

Etude de l'algue invasive Sargassum muticum en vue d'une exploitation et d'une valorisation en Normandie.



*Pien S.¹, Brebion J.², Jacquette J.M.³, .Rusig A.M.⁴,
Lefebvre V.¹, Dehail M.², Mussio I.⁴, Maine L.³.*

1. SMEL Synergie MER et Littoral (Blainville Sur Mer)
2. ALGANACT (Caen)
3. CRC : Comité Régional de la Conchyliculture
Normandie Mer du Nord (Gouville sur Mer)
4. Laboratoire BOREA (CAEN)

Responsable projet :

Sébastien Pien, SMEL Synergie MEr et Littoral (Blainville Sur Mer), spien@smel.fr

Rédaction :

Sébastien Pien, Vincent Lefebvre, SMEL Synergie MEr et Littoral (Blainville Sur Mer)

Jérémy Brebion, Marine Dehail, ALGANACT (Caen)

Jean Marc Jacquette, Loïc Maine, Comité Régional de la Conchyliculture Normandie Mer du Nord (Gouville sur Mer)

Anne Marie Rusig, Isabelle Mussio, laboratoire BOREA, Université de Caen (Caen)

L'équipe du projet SARGASSES

Sébastien Pien, Vincent Lefebvre, Suzy Moal, SMEL Synergie MEr et Littoral (Blainville Sur Mer)

Jérémy Brebion, Marine Dehail, Franck Hennequart, Benoit Quequeneur ALGANACT (Caen)

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

Anne Marie Rusig, Isabelle Mussio, laboratoire BOREA, Université de Caen (Caen)

Pour citer ce document

Pien, S., Brebion, J., Jacquette, J.M., Rusig, A.M., Lefebvre, V., Dehail, M., Mussion, I., Maine, L. (2016). Etude de l'algue invasive *Sargassum muticum* en vue d'une exploitation et d'une valorisation en Normandie. 56 pages.

Crédits photos :

SMEL, Synergie MEr et Littoral (Blainville sur Mer)

L'équipe SARGASSES tient à remercier les membres du comité de pilotage:

Aude Jouaux⁽¹⁾, Patrick Bosquet⁽²⁾, Bruno Potin⁽²⁾, Pierre-Marie Herbaux⁽²⁾, Pauline Boutteaux⁽³⁾, Olivier Richard⁽⁴⁾

Ainsi que les personnes qui nous ont aidés sur le projet:

Séverine Hennequart-Cruet⁽⁵⁾, Jean-Louis Blin⁽⁴⁾, Stéphanie Pétinay⁽⁴⁾, Bastien Nouar⁽⁴⁾.

1. Conseil Régional de Normandie
2. DDTM50
3. SILEBAN
4. SMEL
5. ALGANACT

Résumé

Débuté en 2014, le projet Sargasses a pour but d'évaluer la faisabilité technique et scientifique de la récolte de sargasses, algue invasive originaire du Japon, en vue d'une valorisation. Le site d'étude, Bricqueville sur Mer (Manche) est choisi pour l'importance du stock présent et les nuisances que cette algue occasionne sur l'activité mytilicole, très importante dans ce secteur.

L'étude sur l'estran s'est déroulée en deux grands chapitres. Le premier concerne le stock présent et récoltable directement sur l'estran. Sur les 3 km² impactés par la présence de cette algue, le stock estimé au plus fort de la croissance en fin de printemps est d'environ 2 000 tonnes, dont une grande proportion est récoltable. L'autre partie concerne la lutte pour préserver les élevages de moules par la construction de barrages pouvant capter les algues dérivantes. Un schéma d'implantation et un mode de gestion sont proposés à la fois aux professionnels et aux administratifs cherchant à protéger au mieux les élevages tout en laissant le libre accès aux usagers de l'estran. Au final, et même si certains points restent encore à travailler, les algues pêchées sur estran ou captées sur les barrages devront être la matière première d'une filière encore en devenir.

Cette filière devra reposer sur l'extraction de certains composés d'intérêt économique reconnu présent généralement dans les algues brunes. Il fallait déjà s'assurer que les sargasses normandes contenaient en quantités suffisantes ces composés, comme certains sucres. L'autre partie du travail était de calibrer la méthode d'extraction à la fois la plus performante et la moins coûteuse possible. Après avoir démontré ces algues avaient un réel potentiel de valorisation avec l'extraction possible de plusieurs de ces composés, une première approche de rendement économique place *S. muticum* à un niveau comparable à une autre algue brune bien connue; *A. nodosum*.

Summary

Started in 2014, the « Sargasses » project aimed to study the scientific and technical feasibility of harvesting the invasive brown seaweed *Sargassum muticum* in order to valorize it. One site was studied, Bricqueville sur Mer due to its important biomass arrivals and the problems for the mussel farming, well developed in this area.

Two parts were investigating during this study. The first one was to evaluate the available and harvestable stock of biomass. At the maximum, on the 3 km² of the studied area, the seaweed biomass was evaluated at around 2,000 tons. The other part, intended to study the possibility to implant barrier to stop the seaweed and protect the mussel farms. Moreover, the barrier design had to satisfy the legislative aspect and give an easy access to shell pickers. The seaweed, from the shore or picked by the barrier, should be the raw material of a future industry in Normandie.

This industry would be based on the extraction of some compounds known as potential high value product. The first objective of this study was to identify those compounds and quantify their content in the biomass. The valorisation process was based on defining the best compromise between extraction efficiency (yields) and production cost.

After a few trials on *Sargassum muticum* extracts, the potential added value of processing this seaweed had been shown to be close to *Ascophyllum nodosum*, an industrially used brown seaweed.

Mots clés

Sargasse, *Sargassum muticum*, espèce invasive, mytiliculture, moule, colonisation, algue brune, valorisation, extraction de composés.

I- Habitat et capacité de prolifération de <i>S. muticum</i>	13
II- Composés majoritaires des algues brunes.....	14
a) Alginates	15
b) Fucanes/Fucoïdanes	15
c) Laminaranes	16
d) Pigments.....	17
e) Les composés phénoliques.....	18
3) Activités biologiques des composés des algues brunes.....	19
a) Utilisation des algues et extraits d'algues	19
b) Alginates.....	20
c) Laminaranes	20
d) Fucoïdanes	21
e) Fucoxanthine.....	21
f) Composés phénoliques	21
4) Procédés d'extraction	22
a) Extraction des polysaccharides	22
b) Extraction des composés phénoliques	23
c) Méthode de prétraitement et extraction du genre <i>Sargassaceae</i>	24
<i>Caractéristiques générales de Sargassum muticum à Briqueville sur Mer (Manche).</i>	25
1- Généralités	25
2- Matériel et méthodes	26
a) Première phase	26
b) Deuxième phase	26
3- Résultats	27
a) Première phase	27
b) Deuxième phase	28
4- Conclusions.....	30
<i>SUIVI DES BARRAGES DE SARGASSES.</i>	32
1- Généralités	32
2- Matériel et méthodes	33
3- Résultats	34
a) Comparaison entre les années.....	34

b) Suivi mensuel	35
c) Capture par type de barrage	36
4- Conclusions.....	37
<i>Etude de valorisation de la biomasse.....</i>	<i>40</i>
I- Matériels et méthodes.....	40
1- Etude des variations de compositions des Sargasses en bassin.....	40
2- Etude des variations de composition en milieu naturel	40
3- Analyses biochimiques.....	41
4- Extraction des composés potentiellement actifs et extraits bruts.....	41
II- Résultats.....	42
1- Etude des variations de compositions des Sargasses en bassin.....	42
Matière inorganique	42
Mannitol	43
Fucoïdanes.....	43
Alginates	44
Laminaranes	45
Composés phénoliques.....	45
2- Etude des variations de compositions des Sargasses en milieu naturel.....	46
3- Tests d'extraction.....	49
4- Etude préliminaire de valorisation	51
III- Conclusion	53
DISCUSSION.	57
<i>Références.....</i>	<i>60</i>

