sargasse a démarré assez tôt dans l'année et déjà en phase de régression en juin (aspect observé plutôt en juillet et août les années suivantes). De plus, la méthode de ramassage avec des sacs dits « à oignons » (cf. photo XX) s'est avérée inadaptée et ralentissait le ramassage.

A partir de 2018, les pêches expérimentales ont eu lieu plus tôt dans la saison. Les zones choisies étaient les plus fournies en sargasses et les sacs ont été remplacés par des paniers à crabes avec un point de collecte (tracteur et remorque) à proximité de la zone de récolte. De ce fait, les rendements ont été améliorés avec un résultat autour de 500 kg/h/pers à Bricqueville-sur-Mer et de 250 à 300 kg/h/pers à Grandcamp-Maisy, ramassage qui n'a pas toujours été effectué dans des conditions optimales de densité maximales des algues.

Le tableau 13 montre les différents résultats obtenus au cours des 2 récoltes expérimentales sur le barrage de Bricqueville-sur-Mer.

RENDEMENT - RECOLTES MANUELLE SUR BARRAGE								
Date	Site	Mode de récolte	Sargasse	Temps de récolte	Nombre de personne récoltant	Total de sargasses récoltées (kg)	Rendement = Moyenne de sargasses récoltées / heure / 1 personne	Remarque
16/05/2018	Bricqueville	Manuelle	Barrage	10 min	3	295	590	Très forte densité sur le barrage.
17/05/2019	Bricqueville	Manuelle	Barrage	15 min	3	313	417	Faible densité sur le barrage.

Tableau 13 : Résultats des récoltes sur barrages.

Les résultats oscillent entre 400 et 600 kg/h/pers. en fonction de la densité d'algues présentes sur les barrages.

#### IV.3.2. La pêche mécanisée.

Un seul test a pu être effectué avec le godet expérimental.



RENDEMENT - RECOLTES MANUELLE SUR BARRAGE								
Date	Site	Mode de récolte	Sargasse	Temps de récolte	Nombre de personne récoltant	Total de sargasses récoltées (kg)	Rendement = Moyenne de sargasses récoltées / heure / 1 personne	Remarque
16/05/2018	Bricqueville	Manuelle	Barrage	10 min	3	295	590	Très forte densité sur le barrage.
17/05/2019	Bricqueville	Manuelle	Barrage	15 min	3	313	417	Faible densité sur le barrage.

Tableau 14 : Résultats de la récolte mécanisée

Le résultat détaillé dans le tableau 14 montre que le rendement, dans les conditions de l'expérimentation, approche de la tonne récoltée par heure et par personne.

#### IV.4. Conclusions et discussion.

Le graphique 40 synthétise les différents résultats obtenus au cours de ces récoltes expérimentales.

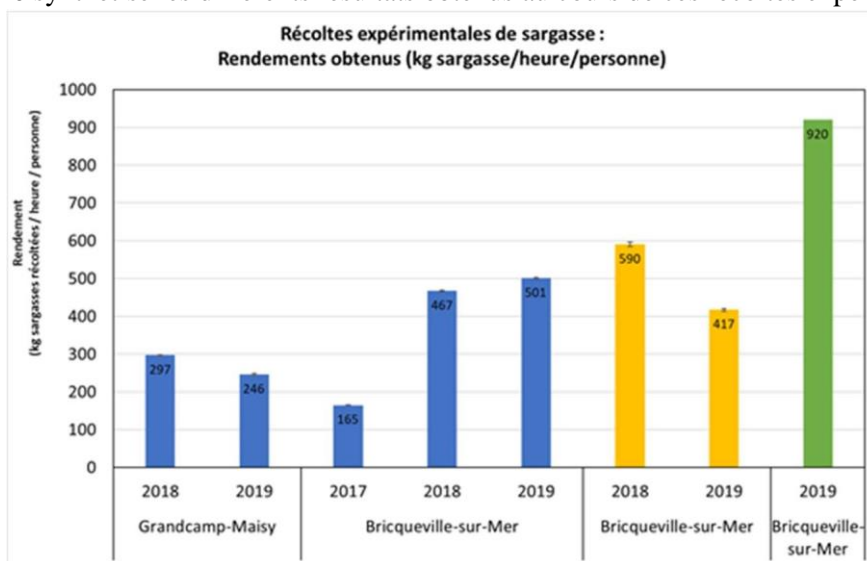


Figure 40 : Synthèse des résultats des récoltes expérimentales (en bleu : récolte manuelle sur estran, en jaune : récolte manuelle sur barrages et en vert : récolte mécanisée)

On voit très nettement que la récolte manuelle des algues de rive ou sur estran dépend véritablement de la densité et de la qualité des algues, mais elle dépend aussi de l'organisation de cette récolte. Dans les meilleures conditions, le rendement de récolte est d'environ 500 kg/h/pers. Comme il s'agit de pêches expérimentales, on peut considérer que le rendement pourrait être légèrement amélioré.

Cependant, ces pêches ont pu mettre en évidence plusieurs choses :

- Pendant une marée classique, le temps de récolte peut osciller entre une heure et trois heures en fonction des coefficients, ce qui induirait pour le pêcheur une récolte entre 500 kg et 1500 kg (voire 2000 kg). Il doit donc être motorisé pour remonter l'ensemble de sa récolte.
- Lors des récoltes expérimentales, les pêcheurs récoltaient par groupe de 2 à 4 pêcheurs. Chaque pêcheur remplissait son panier à crabes, le rapportait sur la remorque du tracteur où il

était réceptionné par une ou deux personnes pour les pesées, le déchargement et fournissait un panier vide aux pêcheurs. La conduite du tracteur pour suivre les pêcheurs était assurée par une autre personne encore. La présence de ces personnes permettait d'améliorer le rendement des pêcheurs qui pouvaient ne se consacrer qu'à cette activité. Cela pose la question de la rentabilité lorsqu'une pêche est effectuée à plusieurs. Cela permet de diviser les frais de transport mais implique une personne qui ne ramasse pas (ou peu).

- L'ensemble de ces récoltes a démontré que cette pêche était difficile physiquement et qu'une organisation à plusieurs permettraient d'alléger quelque peu le travail. Toutefois, cet aspect mériterait une réflexion plus approfondie.

Concernant la pêche sur les barrages, les remarques sont les mêmes que pour la récolte sur estran, sauf que le rendement de récolte peut être sensiblement supérieur. Les premiers tests effectués montrent un rendement pouvant aller jusqu'à 600 kg/h/pers et semble être véritablement perfectible.

Concernant la pêche mécanisée, l'engin testé répond parfaitement aux exigences de coupe de la sargasse et d'adaptabilité sur différents supports comme une fourche de tracteur ou un grappin de barge mytilicole. Une adaptation très simple permet d'assurer une récolte correcte et une hauteur de coupe voulue. Les résultats obtenus montrent un rendement d'environ une tonne par heure et par personne, en considérant que, dans ce cas, une personne peut assurer une récolte aisément. Or, on peut imaginer qu'un pêcheur expérimenté pourrait sensiblement améliorer ce rendement. De plus, le but de l'acquisition de ce godet était de vérifier que le système de coupe était adapté à ce type d'algues. Par conséquent, c'est le plus petit modèle de godet faucardeur de la marque choisie qui a été acquis. Or, lors de ces essais, il est vite apparu qu'un godet plus grand était parfaitement adaptable et, dans cette gamme de produits, la taille d'un godet peut aller jusqu'à 3,50 mètres. Avec un tel godet et une bonne maîtrise, il semble envisageable qu'un pêcheur puisse récolter 5 à 10 tonnes de sargasses par marée.

Enfin, l'ensemble de ces récoltes a pu mettre en lumière l'importance de l'après récolte. En effet, une fois remontées en haut de cale, les algues doivent être prises en charge pour être, à terme, transportées vers l'unité de première transformation. Cependant, pour optimiser le transport, plusieurs questions se posent :

- La récolte peut s'effectuer sur plusieurs jours de marée et il faut savoir si la sargasse peut être stockée à proximité du lieu de pêche pour minimiser les aller retours entre le lieu de pêche et l'usine.
- Si l'algue peut être stockée, quelle que soit la méthode, il faut rechercher les structures existantes sur le territoire ou à défaut en adapter ou en créer.

- Comme vu dans le WP2, la récolte peut s'organiser en plusieurs endroits sur le territoire normand et il doit y avoir une certaine coordination entre les différents sites pour optimiser le transport.

Ces aspects, bien qu'identifiés, n'ont pu être abordés dans le cadre du projet SNOTRA. Ils devront impérativement être étudiés dans le cadre d'une suite à ce projet.

## CH V. RETOUR SUR LA REGLEMENTATION APPLICABLE AUX SARGASSES (WP1 – Snde partie).

---

### V.1. Généralités.

Comme vu dans le chapitre 2, la récolte des algues est soumise à une réglementation inscrite dans le code rural et de la pêche maritime au niveau national, ensuite complétée par des arrêtés et des délibérations au niveau régional (exemple de la Bretagne). Or, en Normandie, si la réglementation nationale s'applique nécessairement, l'absence de délibération et d'arrêtés signés par le préfet maritime implique que la pêche n'est pas autorisée. Or, pour récolter la sargasse, il faudra que l'ensemble des autorisations soient vues et signées par les autorités compétentes sur la base de données scientifiques et techniques en grande partie fournies par le travail effectué au sein du projet SNOTRA.

### V.2. La sargasse dans le contexte du code rural et de la pêche maritime.

Tout d'abord, la réglementation nationale, notamment l'article D922-30 définit le type de récolte en fonction de la catégorie d'algues que sont les algues de rive, poussant en mer ou échouées. Or, la sargasse peut s'inscrire dans ces trois catégories :

- La plus importante en termes de pêche future et de disponibilité de stocks reste la sargasse catégorisée en « algues de rive ». En effet, l'étude SNOTRA montre que, sur 4 des sites étudiés, le stock d'algues au plus fort de la croissance est autour de 15 000 tonnes. Une pêche du tiers ou du quart de cette biomasse ferait de la sargasse la troisième algue la plus pêchée en France.
- Les algues arrêtées sur les barrages sur la côte ouest du Cotentin doivent être considérées comme algues d'échouages. Bien que les quantités soient bien moins importantes que pour la « sargasse de rive » (environ 300 tonnes sur le barrage de Bricqueville sur Mer), la récolte y est facilitée par la concentration des algues et permet d'organiser une pêche facile et efficace.
- Même si cela n'a pas été étudié dans le cadre de SNOTRA, une partie des champs de sargasses se situent entre le zéro des cartes et l'isobathe -3 mètres, ce qui semble représenter une partie importante dans le Calvados (cf. DCE macroalgues, campagne 2016/2018). Même si cette biomasse reste aujourd'hui à étudier, le texte du code rural et de la pêche maritime rend l'accès à cette ressource possible.

L'article R922-32 interdit l'arrachage des algues. Or, lors des pêches expérimentales, qu'elles soient manuelles ou mécanisées, des engins de coupe étaient utilisés comme la faucille et le couteau pour la récolte à la main ou le godet faucardeur pour la pêche mécanisée.

L'article R 922-33 demande de définir une hauteur de coupe à fixer par variétés d'algues. Dans le cas de la sargasse, on sait que la plante, au moment de la récolte, est composée de deux parties, une partie pérenne d'une dizaine de centimètres maximum, ayant une durée de vie de quatre à cinq années et une partie annuelle, pouvant atteindre plusieurs mètres. Or, lors de la pêche, il s'agit de récolter la partie annuelle, par conséquent il est possible de préconiser une hauteur de coupe de 15 centimètres sans mettre en péril la plante.

L'article R922-34 régit la récolte des algues dans les concessions conchylicoles, cas fréquent pour la sargasse, que ce soit dans la Manche (Bricqueville-sur-Mer, Gouville-sur-Mer...) ou dans le Calvados, (Grandcamp-Maisy). La récolte des algues dans les concessions conchylicoles peut être réalisée par le concessionnaire ou ses ayants droits (salariés de l'entreprise) et il est possible d'envisager un accord à formaliser entre un concessionnaire et un pêcheur pour la récolte des algues dans le parc concédé.

L'article R922-36 autorise la récolte des algues toute l'année, mais cette période peut être modifiée pour une espèce considérée, ce qui serait le cas pour la sargasse, avec une période de pêche pouvant aller d'Avril à Août, mais qui peut varier d'une année à l'autre. Il faudra voir si les autorisations de récolte permettront la récolte sur une période assez large et sur laquelle on ne revient pas ou s'il faut définir des périodes d'ouvertures et de fermeture de récolte par année et par secteur et ainsi, gérer au mieux la biomasse disponible. Cependant, le mode de reproduction efficace de cette algue a pu être démontré lors de cette étude et, même si, au cours d'une année, les conditions empêchent un développement normal, il n'affecte en rien la croissance de l'année suivante. Par conséquent, il semble envisageable de réglementer la récolte sur une période large et laisser à l'appréciation des récoltants, en lien avec les scientifiques et les transformateurs, le soin de commencer et de clôturer la récolte.

### V.3. Spécificités régionales à apporter pour la récolte de sargasse.

En plus des dispositions nationales qui peuvent être amendées par le préfet maritime (période de récolte et hauteur de coupe), d'autres pourront faire l'objet de réglementation spécifique à la récolte de la sargasse.

### V.3.1. Pour le goémon de rive.

Il faudra déterminer l'accès à la ressource. Cette disposition ne pourra se faire, en premier temps, qu'en concertation entre le CRPMEMN et les autorités de l'Etat (DIRM, DDTM). Il est proposé que la pêche, dès qu'elle sera acceptée, soit réglementée en un premier temps par des autorisations administratives avant la mise en place ultérieure de licences si l'activité se développe.

Chaque pêcheur devra avoir une obligation de déclaration de pêche dans les conditions qui restent à déterminer (périodicité de la déclaration, déclaration du secteur et/ou de sous-secteurs,...)

Des secteurs de pêche devront être déclarés. Après cette première étude, il semble que 4 secteurs puissent être exploités, deux dans la Manche avec un secteur allant de Donville-les-Bains à Bricqueville-sur-Mer et Agon-Coutainville. Les deux autres sont situés dans le Calvados, à Grandcamp-Maisy et dans un secteur allant de Courseulles-sur-Mer à Lion-sur-Mer. Ces 4 secteurs représentent un potentiel d'environ 15 000 tonnes de sargasses. Pour étendre la pêche à d'autres secteurs, il faudra effectuer des études complémentaires sur les secteurs inventoriés lors des prospections effectuées pendant le projet .

Les engins de pêche sont également à déterminer, ainsi que les moyens qui permettent le transport de la récolte de l'estran vers le haut de cale. Plusieurs cas de figure se présentent en fonction de l'organisation de la pêche :

- La pêche dite manuelle, avec le pêcheur qui utilise un couteau ou une faucille pour récolter les algues. Les pêches expérimentales ont démontré qu'un individu récoltait en moyenne 500 kg par heure, ce qui fait qu'il devrait remonter entre 500 kg et 1,5 tonne par marée. De ce fait, le pêcheur devra être motorisé pour remonter sa récolte vers le haut de plage et avoir un permis de circulation sur l'estran.
- La pêche dite mécanisée avec un tracteur et un godet faucardeur semble pour le moment incompatible avec le code rural et de la pêche maritime qui stipule que le goémon de rive doit être récolté à pied. Cependant, des discussions sont actuellement en cours dans le but de faire évoluer ce point de la réglementation.
- Même si l'expérimentation n'a pas encore été menée, la pêche mécanisée pourrait s'effectuer à bord d'un navire équipé d'un godet faucardeur. En effet, lors des périodes montantes et descendantes de la marée ou lors des basses mers de petits coefficients, la ressource peut être récoltée par 1 ou 2 mètres de fond. Toutefois, pour les mêmes raisons que pour une récolte avec un tracteur, la réglementation devra évoluer avant de pouvoir l'envisager d'un point de vue professionnel.

### V.3.2. Pour le goémon d'échouages.

Il concerne la récolte des sargasses échouées sur les barrages implantés sur la côte ouest du Cotentin pour protéger les concessions conchylicoles impactées par la dérive des sargasses durant le printemps.

A l'heure actuelle, l'implantation des barrages fait l'objet d'une Autorisation d'Occupation Temporaire du Domaine Public Maritime obtenue par le CRC NMdN, sur les secteurs de Donville-les-Bains, Bréville-sur-Mer, Bricqueville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer.

L'exploitation de ces barrages pourra être effectuée. Pour cela, ils devront obtenir une autorisation administrative visée par la DIRM en accord avec le CRC NMdN.

De même que pour la récolte d'algues de rive, ils devront obtenir un permis de circulation sur l'estran avec des engins motorisés pour remonter la récolte en haut de cale, les rendements de récolte étant supérieurs à la récolte des algues de rive (environ 750kg / h sur les premiers tests).

### V.3.3. Pour les algues poussant en mer.

Le cas n'a pas véritablement été abordé, mais il existe des champs de sargasses au-delà du zéro des cartes sur les côtes du Calvados. Toutefois, la réglementation est aujourd'hui adaptée à la pêche des laminaires mais semble adaptable à la récolte des sargasses, notamment sur les périodes de pêches. Cependant, cette pêche n'a pas pu être expérimentée pour le moment et aucune donnée n'est aujourd'hui disponible.

### V.3.5. Algues poussant en concessions conchylicoles.

Dans ce cas, le code rural et de la pêche maritime stipule que les algues peuvent être récoltées par le concessionnaire ou toute personne autorisée par le concessionnaire. De plus, il n'existe aucune préconisation sur la méthode. De ce fait, il semble envisageable de pouvoir récolter les sargasses à pied comme avec un engin motorisé comme le tracteur équipé d'un godet faucardeur.

## V.4. Conclusions.

Le tableau 15 page résume l'ensemble des possibilités de récolte de la sargasse en Normandie. Il existe des dispositions communes à tous ces types de récoltes que sont la hauteur de coupe et la période de récolte.



Si la plupart des dispositions permettraient d'initier une récolte de cette algue dans un délai court, il reste un point qui sera pénalisant dans un avenir à moyen et long terme qui est l'impossibilité en l'état actuel de la législation de récolter la sargasse de manière mécanisée sur l'estran. Un travail auprès des autorités compétentes devra être mené par les partenaires de la future filière « Sargasses » pour permettre une récolte qui réponde aux besoins de l'industrie.

Lieu de récolte	Qualification de l'algue	Mode de récolte	Outils	Récoltant	Autorisations	Administration	Articles de référence
Large	Algue poussant en mer	Mécanisé	Godet faucardeur + navire	Marin pêcheur	Autorisation administrative + Permis de mise en exploitation	DIRM + DDTM	Art. R922-31 Art. R922-35 Art. R922-39
Estran	Algue de rive	Mécanisé	Godet faucardeur + tracteur	Pêcheur à pied	Autorisation administrative + Permis de mise en exploitation	DIRM + DDTM	<i>Actuellement non autorisé par le Code rural</i>
Estran	Algue de rive	Mécanisé	Godet faucardeur + navire	Marin pêcheur	Autorisation administrative + Permis de mise en exploitation	DIRM + DDTM	<i>Actuellement non autorisé par le Code rural</i>
Estran	Algue de rive	Manuel	Faucille, Couteau	Pêcheur à pied	Autorisation administrative	DIRM	Art. R922-36
Concession	Algue de rive	Manuel	Faucille, Couteau	Concessionnaire ou personne autorisée	Diversification activité de production	DDTM	Art. R922-34 Art. R922-36
Concession	Algue de rive	Mécanisé	Godet faucardeur + Tracteur	Concessionnaire ou personne autorisée	Diversification activité de production	DDTM	Art. R922-34 Art. R922-36
Barrage	Algue échouée	Manuel	Faucille, Couteau	Pêcheur à pied	Autorisation administrative + AOT	DDTM	A faire valider aux autorités
Barrage	Algue échouée	Mécanisé	Grappin (?) + Tracteur	Pêcheur à pied ou concessionnaire	Autorisation administrative + AOT	DDTM	A faire valider aux autorités

Tableau 15 : Résumé des dispositions réglementaires de récolte en fonction des méthodes.

## CH VI. SUIVI ANALYTIQUE ET DÉVELOPPEMENT DU PROCÉDÉ DE TRANSFORMATION (WP4)

---

Leader : ALGAIA

Autres partenaires impliqués : SILEBAN, CRPN

Objectifs : Etudier la composition de la sargasse afin de valoriser ses composés bioactifs d'intérêt en produits finis destinés au maraîchage et à la cosmétique.

Plan d'actions :

- > Suivi spatio-temporel de la composition saisonnière
- > Développement et optimisation des procédés d'extraction et de transformation
- > Dimensionnement de l'unité de transformation & Estimations économiques

### VI.1. Suivi spatio-temporel de la composition saisonnière

Le suivi analytique permet de connaître la teneur des composés de la sargasse et de suivre la variation de leur concentration en fonction des saisons, des années et de la localisation c'est-à-dire d'étudier la stabilité de la composition biochimique de l'algue.

L'algue est composée majoritairement d'eau (70 à 90%), le reste constitue la matière solide qui est elle-même répartie en matière minérale (sels minéraux, métaux lourds...) et en matière organique (sucres, composés phénoliques, protéines, pigments...).

La Sargasse, *Sargassum muticum*, fait partie de la classe des phaeophycées (Tableau 2, page 25) et présente des caractéristiques propres à sa classe. En effet, les algues brunes possèdent des composés à fort potentiel bioactif comme des polysaccharides sulfatés ou des composés phénoliques entre autres.

Les composés phénoliques, en particulier, sont présents dans la paroi cellulaire et auraient un rôle de défense contre les organismes brouteurs, les rayons U.V, les bactéries (Bourgougnon, Stiger-Pouvreau ; 2011) et ils ont des nombreuses propriétés : antibactérienne, anti-UV, antioxydantes, antiinflammatoire... (Wang et al., 2017).

Par ailleurs, les fucoïdanes (polysaccharides sulfatés de structure présent uniquement chez les algues brunes) sont, comme les alginates, dans les membranes cellulaires des algues brunes. Ces fucoïdanes présentent des activités antibactériennes, antivirales, antioxydantes, antitumorales, anticoagulantes (Berteau, 2003 ; Holtkamp et al., 2009 ; Rodriguez-Jasso et al., 2014). Ils pourraient aussi avoir des effets stimulateurs de la croissance des plantes et de la défense des plantes mais leur rôle n'est pas encore bien compris (Stadnik, Freitas, 2014). Les différentes propriétés connus des composés remarquables des algues brunes sont résumées dans le tableau 16.

Les laminaranes et le mannitol sont localisés plus particulièrement dans la cellule algale.

Composé	Rôles	Bioactivités	Références
Mannitol	Stockage Osmorégulateur	Antioxydante	Klindukh <i>et al.</i> , 2011
Fucoïdanes	Structure Dessication	antioxydantes, antivirales, antibactériennes, anticoagulantes, anti-tumorales, biostimulation chez les plantes	Berteau, 2003 ; Holtkamp <i>et al.</i> , 2009 ; Rodriguez-Jasso <i>et al.</i> , 2014 Stadnik, Freitas, 2014
Laminaranes	Stockage	Anti apoptose Stimulation des réactions de défenses chez les plantes	Kim <i>et al.</i> , 2006 Aziz <i>et al.</i> , 2003
Acides uroniques = Alginates	Paroi cellulaire Dessication	anticancéreuses, antivirales et hypolipidémiques	Liu <i>et al.</i> , 2012 ; Milledge <i>et al.</i> , 2016
Composés phénoliques	Métabolites II <sup>R</sup> Protection	Antibactérienne Antioxydante Anti-inflammatoire Protection UV	Wang <i>et Al.</i> , 2017 Le Lann <i>et Al.</i> , 2016

Tableau 16 : Composés présents chez les algues brunes, leurs rôles dans l'algue et les bioactivités d'intérêt associées.

Les deux graphiques suivants montrent la répartition de ces composés chez *Sargassum muticum* selon deux sites d'études (figure 41).

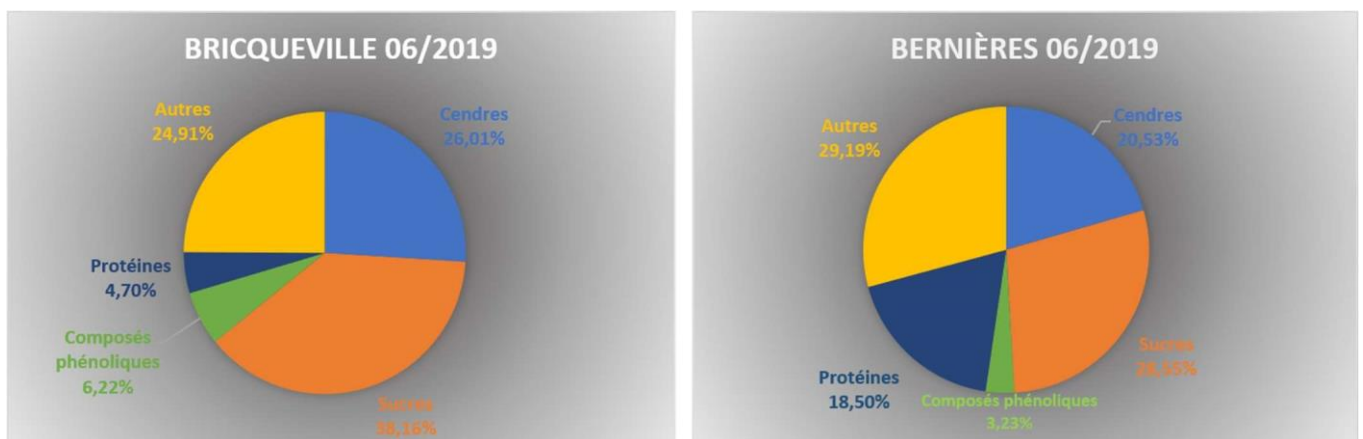


Figure 41 : Composition biochimique de *Sargassum muticum* selon 2 sites d'études.

Il peut être noté que, quelque-soit le site, les composés observés sont identiques et sont présents en proportion relativement similaire sauf pour les protéines, qui sont trois fois plus présentes chez les sargasses provenant du site de Bernières sur Mer que sur celles de Bricqueville. Le site de Bricqueville montre cependant, presque deux fois plus de polyphénols, ce qui montre donc des variations importantes de ces actifs. Si l'on s'intéresse plus particulièrement à la composition en sucres (figure 42), il peut être noté que les polysaccharides typiques des algues brunes, laminaranes, fucoïdanes sont retrouvés dans les mêmes proportions ainsi que les acides uroniques et le mannitol.

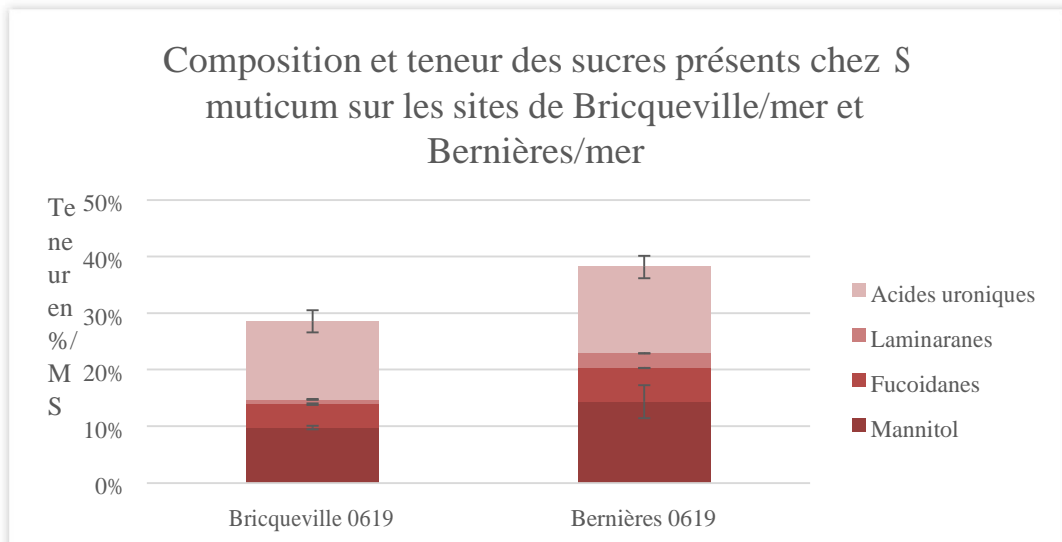


Figure 42 : Teneur des différents sucres présents chez *S. muticum* sur les sites de Bricqueville/mer et Bernières-sur-Mer.

Il est connu que les composés biochimiques présents dans les algues ne sont pas toujours présents dans les mêmes quantités selon la période de l'année. Par exemple, le mannitol présente des variations saisonnières : il s'accumule de l'été à l'automne et sa teneur diminue en hivers (Klindhuk et al., 2011). De la même manière, les quantités en composés phénoliques augmentent avec la luminosité (AbdalaDíaz et al., 2006 ; Plouguerné et al., 2006) et varient selon le pays où elle est récoltée (Tanniou et al., 2013). Ces données bibliographiques montrent l'intérêt de suivre les variations spatio-temporelles des différents composés biochimiques de *Sargassum muticum*.

Pour ces raisons, durant les 3 années du projet, en parallèle des suivis effectués par le SMEL, ALGAIA a effectué, à partir des échantillons de sargasses de rive prélevés mensuellement sur chaque site d'étude, un suivi de la composition saisonnière sur la teneur en mannitol, laminaranes, fucoïdanes, acides uroniques, composés phénoliques et en matière inorganique (cendres). Le suivi de ces six composés sur 6 sites géographiques et pendant 3 années a permis de générer un pool de données très important ; d'où la réalisation d'une analyse statistique de ces données afin de pouvoir analyser ces résultats et émettre des hypothèses sur l'évolution saisonnière et géographique de ces composés.

La figure 43 présente l'évolution des teneurs en composés au cours des trois années de suivi sur le site de Bricqueville.

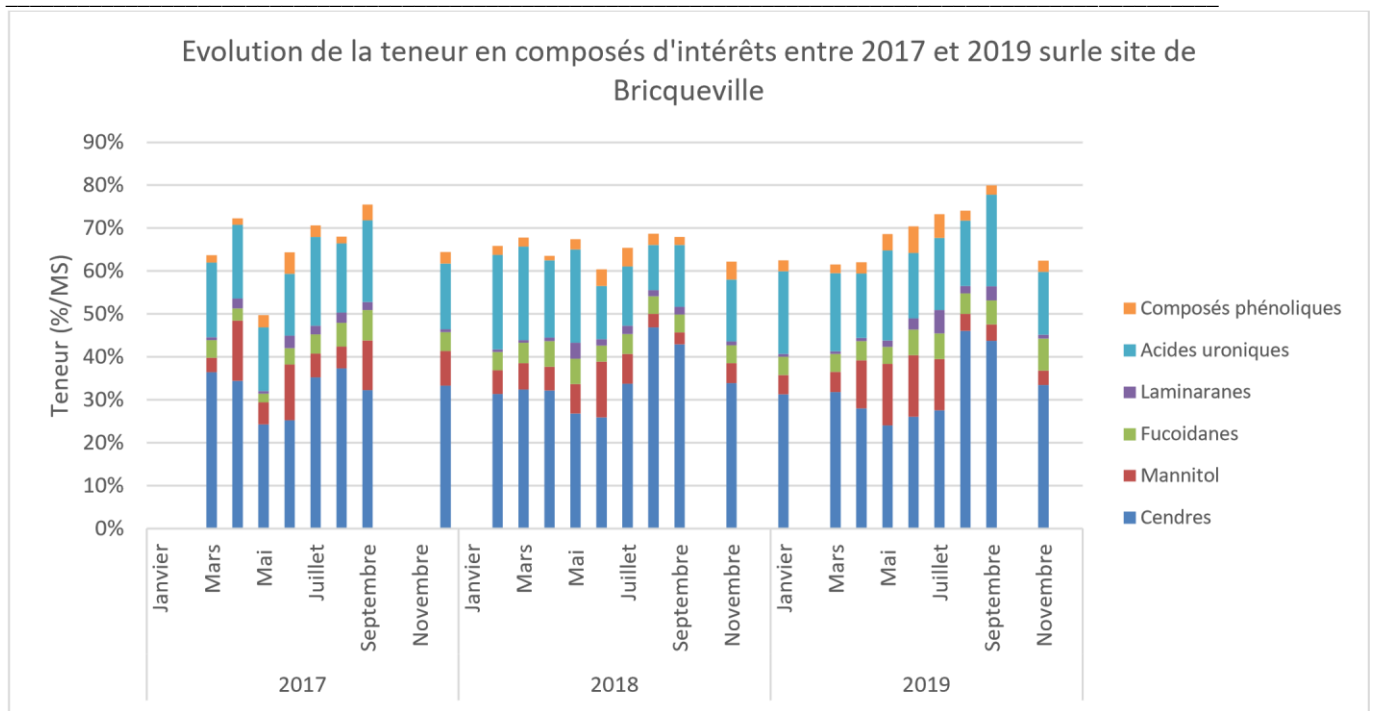


Figure 43 : Evolution de la teneur (en pourcentage par rapport à la matière sèche = %/MS) en composés d'intérêts présents chez *Sargassum muticum* entre 2017 et 2019 provenant du site de Bricqueville.

Ce graphique (figure 43) permet de regrouper les teneurs obtenues pour les six composés étudiés durant ces trois années de suivi pour chaque prélèvement effectué pour le site de Bricqueville. Cette figure permet d'observer les tendances générales de l'évolution des quantités en composés. Par exemple, d'après cette figure, il paraît y avoir des variations au cours de l'année pour les teneurs en laminaranes ainsi que pour le mannitol cependant cela paraît moins évident pour les composés phénoliques. C'est pourquoi l'analyse statistique a été réalisée : pouvoir analyser de manière rigoureuse les résultats obtenus. Ce graphique a été fait pour chaque site et sont disponibles en annexe 1.

Tous les résultats présentés dans la suite de ce document ont été réalisés suivant le matériel et méthodes suivant :

- La teneur en matière sèche et en matière inorganique (cendres) sont obtenus respectivement après séchage des échantillons puis calcination.
- Les monosaccharides sont identifiés et quantifiés par chromatographie échangeuse d'anions. La quantité des polysaccharides est calculée par différence entre les monosaccharides totaux et libres.
- La quantification des acides uroniques et des composés phénoliques sont effectuées par méthode colorimétrique.

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel Minitab 18 et la comparaison par la méthode de Tukey a été utilisée avec un indice de confiance de 95%.

Les résultats obtenus pour le suivi saisonnier sont présentés ci-dessous.

## VI.2 Comparaisons interannuelles et intra-annuelle (2017 → 2019)

Tout d’abord, les résultats obtenus vont être présentés sous forme de graphique (figure 44), puis les résultats de l’analyse statistique seront présentés et analysés.

L’évolution des teneurs en composés au cours de l’année et entre les années peut s’observer sur la figure 44 tous sites cumulés.

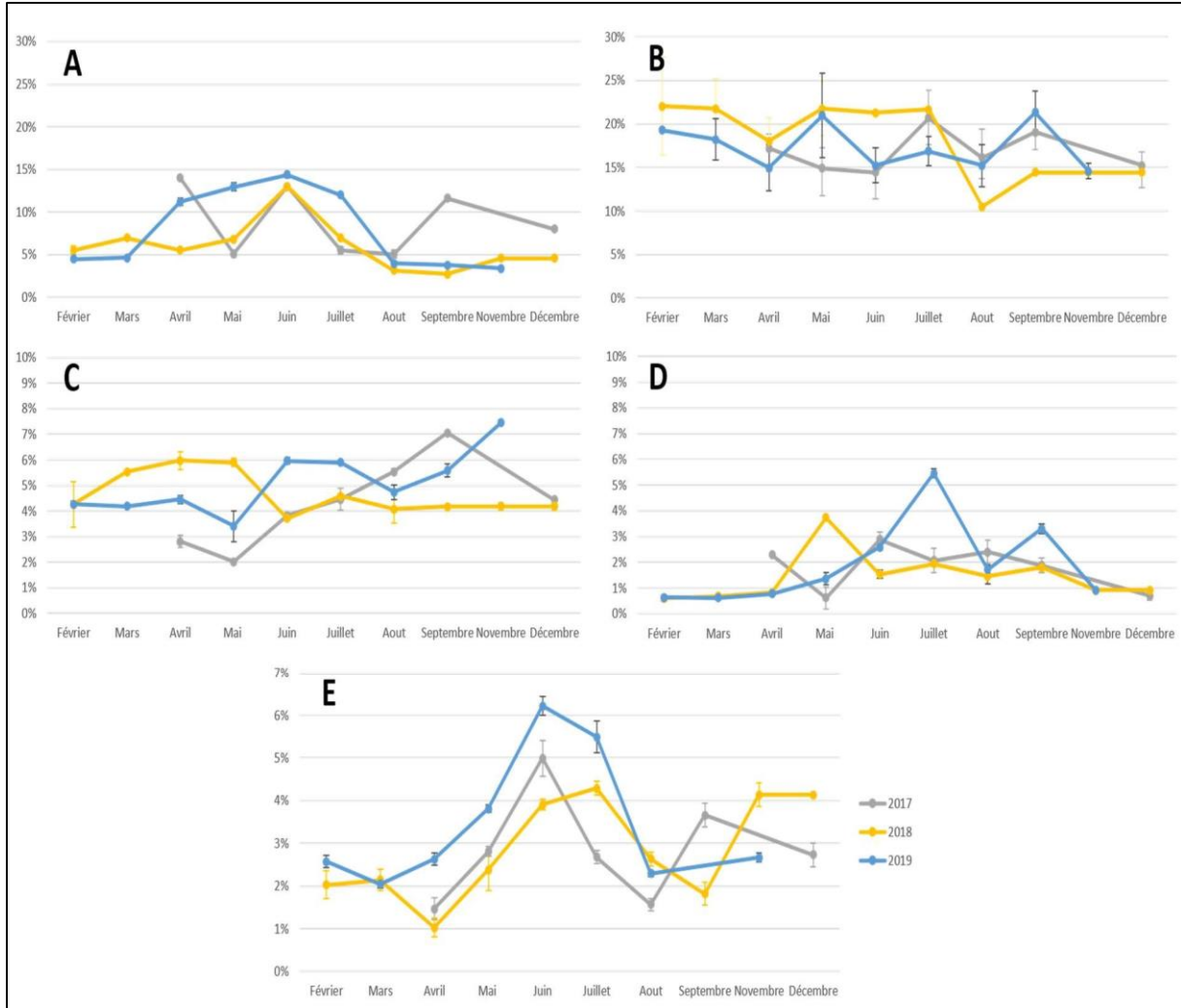


Figure 44 : Evolution et comparaisons des teneurs, exprimées en pourcentage par rapport à la matière sèche, en mannitol (A), acides uroniques (B), fucoidanes (C), laminaranes (D) et composés phénoliques (E) de 2017 à 2019.