Liste des figures

FIGURE 1 SARGASSUM MUTICUM ECHOUÉES SUR DES PARCS CONCHYLICOLES.....	12
FIGURE 2 A) STRUCTURE CHIMIQUE DES DEUX MONOMERES DE LA MOLECULE D'ALGINATE (DRAGET ET AL. 2005). B) STRUCTURE CHIMIQUE DES DEUX MONOMERES DE LA MOLECULE D'ALGINATE ET EXEMPLE D'UNE SEQUENCE GGMM (VAUCHEL 2007) ..	15
FIGURE 3 MODELE DE STRUCTURE CHIMIQUE DES FUCOÏDANES DE FUCUS VESICULOSUS SELON PATANKAR, 1993	16
FIGURE 4 MODELE DE STRUCTURE DES LAMINARANS (KELLY 2005)	17
FIGURE 5 STRUCTURE CHIMIQUE DE LA FUCOXANTHINE (PENG, 2011).....	17
FIGURE 6 STRUCTURE CHIMIQUE DU PHLOROGLUCINOL (A) ET FUCOL (B) (KOIVIKKO 2008).....	18
FIGURE 7 SCHEMA DU PROTOCOLE DE REFERENCE POUR L'EXTRACTION D'ALGINATES A PARTIR D'ALGUES(PAWAR & EDGAR 2012) .	23
FIGURE 8 : PLAN D'ECHANTILLONNAGE DES CADRATS ENTRE SEPTEMBRE 2015 ET AOUT 2016.	27
FIGURE 9 : EVOLUTION DU POIDS MOYEN DES SARGASSES ENTRE MARS ET JUILLET 2015, RESULTATS OBTENUS PAR LA 1ERE METHODE.	28
FIGURE 10 EVOLUTION DU POIDS MOYEN DE SARGASSES OBTENUS ENTRE SEPTEMBRE 2015 ET SEPTEMBRE 2016 PAR LA 2E METHODE.	28
FIGURE 11 NOMBRE MOYEN DE PIEDS ENTRE SEPTEMBRE 2015 ET SEPTEMBRE 2016.....	29
FIGURE 12 : PLAN D'ECHANTILLONNAGE EN AOUT 2016 (GAUCHE) ET MARS 2016 (DROITE).	31
FIGURE 13 : POSITIONNEMENT DES BARRAGES SUIVIS A BRICQUEVILLE SUR MER (MANCHE)	33
FIGURE 14 GEOMETRIE DES BARRAGES EXPERIMENTAUX.....	34
FIGURE 15 : ARRIVAGE ANNUEL PAR METRE LINEAIRE SUR LES BARRAGES HAUT ET MOYEN (OU EXPERIMENTAL) ESTRAN.....	35
FIGURE 16 : ARRIVAGES MENSUELS SUR LES BARRAGES.....	36
FIGURE 17 QUANTITE D'ALGUES ECHOUÉES SUR LES BARRAGES EN FONCTION DE LEUR GEOMETRIE	37
FIGURE 18 PHOTO DES CORDES RECOUVERTES ET ECRASEES PAR LES SARGASSES.....	38

FIGURE 19 VARIATION DE TENEUR EN MATIERE INORGANIQUE DANS LES SARGASSES EN BASSIN	42
FIGURE 20 VARIATION DE TENEUR EN MANNITOL DANS LES SARGASSES EN BASSIN	43
FIGURE 21 VARIATION DE TENEUR EN FUCOIDANES DANS LES SARGASSES EN BASSIN	44
FIGURE 22 VARIATION DE TENEUR EN ALGINATES DANS LES SARGASSES EN BASSIN	44
FIGURE 23 VARIATION DE TENEUR EN LAMINARANES DANS LES SARGASSES EN BASSIN	45
FIGURE 24 VARIATION DE TENEUR EN COMPOSES PHENOLIQUES DANS LES SARGASSES EN BASSIN	45
FIGURE 25 VARIATION SAISONNIERE DES COMPOSES DANS LA BIOMASSE EN 2015.....	46
FIGURE 26 COMPARAISON DE L'EVOLUTION DES COMPOSES DANS LA BIOMASSE ENTRE 2015 ET 2016	48
FIGURE 27 TAUX DE COMPOSES PHENOLIQUES DANS LA BIOMASSE EN FONCTION DES SOLVANTS D'EXTRACTION	49
FIGURE 28 RENDEMENTS D'EXTRACTION TOTAUX EN FONCTION DES PROTOCOLES UTILISES.....	50
FIGURE 29 RENDEMENTS D'EXTRACTION DE DIFFERENTS COMPOSES EN FONCTION DES PROTOCOLES UTILISES	51
FIGURE 30 COMPARAISON DU POTENTIEL DE VALORISATION DE DIFFERENTES ESPECES D'ALGUES BRUNES	52
FIGURE 31: TEST DE CYTOTOXICITE D'UN EXTRAIT DE SARGASSES (SM) ET D'ASCOPHYLLUM (AN) SUR LIGNEE PRIMAIRE DE FIBROBLASTES.	56
FIGURE 32 : LE BARRAGE A SARGASSES DE BRICQUEVILLE SUR MER EN JUILLET 2016 (@SMEL).....	59

Liste des tableaux

TABEAU 1 : ESTIMATION DES BIOMASSES SUR L'ESTRAN ENTRE COUDEVILLE ET BRICQUEVILLE SUR MER (MANCHE).....	30
TABEAU 2 PARAMETRES CONTROLES POUR LA CROISSANCE DES SARGASSES EN BASSIN	40
TABEAU 3 SELS MINERAUX ET METAUX LOURDS DANS LA BIOMASSE	47
TABEAU 4 RENDEMENTS D'EXTRACTION ET CHIFFRE D'AFFAIRE POTENTIEL DE LA VALORISATION DES SARGASSES	52
TABEAU 5: CONCENTRATIONS DE PROSTAGLANDINES ENTRE SARGASSES ET ASCOPHYLLUM	54

INTRODUCTION

L'algue *Sargassum muticum* est arrivée sur les côtes de la Manche dans les années 1970 avec l'importation de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Depuis, la sargasse n'a cessé de proliférer partout en Europe, de la Norvège au Portugal, occasionnant des gênes dans certains secteurs économiques comme la pêche, l'aquaculture ou le tourisme.

La France n'échappe pas à ce phénomène qui touche toutes les régions en métropole, de l'étang de Thau à la frontière belge et elle est aujourd'hui considérée comme une espèce invasive (Cf. DCSMM Descripteur 2) dans le cadre de la Directive Cadre de Stratégie pour le milieu marin au même titre que la crépidule et la wakamé. Le phénomène est encore plus inquiétant ces dernières années en Outre-Mer, et plus particulièrement aux Antilles, où les sargasses échouent par milliers de tonnes sur les plages et occasionnent des pertes économiques considérables, notamment dans le secteur touristique, premier secteur d'activités de ces îles.

En Normandie, même si l'impact économique n'est pas comparable avec les Antilles, l'invasion en fin de printemps de ces algues sur l'estran a de nombreuses conséquences dans plusieurs domaines d'activités. Dans l'Ouest Cotentin, entre Granville et le havre de la Sienne, l'une des activités économiques d'importance est la mytiliculture. Or, depuis une quinzaine d'années, l'invasion printanière des sargasses sur les parcs mytilicoles provoque des dégâts sur les élevages. L'une de ces gênes occasionnées est que l'accumulation des sargasses au pied des parcs mytilicoles forme un barrage qui limite la circulation de l'eau et donc l'approvisionnement en alimentation pour les mollusques. L'autre grand problème est que l'accumulation d'algues au pied des bouchots forme une échelle pour les prédateurs en rendant inopérant les installations de lutte contre ces nuisibles (« tahitiennes » en pied de pieu). Enfin, les algues s'enroulent autour des pieux ou des cordes installées sur les chantiers à moules à cette période et arrachent les moules commercialisables des



Figure 1 *Sargassum muticum* échouées sur des parcs conchylicoles

pieux ou les naissains présents sur les chantiers. Au total, les pertes peuvent être très importantes si les professionnels ne font rien pour se préserver de ces agressions. Dans une moindre mesure, l'ostréiculture est également impactée par l'arrivée massive des sargasses sur les parcs ostréicoles en recouvrant les poches à huîtres en début d'été. Outre limiter l'accès au phytoplancton pour les huîtres, les algues favorisent le retournement des tables à huîtres en cas de coup de vent.

Depuis, les mytiliculteurs ont installé des structures, appelées barrages, afin de protéger leur production. Cependant, ces structures sont installées sur le domaine public maritime, sans autorisation. Toutefois, après demande auprès des autorités compétentes, la profession mytilicole pourrait régulariser ces barrages sous certaines conditions.

I- Habitat et capacité de prolifération de *S. muticum*

L'algue *Sargassum muticum* est une macroalgue brune de grande taille appartenant taxonomiquement à la classe des Phéophycées, à l'ordre des Fucales et à la famille des *Sargassaceae* (Belsher & Pommellec 1988). Elle se compose d'une partie pérenne de quelques centimètres et d'une partie annuelle pouvant atteindre jusqu'à 5-6m. Elle se fixe sur des substrats solides en place ou mobiles tels que rochers, cailloux, et coquillages. Elle est généralement retrouvée dans des habitats abrités à semi exposés, sableux, au niveau de l'étage médiolittoral inférieur jusqu'à l'infralittoral. Il est cependant possible de la retrouver plus haut sur l'estran à l'intérieur de cuvettes, où l'eau subsiste à marée basse. Comme les autres fucales présentes à ces étages, elle subit le rythme d'immersion et d'émersion des marées, s'exposant périodiquement aux facteurs abiotiques comme les rayonnements UV, les variations de températures (eau et air) et de salinité. *Sargassum muticum* peut ainsi supporter des variations de températures allant de 7 à 30°C, avec un optimum situé entre de 17 à 20°C. Elle résiste à des valeurs de salinités comprises entre 24 et 35‰ (Belsher & Pommellec 1988). En plus de cette forte capacité d'adaptation, d'autres facteurs biotiques et abiotiques peuvent expliquer la rapide prolifération de *Sargassum muticum* sur les nouvelles zones d'implantation :

- Capacité de dispersion : l'algue possède deux possibilités pour coloniser de nouveaux espaces : elle peut produire des zygotes (reproduction sexuée) mais peut aussi régénérer un nouvel individu à partir d'un simple fragment de thalle (reproduction végétative) (Loraine 1989).

- Forts taux de croissance et de fécondité (Plouguerné et al. 2012) (Plouguerné et al. 2006): dans les nouvelles zones d'implantation, les thalles au printemps peuvent avoir une vitesse de croissance allant jusqu'à plus de 4 cm par jour (Belsher & Pommellec 1988). En comparaison, l'algue

pérenne *Fucus vesiculosus* présente une vitesse de croissance d'environ 16 cm par an en Angleterre (Knight & Parke 1950).

-Résistance à l'enfouissement : les parties pérennes supportent très bien les séjours prolongés à l'obscurité. Cela peut être le cas l'hiver lorsque le substrat de l'algue est enfoui sous le sable.

-Manque de prédateurs : d'après l'étude de Cacabelos *et al.* en 2010 (Cacabelos et al. 2010), la sargasse est l'algue la moins appréciée par les brouteurs ; le gastéropode *Littorina littorea* lui préférera l'algue verte *Ulva lactuca*.

Cette stratégie de reproduction, cette rapidité de croissance couplée à l'absence de prédateurs font de *Sargassum muticum* une algue qu'il est difficile d'éradiquer. Des nombreux tests en ce sens, notamment en Grande Bretagne, se sont soldés par des échecs. Toutes ces propriétés en font une algue à forte capacité d'adaptation et sont à rapprocher du fait qu'elle ait trouvé les conditions favorables à sa prolifération sur les côtes européennes et en Normandie en particulier.

II- Composés majoritaires des algues brunes

Sans prendre en considération les produits métaboliques, les algues brunes contiennent des sucres de faible poids moléculaire :

- D-mannitol, sucre alcool ayant un rôle osmorégulateur, pouvant atteindre jusqu'à 25 % de la matière sèche de certaines espèces de Laminaires en automne (Zubia et al. 2008),

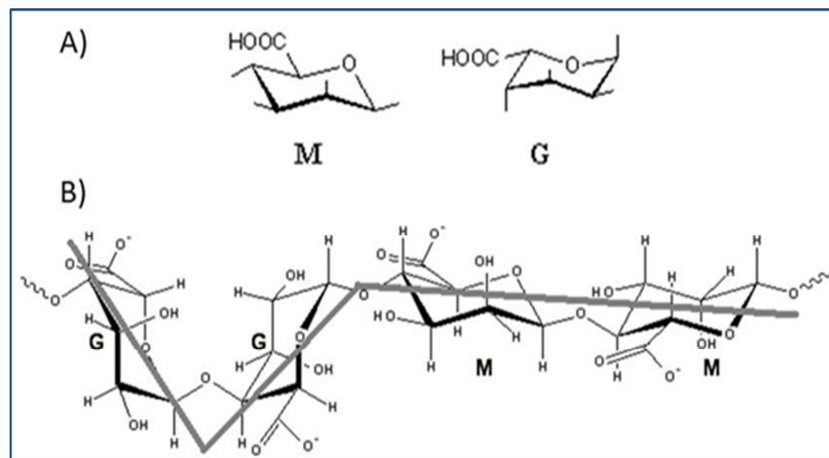
-Volémitol, un heptaose identifié dans *Pelvetia canaliculata* (Pfetzing et al. 2000).

D'autres formes saccharidiques ont également été identifiées ; le Mannitol-glucopyranosides dans toutes les algues brunes ou le Méthylinositol et laminitol dans *Laminaria hyperborea* (Percival & McDowell 1968).

En raison de leur habitat (eau salée, croissance sur les rochers), les algues brunes sont particulièrement riches en différents micronutriments et surtout en différents cations divalents (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , etc..).

a) Alginates

Les algues brunes contiennent également des alginates (acides alginiques), polysaccharides de structure, pouvant constituer 4 à 40% du poids sec de l'algue (Percival & McDowell 1968). L'alginate est un polymère linéaire composé de deux acides uroniques (épimères en C5), l'acide β -D-mannuronique (M) et l'acide α -L-guluronique (G), liés par des liaisons β 1-4 (McHugh 2003) (Figure 2).



Ils sont le composant principal des parois cellulaires, et jouent un rôle important tant structurellement et à des fins d'échanges d'ions *in vivo*, que fonctionnellement dans le ralentissement de la dessiccation lorsque les algues sont exposées à l'air (Kloareg & Quatrano 1988).

b) Fucanes/Fucoïdanes

Les fucoïdanes (Figure 3) sont des polysaccharides sulfatés de structure, retrouvés dans la paroi cellulaire des algues brunes et chez quelques invertébrés marins (Li et al. 2008), tels que le concombre de mer (Ribeiro et al. 1994) ou l'oursin (Mulloy et al. 1994). Il s'agit de polymères de fucose et d'esters de sulfate, et de nombreuses structures différentes ont été reportées (Holtkamp et al. 2009; Ale et al. 2011; Ale & Meyer 2013; Li et al. 2008; Patankar et al. 1993). Chez *S. muticum*, le rapport molaire entre les constituants majeurs (Fucose : Galactose : Glucose : Xylose : Mannose)

est équivalent à 1 : 0,63 : 0,04 : 0,24 : 0,12 respectivement (algues récoltées en juin 2010) (Balboa et al. 2012).