La teneur en mannitol (figure 44 A) présente des profils relativement similaires entre les années avec de faibles teneurs durant l’automne/hiver et une forte teneur en fin de printemps, sur une courte période (mois de Juin). Il pourra aussi être noté que la teneur en mannitol fluctue au cours des saisons. En effet, sa teneur est la plus basse en automne et hivers puis elle augmente au printemps pour atteindre un maximum en fin de printemps/au début de l’été. Ce maximum est observable par un « pic » ce qui met en évidence une augmentation et une diminution rapide de sa teneur : les plus faibles teneurs sont atteintes en fin d’été (en général à partir du mois d’Aout). Il peut être noté un pic au mois de Juin pour les années 2017 et 2018. D’autre part, en 2019, la durée de cette période riche en mannitol



a duré plus longtemps et s'est étalée sur plusieurs mois : entre Avril et Juillet. Ceci peut être mis en relation avec les conditions météorologiques de cette année 2019 où le printemps a été particulièrement estival. La teneur en mannitol a augmenté à nouveau au mois de septembre pour l'année 2017, ce qui pourrait être expliqué par des conditions météorologiques très estivales aussi. Ce qui concorde avec les données issues de la littérature qui démontrent que le mannitol est un composé saisonnier (Klindukh et al., 2011).

La teneur en acides uroniques (figure 44 B) oscille autour de 20% par rapport à la matière sèche par rapport à la matière sèche quel que soit l'année et il n'y a globalement pas de variations saisonnières. Les plus fortes teneurs sont observées entre Mai et Juillet mais la période où la teneur est la plus élevée n'est pas obligatoirement la même selon l'année. En effet, ce maximum peut se décaler d'un ou plusieurs mois et il peut aussi arriver qu'une teneur élevée soit de nouveau atteinte beaucoup plus tard dans l'année, comme en 2019. En 2018, les teneurs sont stables du mois de janvier au mois de juillet (environ 22%/MS) puis, à partir du mois d'août, elle diminue et reste stable jusqu'au mois de décembre (aux alentours de 15%/MS). En 2017 et 2019, les quantités en mannitol sont relativement stables, entre 15 et 20%/MS. De plus, les écart-types sont relativement important et ne permettent donc pas de mettre en évidence de différence de teneurs en acides uroniques entre les mois.

L'évolution de la quantité en fucoïdanes (figure 44 C) n'est pas tout à fait similaire entre les années, même si la plage des teneurs est la même : entre 3 et 7% de la matière sèche au maximum. Les années 2017 et 2019 ont des profils plutôt identiques, avec une augmentation de la teneur en fucoïdanes entre Mai et Septembre/Novembre. L'année 2018 présente un profil plus stable que les 2 autres années de suivi, avec des teneurs comprises entre 4 et 6% de la matière sèche.

Une évolution saisonnière des quantités en fucoïdanes peut être observée : augmentation de leurs teneurs à partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre ou novembre selon l'année. Seule l'année 2018 ne présente pas cette augmentation mais des teneurs plus élevées entre mars et mai puis des teneurs plus faibles et stable ensuite (environ 4%/MS).

Les quantités en laminaranes (figure 44 D) sont relativement faibles durant les 3 années du suivi (inférieures à 3%). L'année 2017 est l'année où la teneur en laminaranes a été la plus stable, tout comme 2018 où la teneur a été multiplié par 4 en très peu de temps (elle a augmenté de 1 à 4% par rapport à la matière sèche en un mois). Il pourra être noté que l'année 2019 montre le plus de variabilité avec 2 pics de concentrations en Juillet (teneur supérieure à 5%MS, quantité maximale en laminaranes observées au cours de ce suivi). Globalement, les teneurs en laminaranes sont relativement similaires entre les années et elles ne sont pas les mêmes durant toute l'année. En effet, il y a une accumulation des laminaranes jusqu'à atteindre un maximum (qui diffère selon l'année) ce qui est concordant avec la littérature qui a montré que la quantité en laminaranes variaient au cours des saisons et que c'était lors de sa période de sénescence qu'elle augmentait (Jin et al., 2017).

Le suivi des teneurs en composés phénoliques (figure 44 E) montre un profil vraiment similaire entre les années. Il peut être observé des teneurs faibles (environ 2% par rapport à la matière sèche) en hiver et début de printemps, puis la teneur augmente à partir de Mars ou Avril, selon l'année, pour atteindre son maximum en Juin puis diminue progressivement. A noter, que de nouvelles augmentations des teneurs en composés phénoliques peuvent se produire à l'automne mais ces valeurs restent bien en dessous (entre 3 et 4%MS) des teneurs maximales atteintes l'été.

Sur les moyennes de ces données, une analyse statistique a été réalisée et est présentée dans la figure 45 pour la comparaison interannuelle.

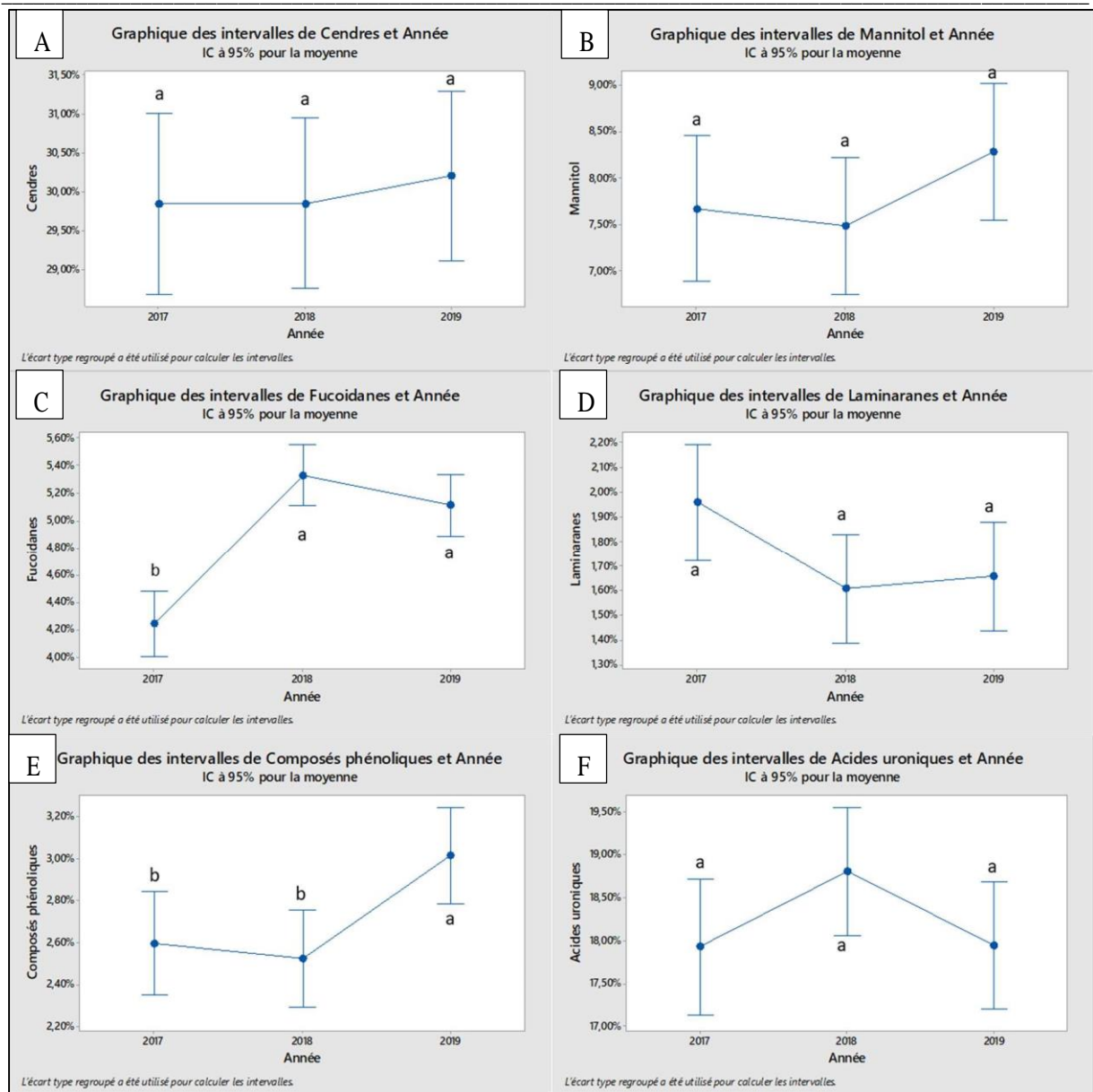


Figure 45 : Représentation graphique de l'analyse statistique réalisée entre les années sur les teneurs moyennes des composés étudiés exprimés en pourcentage par rapport à la matière sèche : cendres (A), Mannitol (B), Fucoidanes (C), Laminaranes (D), Composés phénoliques (E), acides uroniques (F).

L'analyse statistique des moyennes des teneurs obtenues pour chaque composé nous permet de mettre en évidence la présence ou non de différences significatives entre les 3 années du suivi (=différence interannuelle).

Cette analyse statistique a aussi été réalisée sur les teneurs obtenues en matière inorganique (=cendres) et celle-ci montre qu'il n'y a aucune différence significative entre 2017 et 2019. Il n'y aurait donc pas de variabilité interannuelle en ce qui concerne la quantité de matière inorganique dans les Sargasses.

Il n'y a pas non plus de différence significative entre les moyennes de teneurs obtenues pour chaque année en mannitol, en laminaranes et en acides uroniques. Cependant, des différences significatives sont observées entre les années pour les teneurs en fucoidanes et en composés phénoliques. En effet, la teneur moyenne en fucoidanes en 2017 a été significativement plus faible que

celle obtenue en 2018 et 2019 (d'environ 1%) et la teneur moyenne en composés phénoliques a été significativement plus élevée (d'environ 1%) en 2019 par rapport à 2017 et 2018 ce qui peut être mis en relation avec les conditions météorologiques de 2019 qui ont été nettement plus estivales d'Avril à Juillet 2019 qu'en 2017 et 2018.

Sur la variation des composés phénoliques, celle-ci est saisonnière, correspondant tout à fait avec ce qui est décrit par la littérature : augmentation de la teneur en composés phénoliques avec l'augmentation de la luminosité (Abdala-Díaz et al., 2006 ; Plouguerné et al., 2006).

### CONCLUSION :

Selon le composé étudié, il peut exister une variation interannuelle, présentement, c'est le cas pour la quantité en fucoïdanes et en composés phénoliques que peuvent contenir les Sargasses. Cependant, il pourra être noté que cette différence reste relativement faible (environ 1%). Ce suivi permet aussi de mettre en évidence une variation saisonnière (intra-annuelle) de tous les composés sauf pour les acides uroniques qui restent stables tout au long de l'année. Des périodes où les teneurs en composés sont maximales : juin-juillet pour le mannitol, les laminaranes et les composés phénoliques. La période est beaucoup plus longue pour les fucoïdanes : elles durent de juillet à novembre. Il pourra être noté que la période où la teneur en matière inorganique est la plus faible correspond à celle où la teneur des autres composés est la plus élevée ce qui doit être considéré dans un objectif de valorisation de ces composés pour maximiser le rendement d'extraction de ces composés. En fonction des voies de valorisation étudiées puis retenues ensuite dans le futur, cette étude s'avère cruciale afin de donner priorité éventuelle sur la saisonnalité. Il s'avère cependant que si des variations significatives pour certains éléments actifs aient été relevées, la saisonnalité de croissance de ces algues soit le facteur prépondérant. La concordance saisonnière du mannitol, laminarane et fucoïdanes par exemple présage d'une production pour une application agricole plutôt focalisée sur la fin de saison d'été. A l'inverse, pour une valorisation sur des propriétés liées aux alginates (texturantes, adhésives, agricoles ...) le ramassage des algues en tout début de croissance printanière est envisageable car les teneurs ne varient que très peu.

### IV.3. Comparaison inter-sites (2017 → 2019)

Des résultats ont été obtenus durant ces 3 années sur les 6 sites étudiés et la comparaison intra-sites durant cette période de temps est possible uniquement grâce à une analyse statistique afin de pouvoir prendre en compte toutes les données collectées.

En effet, dans un objectif de valorisation de cette biomasse localement, il était important d'étudier les variations potentielles entre les différents sites, notamment en termes de composition afin de s'assurer, ou pas, d'une certaine homogénéité des lots d'un site à l'autre.

La possibilité de faire cette étude sur trois années de suite a permis également de consolider les résultats et interpréter les variations annuelles et inter-sites.

Les premiers graphiques (figure 46) présentent les teneurs en chaque composé étudié selon le site sur l'année 2019, les autres graphiques (réalisés pour 2018 et 2017 sont en annexe 2).



Figure 46 : Evolution de la teneur moyenne (en %MS) de chaque composé, cendres (A), mannitol (B), fucoïdanes (C), laminaranes (D), composés phénoliques (E), acides uroniques (F) pour tous les sites étudiés.

D'après la figure 46, s'il apparaît peut-être de différences entre certains sites pour certains composés dans les quantités totales, par exemple les teneurs en laminaranes sur les sites de Gouville et Bricqueville en 2019, il apparaît cependant que l'évolution globale de chacun des composés entre les différents sites soit similaire. Nous observons en effet une teneur plutôt constante en acides uroniques, des teneurs croissantes en fucoïdanes au cours de l'année et des quantités plus élevées en composés phénoliques, mannitol et laminaranes sur la période juillet/aout.

Cependant, afin de regarder plus finement avec l'outil statistique, il a été décidé de regrouper les sites des deux départements ensemble et de faire une comparaison statistique des différences éventuelles. En effet, les sites d'un département à l'autre ne diffèrent pas vraiment en masses d'eau et morphologie tandis que de la Manche au Calvados, ces sites présentent des caractéristiques différentes plus marquées comme évoqué préalablement dans ce rapport.

Les six sites étudiés sont répartis dans deux départements différents, le Calvados et la Manche, la première analyse statistique réalisée a été de voir s'il y existait des différences de teneurs en composés entre les deux départements. Les résultats de cette analyse sont présentés dans la figure 47.

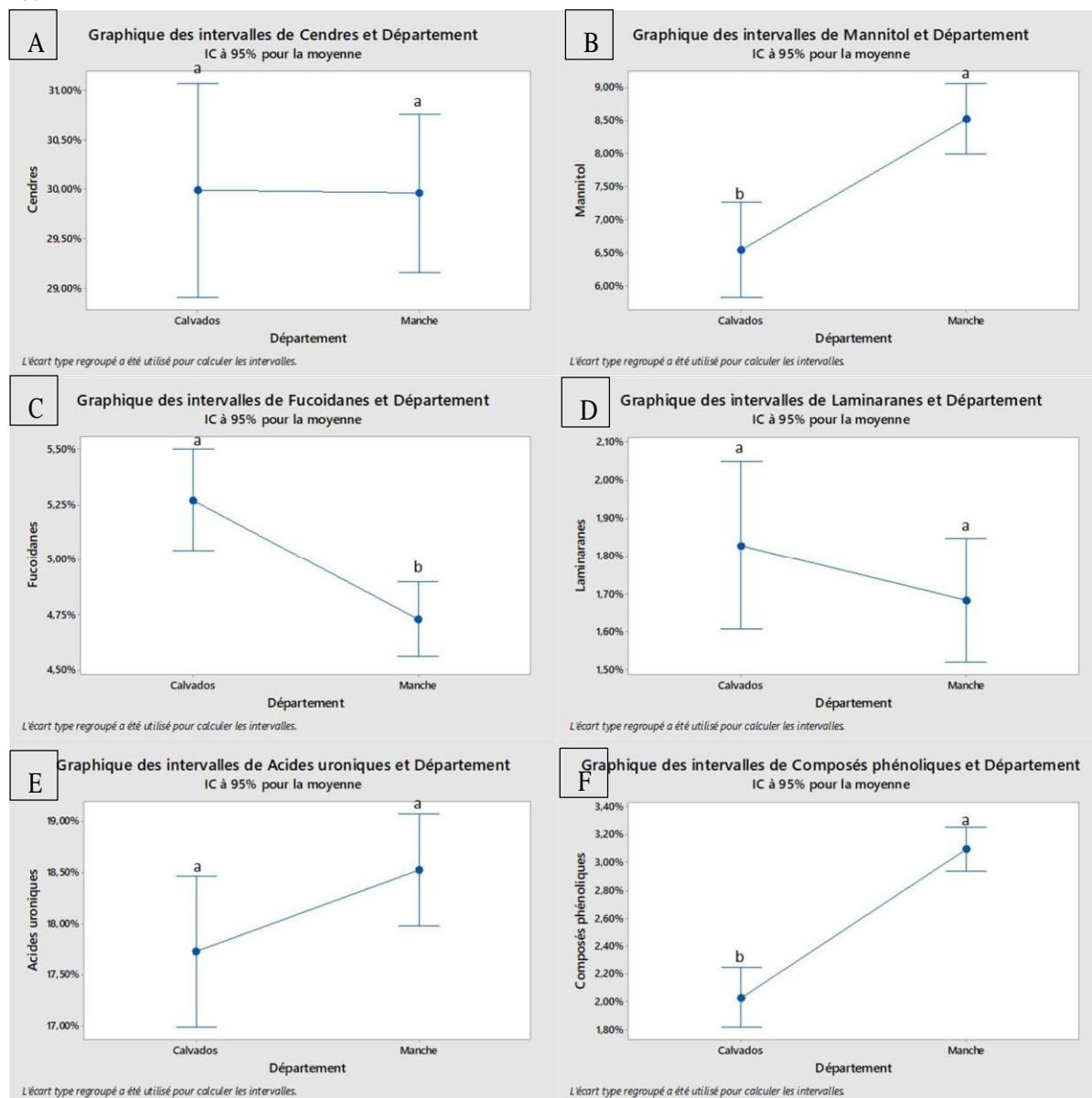


Figure 47 : Représentation graphique de l'analyse statistique réalisée pour la comparaison des teneurs en chaque composé étudié entre les deux départements de réalisation de l'étude (Calvados n=2 et Manche n=4).

D'un premier abord, la figure 47 montre que, selon le composé observé, il peut y avoir des différences significatives de teneurs en composés.

En effet, pour le mannitol, les fucoïdanes et les composés phénoliques les résultats montrent des différences significatives de teneurs entre les différents sites mais qui n'est pas toujours la même. Les teneurs en mannitol et en composés phénoliques sont significativement supérieures dans la Manche que dans le Calvados (augmentation de 2%/MS et de 1%/MS respectivement). Donc, si l'on veut principalement extraire un de ces composés, il pourrait être penser de privilégier les Sargasses provenant de la Manche afin d'optimiser et maximiser les chances d'extraire le plus de ces composés. Ces variations restent cependant relativement faibles à l'échelle d'une exploitation globales puis que

l'on parle de variations de quelques points de pourcentage en opposition à un doublement des teneurs par exemple.

Si l'on s'intéresse aux cendres, aux laminaranes ou aux acides uroniques, le critère « département » et donc variations inter-sites n'interfère pas car il n'y a pas de différence significative entre les deux départements.

Pour conclure sur l'étude des variations interannuelle, intra-annuelles et inter-sites, il a pu être remarqué que des différences de teneur moyenne en composés existent entre les départements et même entre sites même département ce qui permet de choisir la provenance des algues afin d'essayer d'obtenir des rendements d'extraction du ou des composé(s) ciblé(s) les meilleurs possibles. Inversement, par exemple pour les laminaranes, peu importe le site de prélèvements, les teneurs ne sont pas différentes entre les sites. Les teneurs peuvent varier d'une année à l'autre selon le composé étudié. Au cours de l'année, les teneurs les plus élevées en molécules à hautes valeurs ajoutées se produisent en juin-juillet. Ces résultats pourraient donc signifier d'en fonction des éléments actifs considérés, il serait important de regarder à la fois la saison et éventuellement le site de récolte à choisir. Les acides uroniques comme les Laminaranes et d'un certain point, les fucoïdanes ne varient que très peu d'un site à l'autre ; par contre, pour ces deux derniers composés, nous avons observés que leur pic de production se situe en fin d'été aussi il serait préconisé de ramasser les algues plutôt sur le choix de la saison que du lieu. Ceci est d'ailleurs vrai quel que soit l'année pour ces trois composés même si, pour le fucoïdanes, nous avons vu au-dessous qu'il y a un point de pourcentage de différence entre la première année et deux suivantes, ce qui en extraction, ne représente finalement pas de grandes différences.

Pour une exploitation plus précise de ces gisements, il sera donc crucial de continuer à observer ces différences mais plus que la différence inter-annuelle et inter-site, le critère d'importance dans le moment de la récolte sera celui de la saisonnalité.

L'intérêt de connaître ces données et de pouvoir garantir des teneurs minimales dans les extraits d'algues produits à partir de ces biomasses, ce qui d'un point de vue commerciale est de toute première importance.

## VI.4. Développement et optimisation des procédés d'extraction et de transformation

Le premier objectif était de déterminer les paramètres physiques et chimiques permettant d'optimiser l'extraction des composés ciblés à partir de la biomasse algale fraîche récoltée, étape se déroulant au laboratoire,

Puis, dans un deuxième temps, les extraits produits ont été testés pour, finalement essayer de créer, à minima, deux produits finis aux propriétés spécifiques du fait de leur composition. En parallèle, des essais à échelle semi-industrielle (=pilote) ont été réalisés afin d'évaluer la transposabilité du ou des protocole(s) retenus.



VI.4.1. Premier plan d'expérience :

a) Matériel et méthodes

Tout d'abord, un premier plan d'expérience d'extraction acide (représenté figure 48) a été réalisé avec comme paramètres étudiés : la température d'extraction extrêmes (température modérée ou température élevée), la nature de l'acide : faible ou fort (acide 1, acide 2 ou acide 3, l'acide 1 étant un acide faible et l'acide 3 un acide fort) et la concentration des acides (0.01M et 0.5M). Ce qui fait un total de 12 extractions réalisées en triplicats soit 36 extraits produits ce qui a permis de tester toutes les conditions. Les 36 échantillons ont ensuite été analysés afin d'évaluer l'influence de l'acide lors d'une extraction.

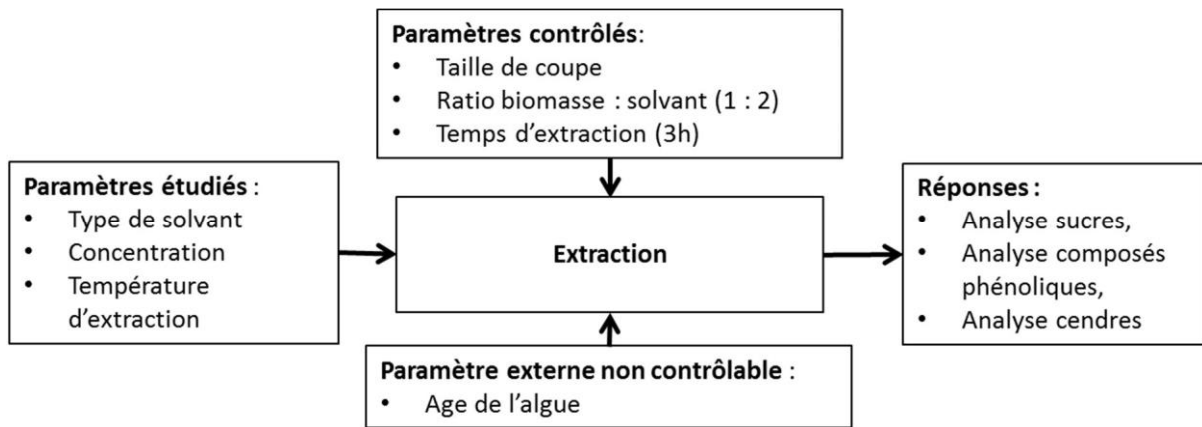


Figure 48 : Plan d'expérience des extractions acides

L'influence des différents paramètres sur les rendements d'extraction, ainsi que leurs interactions, peuvent être ainsi analysées par des analyses Anova via le logiciel Minitab 18.

Le matériel et méthode de l'analyse statistique de ce plan d'expérience est présenté cidessous :

Pour le plan d'expérience une matrice (Tableau 17) est réalisée pour chaque acide. Cette matrice reprend les paramètres des 4 extractions réalisées. Les « + » représentent les valeurs hautes (0,5M et température élevée + TE) et les « - » correspondent aux valeurs basses (0.01M et température modérée = TM).

Paramètres	A : Concentration de l'acide (M)	B : Température d'extraction (°C)	AB	Réponses
Extraction 1	-	-	+	Y <sub>1</sub>
Extraction 2	-	+	-	Y <sub>2</sub>
Extraction 3	+	-	-	Y <sub>3</sub>
Extraction 4	+	+	+	Y <sub>4</sub>
Effets	X <sub>a</sub>	X <sub>b</sub>	X <sub>ab</sub>	X <sub>0</sub>

Tableau 17 : Matrice des effets des paramètres et calcul des interactions

Pour chaque extraction, la réponse (rendement en cendres, mannitol, laminaranes, fucoïdanes, acides uroniques et composés phénoliques) est calculée qui est égale à la moyenne des triplicats réalisés pour chaque extraction. Puis l'effet de chaque paramètre (x<sub>a</sub> et x<sub>b</sub>) ainsi que l'interaction (x<sub>ab</sub>) et la moyenne des effets (x<sub>0</sub>) sont déterminés via les équations suivantes :

$$\text{Equation (4) : } Xa = \frac{-Y1-Y2+Y3+Y4}{4}$$

$$\text{Equation (5) : } Xb = \frac{-Y1+Y2-Y3+Y4}{4}$$

$$\text{Equation (6) : } Xab = \frac{Y1-Y2-Y3+Y4}{4}$$

$$\text{Equation (7) : } X0 = \frac{Y1+Y2+Y3+Y4}{4}$$

L'intervalle de confiance est ensuite calculé (Tableau 18). Enfin le modèle d'équation statistique peut être déterminé via l'équation suivante :

$$\text{Equation (8) : } Y = X_0 + X_a \cdot A + X_b \cdot B + X_{ab} \cdot A \cdot B$$

Celle-ci est ensuite corrigée afin de garder dans l'équation seulement les paramètres influençant. Pour cela, l'intervalle de confiance est appliqué à chaque effet, si l'intervalle de valeur comprend un zéro, cela signifie que le paramètre n'a pas d'effet et celui-ci peut être retiré du modèle d'équation statistique.

Extractions	Ecart type Si
<b>Extraction 1</b>	S <sub>1</sub>
<b>Extraction 2</b>	S <sub>2</sub>
<b>Extraction 3</b>	S <sub>3</sub>
<b>Extraction 4</b>	S <sub>4</sub>
<b>Variance s<sup>2</sup></b>	$\sum \frac{S_i^2}{3}$
<b>Intervalle de confiance</b>	$1.86 \frac{\sqrt{s^2}}{\sqrt{12}}$

Tableau 18 : Calcul de l'intervalle de confiance

#### b) Exemple pour les rendements d'extraction des fucoïdanes

Ce plan d'expérience nous permet d'évaluer l'influence de la nature de l'acide, sa concentration et la température d'extraction lors d'une extraction sur les quantités des composés extraits (cendres, mannitol, laminaranes, fucoïdanes, acides uroniques et composés phénoliques). Seuls les effets principaux (figure 49 A) ainsi que les effets des interactions sur les rendements en fucoïdanes (Figure 49 B) sont présentés dans la suite de ce rapport pour que ce document reste lisible mais ce travail a été effectué pour chaque composé. Un tableau récapitulatif (tableau 19) regroupant les résultats obtenus pour tous les composés étudiés est présenté mais le détail de ces calculs est disponible dans le document fourni en annexe 1.

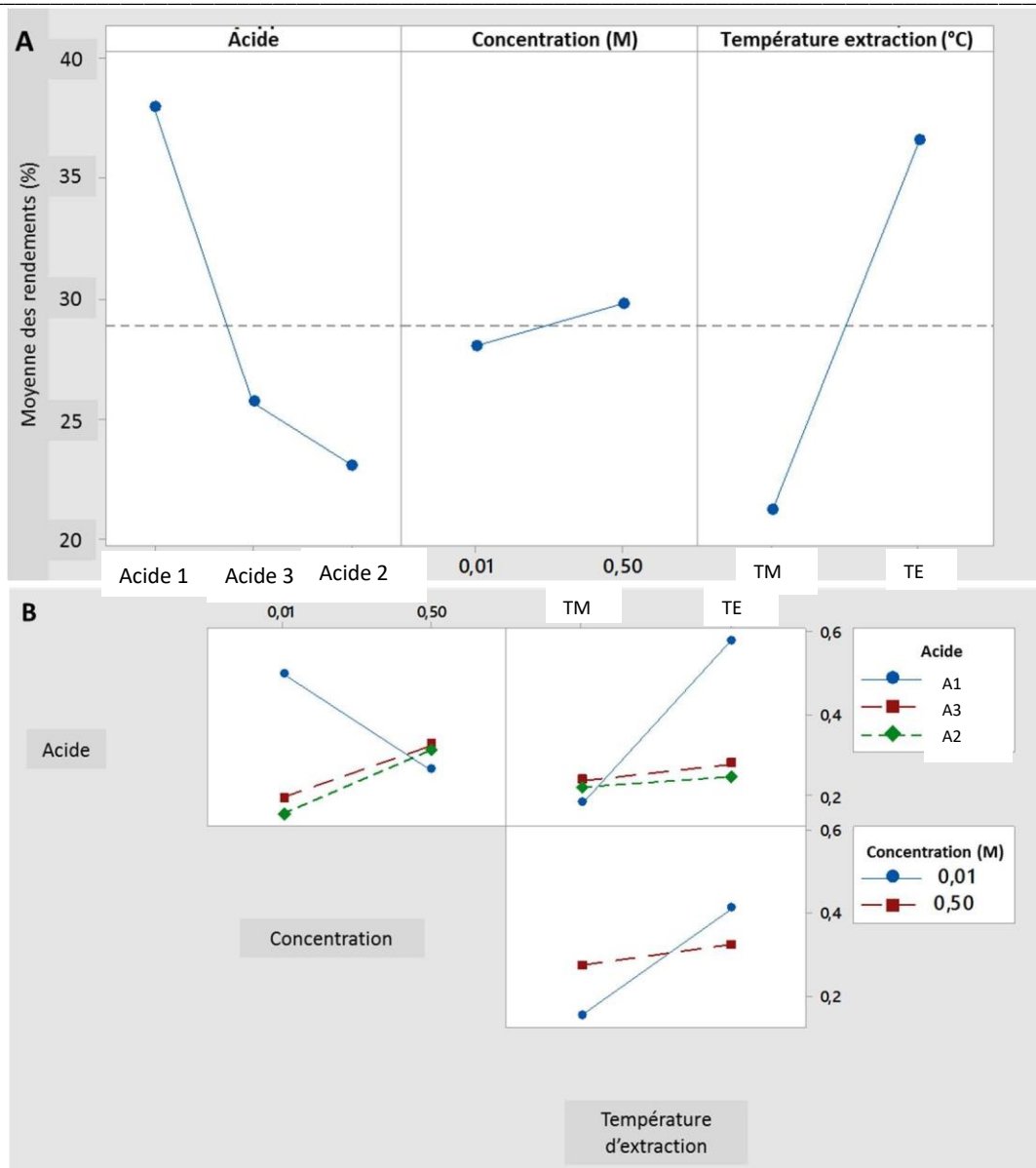


Figure 49 : Graphique des effets principaux des paramètres étudiés pour la moyenne des rendements composés en fucoïdanes (A) et diagramme des interactions entre paramètres pour la moyenne des rendements composés en fucoïdanes (B)

Afin de faciliter la lecture et l'interprétation de ces graphiques, il convient de rappeler que plus la pente reliant deux points est forte, plus la paramètre du facteur étudié influe entre les deux conditions.

Le graphique A figure 49, représente la moyenne des rendements en fucoïdanes en pourcentage. La ligne en pointillé correspond à la moyenne des rendements tous paramètres confondus, sa valeur est d'environ 28%. Chaque point correspond à la moyenne des rendements obtenu en fonction d'un paramètre. Par exemple, le premier point correspond au rendement moyen lors d'une extraction avec l'acide 1. La pente qui relie les points va déterminer si la variation d'un paramètre a un effet significatif ou non. Plus la pente sera importante plus l'effet sera significatif.

Sur ce graphique il peut être observé que les meilleurs rendements sont obtenus en utilisant un acide faible (acide 1) et à une température d'extraction élevée (TE). En effet, des rendements d'environ 38% sont obtenus avec l'acide 1, alors qu'ils sont d'environ 24% avec l'acide 3 et l'acide 2

(acides forts). De même les rendements lors d'une extraction à température modérée sont d'environ 22% alors qu'ils sont d'environ 35% à température élevée. La concentration de l'acide n'est pas prise en compte car la variation des rendements entre 0,01M et 0,5M sont seulement de 2-3%.

Le graphique B figure 49, montre les interactions des paramètres deux à deux. Par exemple, le diagramme en haut à gauche représente les rendements obtenus lors d'une interaction entre la nature de l'acide et sa concentration. Sur ce graphique, lorsque deux droites sont parallèles cela signifie qu'il n'y a pas d'interaction.

Il n'y a pas d'interaction entre les acides forts et la concentration. Cependant, il y en a une entre acide faible et concentration. A 0,01M les rendements obtenus sont importants avec l'acide 1 alors qu'avec un acide fort les rendements sont faibles. Contrairement à 0,5M où les rendements sont équivalents quel que soit l'acide.

Il n'y a pas non plus d'interaction entre acide fort et température d'extraction. Là encore, l'interaction acide faible/température d'extraction a un effet. A une température modérée, peu importe l'acide utilisé, les rendements seront faibles, alors qu'à température élevée, les rendements seront plus élevés avec l'acide 1 (acide faible).

Enfin, il peut être observé une interaction entre la concentration de l'acide et la température d'extraction. A 0,5M La température d'extraction ne change quasiment pas les rendements alors qu'à 0,01M les rendements seront faibles à température modérée et plus élevé à température élevée.

Afin d'explicitier ces premiers résultats par un exemple sur un actif concret, nous présentons ci-dessous le cas des fucoïdanes.

Il est important de préciser que ces résultats ont été obtenus sur un lot isolé de Sargasses et que les résultats de ces travaux permettent d'étudier des tendances plus que de fournir des données de rendements fixes. En effet, en fonction du lot de Sargasse de départ, les quantités seront amenées à évoluer mais les proportions resteront probablement dans la gamme de ce qui est obtenu ici.

L'utilisation d'un plan d'expérience pour déterminer les paramètres et les interactions influençant le rendement en fucoïdanes permet d'obtenir un modèle d'équations statistique comme décrit précédemment. On obtient alors une équation permettant d'anticiper les rendements en composés en fonction de l'acide utilisé, les équations obtenues pour chaque acide testé sont présentées dans le tableau 19.

	Modèle d'équation statistique	Intervalle de confiance	Modèle d'équation statistique final
<b>Citrique</b>	Fucoïdanes = 37,99 - 11,83 A + 19,93 B - 14,87 AB	± 5,72%	Fucoïdanes = 37,99 - 11,83 A + 19,93 B - 14,87 AB
<b>HCl</b>	Fucoïdanes = 23,07 + 8A + 1,17B + 0,54AB	± 3,30%	Fucoïdanes = 23,07 + 8A
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Fucoïdanes = 25,71 + 6,45A + 2,03B - 1,36AB	± 2,54%	Fucoïdanes = 25,71 + 6,45A

Tableau 19 : Tableau récapitulatif de l'influence des paramètres d'extraction sur le rendement en fucoïdanes. A = concentration de l'acide ; B = température d'extraction ; AB = interaction entre la concentration de l'acide et la température d'extraction.

Lorsqu'on utilise des acides forts, le seul paramètre parmi ceux étudiés, influençant les rendements, est la concentration de l'acide. Alors que lorsque l'on utilise un acide faible chaque paramètre est important. En moyenne, on obtient un rendement plus important, environ 38%, avec un acide faible.