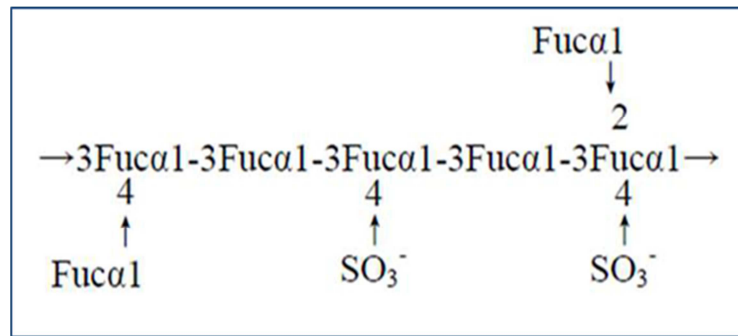


Figure 3 Modèle de structure chimique des fucoïdanes de *Fucus vesiculosus* selon Patankar, 1993

La composition des fucoïdanes varie selon les espèces (Percival & McDowell 1968), le procédé d'extraction (Mabeau et al. 1990), ainsi que la saison de récolte et la localisation (Honya et al. 1999). La composition en fucoïdanes est également dépendante de facteurs biotiques et abiotiques tels que la température, la latitude et l'organe de l'algue étudié (Kim et al. 2000). Selon les fluctuations saisonnières, les fucoïdanes peuvent représenter entre 5 et 20% de la masse sèche de l'algue. Le rôle des fucoïdanes chez les algues brunes est encore mal connu. Cependant, les fucoïdanes possèdent des propriétés hygroscopiques permettant probablement à l'algue de résister à la dessiccation, fréquente lors des périodes d'émersions et caractéristique de la zone de balancement des marées. Cela pourrait donc expliquer les concentrations plus importantes en fucoïdanes retrouvées chez les fucales et notamment en période estivale (Percival & McDowell 1968).

c) Laminaranes

Les laminaranes, initialement appelé « laminarines », ont été isolées pour la première fois par Schmiedeberg en 1885. Il s'agit de polysaccharides de stockage retrouvés dans les plastes des algues brunes et qui constituent leur réserve glucidique (Percival & McDowell 1968). Le contenu en laminaranes représente de 2 à 34 % du poids sec de l'algue selon les espèces, la saison et la localisation.

Leur structure est plus simple que le fucoïdane et a été élucidée (Figure 4). Il s'agit d'un polymère linéaire de glucose avec des liaisons glycosidiques en β -1,3. On retrouve cependant quelques structures ramifiées en β -1,6 dans certaines espèces (Percival & McDowell 1968).

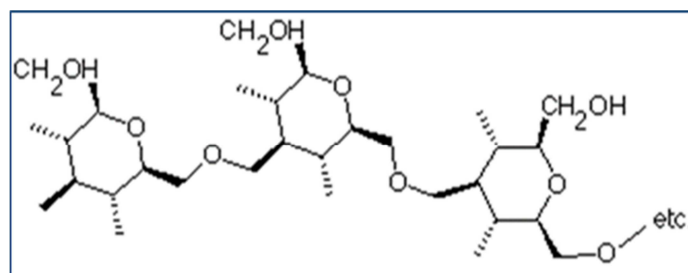


Figure 4 Modèle de structure des laminarans (Kelly 2005)

Des différences dans la composition, la structure et la taille des laminaranes ont été identifiées dans les fractions extraites de diverses sources algales.

d) Pigments

Les algues brunes contiennent de nombreux pigments photosynthétiques tels que la chlorophylle a et c, le β -carotène, les xanthophylles dont la fucoxanthine (Figure 5).

Ce dernier est le pigment le plus étudié chez *Sargassum muticum*. C'est un caroténoïde de la famille des xanthophylles, de couleur brun-orangé ayant pour rôle la photoprotection (Peng et al. 2011). Appartenant aux complexes pigments-protéines, la fucoxanthine assure la collecte de l'énergie chez les algues brunes (Martino et al. 2000).

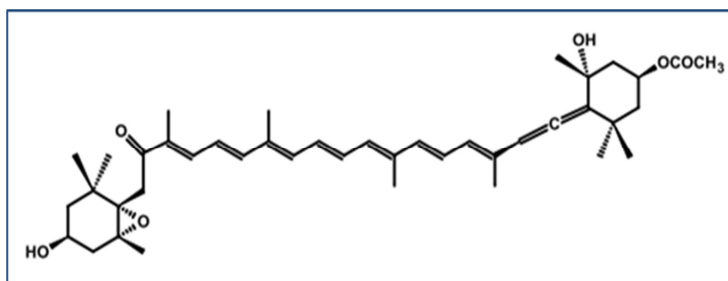


Figure 5 Structure chimique de la fucoxanthine (Peng, 2011)

e) Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires (*i.e* n'intervenant pas dans les fonctions primaires de la plante : photosynthèse, respiration...) et regroupent un vaste ensemble de substances chimiques comprenant au moins un noyau aromatique, et un ou plusieurs groupes hydroxyle, en plus d'autres constituants (Salunkhe, 1990). Les composés phénoliques des algues brunes sont des polymères de phloroglucinol (1,3,5-trihydroxybenzene) (Figure 6).

Les algues brunes produisent deux types de composés phénoliques :

- ✓ Les composés phénoliques sécrétés, comprenant les bromophénols (composés halogénés)
- ✓ Les composés phénoliques stockés, comprenant les phlorotanins, des fucols, des phloréthols, des fucophloréthols, des éckols (différentes liaisons entre les monomères de phloroglucinol) (Ragan & Glombitza 1986).

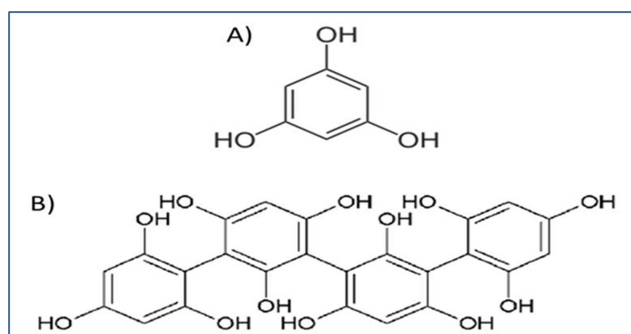


Figure 6 Structure chimique du phloroglucinol (A) et fucol (B)
(Koivikko 2008)

Les algues brunes concentrent en général entre 0 et 20% de la masse sèche de l'algue en composés phénoliques (Targett & Boettcher 1995). D'après Le Lann et al. (2009), la taille majoritaire des composés de l'algue *Sargassum muticum* se situe entre moins de 2 kDaltons et 14 kDaltons.

Les phlorotanins agissent comme défense chimique contre les facteurs abiotiques comme les UV, et les facteurs biotiques en inhibant le développement des épiphytes et en stoppant l'installation des brouteurs (Tanniou et al. 2013). En raison de ces fonctions, plusieurs facteurs écophysologiques

(espèce, saison, localisation géographique, conditionnement...) entrent en jeu dans la composition et dans la teneur en composés phénoliques chez les algues brunes (Connan et al. 2004).

Les variations saisonnières et inter-espèces affectant la structure et la composition des polysaccharides des algues marines, ce sont des paramètres à prendre en considération lorsqu'il s'agit de récolter des algues à des fins de recherche scientifique et industrielle.

3) Activités biologiques des composés des algues brunes

a) Utilisation des algues et extraits d'algues

L'utilisation des algues est assez répandue et diversifiée et les plus anciennes preuves d'utilisation, comme nourriture ou médecine naturelle, remontent à 14 000 Av JC (Dillehay et al. 2008).

Une des principales applications des algues dans le monde est en horticulture pour la production de plantes/fruits/légumes, où les algues et les extraits d'algues sont utilisés comme conditionneurs de sols, réservoirs de minéraux et, plus récemment, biostimulants des plantes. Les espèces d'algues principalement utilisées pour ce type d'application sont *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria sp*, *Ecklonia maxima*, *Macrocystis pyriphera* et *Lessonia sp* (McHugh, 2003).

L'alimentation est un autre domaine d'utilisation des algues. Sur le marché asiatique, la valeur du secteur alimentaire à base d'algues est d'environ 6 milliards de dollars par an, avec des utilisations principalement pour la production de sushis et de légumes de la mer (Tseng & Fei 1987).

Un des principaux usages commerciaux des algues a été pendant longtemps leur utilisation comme matières premières pour la production de colloïdes ; les colloïdes sont des polysaccharides de structure comme les alginates, les agars et les carraghénanes extraits d'algues et utilisés comme stabilisateurs et/ou agents épaississants dans de nombreux domaines tels que l'alimentation, les boissons, les peintures et les produits cosmétiques (Bixler & Porse 2010).

Les produits cosmétiques et les produits de Spa sont un autre secteur en croissance dans lequel les algues sont de plus en plus utilisées, soit sous leur forme native entière soit sous une

forme d'extrait aqueux ou à partir de solvants compatibles avec une application cosmétique. Cependant, la majorité de ces produits contenant de faibles quantités de matières premières, ce secteur reste en réalité un marché niche (McHugh, 2003).

L'utilisation des algues dans la production d'aliments naturels et d'aliments pour la santé des animaux et des humains est un autre créneau récent et à haute valeur ajoutée.

b) Alginates

Les alginates sont des hydrocolloïdes utilisés dans différents secteurs (industries alimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques, biotechnologie), comme agents gélifiants, épaississants ou stabilisants et émulsifiants (Hernandez-Carmona et al. 2000). Comme mentionné précédemment, l'utilisation des alginates comme ingrédient alimentaire épaississant reste le principal marché commercial pour les extraits d'algues. Mais les alginates ont également des propriétés bioactives intéressantes et bénéfiques pour la santé grâce à leurs propriétés gélifiantes, utiles dans le cas de la diffusion médicamenteuse (Hampson et al. 2005; Dettmar et al. 2011) ou dans la gestion du cholestérol (Brownlee et al. 2005). Les alginates ont également récemment trouvé une application en tant qu'hydrogels pour traiter des plaies chroniques, grâce à leur fonction antibactérienne et à leur activité stimulant la cicatrisation des plaies.

c) Laminaranes

Différentes bioactivités ont été identifiées pour les laminaranes. Des effets immunomodulateurs ont été rapportés sur les macrophages du rein antérieur chez le saumon (Dalmo & Seljelid 1995). Chez les plantes, les laminaranes ont été identifiés comme des éliciteurs des réactions de défense, en particulier le laminaripentaose (Klarzynski et al. 2000). Parmi les activités biologiques testées sur des cellules humaines, des effets anti-coagulant (Miao et al, 1999), stimulant du système immunitaire et cytotoxique sur cellules tumorales ont également été rapportés (Nagaoka et al, 2000).

d) Fucoïdanes

Les fucoïdanes sont étudiés depuis de nombreuses années et plusieurs activités biologiques ont été démontrées. Cependant une grande partie des études réalisées jusqu'à présent souffre d'un manque de caractérisation des extraits testés et du peu de renseignements donnés sur les méthodes d'extraction utilisées (Li et al. 2008). L'activité anticoagulante des fucoïdanes extraits d'espèces différentes d'algues brunes est de loin la plus étudiée des activités rapportées pour les fucoïdanes (Nishino & Nagumo 1987; Cumashi et al. 2007; Chandia & Matsuhira 2008). Parmi les autres activités biologiques, des activités antivirales ont également été rapportées (Adhikari et al, 2006), ainsi que des activités antioxydantes (Sellim et al, 2014), anti-inflammatoires (Boisson-Vidal et al, 1995), anti-angiogéniques (Cumashi et al, 2007), inhibitrices de la liaison du sperme à l'oviducte (Gaboriau et al. 2007) et de potentielles propriétés anti-cancer ((Foley et al. 2011); Zhang et al, 2013).

e) Fucoxanthine

De nombreuses activités biologiques ont été décrites pour la fucoxanthine. Ainsi, plusieurs articles scientifiques font état de l'activité antioxydante de la fucoxanthine (Peng, 2011). De plus, un effet inhibiteur de la fucoxanthine contre certaines cellules tumorales telles que les cellules HL-60 (Human Leukemia cell line) (Kumar et al. 2013), ou des cellules de cancer de la prostate (Kotake-Nara et al. 2001) a été montré.

f) Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont remarquables pour leur activité antioxydante. Connan et al. en 2006 ont en effet démontré une corrélation entre l'accumulation de composés phénoliques dans les tissus algaux et l'activité antioxydante de l'extrait de *Sargassum muticum*. Une activité antibactérienne d'un extrait de composés phénoliques de *Sargassum muticum*, inhibant plus de 50% des bactéries telles que *Vibrio aestuarianus* et *Vibrio anguillarum* a également été montré (Tanniou et al. 2013). Un extrait de *S. muticum* a démontré une activité antifouling par son activité inhibitrice de l'activité phénoloxydase, enzyme impliquée dans la formation du byssus de la moule *Mytilus edulis* (Hellio et al. 2000). Il a également été montré un effet protecteur des substances phénoliques extraites d'algues contre le stress oxydatif sur des lignées de cellules hépatiques humaines. En plus de leurs puissantes propriétés antioxydantes, les composés phénoliques des algues possèdent des propriétés antivirales (Kwon et al. 2013) et potentiellement anti-tumorales (Wang et al, 2013).

Ainsi, depuis de nombreuses années, de nombreuses activités biologiques ont été démontrées pour différents composés extraits d'algues (Holdt & Kraan 2011). Cependant, pour certains composés, en particulier les sucres, une grande partie des études réalisées souffre d'un manque de caractérisation des extraits testés et du peu de renseignements donnés sur les méthodes d'extraction utilisées.

4) Procédés d'extraction

Le choix du procédé d'extraction approprié est un facteur très important dans les approches pour déterminer les structures, les types, la diversité et la variation saisonnière des composés biochimiques et des biomolécules présentes dans les algues. Le développement et l'optimisation de protocoles d'extraction est une tâche difficile. En effet, le processus d'extraction idéal devrait permettre une extraction maximale des composés désirés sans affecter (ou au moins avoir un effet minimal sur) la structure native des composés ciblés, et permettre la conservation des activités biologiques de ces composés.

a) Extraction des polysaccharides

L'extraction de fractions enrichies en polysaccharides ou de polysaccharides purifiés des algues, sous une forme qui ressemble à leur composition et leur structure natives demeure encore un défi important, plus particulièrement dans le cas de l'extraction de fucoïdanes. De nombreux protocoles d'extraction différents ont été testés sur des espèces d'algues différentes pour l'extraction des polysaccharides (y compris les fucoïdanes), ce qui entraîne souvent des rendements d'extraction différents et donne fréquemment des produits finaux différents en termes de composition et de taille. Marcel Tudor Ale et Anne Meyer ont récemment publié (2013) un résumé de l'histoire de l'extraction de fucoïdane entre 1913 (première extraction par Killing) et 1952 (extraction acide à chaud réalisée par Black (Black et al. 1952), qui est encore la méthode de référence, utilisée pour extraire la principale source commerciale de fucoïdane). La composition de la source commerciale actuellement disponible consiste en 44,1 % de fucose, 26,3 % de sulfates et 31,1 % de cendres (Nishino et al. 1994). Plus récemment, des protocoles alternatifs ont été développés mais les produits obtenus sont très hétérogènes entre les méthodes d'extraction, voire même pour une seule méthode appliquée à la même espèce. Il est également très difficile de comparer les techniques et méthodes en raison de la combinaison des variations entre les espèces (Holtkamp et

al. 2009), des variations saisonnières (Rioux et al. 2009), de la localisation environnementale (O'Connell 2008) et du protocole d'extraction utilisé (Ale & Meyer 2013).