Ainsi, afin d'interpréter ces résultats au bout du raisonnement de valorisation, en fonction du choix de valorisation des fucoidanes et la mise en œuvre industrielle de valorisation, c'est le choix du type d'acide utilisé pour l'extraction qui sera prépondérant. En effet, si l'objectif est de maximiser les rendements de fucoidanes sans avoir à tenir compte de leur composition potentielle, un acide faible sera retenu. Cependant, sur des voies de valorisation plus spécifiques, où la structure des fucoidanes devra être plus préservée, un acide faible sera préféré mais alors l'influence des autres facteurs, sera plus important et il faudra alors par exemple, utiliser une température plus élevée.

### c) Résultats pour les autres composés

Un tableau récapitulatif (Tableau 20) permet de reprendre l'effet de chaque paramètre en fonction de l'acide utilisé pour tous les composés analysés. A partir de là, on peut déterminer les valeurs des différents paramètres afin d'optimiser les rendements.

La concentration de l'acide 3 joue un rôle important sur les rendements en fucoïdane et la température d'extraction, avec ce même acide, joue un rôle seulement sur les composés phénoliques.

Avec l'acide 2, l'optimum pour chaque composé est à une température d'extraction modérée mais la concentration de l'acide varie selon le composé que l'on veut valoriser. Lorsqu'une concentration de 0,5M est utilisée, moins de composés phénoliques sont extraits et lorsque que la concentration est à 0,01M, les fucoïdanes et les cendres montrent des rendements d'extractions plus faibles.

Pour l'acide 1, les rendements sont maximaux à une température d'extraction élevée mais là encore la concentration de l'acide varie. A 0,01M moins de composés inorganiques et de mannitol vont être extraits alors qu'à 0,5M seulement les rendements en fucoïdanes est diminué.

Extraction	Conditions d'extraction	Rendements en cendres	Rendements en mannitol	Rendements en laminaranes	Rendements en fucoidanes	Rendements en acides uroniques	Rendements en composés phénoliques
Acide	Acide 3	-	-	+	-	+	-
	Acide 2	+	+	-	-	-	+
	Acide 1	+	0	+	+	0	+
	0,01M	-	-	-	0	0	+
	0,5M	+	+	+	0	0	-
	TM	0	+	0	-	0	+
	TE	0	-	0	+	0	-

Tableau 20 : Tableau récapitulatif de l'influence des paramètres d'extraction sur le rendement en composés en fonction de l'acide utilisée : la concentration et la température (+ : rendements plus importants si la valeur du paramètre augmente, - : rendements moins importants si la valeur du paramètre augmente, 0 : pas d'effets du paramètre).

A partir des résultats obtenus et après ces analyses statistiques, la concentration de l'acide et la température d'extraction optimales pour chaque acide peuvent être déterminés. Il peut aussi être déduit quel protocole d'extraction engendre le meilleur rendement d'extraction par composé. Pour rappel, seuls les tableaux récapitulatifs sont présentés par la suite, les résultats obtenus sont détaillés dans le document fourni en annexe 1.

	Acide 3 (0,5M, TM)	Acide 2 (0,5M, TM)	Acide 1 (0,01M, TE)
<b>Cendres</b>	56,92%	68,43%	55,27%
<b>Mannitol</b>	78,64%	96,72%	77,26%
<b>Laminaranes</b>	64,69%	61,34%	63,85%
<b>Fucoïdanes</b>	32,16%	31,07%	84,62%
<b>Acides uroniques</b>	3,56%	2,81%	3,88%
<b>Composés phénoliques</b>	67,56%	63,49%	70,98%

Tableau 21 : Rendement théorique maximum d'extraction pouvant être atteint selon les différents paramètres (acide/concentration/température).

Les paramètres d'extraction sont très importants lors de l'extraction des polysaccharides. Les résultats obtenus ont permis d'observer que la nature de l'acide et sa concentration ainsi que la température utilisée lors de l'extraction, peuvent faire varier les quantités de composés extraits selon leur nature. On a en général deux types de réponses, les acides forts auront les mêmes tendances alors que l'acide faible réagira de façon inverse. Seule l'extraction des composés phénoliques montre des tendances (meilleurs rendements à 0,01M et température modérée) similaires selon l'acide utilisé. Cependant, l'acide 2 se distingue des deux autres acides en ayant un rendement nettement supérieur lors d'une extraction à 0,01M.

Un enjeu important pour ALGAIA est d'utiliser au maximum la biomasse algale, c'est-à-dire extraire le maximum de composés valorisables. Pour cela, différentes techniques d'extraction peuvent être nécessaires. En effet, l'extraction d'alginate (polymère déjà valorisé par ALGAIA) nécessite plusieurs étapes dont certaines pourraient être réalisées à travers une extraction qui permettrait d'extraire d'autres composés (laminaranes, fucoïdanes...). C'est aussi pour cela que ce premier plan d'expérience a été pensé : l'optimisation d'une extraction permettant de servir d'étape pour une seconde extraction à finalité différente. Cette optimisation va permettre d'extraire le maximum de composés et d'ainsi avoir différents extraits dont certains potentiellement hautement valorisable.

Grâce au travail présenté en amont, la concentration de l'acide et la température d'extraction optimale pour chaque acide, qui donnera les meilleurs rendements, peuvent être déterminée (Tableau 21).

Ainsi, en fonction des objectifs de rendements d'extraction, ces travaux initiaux permettent d'identifier clairement sur quel paramètre, type d'acide, concentration d'acide et température appliquée, il est important d'agir pour optimiser son extraction.

Les voies de valorisation choisies par le transformateur influenceront sur ce choix et cette étude très complète, du moins sur ces paramètres choisis, représente un grand pas vers la mise en place de ces procédés. D'autres paramètres comme le rapport entre le volume d'eau et la quantité d'algue, ou les conditions de pH ou bien encore le type de solvant utilisé auraient également pu être choisis car ils jouent un rôle important sur ces rendements d'extraction.



## e) Extractions pour les activités de biostimulation des plantes

Ensuite, les premières extractions ont été réalisées afin de débiter les tests de biostimulation faits ultérieurement par le SILEBAN : une extraction aqueuse a été effectuée sur algue fraîche puis différents extraits ont été générés par différentes techniques de purification. Les extraits obtenus (4 bruts, 2 purifiés) ont ensuite été transmis au SILEBAN pour des tests de biostimulation sur graines. Les résultats sont présentés dans le WP 5 qui suit.

Ces extraits ont aussi été testés pour tester leur activité antioxydante, anti inflammatoire, anti-âge (anti élastase), les résultats obtenus sont décrits dans la partie valorisation.

Les extraits générés ont tous été analysés et leurs compositions sont présentées dans le tableau 22 suivant :

Extraits	Matière sèche %	Cendres (%/MS)	Mannitol (%/MS)	Laminaranes (%/MS)	Fucoidanes (%/MS)	Acides uroniques (%/MS)	Composés phénoliques (%/MS)
<b>S1</b>	5,93 %	48,09	4,12	2,10	0,75	3,30	3,39
<b>S2</b>	9,80 %	43,68	3,85	1,97	0,88	5,23	3,71
<b>S3</b>	7,27 %	29,31	3,89	2,26	1,62	8,84	2,98
<b>S4</b>	8,03 %	29,23	4,06	2,32	1,68	9,94	3,20
<b>S5</b>	0,66 %	18,65	1,49	1,08	9,63	14,75	12,37
<b>S6</b>	0,54 %	46,86	0,15	3,47	1,66	26,44	14,98

Tableau 22 : Composition des extraits produits pour les tests de germination. S1 = Extrait à température ambiante; S2 = Extrait à température ambiante (9.80% de MS) ; S3 = Extrait à chaud(7.27% de MS,) ; S4 = Extrait à chaud(8.03% de MS,) ; S5 = Extrait à chaud purifié HM ; S6 = Extrait à chaud purifié LM

Les extraits S1 et S2 sont des échantillons concentrés du surnageant de l'extraction réalisée à température ambiante. Les extraits S3 et S4 sont des échantillons concentrés du surnageant de l'extraction réalisée à chaud. Enfin les extraits S5 et S6 correspondent au perméat et au rétentat obtenus après ultrafiltration du surnageant de l'extraction à chaud.

La différence qui peut être notée entre les échantillons extraits à température ambiante (S1 et S2) et ceux extraits à chaud (S3 et S4), est qu'il y a plus de fucoidanes et d'acides uroniques dans S3 et S4. De plus, on peut observer que les échantillons les plus concentrés (S2 et S4) ont des teneurs en composés plus importantes.

La composition des échantillons purifiés se distingue des échantillons concentrés car les différents composés sont retrouvés à une moindre concentration. Ils diffèrent également selon la fraction observée. L'extrait S5 contient plus de mannitol et de fucoidanes. Alors que l'extrait S6 contient plus de cendre et d'acide uronique.

#### f) Extraction alginates et tests de réalisation de films d'alginates :

Une des spécialités d'ALGAIA est la production d'alginates, il a donc été normal de s'intéresser aux alginates présents dans la Sargasses afin de les caractériser et d'évaluer leur potentielle valorisation.

Une première valorisation possible est une utilisation en tant que stabilisant des sols afin de palier à l'érosion éolienne des sols que peuvent subir les sols sableux de culture de carottes de la Manche.

Pour caractériser les alginates de *Sargassum muticum*, une première extraction a été réalisée et a permis d'obtenir différents produits. Comme décrit précédemment, l'extraction d'alginates nécessite plusieurs étapes (acidification, carbonatation, précipitation, séparation, neutralisation et séchage), dans le cadre de notre étude seulement deux étapes de cette extraction ont été réalisées afin de voir s'il était possible d'obtenir un produit liquide riche en alginate intéressant en s'arrêtant avant l'étape de précipitation et ainsi diminuer aussi les coûts de production. L'étape de neutralisation a également été atteinte afin simplement de vérifier la stabilité de ces nouveaux alginates

La phase liquide ainsi obtenue a été séparée en trois parties :

- Une 1<sup>ère</sup> partie laissée telle quelle (ALG1)
- Une 2<sup>de</sup> partie concentrée par deux grâce à un évaporateur rotatif (ALG2)
- Une 3<sup>ème</sup> partie qui a subi les étapes suivantes du processus d'extraction des alginates (précipitation, séparation, neutralisation et séchage) (ALG3)

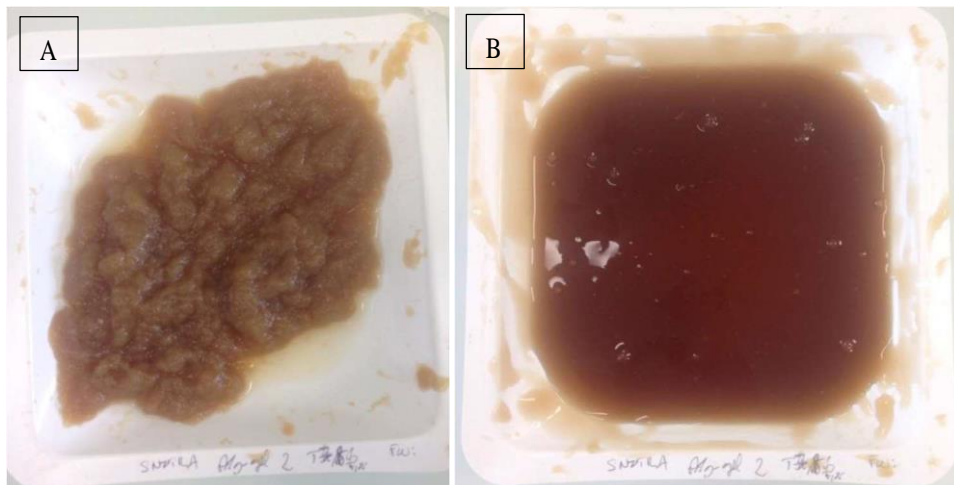


Figure 50: Représentation de l'acide alginique (avant neutralisation) et de l'alginate (après neutralisation).

Des premiers tests de réalisation de films ont été réalisés à partir des trois produits ALG1, ALG2 et ALG3 ; la caractérisation de ces alginates (ratio M/G, viscosité) a aussi été faite.

Le ratio M/G (acide mannuronique /acide guluronique) des alginates extraits a été évalué grâce à une technique développée en interne et validée indépendamment, basée sur la chromatographie ionique : il est de 0.604. Ce qui nous permet de dire qu'ils contiennent plus d'acide guluronique et ont donc des propriétés, à priori, plus gélifiantes qu'épaississantes. Ce type d'information est

particulièrement intéressant pour visualiser l'application potentielle pour les alginates extraits de ces algues Sargasses Normandes.

La viscosité des extraits ALG1 et ALG2 sont respectivement de 79.6 cP et 273 cP ce qui est parfaitement en ligne avec des observations classiques, l'extrait ALG2 étant plus concentré, cela montre également un pouvoir légèrement viscosant de ces alginates malgré ce ratio M/G bas.

Les tests de réalisation de film, à partir des fractions liquides ALG1 et ALG2 n'ont pas été très concluants. En effet, pour ALG1, le film collait à la boîte et partait en petits morceaux quand il était frotté avec les doigts. Le pouvoir filmogène de cet extrait tel quel est donc limité.

Pour l'extrait ALG2, le film présentait un pouvoir filmogène certain mais il était très cassant, donc impossible à utiliser en l'état.

Un travail d'optimisation est encore nécessaire à ce stade de l'étude sachant que l'objet premier de cette étude n'était pas de produire des fractions d'alginates filmogènes fines.

Des films ont aussi été réalisés à partir de l'extrait ALG3 (figure 51) ainsi que des tests de viscosité. Ils sont ensuite comparés à des échantillons d'alginates commerciaux de l'algue brune *Laminaria digitata* (ECH1 et ECH2) utilisés comme agents épaississants et d'un autre alginate de la gamme commerciale d'ALGAIA (ECH3) utilisé comme gélifiant. ECH3 a été choisi à partir de son ratio M/G de 0,59 qui est proche de celui de l'extrait de sargasses (0,6).

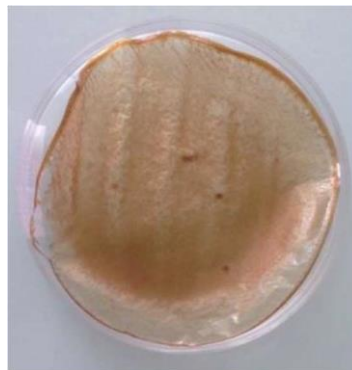


Figure 51 : Film réalisé à partir d'alginates de sargasses

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Echantillons	Viscosité à 20°C (cP)
Alginates extraits de sargasses	25,1
ECH1	3,6
ECH2	6,3
ECH3	24,0

Tableau 23 : Viscosités en cP des alginates testés.

ECH3 a une viscosité de 24cP tandis que ECH1 et ECH2 ont des viscosités très faibles (3,6 et 6,3 respectivement). La viscosité d'ECH3 est la plus proche de celle des alginates extraits de sargasses.

Les films sont réalisés pour chaque échantillon avec deux plastifiants d'origine naturelle et un blanc (sans plastifiant). A chaque fois, la force de rupture (figure 52 A) des films est mesurée, ainsi

que la pente de la courbe obtenue (figure 52 B). La pente représente l'élasticité du film. Plus la pente est importante plus le film est élastique, donc moins cassant.

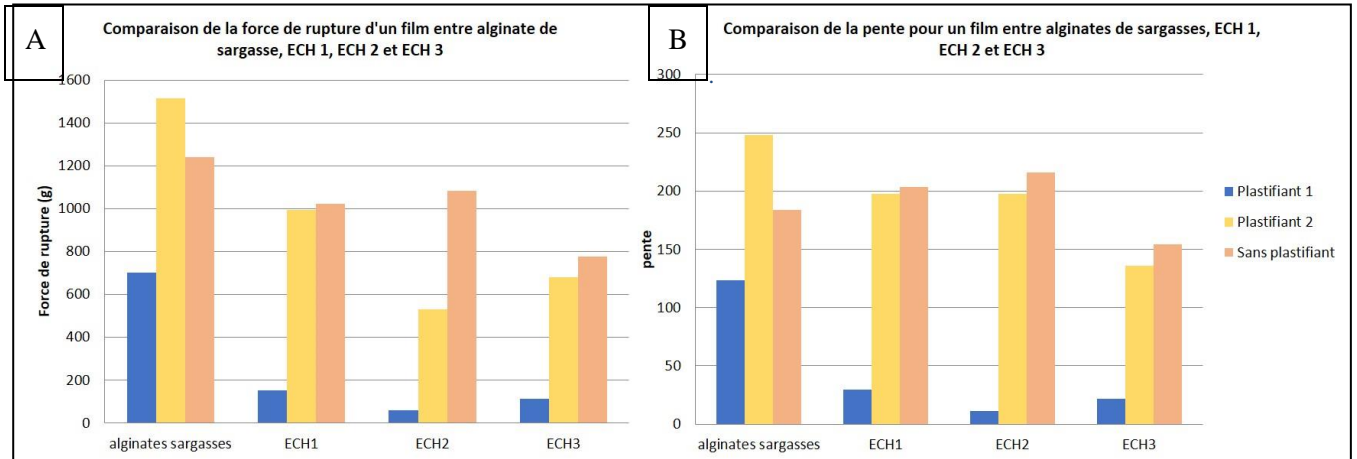


Figure 52 : Force de rupture (A) et pente (B) des différents films réalisés.

Des solutions d'alginate sont coulées dans une boîte de pétri, puis séchées à l'étuve, afin de former un film ayant des propriétés plastiques. Ces films sont placés sous un piston qui va mesurer la force appliquée jusqu'à leur rupture. La force de rupture des films d'alginate de sargasses + plastifiant 1 (figure 52 A) est de 702 g.cm<sup>-2</sup> et sont donc les moins résistants. Ceux à base du plastifiant 2 ont une force de rupture plus élevée, de 1516 g.cm<sup>-2</sup>, alors que le blanc se situe entre les deux à 1240 g.cm<sup>-2</sup>. Le film d'alginate de sargasses + le plastifiant 2 possède la force de rupture la plus élevée, ils sont donc plus résistants, tandis que dans le cas de nos alginate commerciaux, ce sont les films sans plastifiant qui l'emportent. Dans l'ensemble, les sargasses permettent de réaliser des films plus résistants qu'ECH1, ECH2 et ECH3, surtout pour les films à base du plastifiant 1 et du plastifiant 2.

La pente de la force appliquée et du temps nécessaire jusqu'à la rupture représente l'élasticité des films. Les films de sargasses (figure 52 B) suivent la même tendance que les résultats des forces de rupture. Le film à base plastifiant 2 a la pente la plus élevée (248 g.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>), suivi du film sans plastifiant (184 g.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>), et enfin le film composé du plastifiant 1 (123,5 g.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>). Donc le film à base de plastifiant 2 est plus ferme, alors que celui avec le plastifiant 1 est plus élastique. Pour les autres échantillons, les films avec le plastifiant 1 ont une pente très faible, entre 11 g.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> et 30 g.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, et une pente plus élevée pour les blancs, entre 154 g.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> et 216 g.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Parmi les films sans plastifiant, les films de sargasses ont une pente située entre celles d'ECH1 et ECH2. Dans la catégorie des films avec du plastifiant, ceux issus de sargasses ont des pentes bien plus élevées et sont donc plus fermes.

Pour conclure sur ces premiers tests de réalisation de film à base d'alginate de sargasses, leur utilisation peut être envisagée en agriculture maraîchère, notamment pour la fixation des sols sableux grâce à leurs qualités intéressantes (viscosité élasticité). Parmi tous les films testés, ceux à base plastifiant 2, avec une bonne élasticité, offrent une meilleure résistance à la rupture. De plus, le plastifiant utilisé est naturel, naturellement dans l'algue, et ne sera alors pas dangereux pour les cultures et l'environnement, bien au contraire.

Il faudrait cependant réaliser des tests pour savoir si ces films sont effectivement adaptés. En effet, il faut que les films soient poreux pour laisser passer les nutriments et la pluie sans qu'ils ne se dissolvent

rapidement au contact de l'eau. Il faut aussi qu'ils résistent à la chaleur, au vent et trouver une méthode efficace pour disperser les films sur les plantations.

C'est pourquoi un deuxième test a été lancé à la suite afin de tester la résistance des films aux précipitations et aux vents.

Ce test a été réalisé sur du sol sableux (fourni par le SILEBAN), réparti dans différentes barquettes puis différents films d'alginate ont été pulvérisés sur la surface afin de pouvoir comparer leurs résistances aux précipitations et au vent selon la perte de masse mesurée (mesure effectuée tous les 3 à 4 jours sur une période de 21 jours). Il est très important de noter que ce test a été réalisé sous certaines conditions qui ne reflètent pas complètement la réalité des tests en plein champ mais cela permet d'obtenir une première vision de la réaction des films face aux intempéries. Les échantillons testés sont présentés dans le tableau 24.

N°essai	Extrait	Protocole d'extraction	Ratio M/G	M+G = taux de fibres (%)	Viscosité des solutions préparées (cp)	Concentration en alginate (%)
1	Alg1	Protocole d'extraction classique	0,91	49	12,9	1
2	Alg2	Co-extraction 1	0,70	44	15,3	1
3	Alg3	Co-extraction 2	0,97	56	ND	1
4	Alg4	Protocole Brut	ND	ND	39,6	ND
5	Produit 1	Gamme commerciale	1,34	68	13,8	1
6	Produit 2	Gamme commerciale	0,53	ND	13,5	0,7

Tableau 24 : Echantillons testés lors du test de résistance aux précipitations et au vent.

En plus de ces six échantillons, un contrôle a été réalisé qui consistait à du sol sableux sans ajout de films.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 53.

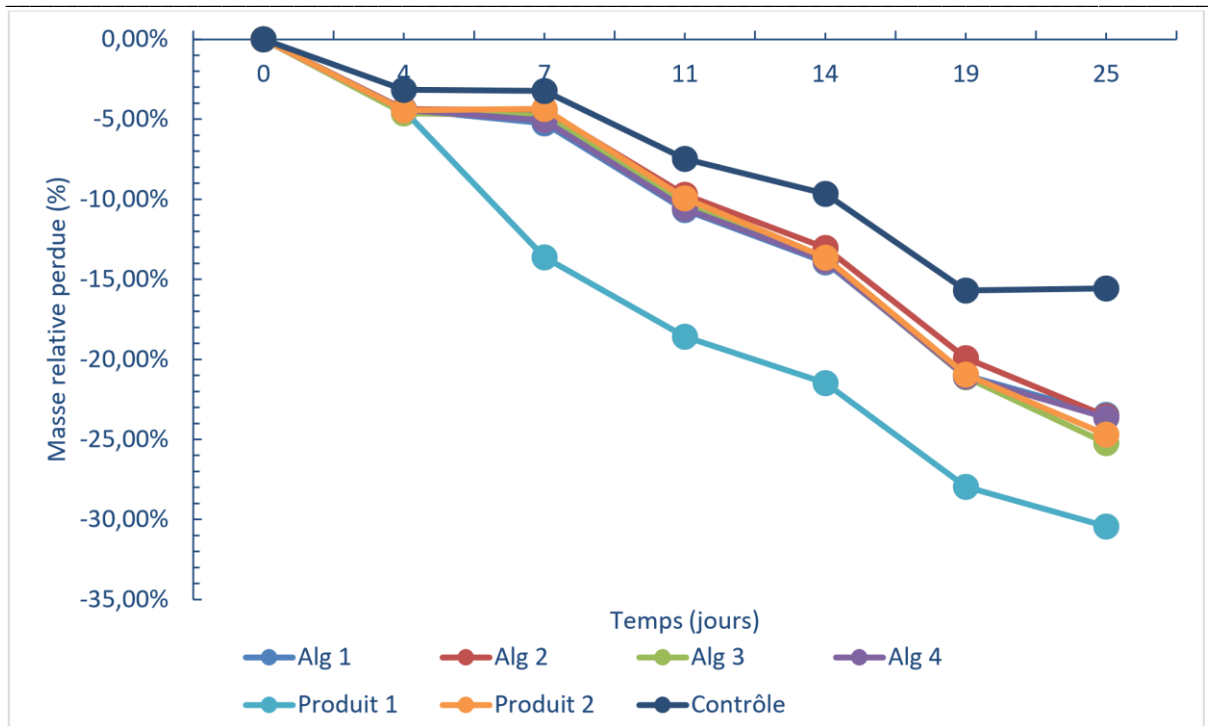


Figure 53 : Représentation graphique de la perte de masse mesurée sur 21 jours.

D'après la figure 53, le contrôle (pas d'application de film, composé de terre uniquement) est l'échantillon qui perd le moins de masse et le moins rapidement contrairement au produit 1 qui serait celui qui perd le plus de masse et le plus vite c'est-à-dire que le film issu de cet échantillon serait celui qui résiste le moins aux précipitations. Tandis que les quatre films réalisés avec les alginates de sargasses (Alg1, Alg2, Alg3 et Alg4) ainsi que le produit 2 protègent mieux le substrat, car la perte de masse est moins importante que pour le produit 1 et aussi moins rapide au cours de ces 21 jours de test : Ces films seraient donc plus résistants sur la base de ces premiers résultats. Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux films faits avec les alginates de sargasses, aucune différence de comportement n'est observable malgré les différences de caractérisation (ratio M/g, viscosité...).

Cependant, ces résultats sont à tempérer par le fait que le test contrôle est celui qui perd le moins de masse reste difficile à interpréter, car il y a bien eu la formation de films sur les autres tests qui auraient dû fixer le sol. Plusieurs hypothèses à ce phénomène sont néanmoins envisageables : tout d'abord, il est arrivé que de la perte de masse se fasse par plaques (film non adapté ?) et non par grains comme ce qui pourrait expliquer de fortes pertes de masses. De plus, il peut être envisagée que des barquettes protégeaient les autres à cause de leur positionnement (centrale ou sur les côtés).

Pour conclure sur ce test, le protocole est sans conteste améliorable mais il a permis d'aborder les notions de résistance aux intempéries ainsi que la réaction des films aux précipitations. La résistance au vent est abordée dans la suite de ce rapport grâce à un test réalisé en conditions contrôlées à plus grande échelle par le SILEBAN.



Tests de scale-up de production d'extraits à échelle semi-industrielle :

Dans le prolongement des développements au laboratoire, le passage à l'échelle semi-industrielle permet d'appréhender les questions de faisabilité de process, d'industrialisation, de rendements, surtout d'établir des coûts de production... Ils sont indispensables avant tout passage à l'échelle industrielle car il est bien connu que tout changement d'échelle engendre des différences de production et donc nécessitent des adaptations avant le passage en productions industrielles. Ainsi, plusieurs tests dit « pilotes » (= échelle semi-industrielle) ont été réalisés au cours de ces trois années de projet.

Un premier test pilote d'extraction a été réalisé à partir de 150 kg de sargasses fraîches récoltées par le SMEL, en juin 2017 (Figure 54). La première étape consiste à la coupe de l'algue, elle est constituée de 2 coupes successives de différentes tailles : une macro-coupe et une micro-coupe. Une optimisation du process pilote a été nécessaire après plusieurs essais afin d'arriver à une micronisation de l'algue (les parties reproductives des sargasses restaient en flottation (Fig 19. A) et extraction améliorée (les fibres du thalle bloquant les vannes d'évacuation) à partir de mars 2018.



Figure 54 : Illustration du test pilote. A = cuve d'extraction, B = vidange de la cuve d'extraction, C = décanteur.

De nouveaux tests pilotes ont été effectués en 2018 et 2019 qui ont permis la production de différents lots de produits biostimulant, un lot d'alginate et des extraits purifiés pour les tests de bioactivités (cosmétique par exemple) afin d'augmenter la valeur de ces extraits. Un exemple d'un extrait et de la biomasse résiduelle obtenu après séparation est présenté dans la figure 55.



Figure 55 : Illustration de l'extrait (A) obtenu après extraction et séparation de la biomasse résiduelle (B).

Une succession de purifications par ultrafiltration (= séparation membranaire) a été réalisée afin d'obtenir des extraits différents en termes de composition et ainsi être testé dans diverses applications. L'analyse de la composition biochimique de ces extraits a été effectuée ainsi que l'étude des rendements d'extraction. Ces résultats sont présentés uniquement pour les extraits produits en 2019 car ce sont ceux qui ont été testés en bioactivités.

Tout d'abord, la composition générale de ces extraits obtenus à partir de 150kg d'algues est présentée dans la figure 56.

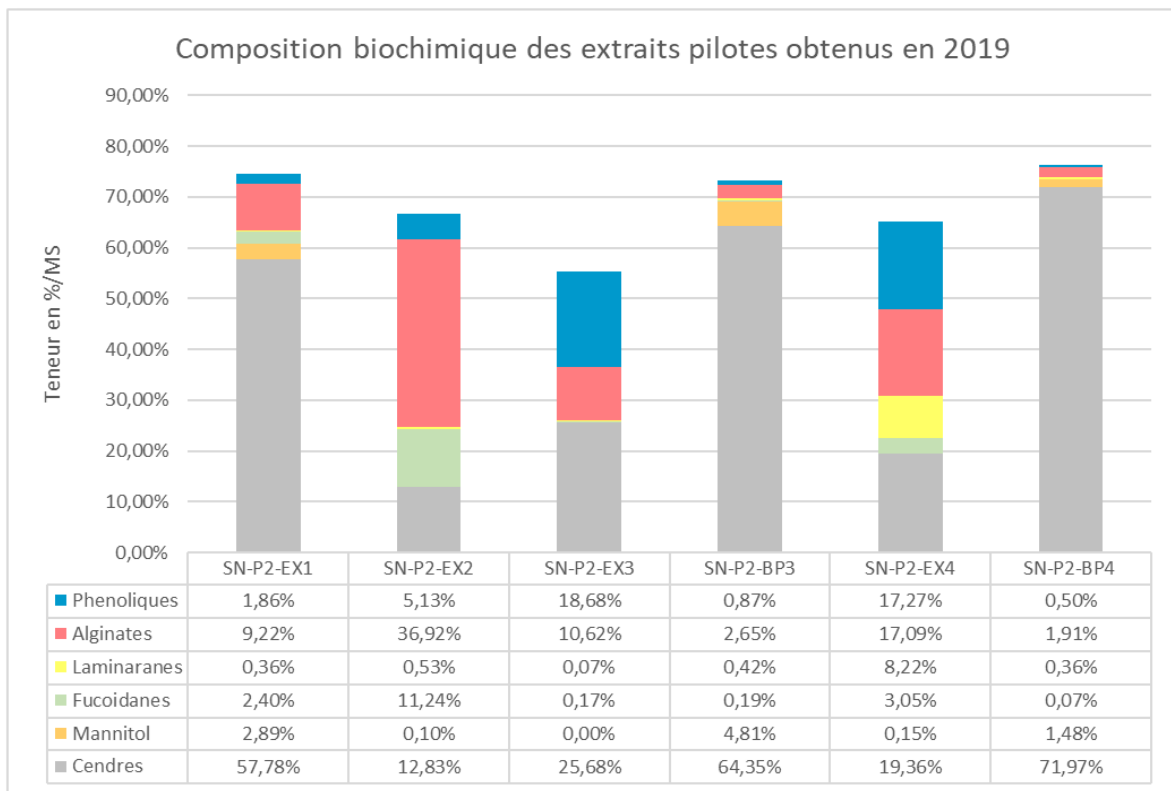


Figure 56 : Composition biochimique en pourcentage de la matière sèche des extraits pilote obtenus en 2019.

Dans les extraits décrits plus haut, seuls les composés identifiés comme « actifs » sur les applications plantes ont été analysés. Les analyses de pigments, acides gras ou bien protéines totales n'ont effectivement pas été réalisés dans le cadre de cette étude. Il serait, dans un contexte plus large de valorisation cependant intéressant à l'avenir de regarder les teneurs en acides aminés plus particulièrement : la teneur en protéines totales peut aller de 5 à 18%/MS selon le site de prélèvement des algues (résultats issus du dosage des protéines totales sur le site de Bricqueville et Bernières respectivement ; cf figure 42).

Les extraits produits ont des compositions en « actifs des plantes » différentes en fonction des différentes purifications réalisées. En effet, l'extrait SN-P2-EX1 correspond à l'extrait brut (c'est-à-dire celui qui n'a subi aucune purification), contient tous les composés valorisables et présente une teneur en cendres assez importante.

L'extrait EX2 est obtenu après une première étape de filtration et présente la plus forte teneur en matière organique, résultat qui était attendu car les sels devaient majoritairement passer à travers la membrane. L'extrait EX2 présente donc les plus fortes teneurs en fucoidanes et en alginates (11%/MS et 37%/MS respectivement) et les plus faibles teneurs en cendres. Il pourra être noté qu'il n'y a pas d'extrait BP2 car il est directement passé à l'étape de filtration suivante qui a permis d'obtenir les extraits EX3 et BP3.

L'extrait EX3 contient 3 composés majoritaires : les composés phénoliques, les alginates et les cendres. C'est l'extrait qui contient les plus de composés phénoliques avec l'extrait EX4 (EX3 : 18,68%/MS et EX4 17,27%/MS). L'extrait BP3 présente une très forte teneur en sel (accumulation au fur et à mesure des filtrations) et des teneurs en composés d'intérêts plus faibles : ils représentent moins de 9% par rapport à la matière sèche (les composés sont retenus selon leur taille par la membrane et sont présents dans les extraits « EX »).

Les extraits EX4 et BP4 proviennent de l'extrait BP3 avec une dernière étape de filtration. L'extrait BP4 présente une composition similaire à celle du BP3 avec encore plus de cendres (>71%/MS) et moins de composés organiques (>5%/MS).

L'intérêt de la purification est mis en évidence par ces résultats : elle permet d'obtenir des extraits aux compositions différentes, avec un ou des composé(s) majoritaire(s) différents selon l'extrait, qui peuvent potentiellement montrer des bioactivités différentes.

Cependant, pour une production à grande échelle, il est préférable de penser en quantités car c'est la quantité finale produite qui est importante de connaître pour l'aspect économique du projet. C'est la raison pour laquelle les quantités de chaque composé obtenu pour les extraits produits à partir d'une tonne d'algue fraîche sont présentées dans la figure 57 suivante :

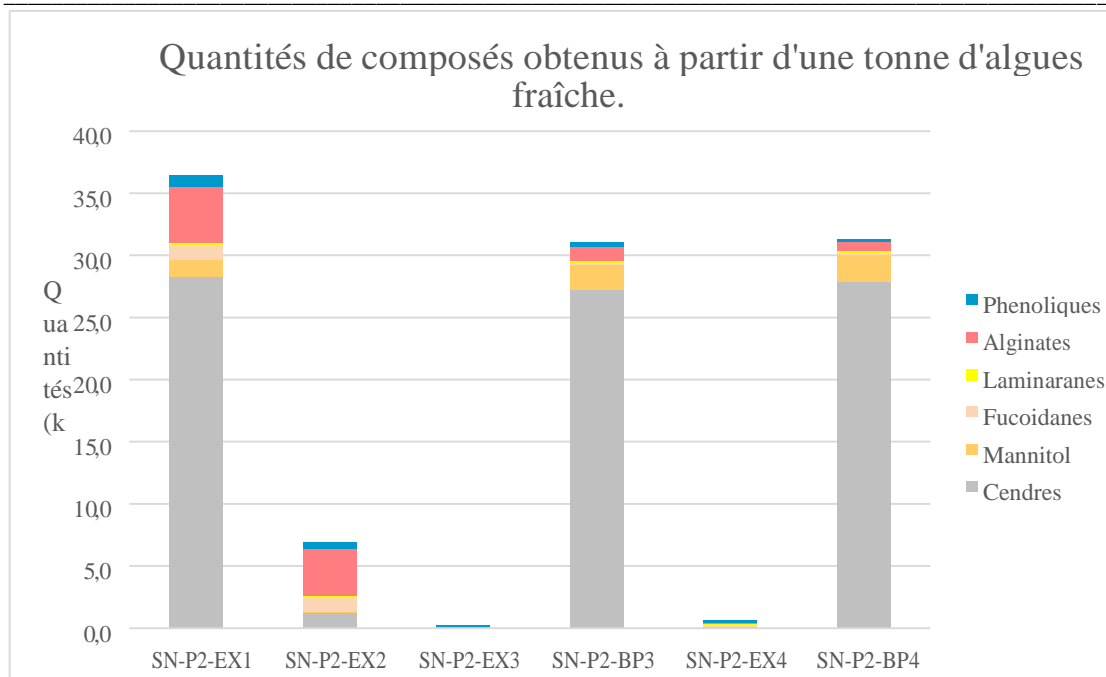


Figure 57 : Quantités des composés obtenus à partir d'une tonne d'algues. Les quantités sont exprimés en kilogrammes.

La figure 57 permet de mettre en évidence que les cendres (=matières inorganiques) représentent les plus grandes quantités (>25kg) et sont présentes à ces teneurs-là dans les extraits EX1, BP3 et BP4. La matière inorganique (=cendres) est composée de chlorure de calcium mais aussi d'autres sels minéraux (comme le potassium, le magnésium ou le phosphore par exemple) qui sont essentiels pour les plantes. Ces extraits sont donc avant tout des produits contenant un panel de sels minéraux clés pour un produit biostimulant. D'autre part, elle contient des métaux lourds qui, au contraire, sont à éviter (arsenic, plomb...) et connaître leur teneur est tout aussi important pour respecter les normes en vigueur. Le profil élémentaire des extraits a été réalisé et est présenté dans les figures 58 et 59.

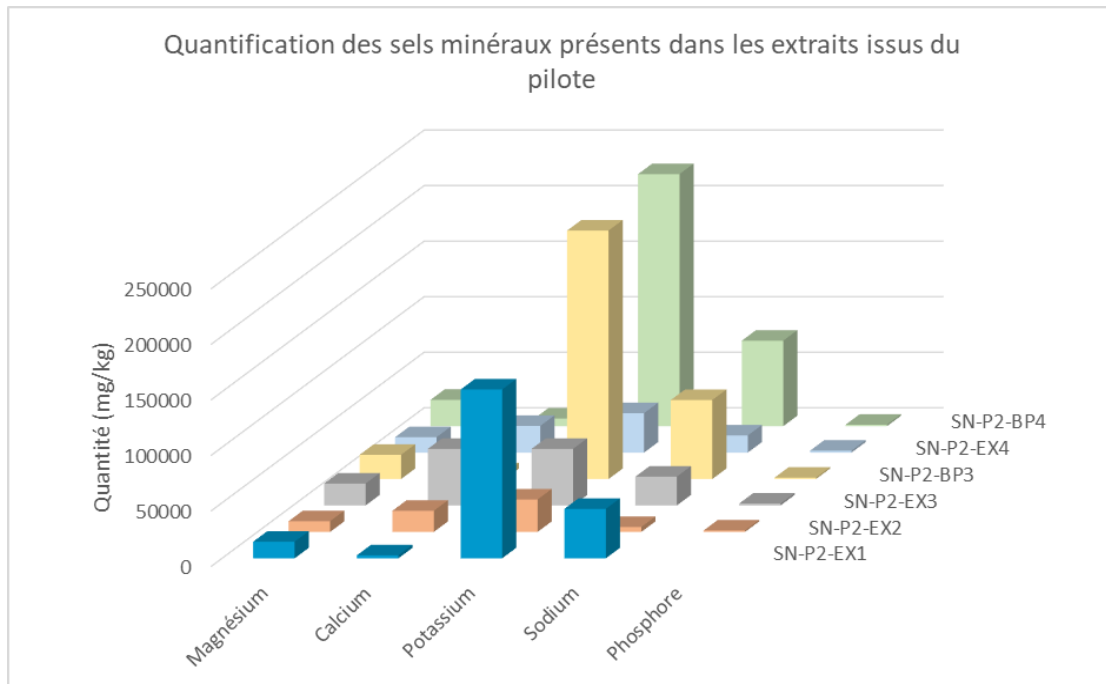


Figure 58 : Représentation graphique des quantités (en milligramme par kilogrammes d'extrait sec) en sels minéraux présentes dans les extraits.

De la même manière que pour les figures précédentes, la figure 58 montre que ce sont les extraits EX1, BP3 et BP4 qui contiennent les plus grandes quantités en sels minéraux et particulièrement en potassium (environ 225g/kg pour BP3 et BP4). Or le potassium joue un rôle essentiel dans le métabolisme et la croissance des plantes et participe à leur survie quand elles subissent des stress biotiques et abiotiques (Wang et al., 2013) en ayant un rôle essentiel dans l'activation d'enzyme, la synthèse de protéines, la photosynthèse, l'osmorégulation, l'ouverture et fermeture des stomates, le transfert d'énergie, le transport du phloème, l'équilibre cation-anion et la résistance au stress (Marschner P. 2012). Il peut également être noté que l'extrait EX3 contient du potassium (en plus faible quantité) mais aussi du calcium et magnésium (jouent aussi un rôle dans l'activation d'enzymes par exemple), tout comme EX4 mais en plus faible quantité (2 fois moins pour le calcium). En revanche, les extraits contiennent très peu de phosphore (quantité inférieure à 2g/kg).

Certains de ces extraits produits contiennent donc des sels minéraux d'intérêt pour les plantes, d'un point de vue nutritionnel.

Pour avoir un profil élémentaire complet, la quantification des métaux lourds doit être effectuée, ces données sont représentées dans la figure 59.

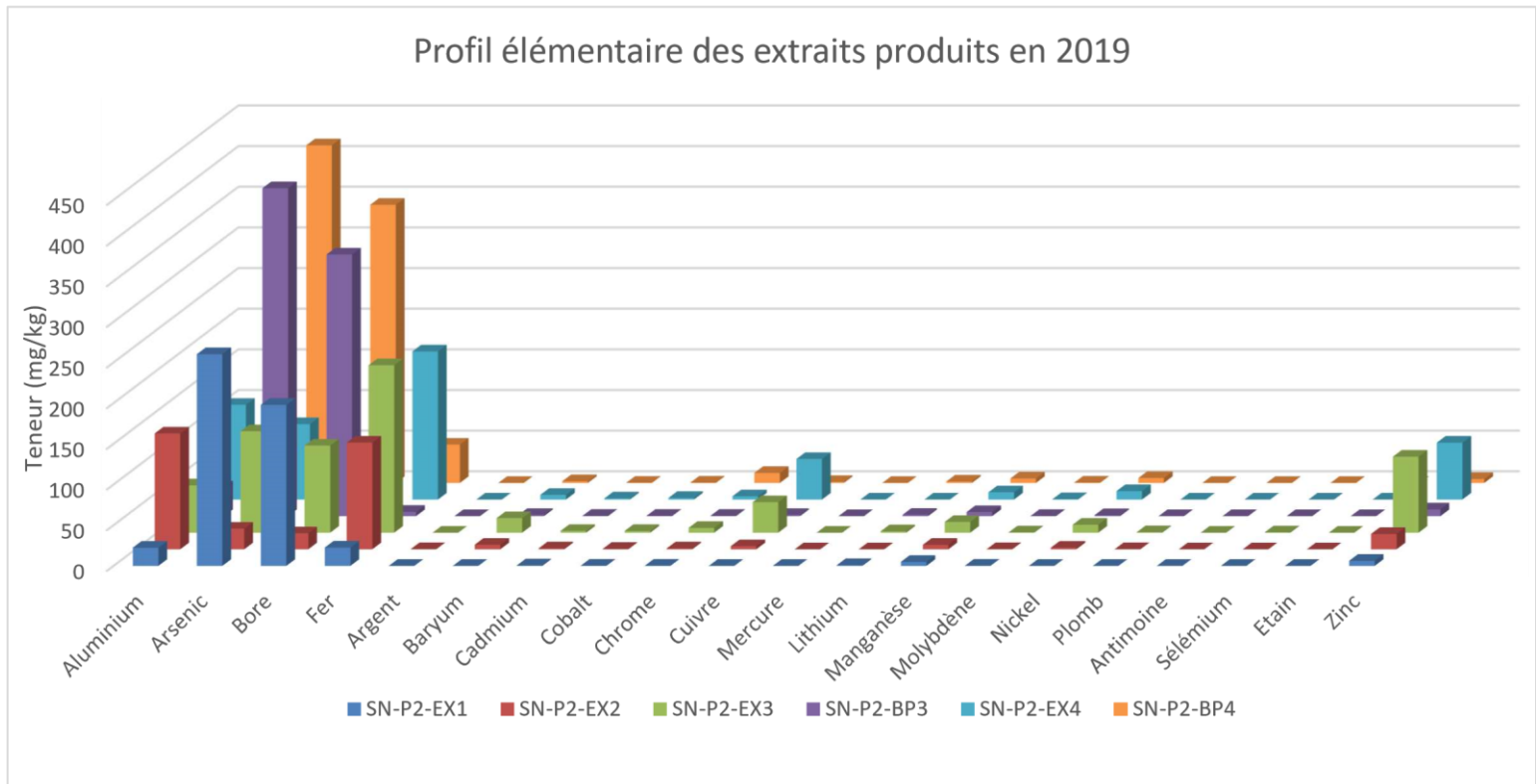


Figure 59 : Quantification des éléments présents dans les extraits produits au pilote en 2019, en milligramme par kilogramme d'extrait sec (les sels minéraux ne sont pas représentés dans cette figure)

D'après la figure 59, les extraits contiennent en majorité de l'arsenic, du bore, du fer et de l'aluminium. Ces teneurs sont à surveiller, notamment pour l'arsenic qui, de plus en plus, entre dans les normes d'applications notamment pour les enregistrements de produits en tant que biostimulants. Nous pouvons observer en effet une teneur élevée en arsenic total dans la plupart de ces extraits, teneurs qui s'avèrent particulièrement élevées compte tenu de notre expérience sur d'autres espèces d'algues brunes. Ceci représente donc un point de vigilance particulièrement important du fait de ces régulations. La nouvelle norme européenne qui, à partir de juin 2022 prévaudra pour l'enregistrement d'un produit biostimulant en Europe, stipule que la teneur en arsenic inorganiques doit être en dessous de 40mg/kg de la matière sèche. Les teneurs que nous obtenons ici sont les teneurs en arsenics totaux,



or il est établi par de nombreuses études scientifiques sur les algues brunes que les proportions en arsenic inorganiques, sauf zones polluées, sont très largement inférieures aux teneurs en arsenic organiques. Ces arsenics organiques sont des formes liées aux sucres qui s'éliminent rapidement de tout organismes car non assimilables et donc ne pouvant entrainer une toxicité par accumulation.

Il conviendrait donc, afin de pousser cette étude, de déterminer la part en arsenic inorganique dans ces extraits afin de valider leur utilisation en tant que biostimulants enregistrés.

Après avoir abordé la partie minérale des extraits, la figure 60 présente les quantités en composés d'intérêts produits lors de ce pilote. Cette figure reprend les données illustrées par la figure 60 mais en ayant supprimé les données de quantités en cendres pour plus de lisibilité.

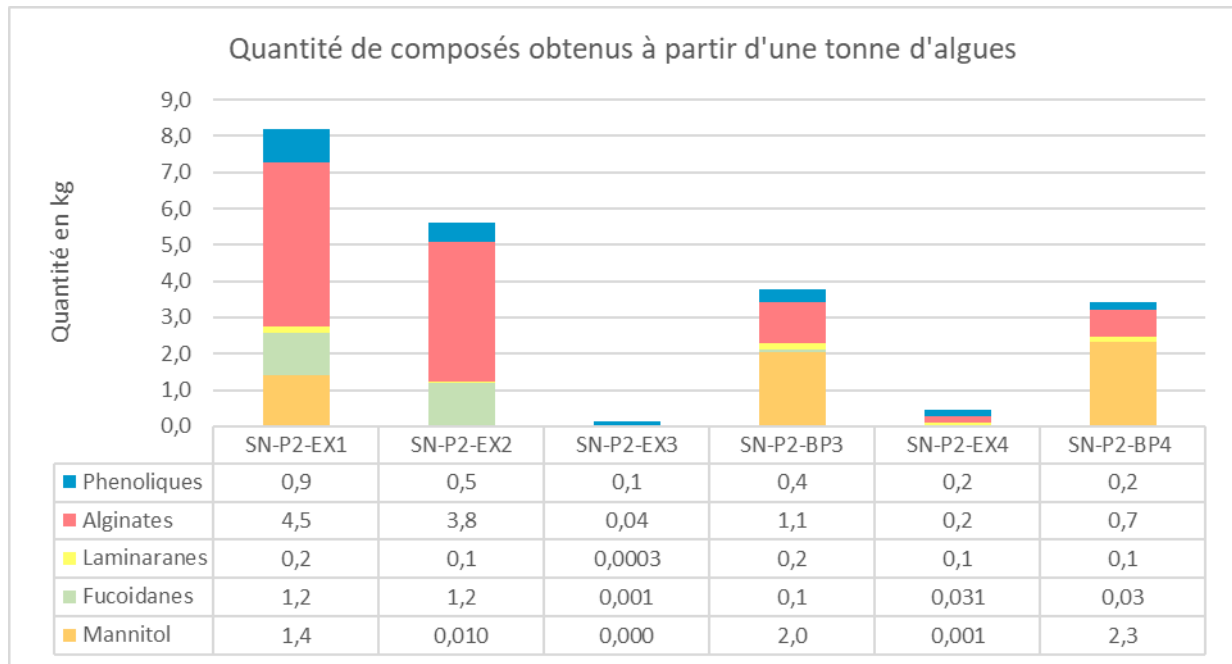


Figure 60 : Quantité des composés d'intérêts obtenus à partir d'une tonne d'algue fraîche.

La figure 60 permet d'observer la nette différence de quantité de composés obtenus selon l'extrait. En effet, les extraits EX3 et EX4 ne permettent d'obtenir que de très faibles quantités de produits. Ceci est dû au fait que la teneur en matière sèche de l'extrait liquide est très faible (0.18% et 0.42% respectivement).

De manière générale, les quantités de composés obtenues à partir de tous les extraits liquides produits sont relativement faibles : pas plus de 8kg de composés valorisables à partir d'une tonne d'algue au départ. Cela reste malgré tout dans une gamme de teneurs classiques pour ce type de biomasse même si pour ces sargasses, ces valeurs sont plus vers la tendance basse. Par ailleurs, il pourrait y avoir plusieurs façons d'améliorer la teneur en matière sèche des extraits (donc la quantité de produit sec). Par exemple, l'étape d'extraction pourrait être optimisée en réalisant plusieurs extractions sur la même biomasse afin d'extraire au maximum les molécules de la biomasse initiale selon le principe de la bioraffinerie. En effet, si l'on s'intéresse au bilan de matière, présenté dans le tableau 25, il peut être noté que le bilan de matière total est de 83%, c'est-à-dire qu'après analyse de la biomasse résiduelle et de l'extrait EX1 obtenus, la totalité de la matière n'est pas retrouvée. Cela indique que 17% des composés ne se trouvent ni dans la biomasse résiduelle d'extraction, ni dans l'extrait obtenu. Il peut être supposé que certains composés aient pu être dégradés au cours de



l'extraction, comme les composés phénoliques et le mannitol (composés respectivement thermosensibles et volatiles) ce qui est confirmé par la valeur du bilan d'extraction pour ces deux composés. En effet, ces deux composés sont ceux qui présentent les plus faibles teneurs avec respectivement 42% et 34%, de la matière sèche seulement. D'autre part, le bilan de matière pour les laminaranes est de 120%, ce qui est très surprenant, ceci est certainement dû à la teneur analysée dans la biomasse résiduelle qui est la même que celle de la biomasse initiale. Nous interprétons cela par une surestimation de cette quantité de laminaranes dans la biomasse résiduelle.

Concernant le rendement d'extraction, c'est-à-dire le pourcentage extrait à partir de la biomasse initiale, il est relativement faible, 36% des composés totaux sont extraits. Ce qui traduit de faibles rendements d'extraction par composé, le rendement d'extraction n'excède pas 25% pour les composés à haute valeur ajoutée. Ce résultat est compréhensible car le protocole d'extraction utilisé n'est pas optimisé pour un composé plus qu'un autre car le but premier était de produire un extrait contenant toutes les molécules valorisables et d'avoir ainsi un produit biostimulant produit à des coûts relativement réduits. A cela s'ajoute le second objectif qui était de lors d'une seconde étape, purifier cet extrait selon la taille de molécule afin d'obtenir des extraits de composition différentes, pouvant avoir des bioactivités différentes. Il est important de noter que ces composés ne s'extraient pas par les mêmes techniques. En effet, ils ont chacun leurs spécificités qui ne permettent pas de les extraire au maximum par la même technique, comme cela a été présenté lors du plan d'expérience n°1. Il faudrait donc appliquer un protocole particulier par composé pour l'extraire au maximum ce qui pourrait être envisagé si, par la suite, il était souhaité d'extraire un seul composé pour une valorisation donnée.

Afin d'augmenter les rendements d'extraction, plusieurs possibilités existent : réaliser des extractions successives comme expliqué précédemment, augmenter le ratio algues/solvant pourrait aussi être imaginé et appliquer un lavage des algues aurait un impact très positif. Il pourrait aussi être envisagé de faire une étape de moins dans la filtration. En effet, il peut être remarqué que les extraits EX3 et EX4, ainsi que BP3 et BP4 ont des compositions similaires, ne pas faire l'étape de filtration 2 (qui a permis de générer EX3 et BP3) mais directement celle de l'étape 3 (qui a générée EX4 et BP4) pourrait donc permettre d'augmenter les rendements et les quantités produites et aussi éviter les pertes qui peuvent avoir lieu lors du process.

QUANTITE EN KG	Biomasse initiale	Biomasse résiduelle	SN-P2-EX1	Bilan de matière	Rendement d'extraction
CENDRES	6,82	2,46	4,24	98,23%	62,17%
MANNITOL	1,37	0,25	0,21	33,78%	15,53%
FUCOIDANES	0,85	0,71	0,18	103,41%	20,61%
LAMINARANES	0,15	0,15	0,03	120,77%	17,68%
ALGINATES	5,34	3,37	0,68	75,80%	12,67%
COMPOSES PHENOLIQUES	0,55	0,09	0,14	41,82%	25,05%
<b>TOTAL</b>	<b>15,07</b>	<b>7,03</b>	<b>5,47</b>	<b>82,91%</b>	<b>36,27%</b>

Tableau 25 : Bilan et rendement d'extraction exprimé en pourcentage.

Enfin, les rendements de filtration ont été calculés et sont présentés dans le tableau 26. Il sera noté que seuls les rendements de l'étape 1 et 3 de filtration sont présentés puisque l'extrait BP2 (généré après la 1<sup>ère</sup> étape de filtration, était directement passé à l'étape 2 sans prélèvement).

	<b>Etape 1 de filtration</b>	<b>Etape 3 de filtration</b>
<b>Solide totaux</b>	108,7%	93,7%
<b>Cendres</b>	101,6%	102,9%
<b>Mannitol</b>	145,0%	113,3%
<b>Fucoïdanes</b>	106,6%	73,8%
<b>Laminaranes</b>	133,6%	123,4%
<b>Alginates</b>	110,8%	81,2%
<b>Phénoliques</b>	107,2%	99,9%

Tableau 26 : Rendements des étapes 1 et 3 de filtration

Tout d'abord, il peut être noté, que lors des 2 étapes de filtration la majorité, même la totalité des solides totaux est retrouvée après l'étape de process. Le tableau montre qu'après l'étape 3, il n'y a que 94% des solides totaux qui sont retrouvés dans l'extrait, ceci peut être dû au fait que la matière peut s'accrocher à la membrane surtout quand la membrane présente des pores de petite taille comme lors de cette étape. A l'inverse, le rendement de l'étape 1 est de 109%, ce qui est acceptable et certainement dû aux arrondis réalisés lors des calculs.

Concernant les cendres, les deux étapes ne provoquent pas de perte de matière, ce qui est aussi valable pour les composés phénoliques et les fucoïdanes mais uniquement pour l'étape 1. En effet, l'étape 3 de filtration a provoqué une perte de fucoïdanes de 26% environ. Perte observable aussi pour les alginates (environ 19%) ; l'hypothèse est que ces composés se soient complexifiés (associés mécaniquement les uns aux autres) au cours du process et/ou ce soit accrocher à la membrane de filtration.

Enfin, les rendements de filtration obtenus pour le mannitol et les laminaranes sont supérieurs à 110% ce qui est illogique. Une des hypothèses pourrait être que ces composés se soient complexés et aient précipité dans certains extraits ce qui aurait biaisé l'analyse car par ce fait, non quantifiables.

Pour conclure cette partie de tests de semi-industrialisation, il peut être retenu que ces essais de mise en échelle semi-industrielle ont permis d'aborder les questions de faisabilité de process, d'industrialisation, de rendements et de coûts de production (présenté dans la partie du WP6) les rendements sont améliorables par l'optimisation de process, selon le but qui sera visé par la suite, ces premiers essais permettent vraisemblablement de confirmer ce potentiel Ces essais ont aussi permis de générer 10 extraits en 2019 dont 6 ont été testés en bioactivités (choisis en fonction de leurs compositions). Les résultats issus des tests de bioactivités sont présentés dans le WP5.

g) Valorisation à haute valeur ajoutée :

Des tests ont été réalisés sur des extraits produits afin de savoir s'il pouvait y avoir un potentiel de valorisation de ces extraits en haute valeur ajoutée de type cosmétique ou en agents anti-microbiens. En effet, si les volumes d'extraits requis pour ce type d'application nécessitent en général des volumes moins importants, les prix de ventes et marges associés sont par contre particulièrement élevées.

Des premiers tests ont été effectués en 2017 avec des extraits produits sur la première campagne de ce projet (extraits présentés dans le tableau 19, page 106).

Les tests de bioactivités à visée cosmétique ont été réalisés in vitro, ils sont détaillés ci-dessous :

- ✓ Cytotoxicité : les échantillons ont été testés dans une gamme de 1 à 200 µg/ml, contre le Zovirax utilisé comme molécule de référence. Les CC50 (concentrations induisant 50% de mortalité des cellules) sont données en µg/ml. Ces tests de toxicités sont un passage obligé afin d'évaluer une toxicité potentielle des extraits testés et d'écarter éventuellement les extraits toxiques, dont les CC50 seraient les plus faibles.
- ✓ Activité antivirale : les échantillons sont testés dans une gamme de 1 à 200 µg/ml, contre le Zovirax utilisé comme molécule de référence. Les EC50 (concentrations induisant 50% de survie des cellules) sont données en µg/ml.
- ✓ Activité antioxydante : deux tests réalisés :
  - Pour le test DPPH, les échantillons sont testés dans une gamme de concentrations comprises entre 1000 et 50 µg/ml, contre l'acide ascorbique utilisé comme référence.
  - Pour le test de blanchiment du β-carotène, les échantillons sont testés dans une gamme de concentrations comprises entre 100 et 10 µg/ml, contre le BHT utilisé comme référence.
- ✓ Activité anti-inflammatoire : Elle est déterminée par un test d'inhibition de la lipoxygénase (LOX), une enzyme impliquée dans la dégradation de l'acide arachidonique. Les échantillons ont été testés à la concentration de 500 µg/ml, contre un inhibiteur standard, le gallate d'épigallocatechine (EGCG) à la concentration maximale de 250 µg/ml.
- ✓ Activité anti-âge : cette activité est évaluée par l'inhibition de deux enzymes, l'élastase et la collagénase. Les échantillons sont testés à la concentration 500 µg/ml, contre un inhibiteur standard : l'ovomucoïde de type-II dans le cas de l'élastase et le gallate d'épigallocatechine (EGCG) dans le cas de la collagénase, tous deux à la concentration maximale de 250 µg/ml.
- ✓ Activité de blanchiment : ce test est réalisé par mesure cinétique de l'inhibition de l'oxydation de la L-DOPA en dopaquinone par la tyrosinase. Les échantillons ont été testés à 100 et 500 µg/mL, et comparé à l'acide kojique (molécule de référence).

- ✓ **Activité anti-UV** : L'activité photo-protectrice des échantillons a été évaluée par suivi cinétique de la dégradation de la chlorophylle a sous exposition aux rayonnements UV-A et UV-B, indépendamment. Les échantillons ont été testé sous forme aqueuse en tant que filtre photoprotecteur.

Concernant les résultats des tests d'activité pour du potentiel cosmétique réalisés lors de la 1<sup>ère</sup> campagne (2017), certains extraits ont montré une activité anti-oxydante et une activité anti-âge particulièrement intéressante. Dans une moindre mesure, certains extraits ont montré une certaine activité anti-inflammatoire mais peu importante. Les résultats sont décrits ci-dessous.

Concernant l'activité anti-âge (=activité inhibitrice de l'élastase), l'extrait S2 a montré une activité : en effet, il a provoqué 40% d'inhibition de l'enzyme élastase à une seule concentration. Les autres extraits n'ont pas montré d'activité.

Les extraits testés ont tous montré une activité anti-oxydante répondant selon un effet dose. En effet, l'IC50% (concentration inhibitrice à 50% du  $\beta$ -carotène) est atteinte avec des concentrations en extrait différentes selon l'extrait. L'extrait S4 serait celui où l'IC 50% est atteinte avec la plus faible concentration d'extrait.

Ces premiers résultats ont été très encourageant et ont permis d'entrevoir la possibilité d'une valorisation à haute valeur ajoutée. Mais avant cela, les résultats restaient à confirmer et c'est pourquoi de nouveaux tests ont été réalisés avec de nouveaux lots d'extraits produits en 2019 afin d'assurer une répétabilité de lots.

Les compositions de ces extraits sont présentées dans la figure 61. Les résultats de bioactivités de ces extraits sont présentés graphiquement selon une échelle arbitraire dans la figure 62.

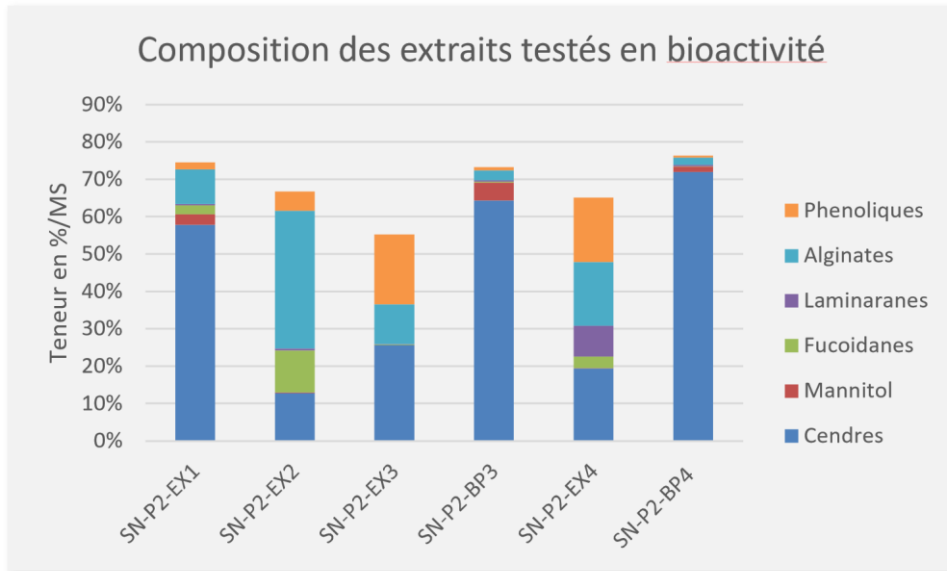


Figure 61 : Composition des extraits testés en bioactivités en 2019, les teneurs en composés sont exprimés en pourcentage par rapport à la matière sèche.

Pour plus de clarté, les résultats de ces tests de bioactivités sont présentés dans cette figure x27 selon l'intensité de la réponse obtenue au test (les résultats bruts sont présentés en annexe 3). Cette échelle reste certes arbitraire mais sur la base des données initiales relevées par chaque test. Chacun de ces

tests ayant des unités et des valeurs de suivi différentes et particulières, il nous a semblé plus approprié de regrouper tous les résultats selon cette échelle arbitraire mais fidèle aux résultats originaux.

Par ailleurs, des tests supplémentaires (dépigmentation de la peau= whitening, anti-UV) ont été effectués en plus des tests d'activité anti-oxydante, anti-inflammatoire et anti-âge afin de compléter l'étude.

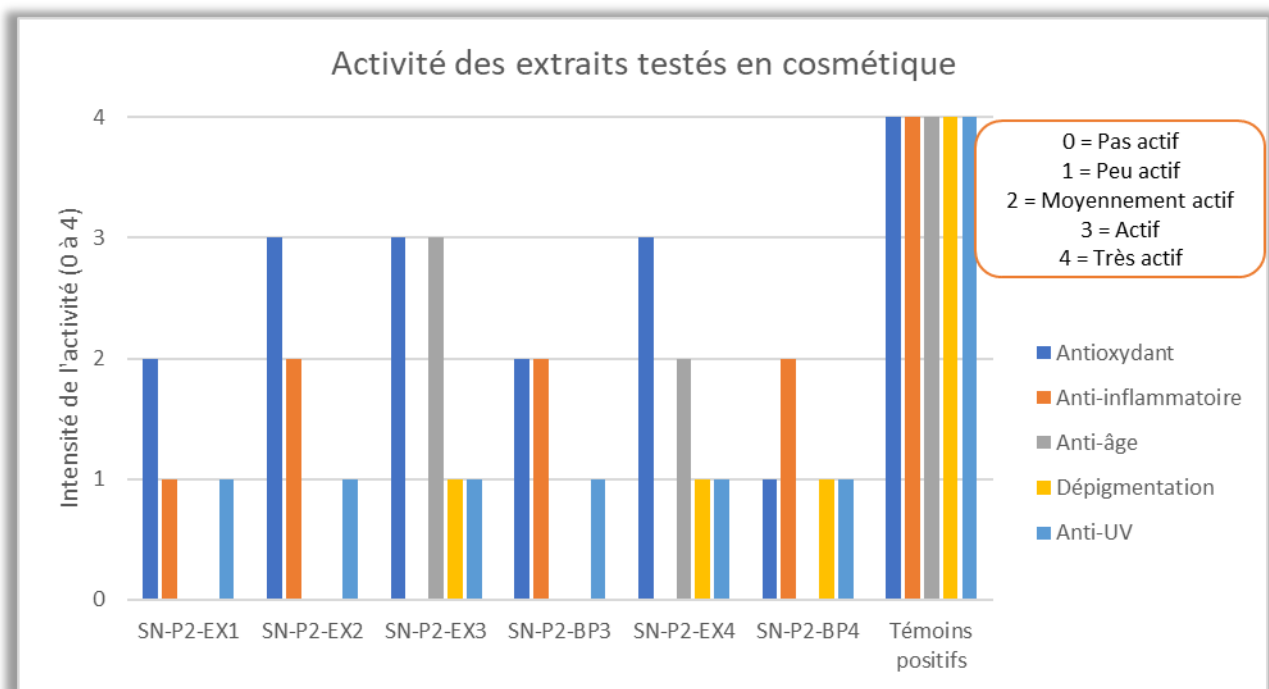


Figure 62 : Représentation graphique de l'activité des extraits produits en 2019 sur 5 tests réalisés à visée cosmétique.

Il pourra être noté qu'aucune cytotoxicité n'a été rencontrée aux concentrations testées lors des tests de cytotoxicité (données fournies en annexe 3) et qu'il y a eu des réponses positives dans tous les tests effectués avec plus ou moins d'intensité selon les extraits.

De plus, les témoins positifs utilisés lors de ces tests ont tous montré une activité d'intensité 4 (résultats bruts fournis en annexe 4).

Ces résultats montrent que la réponse aux tests d'activité est différente selon l'extrait. En effet, il peut être observé que seuls 3 extraits ont répondu positivement au test de dépigmentation et l'intensité de la réponse est faible. Concernant le test d'activité anti-UV, tous les extraits ont provoqué une légère dégradation de la chlorophylle, ce qui montre une légère activité anti-UV mais cette activité reste faible. Les tests de bioactivités antioxydante et anti-âge montrent les plus fortes réponses, les tests anti-inflammatoires présentent aussi une réponse mais moins intense que pour les deux tests précédents. L'extrait SN-P2-EX1 aurait une activité antioxydante ainsi qu'une faible activité anti-inflammatoire et anti-UV. L'extrait SN-P2-EX2 provoque une réponse relativement forte au test d'antioxydation, ce qui voudrait dire que cet extrait aurait une activité anti-antioxydante importante. L'extrait SN-P2-EX3 présente deux fortes activités : anti-oxydante et anti-âge, Seul cet extrait a montré une réponse au test d'activité anti-âge aussi forte (intensité 3). Il pourra aussi être noté qu'il a engendré une faible réponse aux tests de dépigmentation et anti-UV. L'extrait SN-P2-BP3 présente des bioactivités antioxydante et anti-inflammatoire d'intensité moyenne (intensité 2) ainsi qu'une faible activité anti-UV (intensité 1). Concernant l'extrait SN-P2-EX4, il présente une forte activité

antioxydante (intensité 3), une activité anti-âge (intensité 2) et une faible activité de dépigmentation et anti-UV. Le dernier extrait testé, SN-P2-BP4, engendre une activité anti-inflammatoire moyenne (intensité 2) et de faibles réponses en antioxydant, dépigmentation et anti-UV.

D'après ces résultats, les extraits les plus intéressants en bioactivités cosmétiques seraient les extraits SN-P2-EX2, SN-P2-EX3 et SN-P2-EX4 car ce sont ceux qui permettent d'obtenir les plus fortes réponses aux tests de bioactivités antioxydante et anti-âge testés dans le cadre de cette étude.

Le fait que les extraits ne provoquent pas les mêmes réponses sur les tests réalisés est certainement dû à leurs des compositions différentes (figure 62). En effet, les extraits EX3 et EX4 sont les seuls à montré une activité anti-âge, or ce sont ceux qui présentent les plus fortes teneurs en composés phénoliques (environ 18%/MS). Il ne peut y avoir d'hypothèse émise sur le rôle des composés phénoliques dans le mécanisme d'activité anti-âge car les tests réalisés sont une première étape mais l'existence d'un lien entre composés phénoliques (issus des sargasses ?) et activité anti-âge peut être anticipé. Les composés phénoliques des algues ont déjà été reporté dans la bibliographie comme actifs sur certaines activités enzymatiques et ce mécanisme semble se retrouver dans ces résultats.

Il peut aussi être noté que ce sont les extraits EX2, EX3 et EX4 qui présentent la plus forte activité antioxydante et, outre les fortes concentrations en composés phénoliques pour les extraits EX3 et EX4, ce sont ces trois extraits qui ont les plus fortes teneurs en alginates (jusqu'à 36%/MS pour EX2). Les alginates, ou du moins certains composés uroniques ont été déjà décrits dans la littérature scientifique comme composés à propriétés antioxydantes mais cela varie en fonction des fractions. Il serait intéressant d'étudier plus en profondeur cet axe si des possibilités de valorisation en cosmétique sont souhaitées.

Ces résultats montrent aussi que la purification des extraits engendrerait certainement plus de bioactivités différentes avec même, dans certains cas, la possibilité d'engendrer de plus fortes réponses. Ces purifications sont à considérer dans un cadre économique plus large lié à la volonté de mettre en avant plus ou moins les allégations d'activité considérées.

En parallèle à ces tests de bioactivités à visée cosmétique, des tests anti-microbiens ont été réalisés ainsi qu'un test pour évaluer l'activité cicatrisante. Ces résultats sont aussi présentés sous forme de graphique présentant l'intensité de l'activité (allant de 0 à 4) dans la figure 63.

Le test d'évaluation leur capacité de cicatrisation a été réalisé sur une lignée de fibroblastes humains primaire (NHDF) par des expériences d'impédancemétrie et d'imagerie cellulaire en temps réel. Une cytotoxicité a aussi été réalisée pour chaque extrait. Le témoin positif utilisé est l'acide hyaluronique.

Les tests antimicrobiens ont été réalisés sur 2 souches de virus : un virus humain (HSV1= Virus Herpès Simplex de type 1) et un virus équin (EHV1 =Herpès Virus Equin de type 1).

Le test sur la souche de virus humain est réalisé in vitro et les échantillons sont testés dans une gamme de 1 à 200 µg/ml, contre le Zovirax utilisé comme molécule de référence. Les EC50 (concentrations induisant 50% de survie des cellules) sont données en µg/ml.

Le test d'évaluation du potentiel antiviral sur un virus équin a été réalisée grâce aux technologies de mesure Impédance (xCELLigence), d'imagerie cellulaire (IncuCyte S3) et de qPCR. Le témoin positif d'un effet antiviral utilisé est le ganciclovir.



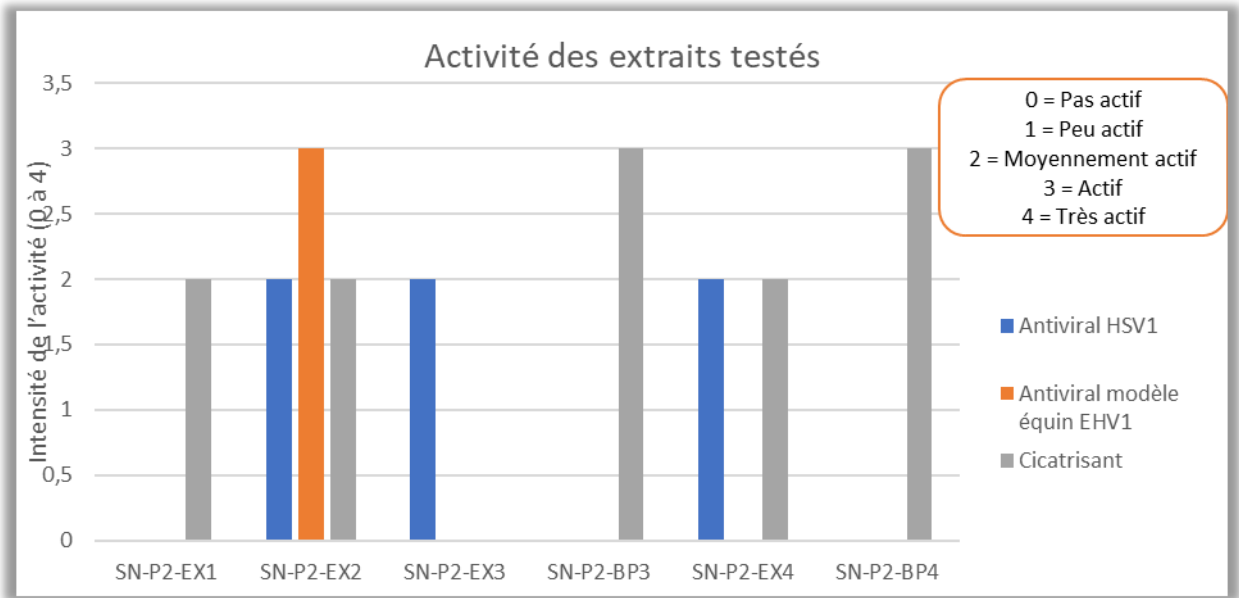


Figure 63 : Représentation graphique de l'activité des extraits produits en 2019 sur 2 tests à visée antimicrobienne et un test de cicatrisation.