En ce qui concerne l'extraction d'alginate, ces polysaccharides ayant été commercialisés depuis de nombreuses années, une méthode de référence a été établie pour optimiser les rendements (Figure 7).

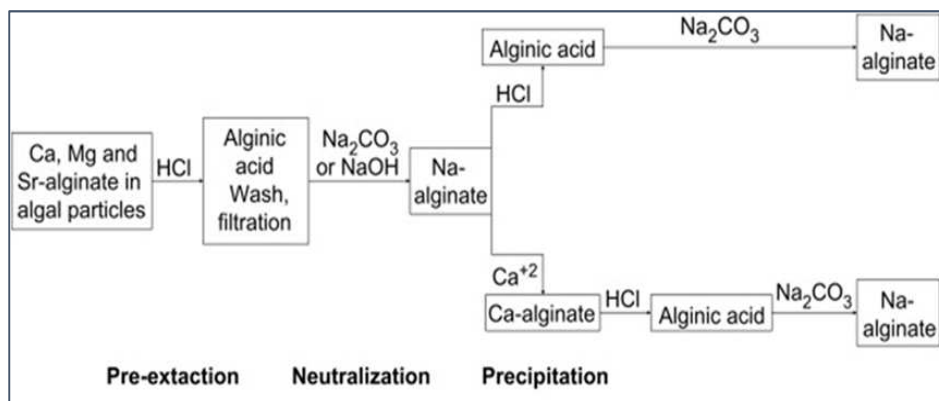


Figure 7 Schéma du protocole de référence pour l'extraction d'alginate à partir d'algues (Pawar & Edgar 2012)

Enfin, l'extraction des laminaranes consiste en une méthodologie des plus élémentaires. Le laminarane étant probablement le plus soluble des polysaccharides présents dans les algues brunes, une extraction à l'eau à température ambiante (« à froid ») est généralement suffisante pour extraire la forme soluble de laminarane. Un procédé d'extraction à chaud permet l'extraction des deux formes de laminaranes, dont une va précipiter lorsque la solution refroidit (Elyakova et al. 1995).

b) Extraction des composés phénoliques

Les méthodes utilisées pour extraire les tanins, de quelque matière végétale que ce soit, sont extrêmement variables (Hagerman 1988). Les solvants couramment utilisés pour extraire les phlorotannins de *F. vesiculosus* sont des mélanges aqueux d'éthanol et d'acétone (Ragan & Glombitza 1986). Les phlorotannins libres étant très sujets à l'oxydation rapide, les phlorotannins extraits sont traités avec un mélange d'anhydride acétique-pyridine (Glombitza & Pauli 2003), du disulfite de potassium (Keusgen & Glombitza 1997) ou de l'acide ascorbique (Shuyun & Jay-Allemand 1991) pour les protéger de l'oxydation. Plus récemment, une méthode d'extraction a été développée

qui utilise le méthanol/eau comme solvant pour extraire les composés phénoliques totaux d'algues fraîches, après broyage ou pulvérisation de la biomasse en azote liquide (Connan et al. 2004).

c) Méthode de prétraitement et extraction du genre *Sargassaceae*

Parmi les pré-traitements couramment utilisés, il est possible de citer le séchage en étuve (50°C), la lyophilisation, la congélation ou encore l'utilisation d'algues fraîches. Le séchage en étuve à 50°C ou 60°C possède le désavantage de dégrader certains composés, c'est le cas par exemple avec les composés phénoliques (Ragan & Glombitza 1986). Tanniou (Tanniou et al. 2013) ont comparé les méthodes de conditionnement des algues au préalable pour la caractérisation des composés phénoliques. Cinq méthodes ont été mises à l'épreuve : la congélation, le séchage à l'air, le séchage en étuve, la déshydratation sur gel de silice et la lyophilisation. Finalement, c'est la lyophilisation qui a été retenue car elle permet une bonne conservation des composés phénoliques et permet un stockage des algues plus optimal.

D'une manière générale et dans le cas des *Sargassaceae* en particulier, les méthodes de pré-traitement et d'extraction des algues diffèrent selon les publications et selon les activités recherchées. Il est ainsi difficile de comparer toutes ces données et d'évaluer une meilleure méthode par rapport à une autre, simplement parce que les rendements d'extraction ne sont jamais indiqués, sauf rares exceptions.

Caractéristiques générales de *Sargassum muticum* à Bricqueville sur Mer (Manche).

1- Généralités

Le site choisi pour l'ensemble de cette étude sur une partie de l'estran est situé sur les communes de Saint Martin de Bréhal et de Bricqueville sur Mer dans la Manche, sur la côte ouest du Cotentin, entre Granville et le havre de la Sienne (cf. figure 1). Sur cette zone, il existe une forte activité mytilicole avec des parcs au sud (Bréville sur Mer) et au nord (Bricqueville sur Mer). Entre ces deux zones d'élevages, on retrouve une forte affluence touristique durant l'été, notamment à Saint Martin de Bréhal mais aussi une pêche à pied de plaisance très importante. Avec Agon-Coutainville, il s'agit de l'un des deux sites les plus fréquentés par les pêcheurs amateurs de la région où l'on y pêche principalement la palourde.

La côte ouest du Cotentin se caractérise par son marnage important (10 à 12 mètres), notamment dans sa partie sud. Cette zone n'échappe pas à cette règle et laisse un estran très vaste à marée basse (la mer pouvant se retirer jusqu'à 2,5 kms au niveau des bouchots sud de Bricqueville sur Mer). Cet espace n'est jamais complètement à sec, de nombreuses « cuvettes », de différentes tailles, apparaissent à basse mer. Tous ces éléments sont extrêmement propices au développement important de *Sargassum muticum* qui envahit cet espace en fin de printemps. Cette zone, située entre les parcs mytilicoles de Bréville sur Mer et Bricqueville sur Mer représente environ 3km² avec toutefois des densités observées très variables (cf. figure 8).

Entre les mois de mai et d'août, la croissance des sargasses est très importante et permet aux algues d'atteindre une flottabilité positive, malgré leur support. Durant cette période, elles peuvent dériver en surface (lorsqu'elles ont perdu leur support) ou plus souvent, entre « deux eaux » soit à quelques centimètres du fond. Or, la courantologie sur cette zone tend à faire naviguer les algues dans un sens sud - nord. Et les bouchots sont des obstacles bien souvent infranchissables pour les sargasses qui s'accumulent au pied des pieux mytilicoles ou s'entremêlent avec les cordes de juvéniles des chantiers installés à cette période (cf. introduction). Les parcs impactés par l'invasion de ces algues sont ceux de Bricqueville sur Mer, et en particulier les bouchots situés dans la partie sud et ouest du parc.

Même si elles sont déjà connues dans leur généralité, il était indispensable de suivre la densité et la croissance de ces algues dans cette zone précise. Un suivi est mis en place dès le début

de l'étude, mais le protocole a été complètement revu en cours de programme pour permettre une approche plus fine des résultats.