D'après la figure 63, cinq extraits (EX1, EX2, BP3, EX4 et BP4) ont montré une activité cicatrisante dont deux avec une intensité forte (intensité de 3). Les trois extraits EX1, EX2 et EX4 permettent d'obtenir une cicatrisation plus importante ou équivalente à celle provoquée par le témoin positif (=taux de recouvrement de la blessure supérieur à celui obtenu avec le témoin positif) aux à deux concentrations distinctes. Ces extraits montrent une activité cicatrisante supérieure à celles obtenues sur cellules non traitées mais n'augmentent cependant pas la vitesse de cicatrisation. Au contraire, les extraits BP3 et BP4 permettent d'augmenter la vitesse de cicatrisation en plus d'un recouvrement supérieur ou équivalent (selon la concentration utilisée) au témoin positif et supérieur au recouvrement de la blessure des cellules non traitées. Le recouvrement de la blessure pour l'extrait EX3 n'a pas pu être analysé du fait de l'opacité du milieu pour les conditions testées. Pour conclure ces résultats de cicatrisation, il serait intéressant de tester à nouveau ces extraits avec ajout d'antibiotique pour essayer de comprendre si le phénomène d'opacité observé pour l'extrait EX3 est dû à de la contamination bactérienne ou non.

Concernant l'activité antivirale sur la souche de virus humain, trois extraits présentent une activité antivirale : EX2, EX3 et EX4.

Le dernier résultat important est qu'un seul extrait présente une activité antivirale sur le modèle équin : l'extrait EX2. De plus, cette activité est particulièrement forte (intensité 3) et présage donc d'un extrait d'intérêt à étudier de manière plus approfondie dans l'avenir.

Le potentiel effet antiviral de l'extrait EX2a été confirmé par impédancemétrie avec un effet dose, l'extrait provoque un retard de diminution du Cell Index à plusieurs concentrations. Les résultats ont été confirmés par qPCR avec la diminution de 3 Log, c'est-à-dire de mille fois, de la charge virale à une concentration de 0.5 Log (environ 150 fois), à une concentration plus faible avec donc, un effet dose avéré.

Les perspectives de ces résultats préliminaires seraient de confirmer ces résultats sur d'autres souches HVE-1. Il serait intéressant également de confirmer ces résultats sur d'autres modèles cellulaires pour vérifier que la réponse obtenue n'est pas dépendante du modèle cellule/souche virale. Le test de plusieurs lots de chaque extrait permettrait d'étudier l'aspect de saisonnalité de certaines algues. Des combinaisons de molécules pourraient également être envisagées (entre elles ou avec des molécules déjà testées avec notre partenaire).

Dans un second temps, les effets antiviraux pourraient être évalués sur d'autres virus disponibles au laboratoire. Les protocoles pourraient également être modulés afin de tester un effet préventif, un effet curatif à dose unique ou un effet curatif à doses répétées.

Pour conclure, ces résultats de tests sur les bioactivités orientées en application cosmétiques montrent des potentiels intéressants. En effet, plusieurs extraits pourraient être positionnés sur de la valorisation élevée, notamment en tant qu'antioxydant et anti-âge principalement, mais une utilisation en anti-inflammatoire pourrait aussi être envisagée. Certains extraits ont démontré un potentiel antiviral certain même si ces résultats restent très préliminaires. Des propriétés cicatrisantes par certains extraits ont été également mises en évidence à travers ces résultats très encourageants. Ces résultats nécessitent cependant d'être confirmés et, il pourrait être intéressant de tester également ces extraits sur d'autres souches de virus et d'autres modèles cellulaires. Enfin, il est compliqué, à cette étape, d'établir une, ou des, relations entre les molécules présentes dans les extraits et l'activité que les extraits présentent car ces extraits ne sont pas complètement purifiés (ils ne contiennent pas qu'une seule molécule). Des purifications plus poussées des molécules présentes dans ces extraits pourraient permettre de commencer à comprendre les relations entre les activités et ces molécules, ce qui s'avère indispensable dans une volonté de valoriser ces extraits de manière commerciale.

## CH VII. VALORISATION DES EXTRAITS (WP5)

---

Leader : SILEBAN

Autres partenaires impliqués : ALGAIA.

Objectifs : Tester les différents extraits de l'algue *Sargassum muticum* sur les cultures

1. Faire les premiers évaluations d'efficacité des biostimulants sur la croissance et la robustesse de certaines plantes
2. Travailler sur le maintien des sols sableux au stress lié aux vents en période de semis.

### VII.1. Contexte et objectifs

Comme mentionné dans l'article « revue » de Sharma et al (2014), les extraits d'algues sont utilisés depuis plusieurs générations pour améliorer les performances et la qualité des cultures (Craigie, 2011, Lola-Luz et al, 2013) et des composés comme les polysaccharides et le mannitol peuvent agir contre les stress osmotiques comme le gel (Nair et al, 2012) ou les sécheresses (Zhang et al, 2010) par exemple. Les composés antioxydants des algues peuvent également avoir des effets sur les stress oxydatifs auxquelles les cultures font face lors d'épisodes de forts stress abiotiques liés au climat (Fan et al, 2013). Des études encore plus récentes, en cours de validation scientifique ont également mis en évidence que l'utilisation combinée d'extraits d'algues brunes avec des produits pesticides permet une meilleure efficacité de ces produits phytosanitaires, permettant donc d'envisager un usage plus mesuré et réduit de ces produits toxiques.

Le caractère innovant de l'application de tels extraits consiste à identifier de mieux en mieux les molécules actives impliquées dans la réaction physiologique de la plante. Elles induisent ainsi des mécanismes de réactions de protection contre les stress abiotiques, c'est-à-dire, liés aux conditions climatiques extrêmes et aux sols inadaptés, riches en sels par exemple (Latique et al, 2014), aux cultures présentes.

Les extraits d'algues, d'origine naturelle, constituent également des solutions innovantes permettant de répondre aux objectifs du plan Ecophyto et de l'agroécologie. En particulier, la valorisation de ces ressources disponibles localement via la création d'une filière régionale permettra de créer une économie circulaire, concept innovant s'inscrivant pleinement dans les objectifs de l'agroécologie. Les cultures supports de l'étude seront prioritairement la carotte, le poireau, les choux et la salade, cultures clés de la production maraîchère normande. La production légumière en Normandie représente entre 170 et 175 000 tonnes pour un chiffre d'affaires de 58 à 60 000 K€ à la production. La Normandie est l'une des principales régions productrices de légumes de plein champ en France. Les acteurs économiques présents sur ce territoire, en particulier Florette, Priméale, Jardins de Créances, S.A. Gosselin..., les organisations de producteurs GPLM et AGRIAL, veulent anticiper les évolutions nécessaires afin de pérenniser le bassin légumier qui représente 7000 hectares de légumes répartis sur 400 producteurs. La production de légumes normande est une production traditionnelle d'hiver, qui occupe une bonne place sur les marchés avec quelques produits qui constituent les « piliers du maraîchage normand », tels que la carotte. Cette dernière bénéficie notamment sur la Côte Ouest, un signe officiel de qualité à travers le label rouge « Carotte des sables ». Aussi, les exigences sont d'autant plus fortes sur ce bassin en termes de rendement, de qualité du produit récolté. En ce qui concerne la problématique de l'érosion éolienne, la principale culture concernée est la carotte sur le bassin sableux de la Côte Ouest mais d'autres cultures peuvent également souffrir de cette problématique. C'est le cas par exemple de la culture du poireau en pépinière dont la réussite conditionne partiellement ou totalement les mises en culture de plusieurs entreprises de la zone de la

Côte Ouest. Ce poireau participe à alimenter un marché de frais pour lequel la Normandie est parmi les leaders français. Pour la carotte, la zone de production de Créances, caractérisée par ses sols sableux, représente de l'ordre de 50% des apports régionaux. Le coût de mise en place de cette culture est une des charges principales (coût de désinfection, semences, paillage...). Toute perte dès la levée des plantes peut avoir des conséquences économiques ou organisationnelles lourdes au sein des entreprises. Or, la problématique de l'érosion éolienne a déjà eu par le passé, des répercussions sur la production de carottes de la Côte Ouest de la Manche. Lors d'années venteuses exceptionnelles, comme ce fut le cas en 2004, ce type de dégâts a fait l'objet de dispositifs d'indemnisations des pertes dans le cadre de calamités agricoles. Enfin, l'érosion éolienne et l'érosion hydrique sont des phénomènes qui peuvent provoquer la dégradation potentielle de la qualité de l'eau, de l'air et du sol. En effet, d'un point de vue environnemental, le transport de matériaux terreux par l'érosion hydrique et éolienne a deux conséquences : la dégradation de la qualité des eaux de surface (eutrophisation et matériaux en suspension) et la perte par les sols de matière minérale, de carbone organique et de nutriments. Ces phénomènes régionaux trouvent un écho national et européen. En effet, dans le domaine agricole, l'érosion hydrique affecte environ 5 millions d'hectares en France, soit 17% de la Surface Agricole Utile (SAU). Parallèlement, un demi-million d'hectares situés en zone agricole sont soumis à des problèmes d'érosion éolienne dans l'hexagone (Agence européenne pour l'environnement, 1999). L'érosion éolienne est un phénomène dont l'ampleur dépend de très nombreux paramètres : la nature des sols, les interventions culturales, le climat.... Il est compréhensible, dès lors, qu'en sols sableux et exposés au vent, la lutte contre l'érosion ait une grande incidence sur les productions légumières et en particulier pour les cultures semées telles que la carotte, les pépinières de poireaux... Les problèmes rencontrés sont :

- L'envolement des graines lors de vent fort
- Le recouvrement des graines par du sable déplacé, limitant ainsi leur capacité d'émergence
- Des dommages sur jeunes plantules par abrasion
- Le déplacement induisant la déformation des jeunes racines, très préjudiciable en termes commercial pour les cultures racines telles que la carotte.

L'épandage des fumiers de « terrage » (fumiers de bovins plus ou moins compostés) après semis sur les graines, répond aux objectifs de plaquage du sable et de limitation de l'évaporation de l'eau. Ils permettent ainsi un maintien en place des graines semées lors de vent fort et le maintien d'un meilleur potentiel de germination en conditions relativement sèches après semis. Cependant, ces fumiers, d'origines et de compositions hétérogènes, sont aussi une source de contamination et d'accroissement du risque parasitaire, ce qui complexifie la gestion des bioagresseurs et des mauvaises herbes des cultures légumières, surtout dans les logiques actuelles de réduction des intrants. Pour limiter ces risques de contamination, l'utilisation des fumiers de terrage doit être améliorée en faisant évoluer les itinéraires techniques de production. Un certain nombre de paillages à base d'argile, d'algues, de polyacrylamides ont été travaillés dans le cadre d'un projet de synergie partenariale (projet AD[ES]<sup>2</sup>) et ont montré des perspectives intéressantes. Ces produits permettent la formation d'une croûte solide et perméable à l'air et à l'eau. Leur adaptation technique et économique en tant que substituts au fumier de terrage, dans l'optique de lutter contre l'érosion, est envisageable en agriculture. L'application de produits à base d'alginate issus de la valorisation des Sargasses pourraient venir renforcer l'action de ces substituts au fumier de terrage. En outre, cette évolution vers des pratiques culturales innovantes est un facteur clé pour construire de nouveaux systèmes de production compétitifs et respectueux de l'environnement.

Le premier objectif des actions menées dans ce cadre est de caractériser le potentiel agronomique de 5 à 6 extraits d'algues Sargasse « normande », se différenciant par la concentration en molécules identifiées comme actives sur les plantes et structurantes de ces algues. Les effets attendus de ces extraits portent sur la germination des semences, l'amélioration du rendement et de la qualité des cultures. Les cultures ciblées sont la salade, la carotte, le poireau et les choux lorsque ceux-ci sont soumis aux stress abiotiques locaux (fortes salinités, sols sableux peu structurés, assèchement rapide dus aux vents). Pour répondre à l'objectif fixé, différents types d'essais ont été menés : des tests de

germination sur carotte en boîte de Pétri, des tests de sélectivité sur carotte et poireau en conditions semi-controlées et enfin une phase d'essais en plein champ sur des cultures de carotte, poireau, salade et chou-fleur.

Le second objectif des actions menées dans ce workpackage est d'étudier les propriétés structurantes des alginates notamment par rapport à la problématique de volage sur la Côte Ouest. Les tests consisteront en l'application de solutions à base d'alginate puis de passage sur un banc d'essai afin de simuler des conditions de vent et d'éprouver la résistance à l'envol après application.

## VII.2. Matériel et méthodes

### VII.2.1. Tests de germination

La mise en œuvre des tests de germination permet de réaliser un screening rapide d'un certain nombre d'extraits et de doses pour n'en retenir que les plus prometteurs pour la suite des travaux. Ces tests ont été menés sur les 3 années du projet. La mise en œuvre est identique d'une année à l'autre, seuls les extraits et les doses testés sont adaptés au regard des résultats obtenus.

#### a) Préparation des boîtes de Pétri contenant les semences de carotte

Pour chaque extrait testé, des graines de carotte sont réparties équitablement, sur papier filtre doublé, dans 3 boîtes de Pétri de 85 mm de diamètre. En 2017, ce sont 90 graines qui sont réparties dans 3 boîtes. En 2018 et 2019, ce sont 100 graines qui sont réparties dans 4 boîtes

Pour le témoin, des graines de carotte sont réparties équitablement sur papier filtre doublé, dans des boîtes de pétri de 85 mm de diamètre qui sont disposés sur les différents étages de l'enceinte de germination. En 2017, 3 lots de 90 graines réparties dans 3 boîtes constituent le témoin. En 2018 et 2019, un lot de 100 graines réparties dans 4 boîtes constitue le témoin.

#### Préparation des solutions à base d'extraits algaux

A partir des extraits élaborés au cours des travaux du workpackage 4, plusieurs extraits ont été mis en tests, à différentes concentrations.

Le tableau ci-après répertorie les extraits et les doses testées en 2017, 2018 et 2019 :

Année	Code de l'extrait	Concentration testée	Année	Code de l'extrait	Concentration testée
2017	Extrait 1	0,5%	2018	BBP2_4	0,5%
2017	Extrait 1	1%	2018	BBP2_4	1%
2017	Extrait 2	0,5%	2018	GS1_0,21	0,5%
2017	Extrait 2	1%	2018	GS1_0,21	1%
2017	Extrait 3	0,5%	2018	GRE1_0,21	0,5%
2017	Extrait 3	1%	2018	GRE1_0,21	1%
2017	Extrait 4	0,5%	2018	GPE1_0,21	0,5%
2017	Extrait 4	1%	2018	GPE1_0,21	1%
2017	Extrait 5	0,5%	2018	GRE2_0,21	0,5%
2017	Extrait 5	1%	2018	GRE2_0,21	1%
2017	Extrait 6	0,5%	2018	GPE2_0,21	0,5%
2017	Extrait 6	1%	2018	GPE2_0,21	1%

2017	Extrait 6	5%	2018	GS1_4	0,5%
2017	Extrait 6	10%	2018	GS1_4	1%
2017	Extrait 7	0,1%	2018	GRE1_4	0,5%
2017	Extrait 7	0,5%	2018	GRE1_4	1%
2017	Extrait 7	1%	2018	GPE1_4	0,5%
2018	BS1_0,21	0,5%	2018	GPE1_4	1%
2018	BS1_0,21	1%	2018	GRE2_4	0,5%
2018	BRE1_0,21	0,5%	2018	GRE2_4	1%
2018	BRE1_0,21	1%	2018	GPE2_4	0,5%
2018	BPE1_0,21	0,5%	2018	GPE2_4	1%
2018	BPE1_0,21	1%	2018	GBP2_4	0,5%
2018	BRE2_0,21	0,5%	2018	GBP2_4	1%
2018	BRE2_0,21	1%	2019	E1	0,5%
2018	BPE2_0,21	0,5%	2019	E1	1%
2018	BPE2_0,21	1%	2019	E1	2%
2018	BS1_4	0,5%	2019	E2	0,5%
2018	BS1_4	1%	2019	E2	1%
2018	BRE1_4	0,5%	2019	E2	2%
2018	BRE1_4	1%	2019	E3	0,5%
2018	BPE1_4	0,5%	2019	E3	1%
2018	BPE1_4	1%	2019	E3	2%
2018	BRE2_4	0,5%	2019	E4	0,5%
2018	BRE2_4	1%	2019	E4	1%
2018	BPE2'_4	0,5%	2019	E4	2%
2018	BPE2'_4	1%			

Tableau 27 : Extraits et doses testées entre 2017 et 2019.

Les solutions sont préparées aux concentrations fixées ci-dessus puis chacune des boîtes de Pétri est humidifiée avec 2 ml de solution. Les boîtes de Pétri témoins reçoivent quant à elles 2 ml d'eau déminéralisée.

#### Mise en enceinte de germination

L'ensemble des boîtes ainsi préparées est placé en enceinte de germination, à l'obscurité et à 20°C constant. Au cours des 14 jours, l'humidité du papier filtre est contrôlée régulièrement. Si des ajouts d'eau sont nécessaires pour ré-humidifier les boîtes de Pétri alors toutes les boîtes reçoivent 2 ml d'eau déminéralisée

#### Observations réalisées

Des comptages du nombre de graines germées sont effectués 7 et 14 jours après la mise en enceinte de germination des boîtes de Petri.

En 2017 et 2018, la longueur des radicules de 10 graines germées par boîte sont mesurées.

#### b) Tests de sélectivité en conditions semi-contrôlées



Les tests réalisés ici permettent de vérifier la sélectivité des extraits testés lorsque ces derniers sont appliqués par pulvérisation foliaire avant la phase d'essai au champ. Ces tests ont été menés en 2019, avant la phase d'essais plein champ, dans la serre scientifique du SILEBAN. Ils ont consisté en l'application par pulvérisation, de différents extraits sur des terrines de cultures dans lesquelles ont été semées des graines de carotte et de poireau.

#### Préparation des terrines

Pour réaliser les tests de sélectivité, des terrines de culture ont été préparées. Pour chaque modalité, une terrine de 43 x 32 cm a été remplie de substrat. Deux types de substrats ont été utilisés pour remplir les terrines, de la terre issue d'un sol du Val de Saire et une autre issue d'un sol de la Côte Ouest de la Manche. Le sol est réssuyé avant mise en place et les terrines sont pesées lors du remplissage pour assurer une quantité identique dans chaque terrine. Dans chacune des terrines, une ligne de 20 graines de carotte espacées de 2 cm et une ligne de 20 graines de poireau espacées de 2 cm ont été semées à 1 cm de profondeur.



Figure 64 : Terrine en expérimentation

#### Application des extraits à tester

Les applications ont été réalisées à l'aide d'un pulvérisateur à jet projeté, pour un volume de bouillie de 300 l/ha. Les extraits à tester ont été appliqués à la dose de 1% selon 2 timings d'application. Le tableau ci-après récapitule les différentes modalités étudiées :

Modalité	Produit	Dose	Timing d'application
M01	Non-traité		
M02	Référence du marché 1	3L/ha à 300L/ha (concentration 1%)	T0 au semis - T0 + 30 jours
M03	Référence du marché 2		
M04	Extrait Sargasse 1		
M05	Extrait Sargasse2		T0 au semis - T0 +15j - T1 + 15j - T2 + 15j
M06	Référence du marché 1		
M07	Référence du marché 2		
M08	Extrait Sargasse 1		
M09	Extrait Sargasse 2		

Tableau 28 : Différentes modalités étudiées.

Les produits testés sont :

- o EVP6 : Référence du marché 1
  - o EVP8 : Référence du marché 2
  - o S2-T25-EX1 : Extrait Sargasse 1
  - o S2-T65-EX1 : Extrait Sargasse 2
- } Extraits d'autres algues

#### Conditions de culture

Aucune fertilisation n'est apportée. L'irrigation est réalisée par aspersion sur l'ensemble des terrines. Les consignes de température sont fixées comme suit : 15°C nuit et 18°C jour (chauffage sous tablette et aérien) – aération quand +5°C au-dessus de la consigne. Un éclairage photopériodique de 100 lux est mis en œuvre pour assurer 14h de jour en complément du jour naturel.

### Observations et notations réalisées

Lors de l'application des produits, des commentaires sont consignés sur les aspects de texture, d'homogénéité des solutions à appliquer, la solubilité des extraits et tout autre point en lien avec l'applicabilité des produits.

Une notation de sélectivité est effectuée à l'issue de chaque application.

Enfin, la biomasse totale pour chacune des espèces est mesurée à 60 jours. Une mesure de longueur des racines est faite pour les carottes.

### c) Essais en plein champ

Les essais plein champ ont pour objectif de vérifier en conditions de production, sur différentes espèces, l'effet biostimulant des extraits de sargasses.

Ces essais se sont déroulés en 2019, sur des cultures de carotte, poireau, salade et chou-fleur.

### Dispositifs expérimentaux

En carotte : la culture est réalisée en buttes. Une parcelle élémentaire comprend 4 buttes sur 8 mètres linéaires pour une surface de 27 m<sup>2</sup>. Le dispositif prévoit 4 répétitions en configuration blocs de Fischer. En poireau : la culture est réalisée en planche. Une parcelle élémentaire comprend 2 planches sur 10 mètres linéaires pour une surface de 33 m<sup>2</sup>. Le dispositif prévoit 4 répétitions en configuration blocs de Fischer.

En salade : la culture est réalisée en planche. Une parcelle élémentaire comprend 1 planche sur 10 mètres linéaires pour une surface de 16,5 m<sup>2</sup>. Le dispositif prévoit 4 répétitions en configuration blocs de Fischer.

En chou-fleur : la culture est réalisée en planche. Une parcelle élémentaire comprend 2 planches sur 10 mètres linéaires pour une surface de 33 m<sup>2</sup>. Le dispositif prévoit 4 répétitions en configuration blocs de Fischer.

### Modalités testées

Les modalités étudiées pour chacune des cultures sont récapitulées dans le tableau ci-après.

Culture	Modalité	Produit	Dose	Timing d'application
Carotte	M01	Non-traité		
Carotte	M02	Référence du marché 1	1,5 l/ha	T0 au semis T1 : T0 +15j T2 : T1 + 15j T3 : T2 + 21j
Carotte	M03	Extrait Sargasse 1	1,5 l/ha	
Carotte	M04	Extrait Sargasse2	1,5 l/ha	
Carotte	M05	Référence du marché 1	3 l/ha	
Carotte	M06	Extrait Sargasse 1	3 l/ha	
Carotte	M07	Extrait Sargasse 2	3 l/ha	
Poireau	M01	Non-traité		
Poireau	M02	Référence du marché 1	3 l/ha	T0 à la plantation, T1 : T0 +15j, T2 : T1 + 15j, T3 : T2 + 15j, T4 : T3 + 21j, T5 : T4 + 30j
Poireau	M03	Extrait Sargasse 1	3 l/ha	
Poireau	M04	Extrait Sargasse 2	3 l/ha	
Salade	M01	Non-traité		

Salade	M02	Référence du marché 1	1,5 l/ha	T0 à la plantation T1 : T0 + 7j T2 : T1 + 7j T3 : T2 + 7j T4 : T3 + 7j
Salade	M03	Extrait Sargasse 1	1,5 l/ha	
Salade	M04	Extrait Sargasse 2	1,5 l/ha	
Salade	M05	Référence du marché 1	3 l/ha	
Salade	M06	Extrait Sargasse 1	3 l/ha	
Salade	M07	Extrait Sargasse 2	3 l/ha	
Chou-fleur	M01	Non-traité		
Chou-fleur	M02	Référence du marché 1	3 l/ha	T0 à la plantation, T1 : T0 + 15j, T2 : T1 + 15j, T3 : T2 + 15j, T4 : T3 + 21j, T5 : T4 + 30j
Chou-fleur	M03	Extrait Sargasse 1	3 l/ha	
Chou-fleur	M04	Extrait Sargasse 2	3 l/ha	

Tableau 29 : Modalités étudiées pour chacune des cultures

Les applications sont réalisées à 600 l/ha avec un appareil de pulvérisation à jet projeté.

- Produits testés :
- o EVP6 : Référence du marché 1
  - o S2-T25-EX1 : Extrait Sargasse 1
  - o S2-T65-EX1 : Extrait Sargasse 2

#### Conduite des cultures

Hormis les applications d'extraits de Sargasses, le reste de l'itinéraire technique est commun à l'ensemble de l'essai pour les 4 cultures. Les itinéraires techniques mis en œuvre sont conformes aux bonnes pratiques agricoles.

#### Observations et notations effectuées

Culture	Description des observations et notations effectuées
Carotte	<p>A la levée : comptage du nombre de plantes levées sur 6 placettes de 50 cm linéaires de butte et enregistrement du stade moyen de culture (échelle BBCH)</p> <p>Notation à démarrer dès les premières émergences et à renouveler toutes les semaines jusqu'à levée complète</p> <p>Notation adventice : nombre de plantes présentes sur 1 m<sup>2</sup> par parcelle élémentaire</p> <p>Notation sélectivité : 3-4 jours après chaque application, à partir de l'échelle EWRS</p> <p>Avant conservation (début novembre) : pour chaque parcelle élémentaire, mesure de la biomasse aérienne et racinaire sur 2 x 1 m de butte, longueur et diamètre de 20 racines commercialisables, enregistrement des défauts physiques et des problèmes sanitaires et estimation du rendement commercialisable (poids)</p>
Poireau	<p>Notation reprise : avant T1, T2 et T3 noter le nombre de feuilles sur 2 x 1 m de rang par parcelle élémentaire (noter toujours les mêmes plantes dans le même ordre)</p> <p>Notation adventice : nombre de plantes présentes sur 1 m<sup>2</sup> par parcelle élémentaire</p> <p>Notation sélectivité : à partir de l'échelle EWRS</p> <p>A la récolte : mesure de la biomasse, longueur et calibre des fûts sur 20 plantes, enregistrement des problèmes sanitaires (thrips, maladies foliaires)</p>

Chou-fleur	<p>Notation adventice : nombre de plantes présentes sur 1 m<sup>2</sup> par parcelle élémentaire</p> <p>Notation sélectivité : à partir de l'échelle EWRS</p> <p>En cours de culture : notation du stade de culture moyen pour chaque parcelle élémentaire</p> <p>A la récolte : estimation du rendement commercialisable, enregistrement des problèmes sanitaires, mesure du diamètre des pommes</p>
Salade	<p>Notation adventice : nombre de plantes présentes sur 1 m<sup>2</sup> par parcelle élémentaire</p> <p>Notation sélectivité : à partir de l'échelle EWRS</p> <p>Avant chaque application : notation du stade de développement moyen pour chaque parcelle élémentaire</p> <p>A la récolte : estimation du rendement commercialisable, enregistrement des problèmes sanitaires, estimation de la biomasse racinaire</p>

Tableau 30 : Observations sur les cultures

#### d) Tests en soufflerie de stabilisation du sol par l'application d'alginate

Les tests en soufflerie ont été réalisés en partenariat avec l'IUT de Cherbourg, unité qui possède le banc d'essai. Le SILEBAN s'est chargé de préparer les barquettes de sables soumises au test.

#### Dispositif expérimental

Pour réaliser les tests en soufflerie, des barquettes contenant du sable de la Cote ouest ont été préparées. Les dimensions d'une barquette sont (L x l x h) 170 mm x 130 mm x 120 mm. Chaque barquette est remplie avec la même quantité de sable, préalablement tamisé. Chaque barquette est ensuite traitée avec l'une des solutions mentionnées dans le tableau ci-après grâce à un pulvérisateur à jet projeté.

Modalité	Produit	Dose
M01	Témoin non traité	-
M02	SP1-ALG	50%
M03	SP1-ALG-S60	50%
M04	SP1-ALG	100%
M05	SP1-ALG-S60	100%
M06	Référence 1	100%

Tableau 31 : Solutions utilisées pour chaque barquette.

#### Déroulement du test en soufflerie

Une plateforme a été conçue et réalisée pour pouvoir mettre en place l'échantillon et mesurer la perte de masse au cours d'un cycle tout en créant une situation d'écoulement suffisamment turbulente (photo). L'emploi d'une balance permet de suivre la perte de masse inhérente à l'érosion et une caméra permet d'observer en temps réel les mécanismes d'arrachement et transport de la matière.

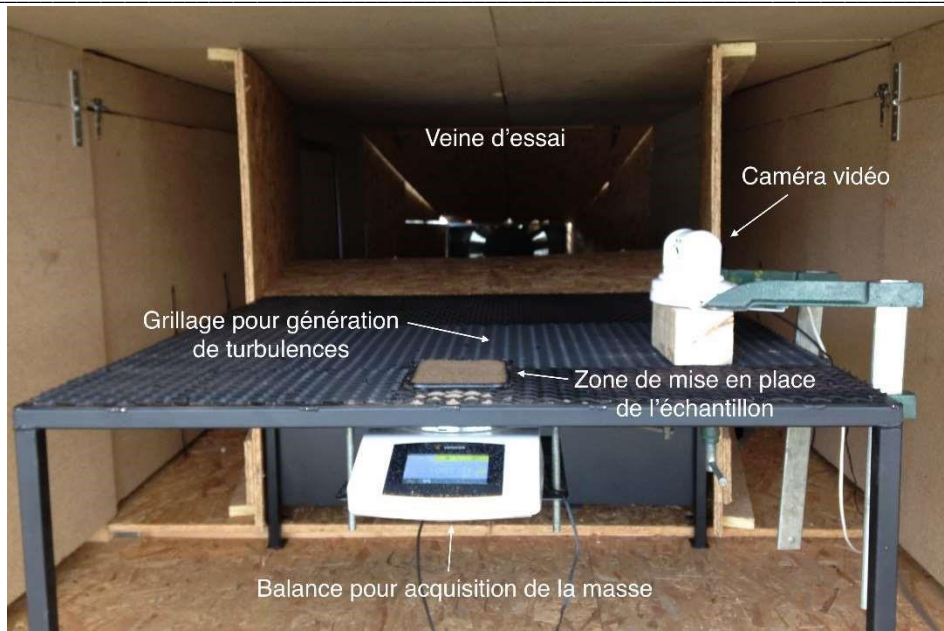


Figure 65 : Le module expérimental de soufflerie

#### Observations et notations effectuées

Lors de l'application des produits, des commentaires sont consignés sur les aspects de texture, d'homogénéité des solutions à appliquer, la solubilité des extraits et tout autre point en lien avec l'applicabilité des produits.

Après application des produits, un enregistrement de l'aspect / texture de la couche superficielle est fait (photos et/ou commentaires)

Les terrines sont pesées avant et après passage dans la soufflerie.

### VII.3. Résultats et discussion

#### VII.3.1. Tests de germination

##### a) Résultats sur le nombre de graines germées à 14 jours

Le tableau ci-après présente un regroupement des résultats des tests 2017, 2018 et 2019. Ne sont présentés que les modalités pour lesquelles, le pourcentage de graines germées à 14 jours est supérieur au pourcentage de graines germées dans le témoin (soit 37 modalités sur 74 testées, autrement 50% des cas).

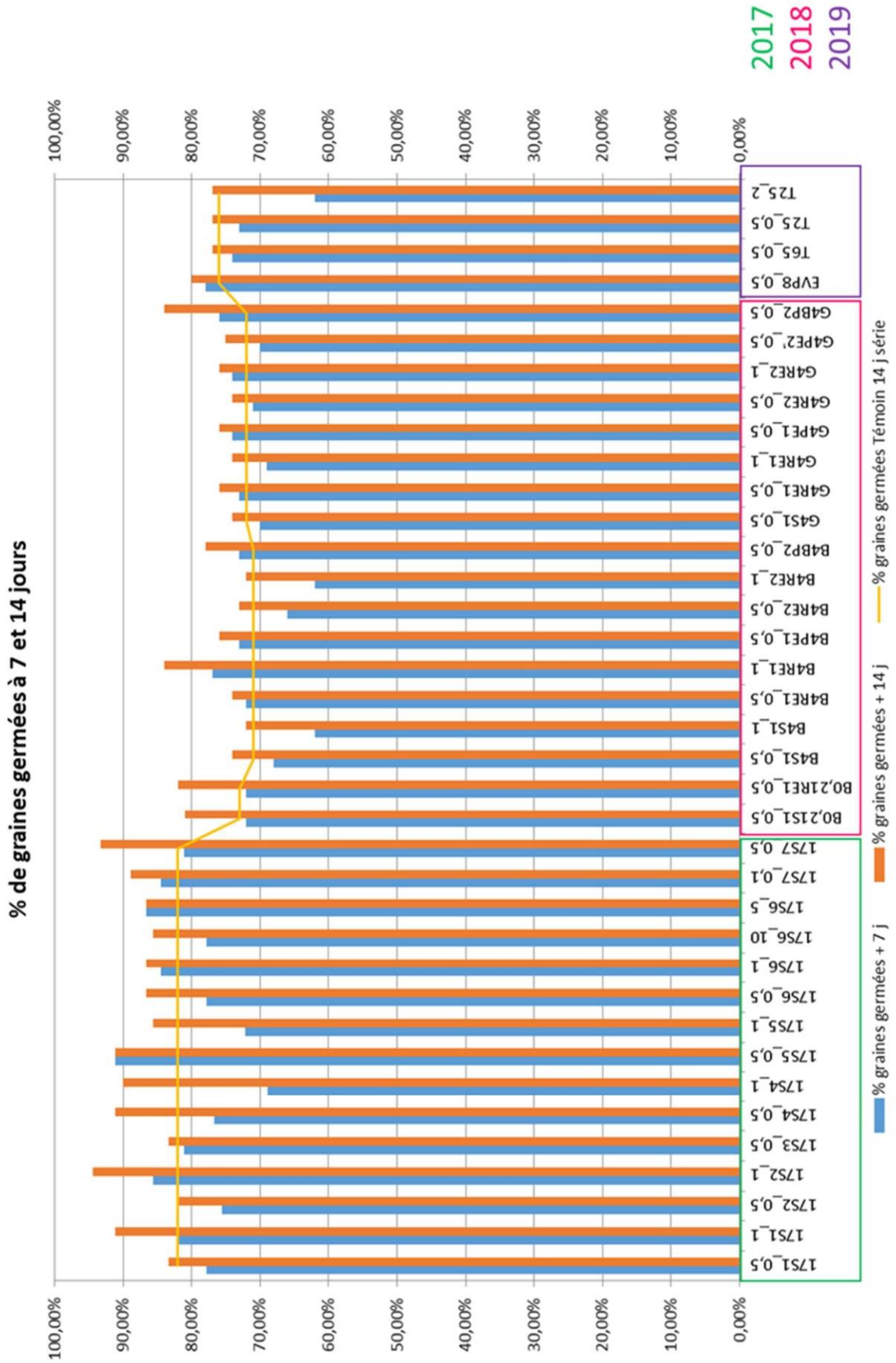


Tableau 32 : Résultats des tests effectués entre 2017 et 2019



Dose testée	Nombre de modalités testées	Nombre de résultats positifs /témoin	
0,50%	33	23	70%
1%	33	10	30%
Autres	7	4	57%
Total	73	37	51%

Tableau 33 : Récapitulatif des tests effectués.

Des effets positifs sur la germination ont été observés pour la moitié des modalités testées. On remarque que dans la majorité des cas, 23 cas sur 37, c’est à la concentration de 0,5% que les effets sont observés. Cette concentration a été testée dans 33 modalités au cours de 3 ans de projet, ce qui amène un résultat positif dans 70% des situations. Pour la concentration à 1% les effets ne sont positifs que dans 30% des cas.

Ces résultats amènent à penser que le dosage des extraits d’algues est une composante essentielle dans l’expression du potentiel de biostimulation des extraits algaux.

**b) Résultats sur l’élargissement des racinelles**

Les mesures de longueurs de racines ont été faites sur les séries de 2017 et 2018. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-après.

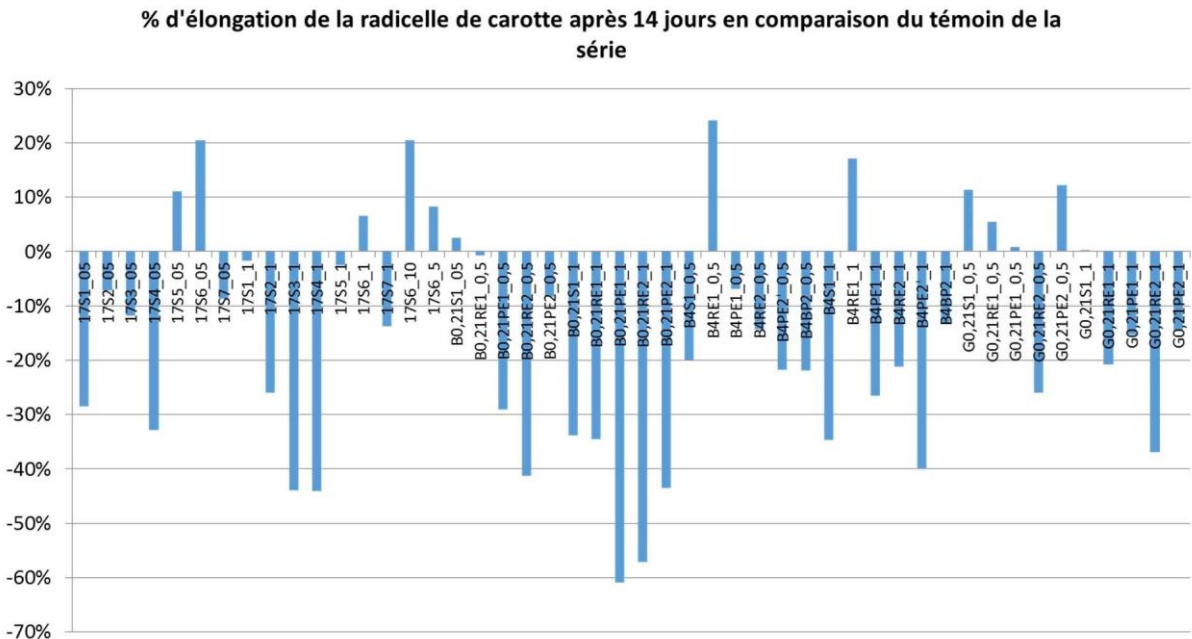


Figure 66 : Pourcentage d’élargissement de la racicelle de carotte

Les résultats positifs tendent à confirmer l’intérêt de la dose de 0,5% dans la mesure où sur les 13 cas avec un effet positif sur l’élargissement, 8 cas correspondent à la dose de 0,5%.

Il apparaît difficile de conclure quant à l’effet bénéfique d’un extrait en particulier. Toutefois, l’extrait S6, testé en 2017 montrent des résultats positifs à 3 concentrations.

### c) Conclusion

Ces tests laissent à penser que la dose est un paramètre important quant à l'expression de l'effet biostimulant des extraits algaux et qu'un surdosage peut donner des résultats inverses à ceux espérés. Ces tendances sont à confirmer dans des situations plus proches de celles de la production dans la mesure où le comportement de la plante et la valorisation de l'effet biostimulant sont très dépendants des conditions environnementales (type de sol, conditions météorologiques, stress abiotiques ou biotiques).

#### VII.3.2. Tests de sélectivité en conditions semi-contrôlées

##### a) Réalisation de l'essai

Le tableau suivant présente le déroulement de l'essai.

Semaine Réalisation	Date	Intervention	Complément d'information
14	1-avr.	Semis	20 gr de carotte NAIROBI et 20 gr de poireau VITATON par ligne
14	2-avr.	Traitement T0	Toutes les modalités
16	15-avr.	Notation levée 1	Émergences beaucoup plus faibles pour SIL-256
16	16-avr.	Traitement T1	Modalités M6, M7, M8 et M9
16	19-avr.	Notation levée 2	Émergences beaucoup plus faibles pour SIL-256
17	24-avr.	Désherbage	Manuel
18	30-avr.	Notation stade 1	Selon l'échelle BBCH
18	30-avr.	Traitement T2	Toutes les modalités
19	7-mai	Notation stade 2	Selon l'échelle BBCH
20	14-mai	Notation stade 3	Selon l'échelle BBCH
20	14-mai	Traitement T3	Modalités M6, M7, M8 et M9
21	21-mai	Notation stade 4	Selon l'échelle BBCH
22	28-mai	Notation stade 5	Selon l'échelle BBCH
22	29-mai	Récolte et notation finale	Nombre de pl., biomasse et longueur racinaire

Tableau 34 : Déroulement de l'essai

Deux terrines de la M05 sol de la Cote Ouest ont été visitées par un escargot en début d'essai et ont donc subi des pertes. En effet, des plantules de carotte et de poireau ont été mangées altérant les résultats pour cette modalité. Pour cette raison, certains résultats sont présentés sans tenir compte de cette dernière.

##### b) Résultats sur les levées de carotte et poireau

Pour les deux cultures, les notations de levées n'ont pas permis de mettre en évidence d'effets néfastes ou bénéfiques des traitements sur la germination, ni sur l'émergence des plantules. En effet, aucune différence significative n'a été observée entre les modalités. De plus, la variabilité au sein même d'une modalité est importante.

Toutefois, la levée semble plus homogène dans le sol issu de la Cote Ouest, le sol issu du Val de Saire montrant des émergences très hétérogènes tant sur carotte que sur poireau.

##### c) Résultat sur la biomasse totale :

Pour les deux cultures, les notations de biomasse en fin d'essai n'ont pas permis de mettre en évidence d'effets néfastes ou bénéfiques des traitements sur le développement des plantules. En effet, aucune

différence significative n'a été observée entre les modalités. De plus, la variabilité au sein même d'une modalité est importante.

Il peut être noté que le développement des plantules semble plus homogène dans le sol issu de la Cote Ouest tant sur carotte que sur poireau.

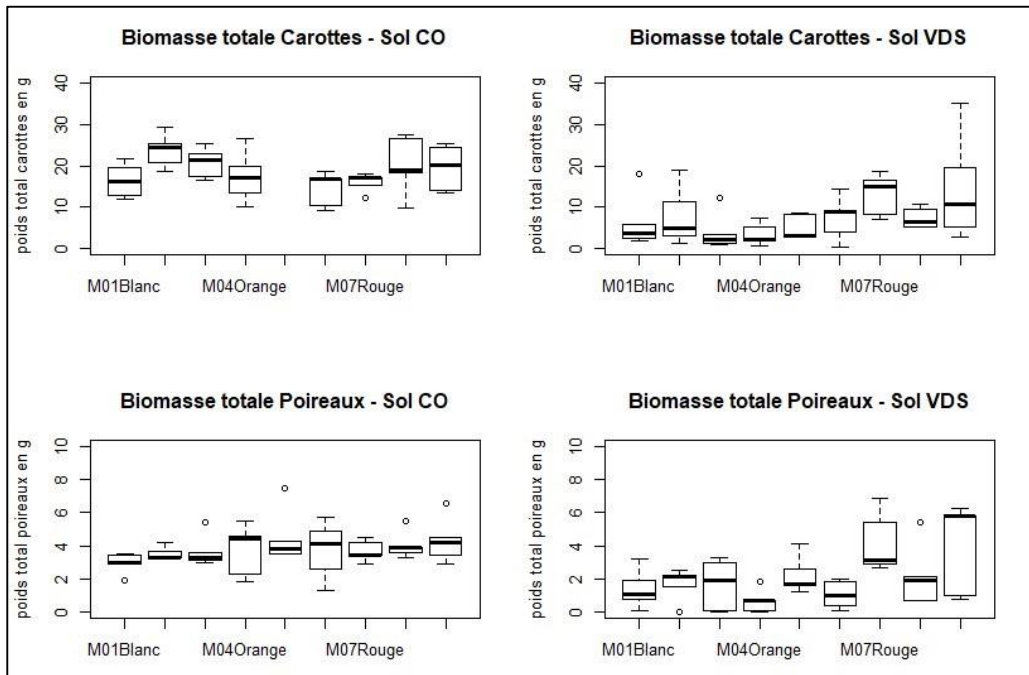


Figure 67a : Résultats sur la biomasse totale

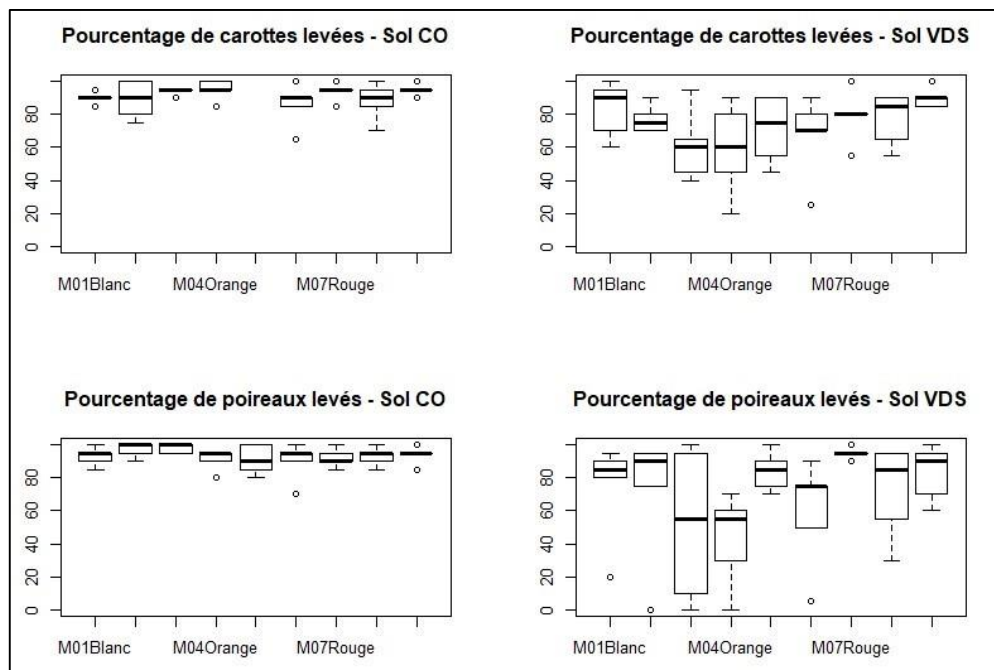


Figure 67b : Pourcentage de levée

#### d) Résultats sur la longueur racinaire des carottes :

Pour les deux cultures, les notations de longueur racinaire des carottes en fin d'essai n'ont pas permis de mettre en évidence d'effets néfastes ou bénéfiques des traitements sur le développement des

racines. En effet, aucune différence significative n'est observée entre les modalités. De plus, la variabilité au sein même d'une modalité est très importante.

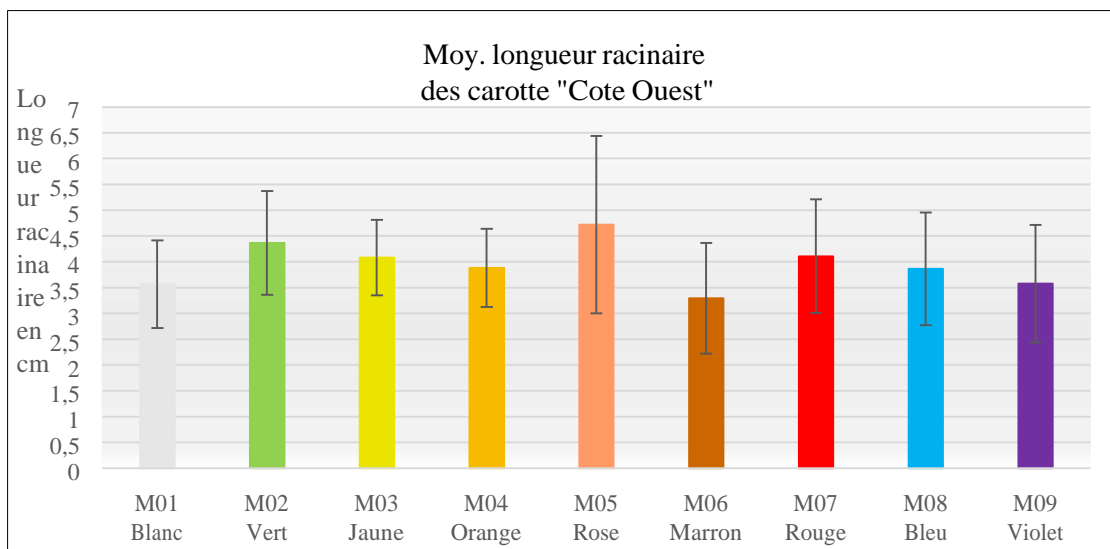


Figure 68 : Moyenne de la longueur racinaire de carotte sur la côte Ouest du Cotentin

Les notations de longueur racinaire n'ont pas été effectuées sur les modalités « sol du Val de Saire » car les racines n'étaient pas assez développées comme le montrent les photos ci-dessous.

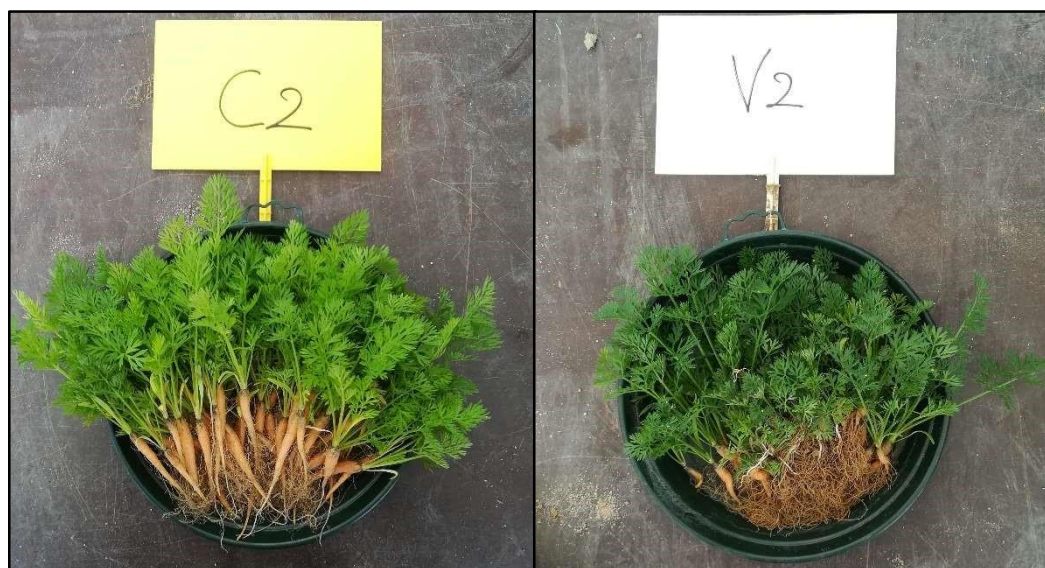


Figure 69 : Développement racinaire des carottes entre la côte Ouest du Cotentin et le Val de Saire.

e) Conclusion

L'essai conduit a permis de vérifier l'innocuité des extraits appliqués sur des plantules de carotte et de poireaux. Aucun effet sur la germination ou l'élongation racinaire n'a pu être mis en évidence de façon significative.

En ce qui concerne l'application des produits par pulvérisation, aucune difficulté n'a été remontée lors des différentes applications.

VII.3.3. Essais en plein champ

a) Carotte

Réalisation de l'essai

o Suivi climatique de l'essai :

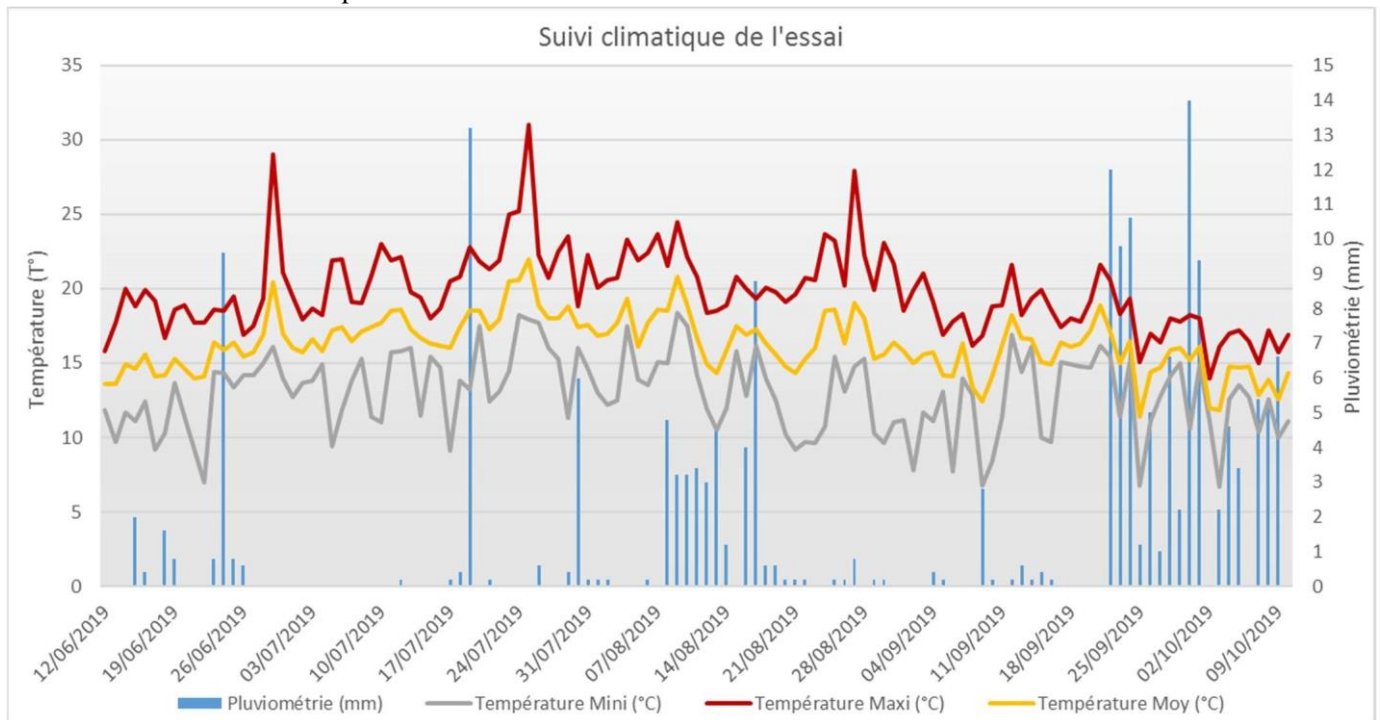


Figure 70 : Suivi climatique de l'essai

En raison de la localisation de l'essai en bord de mer, de la présence de vents forts additionnée à des fortes températures début Juillet 2019, des dégâts ont été causés sur l'essai récemment semé. En effet, de part ces conditions, les plantules de carotte du premier essai SIL-250-1, alors à un stade de développement peu avancé et donc fragile, ont été brûlées. Il a donc été nécessaire de procéder à la mise en place d'un second essai, SIL-250-2.



- o Interventions techniques :
- o Essai SIL-250-1 :

Semaine Réalisation	Date	Intervention	Complément d'information
		Travail du sol	Labour/roto/buttage (faux-semis)
		Fertilisation	30U N/ha
24	12-juin	Semis	Carotte variété NAIROBI
24	14-juin	Traitement PSPL	Centium 0,2 + Prowl 1 + Challenge 1
25	17-juin	Traitement T0	M2, M3 et M4 à 0,5% et M5, M6 et M7 à 1%
25	17-juin	Désherbage	Thermique (avant levée)
26	24-juin	Notation levée 1	6x50cm/p.e
27	1-juil.	Traitement T1	M2, M3 et M4 à 0,25% et M5, M6 et M7 à 0,5%
27	2-juil.	Notation levée 2	50% de perte suite à brûlure des plantules (vents forts)
29	15-juil.	Traitement T2	M2, M3 et M4 à 0,25% et M5, M6 et M7 à 0,5%
29	16-juil.	Désherbage	Defi 2 + Challenge600 0,5
32	5-août	Traitement T3	M2, M3 et M4 à 0,25% et M5, M6 et M7 à 0,5%
32	8-août	Désherbage	Binage manuel
34		Insecticide (mouche)	Karate Zeon 0,125 + Boronia 2 + Sulfamag 3
37	9-sept.	Insecticide (mouche)	Altacor 0,1 + Boronia 2 + Sulfamag 3
37		Sarclage	
38	19-sept.	Récolte + notation	2x1m.l : Nb + Pds racine + Pds feuille + Longueur racinaire + Calibre + Sanit.

Tableau 35 : Intervention technique lors de l'essai



Figure 71 : Parcelle de carottes le 06 septembre 2019

- o Essai SIL-250-2 :

La seconde série ne contient que 4 modalités, seul le témoin non traité et la concentration 0.5% ont été conservés. Les produits ont donc seulement été testés à une concentration de 0,5%, qui est celle préconisée par ALGAIA.



Modalité	Produit	Dose	Timing d'application
M01	Non-traité		
M02	Référence du marché 1	1,5L/ha à 600L/ha (0,25%)	T0 au semis T1 : T0 +15j T2 : T1 + 15j T3 : T2 + 21j
M03	Extrait Sargasse 1	1,5L/ha à 600L/ha (0,25%)	
M04	Extrait Sargasse 2	1,5L/ha à 600L/ha (0,25%)	
M05	Référence du marché 1	3L/ha à 600L/ha (concentration 0,5%)	
M06	Extrait Sargasse 1	3L/ha à 600L/ha (concentration 0,5%)	
M07	Extrait Sargasse 2	3L/ha à 600L/ha (concentration 0,5%)	

Tableau 36 : Tableau des modalités de l'essai

□ Interventions techniques :

Semaine Réalisation	Date	Intervention	Complément d'information
		Travail du sol	Labour/roto/buttage (faux-semis)
27	2-juil.	Semis	Carotte variété NAIROBI
27	5-juil.	Traitement PSPL	Centium 0,2 + Prowl 1 + Challenge 1
28	9-juil.	Traitement T0	M5, M6 et M7 à 0,5% (suppression M2, M3 et M4 → manque de place)
29	15-juil.	Notation levée 1	6x50cm/p.e
29	19-juil.	Traitement T1	M5, M6 et M7 à 0,5%
30	22-juil.	Notation levée 2	6x50cm/p.e
31	2-août	Traitement T2	M5, M6 et M7 à 0,5%
31	2-août	Désherbage	Defi 2 + Challenge600 0,5
32	6-août	Notation levée 3	6x50cm/p.e
32	8-août	Binage	
34		Insecticide (mouche)	Karate Zeon 0,125 + Boronia 2 + Sulfamag 3
34	23-août	Traitement T3	M5, M6 et M7 à 0,5%
37	9-sept.	Insecticide (mouche)	Altacor 0,1 + Boronia 2 + Sulfamag 3
41	10-oct.	Récolte + notation	2x1m.l : Nb + Pds racine + Pds feuille + Longueur racinaire + Calibre + Sanit.

Tableau 37 : Tableau des interventions lors de second essai

### Résultats sur les levées

o Essai SIL-250-1 (Série 1):

Seules deux notations ont été effectuées pour la première série. En effet, la deuxième notation de levée a tout de même été réalisée malgré la brûlure des plantules afin d'évaluer le pourcentage de pertes.

Modalité	Nombre de plantules/50cm.l		Différence (%)
	Notation 1	Notation 2	
M01	Moyenne/modalité 52,1	Moyenne/modalité 26,6	-49%
M02	50,8	25,6	-50%
M03	48,8	25,6	-48%
M04	53,4	27,0	-49%
M05	50,0	25,6	-49%
M06	51,7	26,5	-49%
M07	49,0	25,1	-49%

Tableau 38 : Notation du 1er essai

Le pourcentage de pertes étant d'environ 50% pour toutes les modalités, il a été décidé de ressemer l'essai, SIL-250-2 (Série 2), et de suspendre les notations de levée pour cette première série.

o Essai SIL-250-2 (Série 2):

Trois notations de levée ont été réalisées sur cette deuxième série. Après analyse de variance suivie d'un test de DUNNETT et d'un test de NEWMAN et KEULS pratiqués au seuil de 5%, aucune différence significative de taux d'émergence n'a été observée entre les modalités.

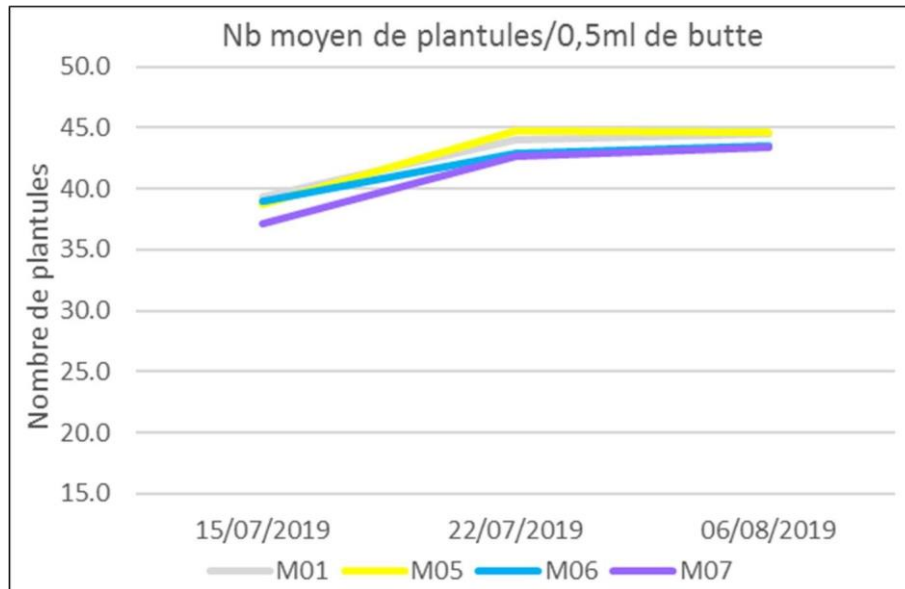


Figure 72 : Résultats du second essai

Les extraits testés ne semblent donc pas favoriser la germination ou le développement précoce de la culture de carotte, et ce peu importe la dose appliquée. En effet, les extraits de sargasse et la référence du marché ne semblent pas améliorer l'installation de la culture.

### Récolte

Les récoltes ont été effectuées à semis + 100 jours pour les deux séries. Ont été mesurés sur 2x1m.l de butte, le nombre de carottes, le poids des racines et le poids des feuilles et sur 20 racines individuellement, la longueur, le diamètre et le poids. Sur ces 20 racines, la qualité sanitaire et les défauts physiques ont également été recensés.

o Essai 250-1 (Série 1) :

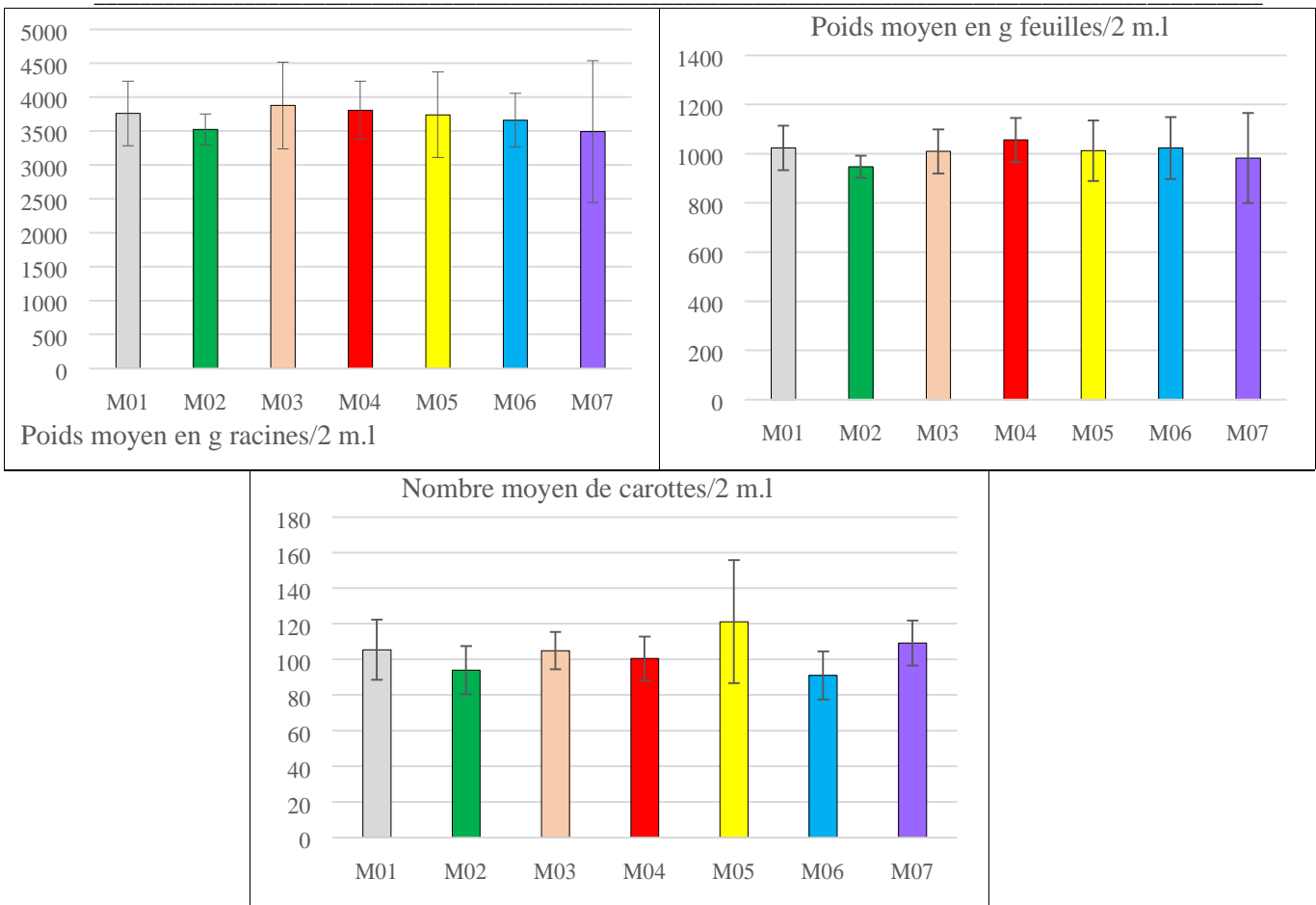
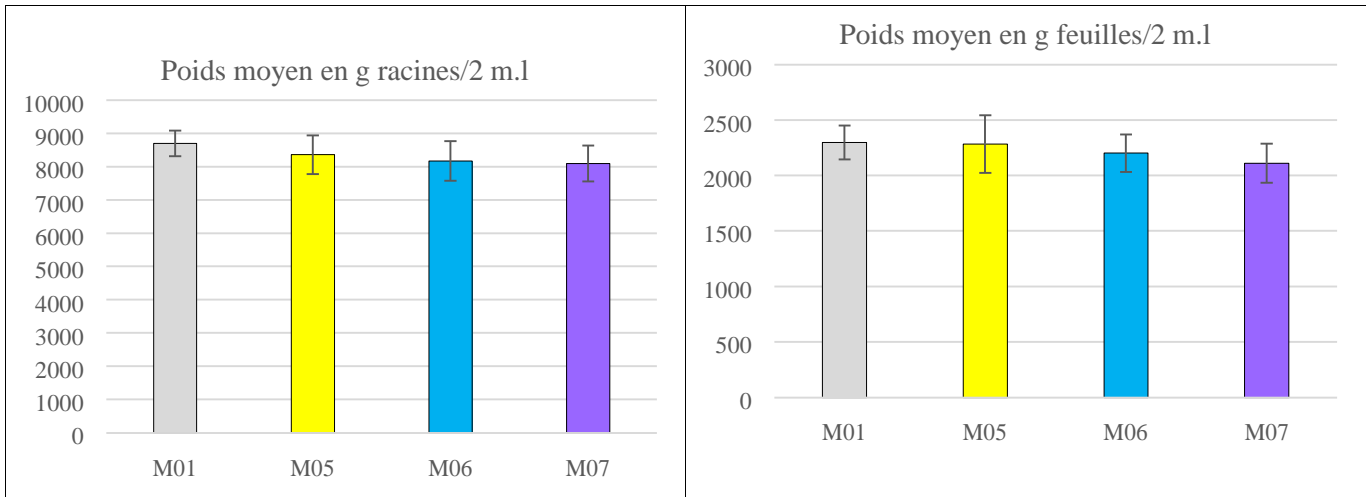


Figure 73 : Résultats des récoltes du 1er essai

o Essai 250-2 (Série 2) :



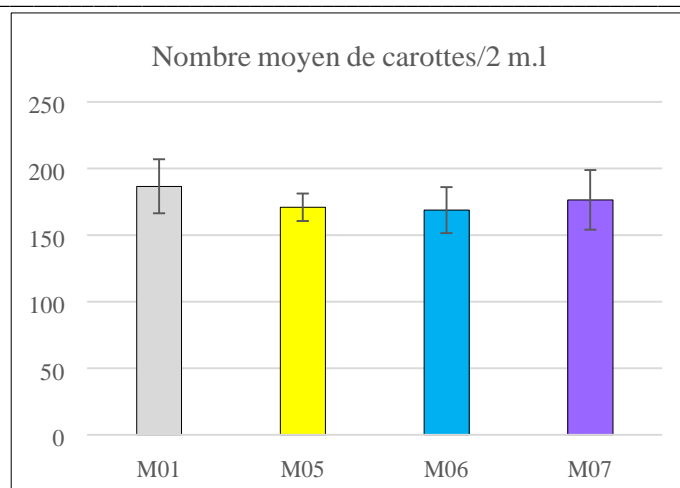


Figure 74 : Résultats des récoltes du 2nd essai

Après analyses de variance pratiquées au seuil de 5%, aucune différence significative n'a été observée entre les modalités pour aucun des différents facteurs énumérés ci-dessus et pour les deux séries (SIL250-1 et SIL-250-2).

Les extraits testés ne semblent donc pas favoriser l'état sanitaire, ni le développement de la culture de carotte, et ce peu importe la dose appliquée.

### Conclusion

Aucun effet des extraits de sargasse n'a pu être mis en évidence lors de cette expérimentation, que ce soit sur la germination, l'installation ou le développement de la culture de carotte.

### b) Poireau

#### Réalisation de l'essai

Tous les traitements ont été réalisés à l'ATH et validés. Les intervalles de temps entre les différents traitements ont été respectés. La solubilité et l'applicabilité des produits sont très satisfaisantes. Aucun problème n'a été rencontré pendant les traitements.

Semaine Réalisation	Date	Intervention	Complément d'information
S29		Travail du sol	Labour/roto/cultirateau
S29		Fertilisation	30kg 15-5-20
S29	17-juil.	Plantation	Poireau variété PLUSTON
S30	26-juil.	Traitement T0	M2, M3 et M4 à 0,5%
S30	26-juil.	Désherbage	Springbok 1,5 + Prowl 1,25
S31		Désherbage rattrapage	Lentagran 0,5
S32	8-août	Traitement T1	M2, M3 et M4 à 0,5%
S32	8-août	Traitement thrips/mouche	Decis Protech 0,83 + Benevia 0,75
S34	22-août	Traitement T2	M2, M3 et M4 à 0,5%
S34	22-août	Notation de reprise	
S36	3-sept.	Sarclage	
S37	9-août	Traitement T3	M2, M3 et M4 à 0,5%
S38	16-sept.	Traitement thrips	Agrimec Pro 0,5
S40	30-sept.	Traitement T4	M2, M3 et M4 à 0,5%

Tableau 39 : Tableau des interventions de l'essai sur le poireau



Figure 75 : Photographie de la parcelle de poireau au 06/09/2019

### Résultats sur la reprise

La notation de reprise s'est basée sur l'observation de la sélectivité, du stade de développement, de l'homogénéité/mortalité et sur la présence d'adventices. Elle n'a pas permis de mettre en évidence des effets des extraits sur l'aspect général des poireaux selon les différentes modalités.

### Résultats à la récolte

La notation récolte a été effectuée sur 20 poireaux par parcelle élémentaire et s'est portée sur le calibre et le poids des poireaux. Une note sanitaire a également été attribuée. Cette dernière, non pertinente ne sera pas présentée.

La notation des calibres et des poids des poireaux n'a pas permis de constater de différences entre les modalités traitées et le témoin. En effet, les traitements ne semblent pas avoir d'incidence sur le développement de la culture. Le pourcentage de poireaux de calibre faible peut-être expliqué par

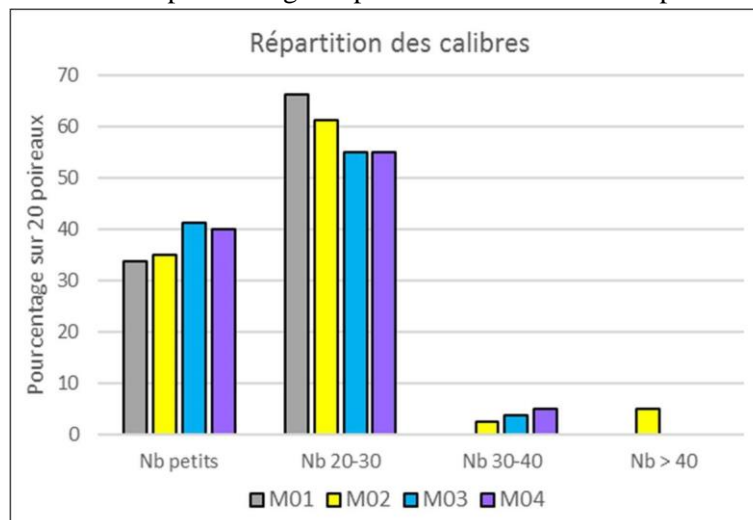


Figure 76 : Répartition des calibres sur le poireau

l'impossibilité de butter la culture, les conditions météo ayant rendu impossible le passage du tracteur sur la parcelle.