2- Matériel et méthodes

a) Première phase

La première phase a duré d'Avril à Juillet 2015. A proximité du barrage expérimental, un cadrat de 1m² était disposé au hasard à cinq reprises. L'ensemble des algues sans leur support étaient alors pesé directement sur place.

b) Deuxième phase

A partir de Septembre 2015, le protocole de cette étude est changé pour donner des résultats plus exploitables. Sur un logiciel de Système d'Information Géographique (Map Info), un rectangle de 750 mètres de long par 500 mètres de large est dessiné dans la zone de présence des algues. (cf. figure 8). Ce rectangle est divisé en 150 carrés de 50 mètres par 50 mètres, chaque rectangle étant numéroté. Avant chaque sortie, dix portions de cette zone étaient tirées au sort sachant un carré déjà choisi ne pouvait être tiré au sort une seconde fois la même année. Les coordonnées des points des carrés choisis sont ensuite enregistrées dans un GPS. Sur place, une fois le point GPS atteint (une précision de 2mètres est tolérée), un cadrat de 1m² est calé contre la roue arrière droite du quad (pour éviter d'être influencé par les différences de densités). Dans ce cadrat, l'ensemble des sargasses et de leur support sont ramassés et mis en sac. De retour au laboratoire, sur chaque sachet, un poids total est effectué, puis un dénombrement du nombre de pieds d'algue et enfin une prise de poids des sargasses. Ce suivi est effectué tous les deux mois en périodes automnale et hivernale (en Septembre, Novembre, Janvier et Mars), puis tous les mois pour le reste de l'année (quand les coefficients de marée le permettent).

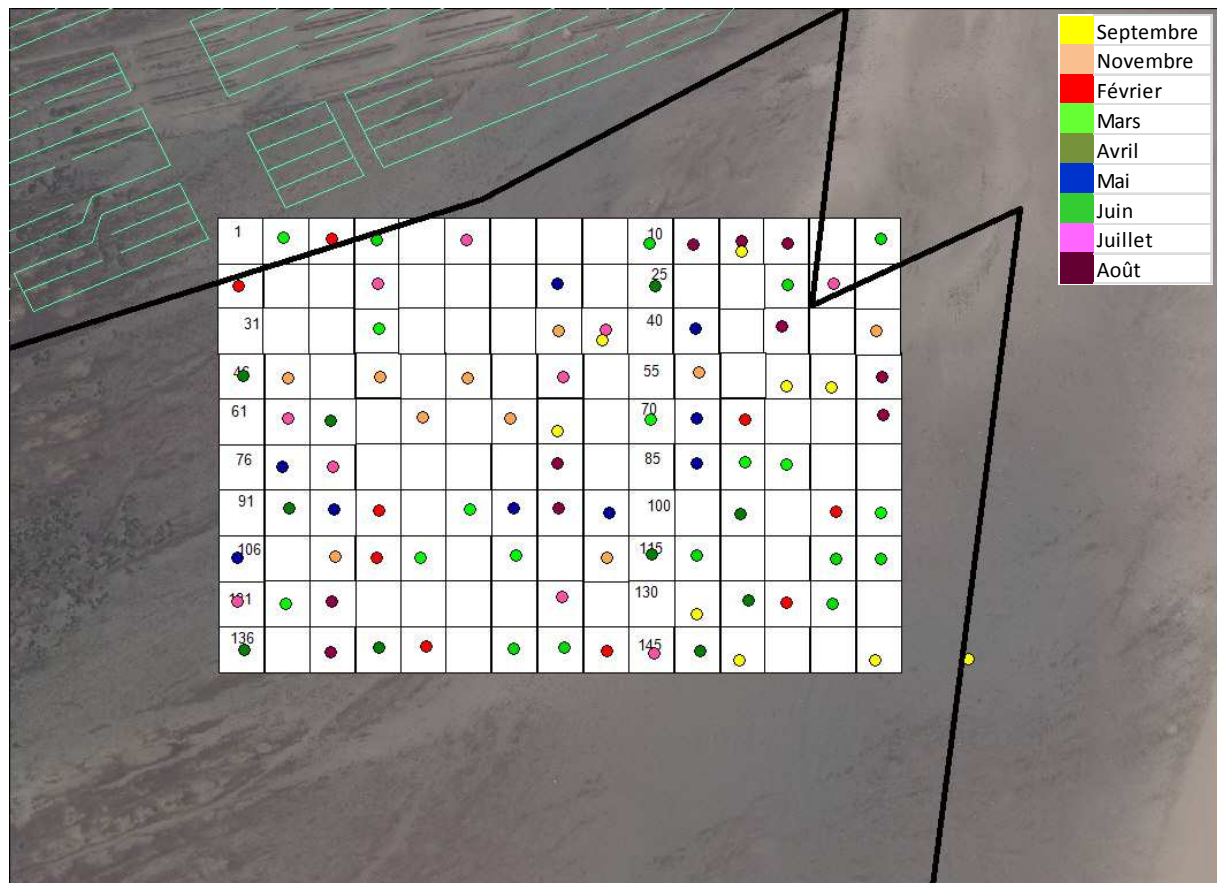


Figure 8 : Plan d'échantillonnage des cadrats entre septembre 2015 et août 2016.

3- Résultats

a) Première phase

Les résultats obtenus lors de l'été 2015 avec ce protocole ont permis de voir une croissance estivale (figure 9). Cependant, il est vite apparu que ce protocole était insuffisant pour permettre de statuer, même approximativement, sur la croissance et surtout sur la densité de Sargasses dans la zone de Bricqueville sur Mer.

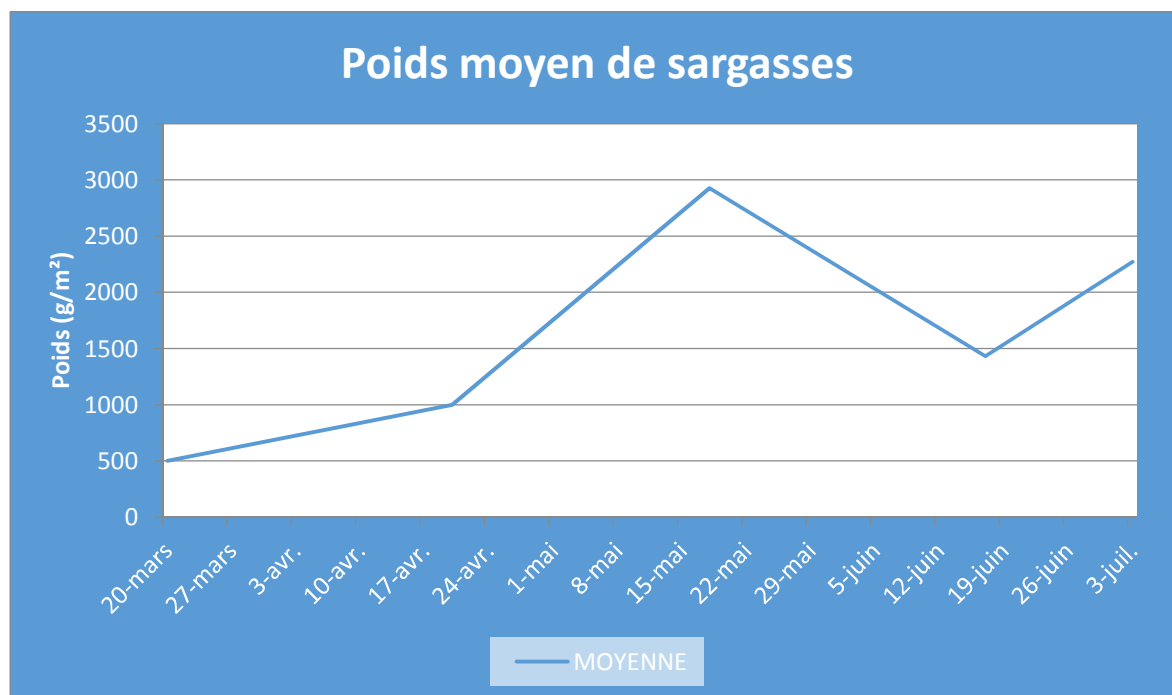


Figure 9 : Evolution du poids moyen des sargasses entre mars et juillet 2015, résultats obtenus par la 1ère méthode.