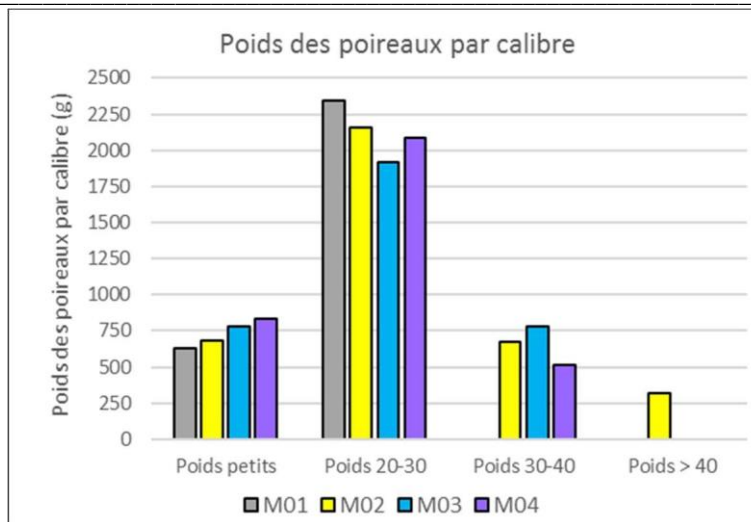


Figure 77 : Poids des poireaux par calibre

### Conclusion

Aucun effet des extraits de sargasse n'a pu être mis en évidence lors de cette expérimentation, que ce soit sur la reprise ou le développement de la culture de poireau.

#### c) Chou-fleur

##### Réalisation de l'essai

Tous les traitements ont été réalisés à l'ATH et validés. Les intervalles de temps entre les différents traitements ont été respectés. La solubilité et l'applicabilité des produits sont très satisfaisantes. Aucun problème n'a été rencontré pendant les traitements.

Semaine Réalisation	Date	Intervention	Complément d'information
S30	24-juil.	Travail du sol	Canadien puis cultivateur
S30	24-juil.	Plantation	Chou-fleur variété LEOCEN, 0,8 entre rangs x 0,85 entre plants
S30	26-juil.	Traitement T0	M2, M3 et M4 à 0,5%
S32	6-août	Notation stade	Nb feuilles
S32	8-août	Traitement T1	M2, M3 et M4 à 0,5%
S32	8-août	Désherbage	Lentagran 1
S34	20-août	Notation stade	Nb feuilles
S34	23-août	Traitement T2	M2, M3 et M4 à 0,5%
S34	23-août	Traitement altises	Karate Zeon 0,05
S35	29-août	Traitement chenilles	Delfin 1
S36	5-sept.	Buttage	
S37	9-sept.	Traitement T3	M2, M3 et M4 à 0,5%
S39	27-sept.	Notation stade	Nb feuilles
S40	30-sept.	Traitement T4	M2, M3 et M4 à 0,5%
S40		Traitement chenilles	
S1	2-janv.	Récolte + notation	Coupe n°1
S2	10-janv.	Récolte + notation	Coupe n°2
S3	13-janv.	Récolte + notation	Coupe n°3
S3	17-janv.	Récolte + notation	Coupe n°4

Tableau 40 : Tableau des interventions sur le chou-fleur





Figure 78 : Photographie de la parcelle de chou-fleur au 15/10/2019

### Résultats sur le stade de développement

Les notations de stade de développement se sont faites par l'intermédiaire du nombre de feuilles par plante sur 10 plantes par parcelle élémentaire à trois dates de notations. Ces notations n'ont pas permis de mettre en évidence d'effets significatifs (accélération ou retard) des extraits d'algues sélectionnés sur le développement ou la reprise des choux fleurs.

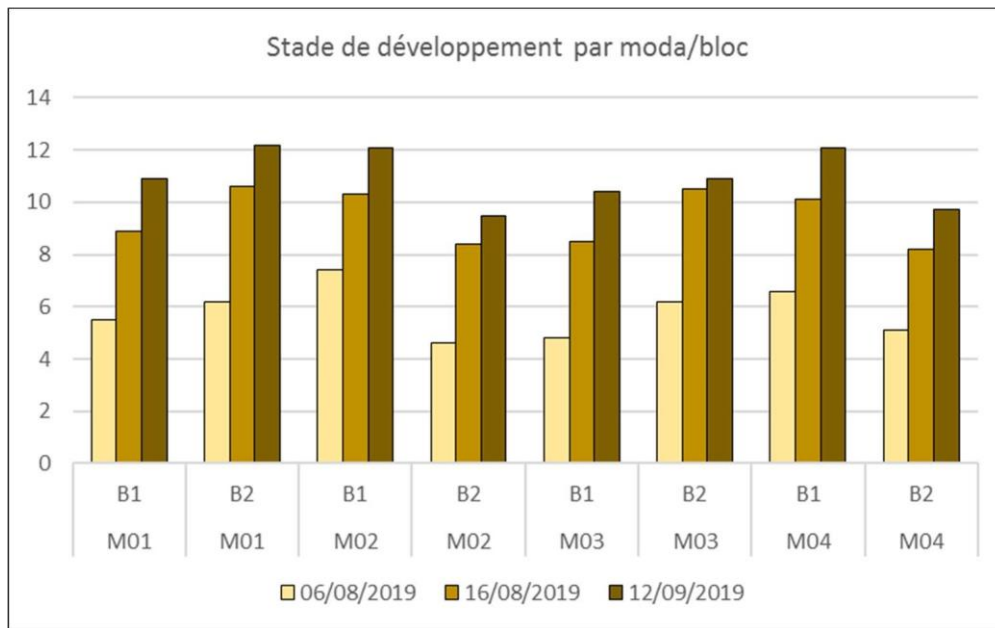


Figure 79 : Stade de développement par modalité

### Résultats à la récolte

La notation finale a été effectuée au fil de l'eau selon l'avancement des choux fleurs. Ont été considérés par chou, le poids paré, la commercialité, la catégorie commerciale, le diamètre (pour les choux commerciaux) et le motif de non commercialité (pour les non-commerciaux).

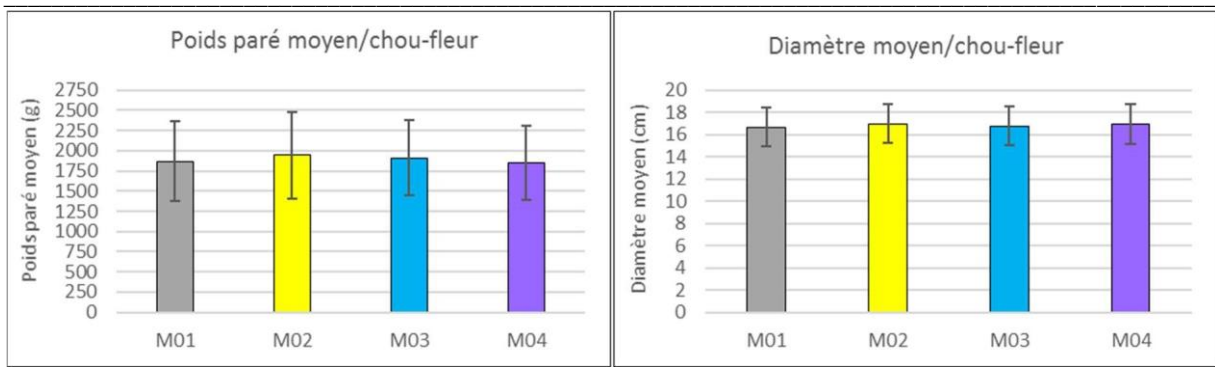


Figure 80 : Résultats à la récolte pour le chou-fleur.

Comme le montrent les graphiques 84 ainsi que des analyses de variance au seuil de 5%, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence suite à ces notations. Ainsi, les traitements ne semblent pas avoir d'incidence (positive ou négative) sur le développement de la culture de chou-fleur.

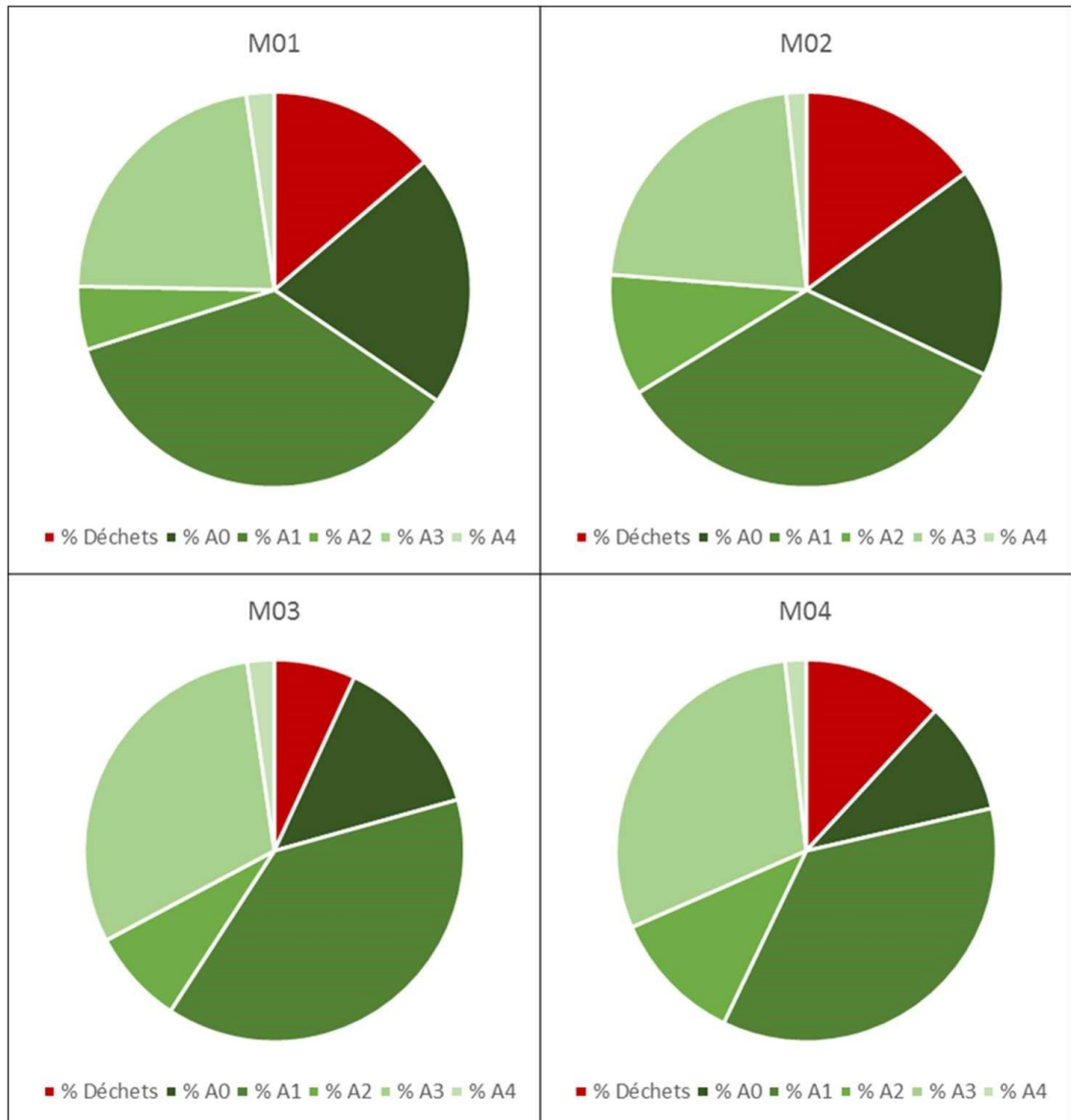


Figure 81 : Détails des résultats sur les tailles commerciales par modalité

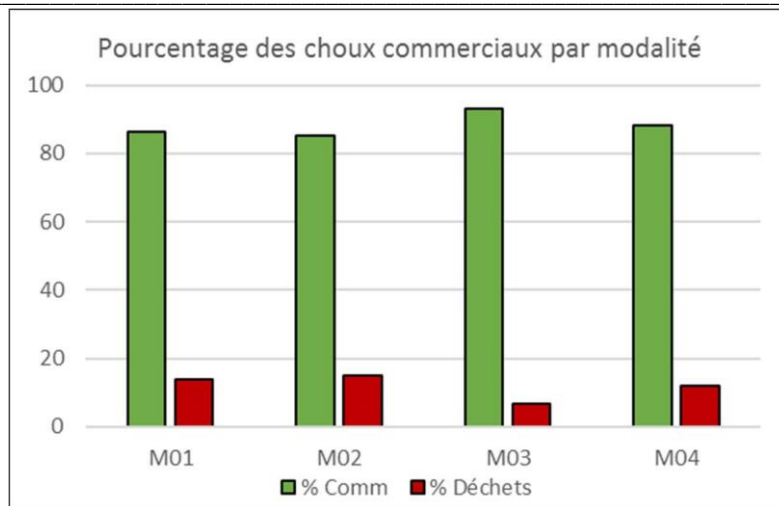


Figure 82 : Résumé des choux commerciaux par modalité

Aucune différence n'a également été remarquée quant aux critères commerciaux. En effet, les tests statistiques n'ont pas montré de différences par rapport à la répartition des catégories commerciales, ni par rapport au pourcentage de déchets. Cependant, les modalités M03 et M04 semblent présenter un pourcentage de choux commercialisable plus important que les autres modalités.

#### Conclusion

Aucun effet des extraits de sargasse n'a pu être mis en évidence lors de cette expérimentation, que ce soit sur la reprise ou le développement de la culture de chou-fleur. La tendance observée sur les modalités avec les extraits de sargasses demande à être confirmée dans d'autres conditions climatiques.

#### d) Salade

##### Réalisation de l'essai

Tous les traitements ont été réalisés à l'ATH et validés. Les intervalles de temps entre les différents traitements ont été respectés.

La solubilité et l'applicabilité des produits sont très satisfaisantes. Aucun problème n'a été rencontré pendant les traitements.

Semaine Réalisation	Date	Intervention	Complément d'information
S31	31-juil.	Travail du sol	Labour/cultivateur
S31	31-juil.	Fertilisation	30kg 15-5-20
S31	31-juil.	Plantation	Salade variété ILONA, 13,3 pl/m.l
S31	1-août	Traitement T0	M2, M3 et M4 à 0,25% et M5, M6 et M7 à 0,5%
S31	2-août	Désherbage	Kerb Flo 3,75
S32	8-août	Traitement T1	M2, M3 et M4 à 0,25% et M5, M6 et M7 à 0,5%
S32	9-août	Notation stade 1	Nb de feuilles
S33	14-août	Notation stade 2	Nb de feuilles
S33	16-août	Traitement T2	M2, M3 et M4 à 0,25% et M5, M6 et M7 à 0,5%
S34	20-août	Notation stade 3	Nb de feuilles
S34	21-août	Traitement T3	M2, M3 et M4 à 0,25% et M5, M6 et M7 à 0,5%
S35	30-août	Traitement T4	M2, M3 et M4 à 0,25% et M5, M6 et M7 à 0,5%
S38	16-sept.	Récolte et notation	Sur 12 et 10 plantes : poids paré et poids racinaire
S38	18-sept.	Destruction	Rotavator

Tableau 41 : Tableau des interventions pour la salade



Figure 83 : Photographie de la parcelle de salade au 09/09/2019

### Résultats sur le stade de développement

Les notations des stades de développement se sont faites par l'intermédiaire du nombre de feuilles par plante sur 10 plantes par parcelle élémentaire à trois dates notations. Ces notations n'ont pas permis de mettre en évidence d'effets significatifs (accélération ou retard) des extraits d'algues sélectionnés sur le développement des salades ainsi que sur la reprise.

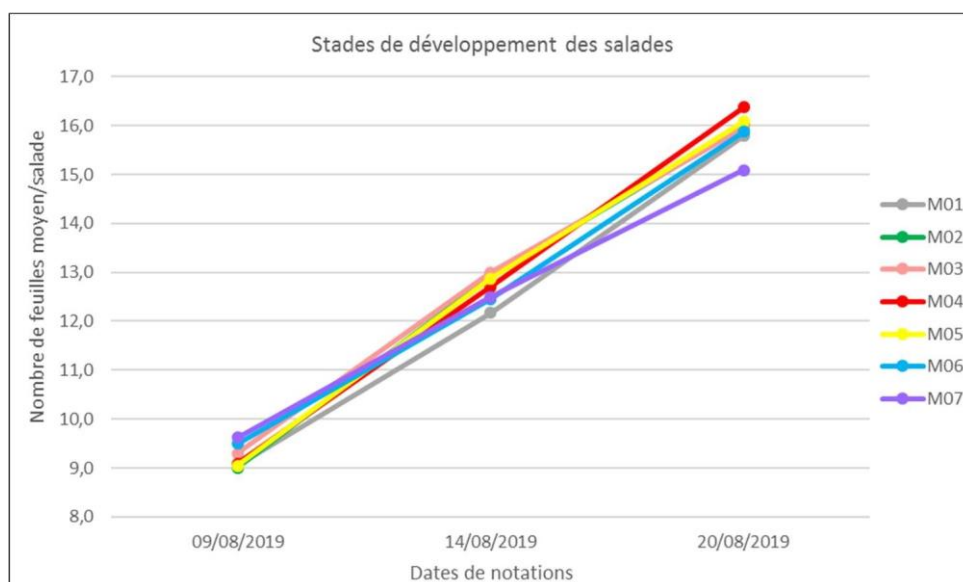


Figure 84 : Stades de développement des salades en fonction des modalités.

### Résultats à la récolte

La notation finale a été effectuée sur 12 plantes pour la biomasse aérienne et sur 10 plantes pour la biomasse racinaire.

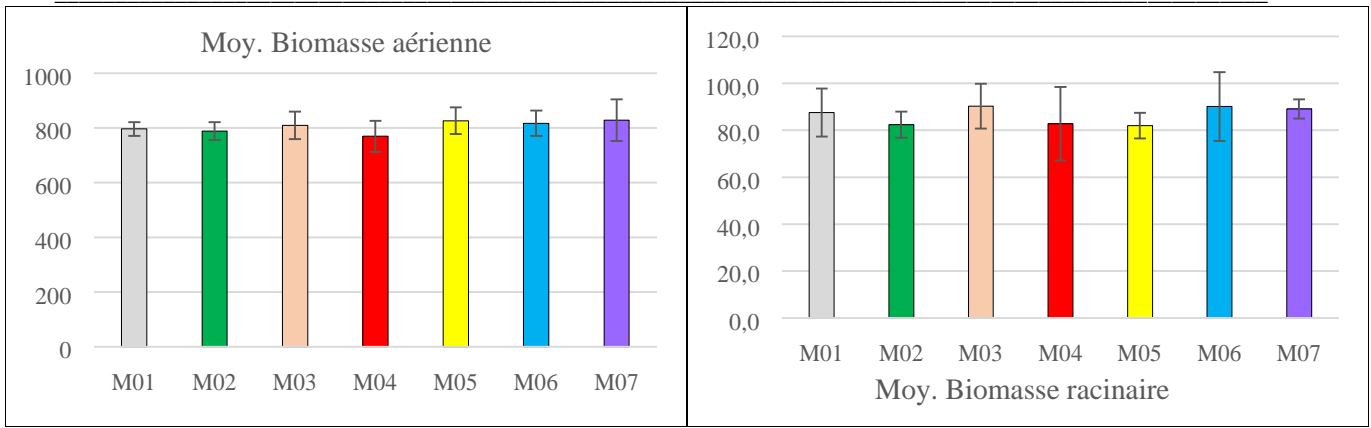


Figure 85 : Biomasses aérienne et racinaire des salades en fonction des modalités

Comme le montrent les graphiques 85 et après analyses de variance au seuil de 5%, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence suite à ces notations. Ainsi, les traitements ne semblent pas avoir d'incidence (positive ou négative) sur le développement de la culture de salade.

### Conclusion

Aucun effet des extraits de sargasse n'a pu être mis en évidence lors de cette expérimentation, que ce soit sur la reprise ou le développement de la culture de salade.

### VII.3.2. Tests en soufflerie de stabilisation du sol par l'application d'alginate

#### a) Réalisation de l'essai

Date	Interventions
11 Juin 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Préparation (remplissage avec du sable de la CO) et pesées des barquettes d'essai</li> <li>- Application des produits testés à l'ATH</li> <li>- Mise des barquettes à l'abri (attente de formation/polymérisation du film)</li> </ul>
13 Juin 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Test en soufflerie avec le passage individuel des barquettes de chaque modalité</li> <li>- Pesée individuelle des barquettes après passage en soufflerie</li> </ul>

Tableau 42 : Tableau des interventions des tests en soufflerie.

L'applicabilité des produits SP1-ALG-S60 et Référence 1 à 100% était très mauvaise. Le mélange étant trop visqueux de grosses gouttelettes se sont formées à la pulvérisation à l'ATH, empêchant la formation d'un film bien homogène.

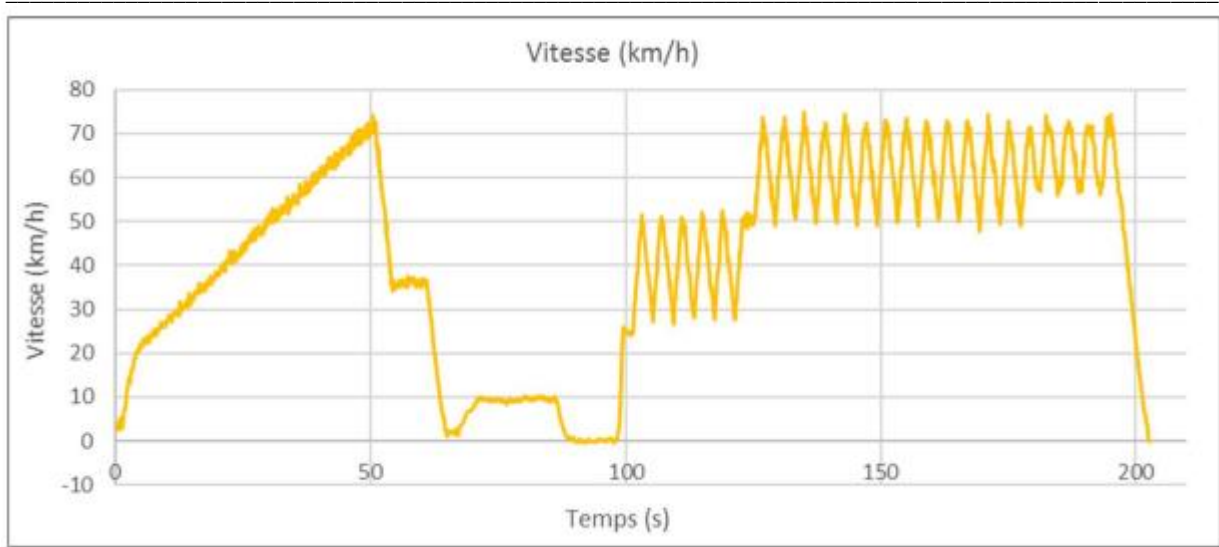


Figure 86 : Profil de la vitesse du vent appliqué à la soufflerie le 13/06/2019

### Résultats des tests en soufflerie

Le graphique 87 représente les moyennes des pertes de masse après passage en soufflerie par modalité, obtenues par pesées des barquettes avant et juste après passage sur le banc d’essai.

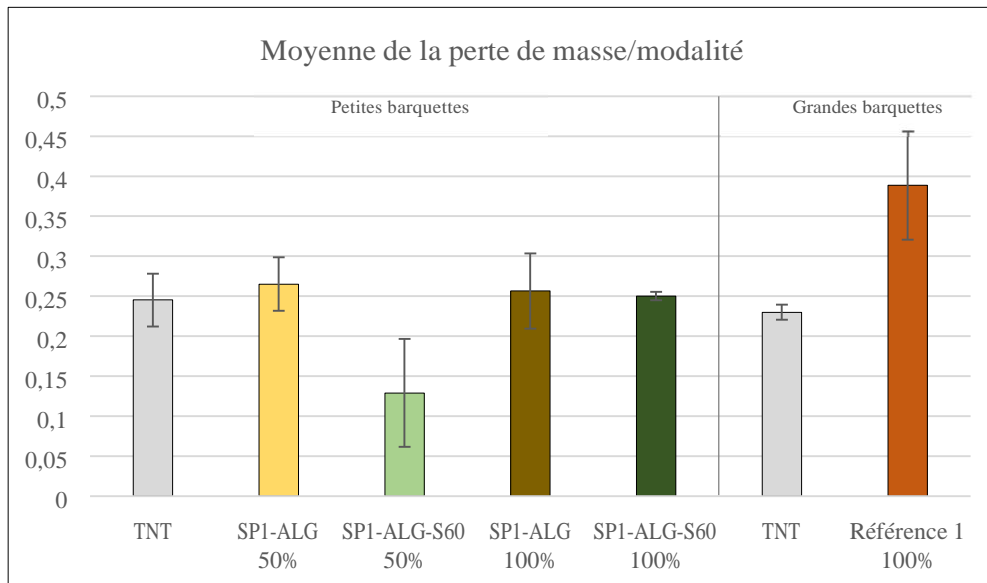


Figure 87 : Moyenne de la perte en masse par modalité

On peut voir que l’extrait SP1-ALG-S60 à 50% semble plus efficace que les autres malgré une forte variabilité. En s’appuyant sur les vidéos, on peut se rendre compte qu’il ne se décolle pas par plaques (entraînant un départ important de matière) comme les autres modalités.

La référence 1 par exemple obtient de nettement moins bons résultats. Cela est très certainement dû à la texture visqueuse du produit qui a empêché une application bien homogène (gouttelettes trop grosses). En effet, sur les vidéos on peut observer que le sable se décolle par plaques ce qui entraîne une perte importante de matière. Un travail sur la dose et le matériel d’application doit être réalisé pour optimiser ces résultats.



## Conclusion

Les alginates de SP1-ALG-S60 utilisés à une dose de 50% semblent avoir un potentiel intéressant sur la fixation du sol. De futurs travaux seraient à envisager afin de permettre une meilleure caractérisation de la dose et du nombre optimaux d'applications. En effet, la texture visqueuse des alginates peut rendre leur utilisation compliquée par les producteurs. À fortes doses, leurs pulvérisateurs risqueraient de se boucher et de provoquer une mauvaise application entraînant la création d'un film hétérogène. De plus, les alginates étant une fraction purifiée des extraits de Sargasse, il faut que le stock soit suffisant pour permettre une utilisation par les producteurs et pour les présenter comme une véritable solution quant à l'érosion des sols.

### VII.4. Conclusion générale

L'ensemble des tests effectués au cours des 3 ans de projet permet de conclure quant à l'innocuité des extraits de Sargasses en application sur les cultures légumières que sont la carotte, le poireau, le choufleur et la salade.

En ce qui concerne l'activité biostimulante des extraits travaillés, il apparaît difficile de les mettre en avant de façon significative dans les conditions pratiquées. Dans le projet tel qu'initialement proposé, il était prévu de pouvoir faire les expérimentations en plein champ sur 2 campagnes. Le déroulement du projet n'a finalement pas permis de réaliser ces 2 années d'études, et l'année 2019 seule ne nous a pas permis de mettre en avant les effets biostimulants attendus. Il faut rechercher des effets d'homogénéité de culture dans des conditions de stress biotiques ou abiotiques. Cet aspect mériterait d'être approfondi dans un futur projet.

En ce qui concerne les alginates comme solution de fixation de la couche superficielle du sol, les premiers tests effectués sont encourageants quant au potentiel des alginates. Les doses et le timing des applications restent à approfondir.

## CH VIII MISE EN PLACE DE LA FILIERE EN NORMANDIE (WP6)

Leader : ALGAIA, SMEL

Autres partenaires impliqués : CRC NMdN, CRCNMdN, SILEBAN.

Objectifs : Elaborer, à partir des différents éléments étudiés lors du projet, une filière économique autour de la récolte de sargasses.

Plan d'actions :

Donner les premiers éléments de construction d'une filière autour de la sargasse et de l'algue en général.

### VIII.1. Les différents domaines de valorisations des algues.

La valorisation des algues, macro-algues comme micro-algues (phytoplancton), peut s'effectuer dans des domaines extrêmement variés. Si on utilise l'algue en frais ou séchée comme légume dans l'alimentation humaine, on retrouve également un nombre important de composés issus de différentes algues toujours dans l'alimentation humaine comme les gélifiants, dans la cosmétique, la santé humaine, l'alimentation et la santé animale, les cultures agricoles, l'environnement, ou bien encore les biocarburants et les biopolymères. L'étendue des domaines d'application est donc variée ce qui laisse entrevoir des possibilités de valorisation sur de nombreux marchés. La valorisation faite autour de ces algues est également très diverse et les plus souvent liée au ration de la quantité de matière première requise pour fabriquer le produit voulu et sa valeur marchande. Le schéma 88 résume les généralités rencontrées sous la forme de pyramide inversée entre volume et valeur

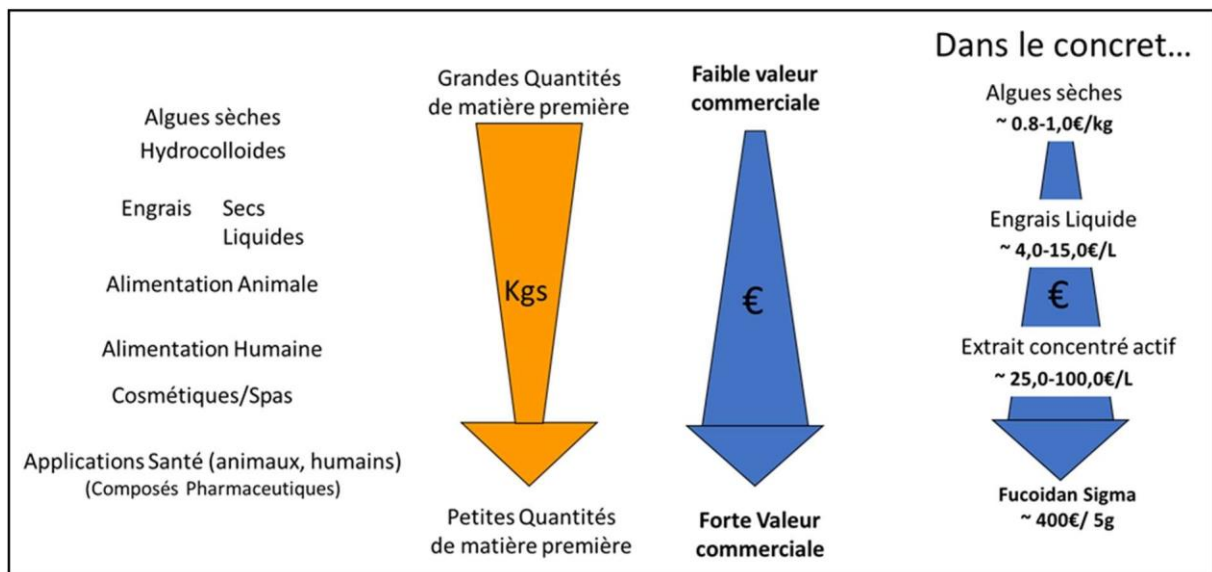


Figure 88 : la pyramide volume valeur inversée.

Le schéma 88 montre, comme dans de nombreux exemples industriels, qu'il y a une relation inversée entre les volumes traités et la valeur commerciale. Cependant, la valeur commerciale est souvent liée à la quantité de matière première combinée au niveau technique industrielle à développer pour la production. Par exemple, le prix à la vente de l'algue légume est plutôt lié à la rareté du produit (algues ramassées à la main par des pêcheurs à pied) alors que pour des applications santé, on va rechercher des composés spécifiques dans certaines algues, demandant des procédés de production très spécifiques pour obtenir des bioactivités dont la commercialisation est très régulée.

## VIII.2. Un modèle de valorisation pour la sargasse.

Le modèle choisi pour la sargasse fait suite aux recherches effectuées sur les composés d'intérêt présents dans cette algue au cours du programme SARGASSES (2014 – 2016) et s'est orienté en particulier vers la production de produits biostimulants à destination de la culture maraîchère de Normandie.

Les productions agricoles subissent diverses pressions du notamment aux aléas climatiques comme les sécheresses, inondations, gels. Elles peuvent également subir des dommages dus à une utilisation non adéquate de produits chimiques comme les sels minéraux, les pesticides ou insecticides. Les biostimulants (cf. WP 4 & 5) sont des produits qui permettent aux cultures de mieux résister à ces différents types de stress et ainsi de limiter et mieux raisonner l'utilisation de la chimie. Pour la plupart, les produits biostimulants contiennent des composés d'origine naturelle bien connus dont plusieurs sont issus de l'industrie des algues et notamment des algues brunes comme l'*Ascophyllum nodosum*. Le marché des biostimulants (microbes bénéfiques, algues, acides humiques, acides aminés, extraits de plantes) en 2019 représentait environ 1,2 milliards d'euros à travers le monde, dont 400 millions d'euros pour les biostimulants à base d'algues. La progression de ce marché est très dynamique, évaluée sur un taux de croissance annuelle de 12% en moyenne.

D'après les données existantes, un modèle de filière à partir de sargasses vers la production de biostimulants ainsi qu'une chaîne de valeur potentielle peut être élaboré et permet d'apprécier sa faisabilité.



Figure 89 : Exemple possible de valorisation de la sargasse vers les biostimulants et sa valeur éventuelle.

Les valeurs, présentées dans la figure 89 sont à titre indicatif, sur la base, notamment pour le prix à la tonne récoltée, d'autres sources d'algues utilisées en France pour la production de produits biostimulants. Ces algues peuvent être pour certaines ramassées mécaniquement, amenant la réflexion sur la valeur basse, ou manuellement, avec comme référence la valeur la plus haute. Ce prix restera cependant à ajuster en fonction du temps pratique d'accès à la mer et reste ouvert à échanges.

Il est évident que dans le cadre d'une filière Normande et donc à circuit court, certaines valorisations intermédiaires peuvent être économisées et ainsi accroître la valeur créée pour les autres acteurs par exemple, le prix d'achat des algues fraîches.

### VIII.3. La biomasse exploitable en sargasses.

Lors des estimations de biomasse (cf. WP2), il est apparu que le stock est très important malgré quelques aléas sur les côtes du Calvados certaines années. Cependant, le fait que les algues soient récoltables entre Avril et Juillet, lors des basses mers de vives eaux limitent l'accès à la ressource. Il faut donc optimiser la récolte sur les périodes d'accès à la ressource., d'où plusieurs scénarios envisagés.

Le tableau 43 représente les résultats d'estimation de récolte annuelles sur la base des pêches expérimentales et quelques postulats de départ :

- La hauteur d'eau maximale pour accéder à la ressource : il est considéré qu'il ne faut pas plus d'un mètre d'eau pour accéder à la ressource pour récolter à pied ou avec un tracteur. Pour un bateau, la hauteur maximale est portée à deux mètres (il faut suffisamment d'eau pour naviguer, mais pas trop pour accéder aux algues avec le bras hydraulique).
- Il faut un temps minimum d'accès à la ressource, sans quoi, toute pêche devient non rentable. Le temps minimal pour cette évaluation est d'une heure de récolte.
- Le temps de récolte est modélisé à partir des données des trois années du projet (2017 à 2019) sur une période de pêche allant du 1<sup>er</sup> mai au 15 juillet soit 76 jours par an (21% de l'année).
- Pour les récoltes des pêcheurs à pied ou avec le godet expérimental, les performances sont issues des résultats obtenus lors des tests expérimentaux sur le terrain (cf. WP3). En revanche, pour le godet de taille moyenne (2.25m de large) et le godet de taille maximale (3.5m) sont issues des caractéristiques de modèles vendus par le fournisseur du godet expérimental (1.5m de large). Ces estimations sont effectuées a minima.

	Pêcheur à pied	Tracteur			Bateau		
		Godet Exp.	Godet moyen	Godet Max.	Godet Exp.	Godet moyen	Godet Max.
Récolte moyenne par an	26 tonnes	52 tonnes	105 tonnes	158 tonnes	100 tonnes	200 tonnes	300 tonnes
Recette (80€/t. Source ALGAIA)	2 080 €	4 160 €	8 400 €	12 640 €	8 000 €	16 000 €	24 000 €
Temps de récolte Jours de pêche	52 heures 28 jours / 76	52 heures 28 jours / 76	52 heures 28 jours / 76	52 heures 28 jours / 76	100 heures 44 jours / 76	100 heures 44 jours / 76	100 heures 44 jours / 76

Tableau 43 : Estimation de récolte annuelles par unité, de recette annuelle estimée et de temps de travail.

Les résultats de recettes ne comprennent pas les coûts engendrés par la production (investissements, carburant...) et doivent encore être approfondi pour en tirer une idée sur les bénéfices attendus.

#### VIII.4. Les prémices d'une filière autour de la sargasse

La biomasse en sargasses est présente en quantité importante (15 000 tonnes sur 4 sites normands) et sa récolte à grande échelle est techniquement possible. Sa première transformation est maîtrisée et, si la phase de formulation est encore en cours d'expérimentation, l'expérience sur d'autres espèces d'algues brunes permettent d'envisager très sérieusement des voies de développement. De plus, les biostimulants ne sont pas la seule voie de valorisation pour cette algue. On peut y ajouter les aspects de maintien du sol (cf. WP 5) ou des applications possibles en cosmétique, parapharmacie ou encore la santé animale qui sont autant de voies actuellement en cours d'évaluation.

La figure 90 résume ce que pourrait être une filière autour de la sargasse dans un avenir à moyen, avec les incertitudes qui restent à étudier, notamment sur la partie logistique (entre le lieu de récolte et l'usine de première transformation) ou les pistes nouvelles de valorisation des produits issus de la sargasse.



Figure 90 : Etat des connaissances sur la construction d'une filière algues en Normandie.

Et la sargasse ne doit pas être la seule algue récoltée en Normandie. D'autres projets actuellement en cours sur l'exploitation de l'entéromorphe ou des algues échouées (Varech), ou sur des cultures de laminaires doivent compléter l'offre et permettre l'éclosion d'une filière algues en Normandie. De plus, suite à la présentation du projet SNOTRA le 04 décembre 2019 à Saint Lô auprès d'acteurs politiques, industriels ou scientifiques, plusieurs organismes ont souhaité anticiper cette filière en devenant en la structurant autour d'une structure collaborative avec les différents acteurs dont les contours sont actuellement en discussion.



---

## TABLES DES TABLEAUX

---

Tableau 1 :	Calendrier des rencontres vers les mairies.	Page 24
Tableau 2 :	Classification systématique de la sargasse.	Page 27
Tableau 3 :	Caractéristiques des sites d'étude. (-) absence ou nul, (+) faible, (++) moyen, (+++) fort.	Page 32
Tableau 4 :	Valeurs moyennes des données biométriques des thalles de sargasse enregistrées en période de développement optimal (de mai à juillet) pendant trois ans (2017 à 2019) sur trois sites d'étude.	Page 38
Tableau 5 :	Comparaison de la longueur individuelle, du poids individuel, du nombre total de rameaux et du nombre de rameaux supérieurs à 25 cm des thalles de sargasse entre les trois sites d'étude (à partir des données enregistrées en période de développement optimal (de mai à juillet) pendant trois ans (2017 à 2019)).	Page 39
Tableau 6 :	Densités des thalles de sargasse enregistrées en période de développement optimal (de mai à juillet) pendant trois ans sur les trois sites d'étude en suivi approfondi.	Page 42
Tableau 7 :	Comparaison de la densité des sargasses entre les trois sites d'étude (à partir des données enregistrées en période de développement optimal (de mai à juillet) de 2017 à 2019.	Page 42
Tableau 8 :	Comparaison de la biomasse de sargasse entre les six sites d'étude (à partir des données enregistrées en période de biomasse optimale (d'avril à juillet) pendant trois ans (2017 à 2019)).	Page 47
Tableau 9 :	Comparaison de la biomasse de sargasse entre les trois années de suivi pour chaque site d'étude (à partir des données enregistrées en période de biomasse optimale (d'avril à juillet)).	Page 49
Tableau 10 :	Biomasses estimées de sargasse poussant sur les six sites d'étude.	Page 59
Tableau 11 :	Biomasse estimée de sargasse échouée sur un an à Bricqueville-sur-Mer.	Page 60
Tableau 12 :	Résultats des récoltes sur estran	Page 83
Tableau 13 :	Résultats des récoltes sur barrages.	Page 83
Tableau 14 :	Résultats de la récolte mécanisée	Page 84
Tableau 15 :	Résumé des dispositions réglementaires de récolte en fonction des méthodes.	Page 91
Tableau 16 :	Composés présents chez les algues brunes, leurs rôles dans l'algue et les bioactivités d'intérêt associées.	Page 93
Tableau 17 :	Matrice des effets des paramètres et calcul des interactions	Page 103
Tableau 18 :	Calcul de l'intervalle de confiance	Page 104
Tableau 19 :	Tableau récapitulatif de l'influence des paramètres d'extraction sur le rendement en fucoïdanes. A = concentration de l'acide ; B = température d'extraction ; AB = interaction entre la concentration de l'acide et la température d'extraction.	Page 106
Tableau 20 :	Tableau récapitulatif de l'influence des paramètres d'extraction sur le rendement en composés en fonction de l'acide utilisé (+ : rendements plus importants si la valeur du paramètre augmente, - : rendements moins importants si la valeur du paramètre augmente, 0 : pas d'effets du paramètre).	Page 107
Tableau 21 :	Rendement théorique maximum d'extraction pouvant être atteint selon les différents paramètres (acide/concentration/température).	Page 108
Tableau 22 :	Composition des extraits produits pour les tests de germination. S1 = Extrait à température ambiante ; S2 = Extrait à température ambiante (9.80% de MS) ; S3 = Extrait à chaud (7.27% de MS,) ; S4 = Extrait à chaud (8.03% de MS,) ; S5 = Extrait à chaud purifié HM ; S6 = Extrait à chaud purifié LM	Page 109
Tableau 23 :	Viscosités en cP des alginates testés.	Page 111
Tableau 24 :	Echantillons testés lors du test de résistance aux précipitations et au vent.	Page 113
Tableau 25 :	Bilan et rendement d'extraction exprimé en pourcentage.	Page 121
Tableau 26 :	Rendements des étapes 1 et 3 de filtration	Page 122
Tableau 27 :	Extraits et doses testées entre 2017 et 2019.	Page 132
Tableau 28 :	Différentes modalités étudiées.	Page 133
Tableau 29 :	Modalités étudiées pour chacune des cultures	Page 135
Tableau 30 :	Observations sur les cultures	Page 136
Tableau 31 :	Solutions utilisées pour chaque barquette.	Page 136
Tableau 32 :	Résultats des tests effectués entre 2017 et 2019	Page 138
Tableau 33 :	Récapitulatif des tests effectués.	Page 139
Tableau 34 :	Déroulement de l'essai	Page 140
Tableau 35 :	Intervention technique lors de l'essai	Page 144
Tableau 36 :	Tableau des modalités de l'essai	Page 145
Tableau 37 :	Tableau des interventions lors de second essai	Page 145
Tableau 38 :	Notation du 1er essai	Page 145

Tableau 39 :	Tableau des interventions de l'essai sur le poireau	Page 148
Tableau 40 :	Tableau des interventions sur le chou-fleur	Page 150
Tableau 41 :	Tableau des interventions pour la salade	Page 153
Tableau 42 :	Tableau des interventions des tests en soufflerie.	Page 155
Tableau 43 :	Estimation de récolte annuelles par unité, de recette annuelle estimée et de temps de travail.	Page 161

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 :	Distribution géographique de l'algue <i>Sargassum muticum</i> dans sa région native au Japon et dans ses régions d'introduction en Amérique du Nord et en Europe (A). Etapes de propagation de la sargasse japonaise par décennie en Europe (B). (Engelen et al. 2015)	Page 10
Figure 2 :	Communes du littoral du Calvados concernées par les échouages d'algues. (Michel 2013)	Page 11
Figure 3 :	Site de Bernières-sur-Mer (Calvados) : échouages de fin d'été-début d'automne des différentes espèces d'algues dont la sargasse sur le haut de plage (A), vue rapprochée des algues échouées, les flèches indiquent des fragments de sargasse (B) (septembre 2019)	Page 12
Figure 4 :	Sargasses échouées aux pieds des bouchots à moules (A) et sur les tables à huîtres avec poches (B) ou vides (D), nettoyage des parcs avec une herse pour enlever les sargasses poussant au sein des parcs (C) sur les sites conchylicoles de Bricqueville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer (Manche)	Page 13
Figure 5 :	Barrages « sauvages » pour lutter contre les échouages printaniers de sargasse : rangée d'orins tendus entre des poteaux (A), avec des tables à huîtres retournées (B) – Sites de Bricqueville-sur-Mer et Gouville-sur-Mer.	Page 13
Figure 6 :	Axes de recherche du projet SNOTRA (divisés en Work Package).	Page 17
Figure 7 :	Morphologie de la sargasse japonaise (A). Partie inférieure d'un thalle de sargasse, la flèche indique son disque basal (B). Vue d'ensemble d'un rameau secondaire et de ses rameaux tertiaires, la flèche indique un rameau tertiaire (C). Vues rapprochées : la flèche indique un aérocyste (D), une pseudofeuille (E), un réceptacle (F).	Page 28
Figure 8 :	Juveniles (A). Sargasses développées, juin 2018 à Bricqueville-sur-Mer (B), avril 2019 à Grandcamp-Maisy (C). Rameaux dégradés nus (D). Partie pérenne sur son support (E).	Page 29
Figure 9 :	Divers supports mobiles : repousse d'un thalle de sargasse sur une coquille vide (A), jeunes pousses de sargasses sur un crabe <i>Pisa</i> sp. (B), sargasse échouée sur le sable avec son caillou (C).	Page 30
Figure 10 :	Localisation des 6 estrans d'étude du projet SNOTRA.	Page 31
Figure 11 :	Zone d'étude (en jaune) à Bricqueville-sur-Mer (A). Détail de la zone d'étude avec la délimitation des sous-zones (B). Plan d'échantillonnage effectué en 2018 à Bricqueville-sur-Mer (C).	Page 33
Figure 12 :	Prélèvements des sargasses effectués avec un quadrat d'1 m <sup>2</sup> .	Page 34
Figure 13 :	Suivi de la longueur et du poids des thalles de sargasse sur trois sites du littoral normand (les thalles adultes, les juvéniles et les parties pérennes sont pris en compte)	Page 36
Figure 14 :	Comptabilisation du nombre de rameaux supérieurs à 25 cm par thalle de sargasse, mesures effectuées sur des échantillonnages de sargasses adultes (juvéniles et parties pérennes non prises en compte) pendant la période optimale de développement (de mai à juillet) sur trois sites d'études	Page 39
Figure 15 :	Sargasse d'environ 5 mètres, échouée avec son support sur le sable à Gouville-sur-Mer en Juin 2017.	Page 40
Figure 16 :	Suivi de la densité de sargasse par m <sup>2</sup> sur trois sites du littoral normand (les thalles adultes, les juvéniles et les parties pérennes sont pris en compte).	Page 41
Figure 17 :	Période d'apparition des cônes de reproduction (orange pâle) et période de maturité des cônes de reproduction (en orange) observées sur les six sites d'étude de 2017 à 2019.	Page 43
Figure 18 :	Suivi du poids de sargasse par m <sup>2</sup> sur six sites du littoral normand (les thalles adultes, les juvéniles et les parties pérennes sont pris en compte).	Page 45
Figure 19 :	Variations de la biomasse maximale au sein d'un site d'une année à l'autre : décalage dans le cycle de développement (i), différence de faible amplitude entre les biomasses maximales atteintes (ii), différence de forte amplitude entre les biomasses maximales atteintes (iii).	Page 50
Figure 20 :	Barrage expérimental à Bricqueville-sur-Mer débarrassé d'une partie des sargasses échouées (juillet 2018).	Page 54
Figure 21 :	Suivi de la biomasse de sargasse échouée sur le barrage expérimental entre 2017 et 2019 à Bricqueville-sur-Mer.	Page 55
Figure 22 :	Délimitation des surfaces propices à la pousse de la sargasse sur les six sites étudiés. Bréville-sur-Mer (A), Bricqueville-sur-Mer (B), Agon-Coutainville (C), Gouville-sur-Mer (D), Grandcamp-Maisy (D), Bernières-sur-Mer (E).	Page 57
Figure 23 :	Linéaire des barrages à sargasse implantés à Bricqueville-sur-Mer. En vert le linéaire potentiellement impacté par les échouages de sargasse.	Page 58
Figure 24 :	Répartition de la sargasse à Bricqueville-sur-Mer : devant les parcs mytilicoles en juillet 2019 (A), au sein des parcs mytilicoles en mai 2019 (B).	Page 60
Figure 25 :	Trajets effectués lors des prospections réalisées dans la Manche.	Page 62
Figure 26 :	Tronçon Saint-Germain-sur-Ay à Surville : couloir (A), large cuvette ou mare (B), cuvette le long de blocs rocheux (C). Tronçon Portbail à Saint-Jean-de-la-Rivière : large cuvette (D). Les Moitiers-d'Allonne : platier découvert avec petites cuvettes (H)	Page 66
Figure 27 :	Tronçon Fermanville à Gouberville : estran sableux avec blocs rocheux (A), cuvette au sein de blocs rocheux (B), : estran sableux avec blocs rocheux subissant le ressac (C). Morsalines : estran sableux (D), sargasse échouée avec son support (E).	Page 67
Figure 28 :	Trajets effectués lors des prospections réalisées dans le Calvados.	Page 68
Figure 29 :	Grandcamp-Maisy : larges cuvettes (A), sargasses sur platier rocheux (B), champs de sargasses à découvert (C). Saint-Pierre-du-Mont : éboulis rocheux à l'aplomb des falaises (D), large plateau rocheux avec cuvettes, en surplomb de la mer (E). Saint-Honorine-des-Pertes : alternance de cuvettes (F). Graye-sur-Mer : large champ de pousse de sargasses sur platier rocheux (G). Langrune-sur-Mer : sargasses sur platier rocheux (H).	Page 70
Figure 30 :	Trajets effectués lors des prospections réalisées en Seine-Maritime.	Page 71
Figure 31 :	: Agencement des estrans en Seine-Maritime : estran sableux (A) ou estran avec un platier calcaire ou rocheux (B).	Page 72
Figure 32 :	Octeville-sur-Mer : plage de sable parsemée de blocs rocheux (A). Saint-Jouin-Bruneval : mare étendue de sargasse (B). Fécamp : platier rocheux avec rigoles (C) ou cuvettes (D) comportant de la sargasse.	Page 74
Figure 33 :	Veulettes-sur-Mer : haut platier rocheux hors d'eau (A). Saint-Valéry-en-Caux : platier rocheux hors d'eau à fucus, avec couloirs comportant de la sargasse (B). Saint-Aubin-sur-Mer : substrat sableux avec rochers (C). Dieppe : platier calcaire hors d'eau (D) se finissant en grands blocs rocheux en front de mer (E). Criel-sur-Mer : platier rocheux calcaire nu et hors d'eau en amont (F), platier recouvert de fucus en aval (G).	Page 75
Figure 34 :	Abondance de la sargasse sur les sites prospectés et sur les sites étudiés du littoral normand.	Page 76
Figure 35 :	Abondance de la sargasse et zones de récoltes identifiées sur le littoral normand.	Page 77
Figure 36 :	Première pêche expérimentale à Bricqueville-sur-Mer le 26 juin 2017. A droite : Coupe avec faucille et ramassage dans un sac. A gauche : La totalité de la récolte prête à être remontée.	Page 81

Figure 37 :	Pêches expérimentales à Grandcamp-Maisy les 18 juin 2019 (à droite) et 15 mai 2018 (à gauche). A droite : Coupe avec faucille et ramassage dans un panier. A gauche : Retour des paniers pleins vers la remorque	Page 81
Figure 38 :	Pêche sur le barrage de Bricqueville-sur-Mer le 18 mai 2018 avec faucille ou couteau et paniers.	Page 81
Figure 39 :	Pêche mécanisée du 21 mai 2019. En haut à droite : l'engin de coupe. En haut à gauche : le godet plein après une séance de coupe. En bas : une séance de coupe.	Page 82
Figure 40 :	Synthèse des résultats des récoltes expérimentales	Page 84
Figure 41 :	Composition biochimique de <i>Sargassum muticum</i> selon 2 sites d'études.	Page 93
Figure 42 :	Teneur des différents sucres présents chez <i>S. muticum</i> sur les sites de Bricqueville/mer et Bernières-sur-Mer	Page 94
Figure 43 :	Evolution de la teneur (en pourcentage par rapport à la matière sèche = %/MS) en composés d'intérêts présents chez <i>Sargassum muticum</i> entre 2017 et 2019 provenant du site de Bricqueville.	Page 95
Figure 44 :	Evolution et comparaisons des teneurs, exprimées en pourcentage par rapport à la matière sèche, en mannitol (A), acides uroniques (B), fucoidanes (C), laminaranes (D) et composés phénoliques (E) de 2017 à 2019.	Page 96
Figure 45 :	Représentation graphique de l'analyse statistique réalisée entre les années sur les teneurs moyennes des composés étudiés exprimés en pourcentage par rapport à la matière sèche : cendres (A), Mannitol (B), Fucoïdanes (C), Laminaranes (D), Composés phénoliques (E), acides uroniques (F).	Page 97
Figure 46 :	Evolution de la teneur moyenne (en %/MS) de chaque composé, cendres (A), mannitol (B), fucoïdanes (C), laminaranes (D), composés phénoliques (E), acides uroniques (F) pour tous les sites étudiés.	Page 100
Figure 47 :	Représentation graphique de l'analyse statistique réalisée pour la comparaison des teneurs en chaque composé étudié entre les deux départements de réalisation de l'étude (Calvados n=2 et Manche n=4).	Page 101
Figure 48 :	Plan d'expérience des extractions acides	Page 103
Figure 49 :	Graphique des effets principaux des paramètres étudiés pour la moyenne des rendements composés en fucoïdanes (A) et diagramme des interactions entre paramètres pour la moyenne des rendements composés en fucoïdanes (B)	Page 105
Figure 50 :	représentation de l'acide alginique (avant neutralisation) et de l'alginate (après neutralisation).	Page 110
Figure 51 :	Film réalisé à partir d'alginate de sargasses	Page 111
Figure 52 :	Force de rupture (A) et pente (B) des différents films réalisés.	Page 112
Figure 53 :	Représentation graphique de la perte de masse mesurée sur 21 jours	Page 114
Figure 54 :	Illustration du test pilote. A = cuve d'extraction, B = vidange de la cuve d'extraction, C = décanteur.	Page 115
Figure 55 :	Illustration de l'extrait (A) obtenu après extraction et séparation de la biomasse résiduelle (B).	Page 116
Figure 56 :	Composition biochimique en pourcentage de la matière sèche des extraits pilote obtenus en 2019.	Page 116
Figure 57 :	Quantités des composés obtenus à partir d'une tonne d'algues. Les quantités sont exprimés en kilogrammes.	Page 118
Figure 58 :	Représentation graphique des quantités (en milligramme par kilogrammes d'extrait sec) en sels minéraux présentes dans les extraits.	Page 118
Figure 59 :	Quantification des éléments présents dans les extraits produits au pilote en 2019, en milligramme par kilogramme d'extrait sec (les sels minéraux ne sont pas représentés dans cette figure)	Page 119
Figure 60 :	Quantité des composés d'intérêts obtenus à partir d'une tonne d'algue fraîche.	Page 120
Figure 61 :	Composition des extraits testés en bioactivités en 2019, les teneurs en composés sont exprimés en pourcentage par rapport à la matière sèche.	Page 124
Figure 62 :	Représentation graphique de l'activité des extraits produits en 2019 sur 5 tests réalisés à visée cosmétique.	Page 125
Figure 63 :	Représentation graphique de l'activité des extraits produits en 2019 sur 2 tests à visée antimicrobienne et un test de cicatrisation.	Page 127
Figure 64 :	Terrine en expérimentation	Page 133
Figure 65 :	Le module expérimental de soufflerie	Page 137
Figure 66 :	Pourcentage d'élongation de la radicelle de carotte	Page 139
Figure 67a :	Résultats sur la biomasse totale	Page 141
Figure 67b :	Pourcentage de levée	Page 141
Figure 68 :	Moyenne de la longueur racinaire de carotte sur la côte Ouest du Cotentin	Page 142
Figure 69 :	Développement racinaire des carottes entre la côte Ouest du Cotentin et le Val de Saire	Page 142
Figure 70 :	Suivi climatique de l'essai	Page 143
Figure 71 :	Parcelle de carottes le 06 septembre 2019	Page 144
Figure 72 :	Résultats du second essai	Page 146
Figure 73 :	Résultats des récoltes du 1er essai	Page 147
Figure 74 :	Résultats des récoltes du 2nd essai	Page 148
Figure 75 :	Photographie de la parcelle de poireau au 06/09/2019	Page 149
Figure 76 :	Répartition des calibres sur le poireau	Page 149
Figure 77 :	Poids des poireaux par calibre	Page 150
Figure 78 :	Photographie de la parcelle de chou-fleur au 15/10/2019	Page 151
Figure 79 :	Stade de développement par modalité	Page 151

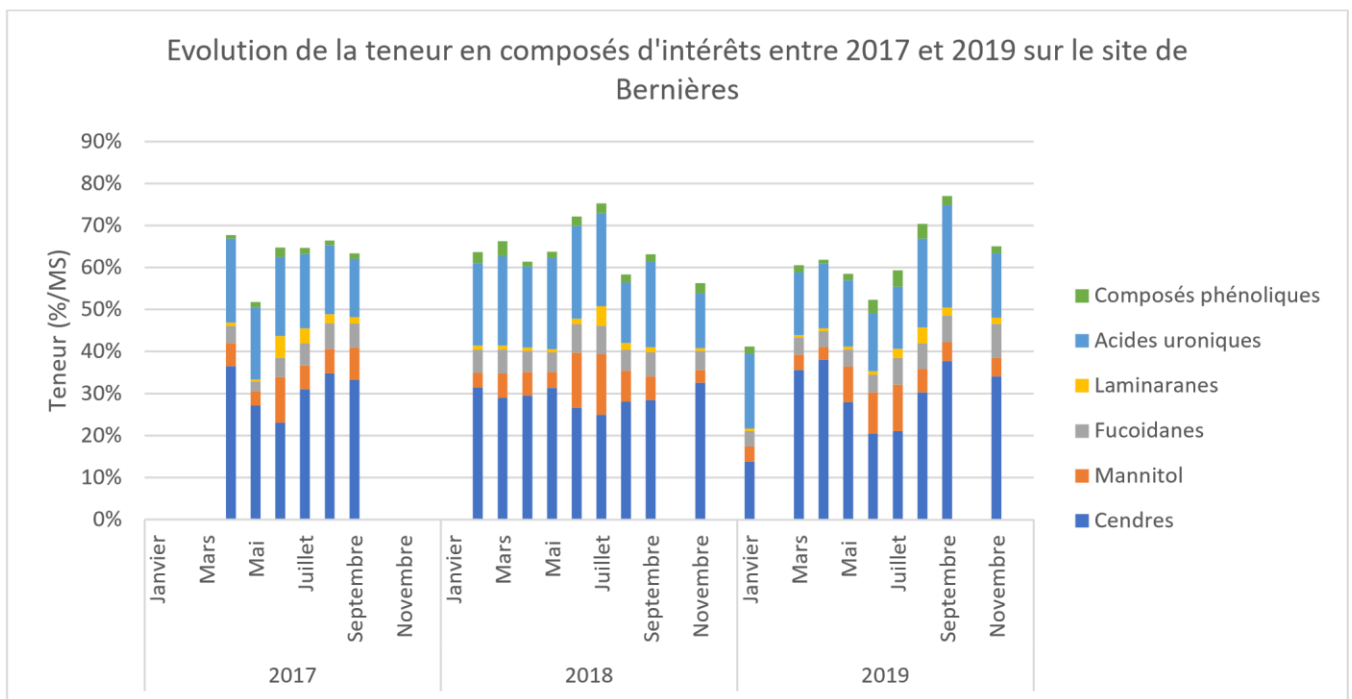
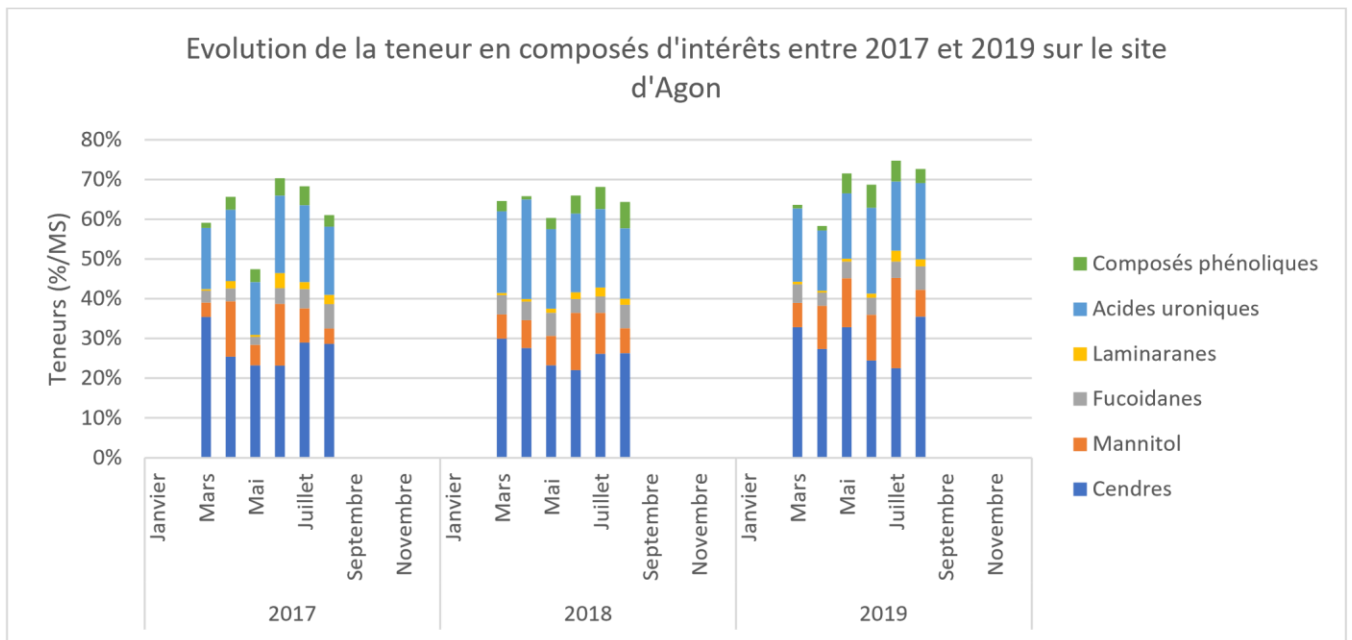
Figure 80 : Résultats à la récolte pour le chou-fleur.	Page 152
Figure 81 : Détails des résultats sur les tailles commerciales par modalité	Page 152
Figure 82 : Résumé des choux commerciaux par modalité	Page 153
Figure 83 : Photographie de la parcelle de salade au 09/09/2019	Page 154
Figure 84 : Stades de développement des salades en fonction des modalités.	Page 154
Figure 85 : Biomasses aérienne et racinaire des salades en fonction des modalités	Page 155
Figure 86 : Profil de la vitesse du vent appliqué à la soufflerie le 13/06/2019	Page 156
Figure 87 : Moyenne de la perte en masse par modalité	Page 156
Figure 88 : La pyramide volume valeur inversée.	Page 158
Figure 89 : Exemple possible de valorisation de la sargasse vers les biostimulants et sa valeur éventuelle.	Page 159
Figure 90 : Etat des connaissances sur la construction d'une filière algues en Normandie.	Page 162

# ANNEXES

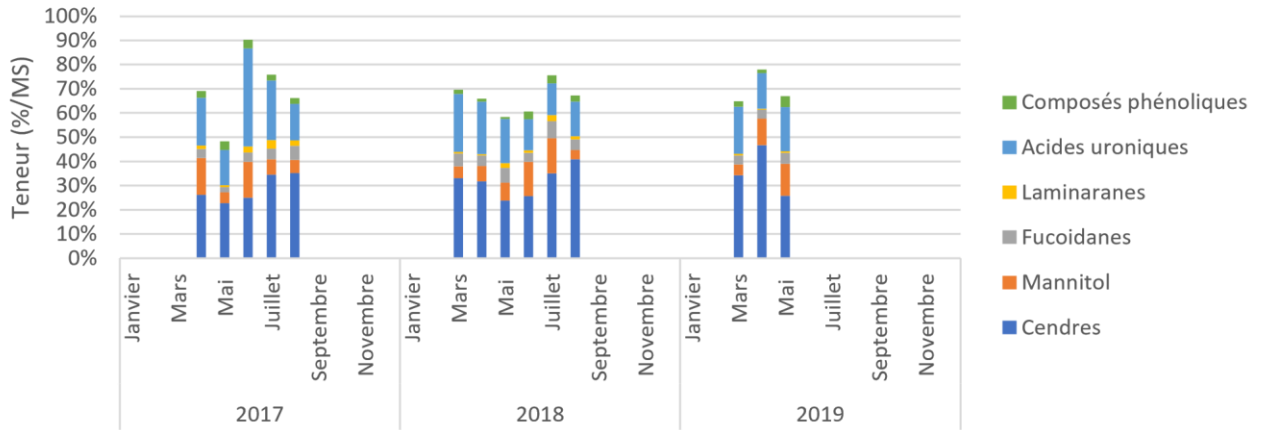
---



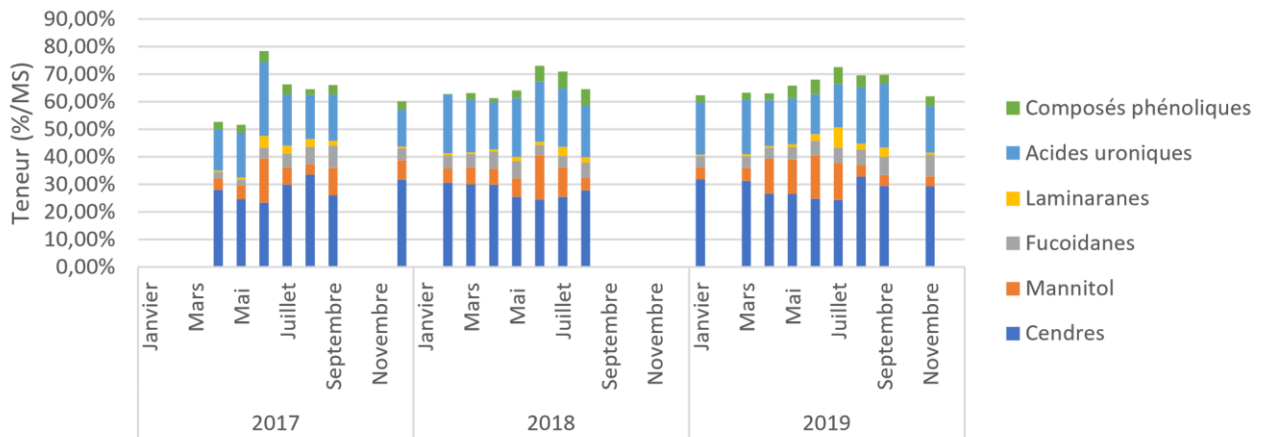
## ANNEXE 1 :



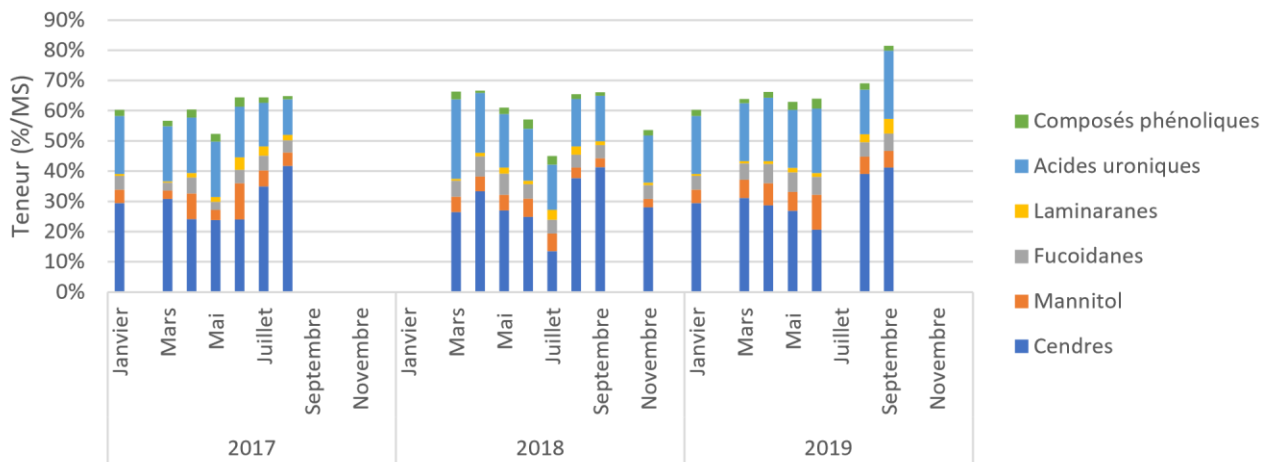
Evolution de la teneur en composés d'intérêts entre 2017 et 2019 sur le site de Brévilles



Evolution de la teneur en composés d'intérêts entre 2017 et 2019 sur le site de Gouville



Evolution de la teneur en composés d'intérêts entre 2017 et 2019 sur le site de Grandcamp

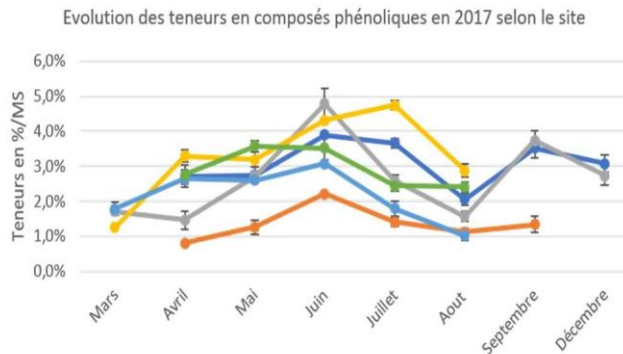
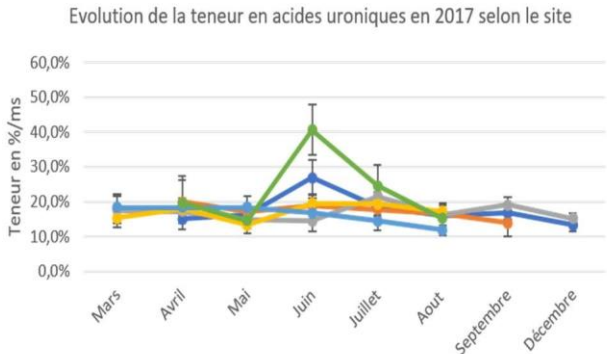
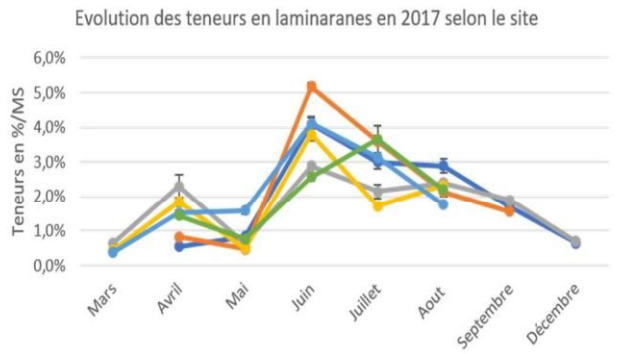
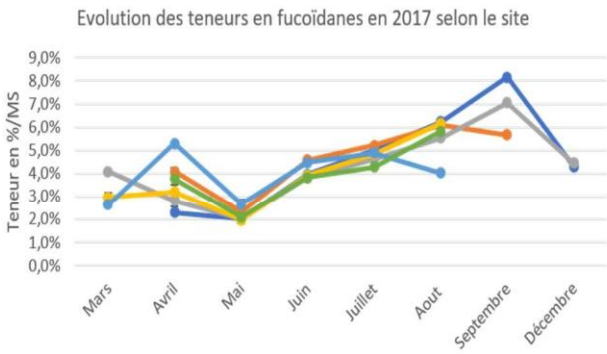
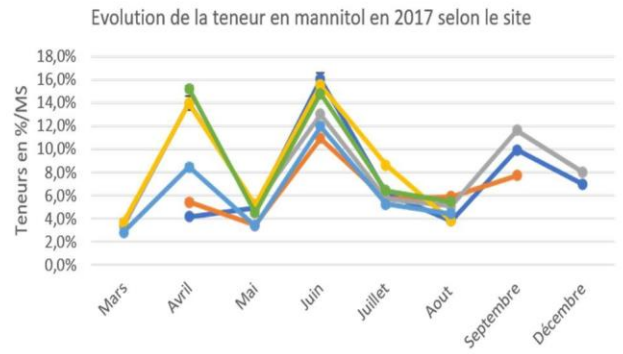
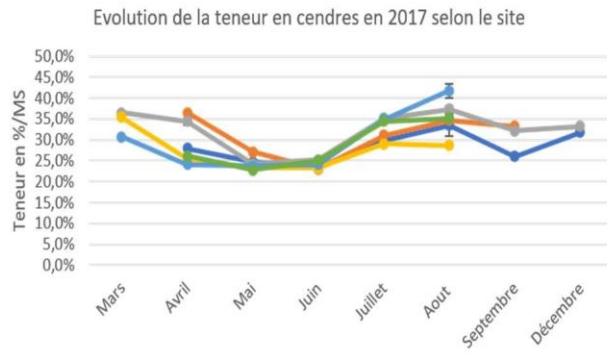


## ANNEXE 2 :

Evolution de chaque composé en 2018 selon le site.



## Evolution de chaque composé en 2017 selon le site.



● Gouville   
 ● Bernière   
 ● Bricqueville   
 ● Agon   
 ● Grandcamp   
 ● Bréville

## ANNEXE 3 :









*La sargasse japonaise (*Sargassum muticum*) est une espèce qui a été introduite en Europe dans les années 1970, dès lors, elle s'est répandue sur les côtes européennes atlantiques et méditerranéennes. Similairement au cycle de croissance de beaucoup de plantes terrestres, cette algue marine croît au printemps et atteint en moyenne 1 à 3 mètres de long (parfois plus), entraînant des gênes pour les activités liées à la mer dans les zones où elle est fortement présente. En Normandie, dans les zones à forte densité de sargasses japonaises on observe ainsi des échouages de cette algue en fin de printemps et début d'été sur les parcelles conchylicoles les plus externes, gênant physiquement pour l'entretien des bouchots à moules et des tables à huîtres et empêchant au bon développement de ces animaux.*

*Le projet SNOTRA, financé par l'Union Européenne (Fonds Européen pour l'Aquaculture Marine et la Pêche ou FEAMP), la région Normandie et le département de la Manche, s'appuie sur ces observations et sur une première étude réalisée au SMEL de 2014 à 2016 (projet SARGASSES) pour mettre en place des mesures de protections des parcelles externes touchées par ces échouages de sargasses, et en parallèle, pour identifier des voies de valorisation de la sargasse, notamment en agriculture maraîchère.*