b) Deuxième phase

Les principaux résultats de cette période sont représentés par le poids moyen d'un pied de *Sargassum muticum* (figure 10). Ce suivi montre une croissance qui démarre en avril et qui dure

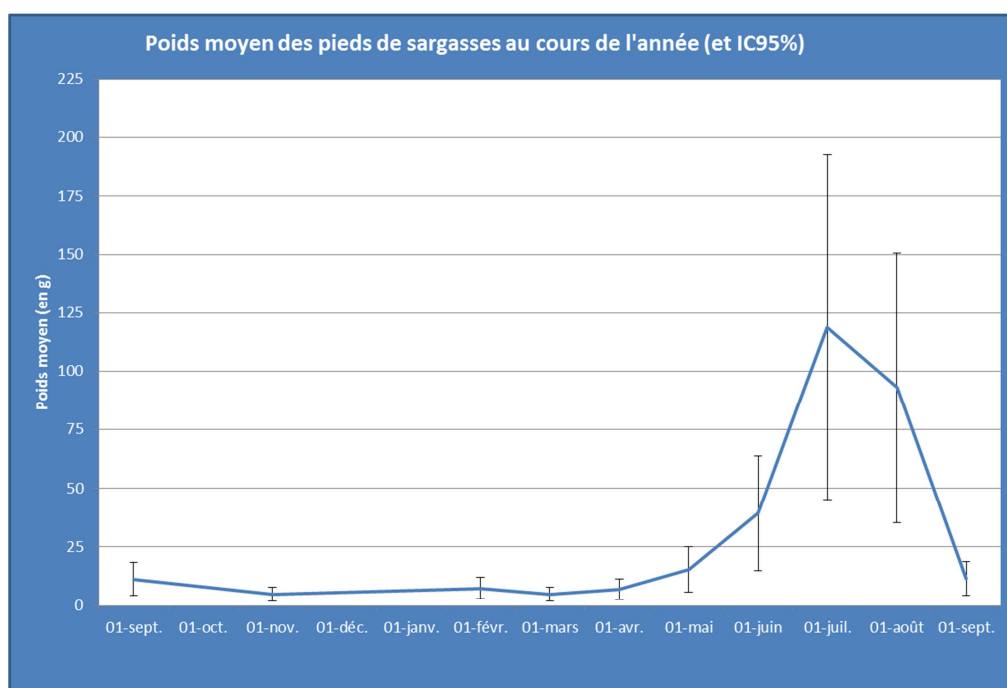


Figure 10 Evolution du poids moyen de sargasses obtenus entre septembre 2015 et septembre 2016 par la 2è méthode.

jusqu'en juillet, puis on observe une régression du poids dès le mois d'août. Cette tendance confirme nettement les observations du terrain. Par contre, il existe une grande hétérogénéité dans les prélèvements qui, au plus fort de la croissance, vont de 0g à 3500g sur un mètre carré

Les résultats sur le nombre moyen de pieds peuvent également être assez variables et oscillent selon les prélèvements de 3 à 11, soit du simple au quadruple (Figure 11). Mais, on voit que la variabilité est telle que finalement, chaque résultat n'est pas significativement différent.

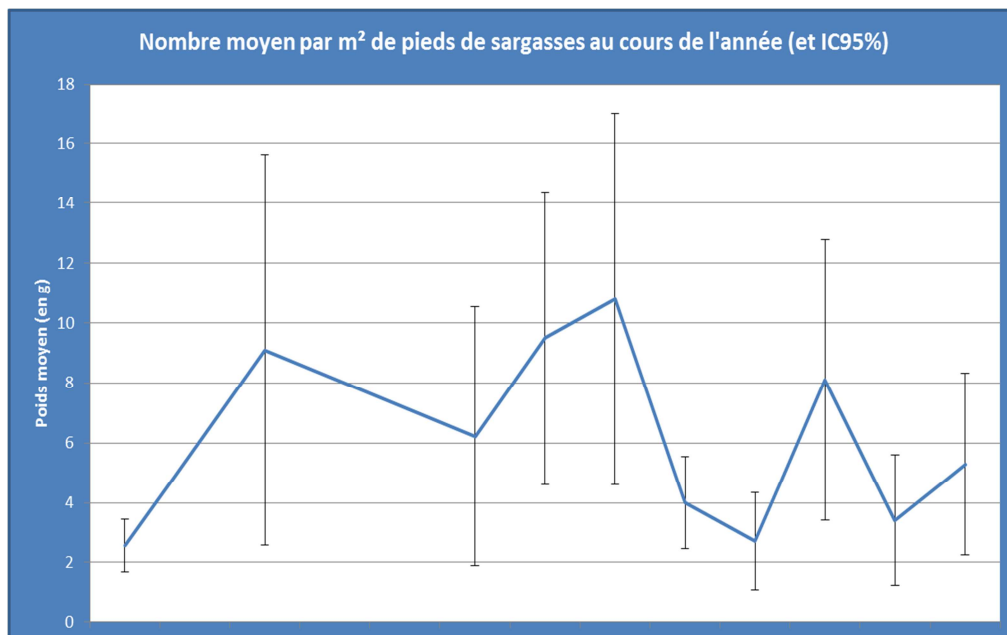


Figure 11 Nombre moyen de pieds entre septembre 2015 et septembre 2016.

En moyenne et en considérant que le nombre de pieds de sargasses varie peu au cours de l'année, on trouve 6.33 pieds par mètre carré sur l'ensemble de la zone étudiée. A partir de ces résultats, le tableau 1 donne un ordre d'idée du stock disponible tout au long de l'année sur la zone comprise entre Bréville / Mer et Bricqueville / Mer.

Tableau 1 : Estimation des biomasses sur l'estran entre Coudeville et Briqueville sur Mer (Manche)

Date	Poids total estimé (en t.)
30 septembre 2015	213.606
25 novembre 2015	90.118
9 février 2016	141.104
10 mars 2016	89.666
8 avril 2016	131.455
9 mai 2016	290.584
6 juin 2016	736.838
5 juillet 2016	2220.893
18 août 2016	1737.828
19 septembre 2016	218.526

4- Conclusions

Le premier protocole n'aurait pas permis de donner des estimations de croissance ou de quantités d'algues sur l'estran. Par conséquent, le changement de protocole était absolument nécessaire. A partir de Septembre 2015, on voit l'évolution du poids moyen des algues stagner jusqu'en Mai puis augmente rapidement jusqu'en Juillet pour atteindre plus de 100g d'algues fraîches par pied, soit 750g par m² au plus fort de la croissance. En partant de cette estimation, l'ordre d'idée de l'état du stock sur la zone étudiée serait 2 200 tonnes en juillet. Mais la zone de récolte est en fait plus importante. Par exemple, de nombreux pieds de Sargasses sont déjà implantés et se développent dans les parcs mytilicoles, tout au moins dans la partie ouest et sud du parc de Briqueville / Mer.

Cependant, on voit rapidement, par les intervalles de confiance, que le protocole est perfectible si l'on cherche à affiner ces estimations. Les 10 points sont issus d'un choix aléatoire complet et ne sont pas toujours repartis régulièrement sur l'ensemble de la zone. Par exemple, en août (cf. figure 12), le choix aléatoire s'est concentré sur trois zones alors qu'en Mars, les cadrats sont plus dispersés dans le rectangle étudié. De toutes manières, il apparait que, si la méthodologie semble correspondre aux attentes dans le cadre de cette étude, une investigation plus approfondie nécessiterait l'augmentation du nombre de points ou de tripler les cadrats dans un même secteur.

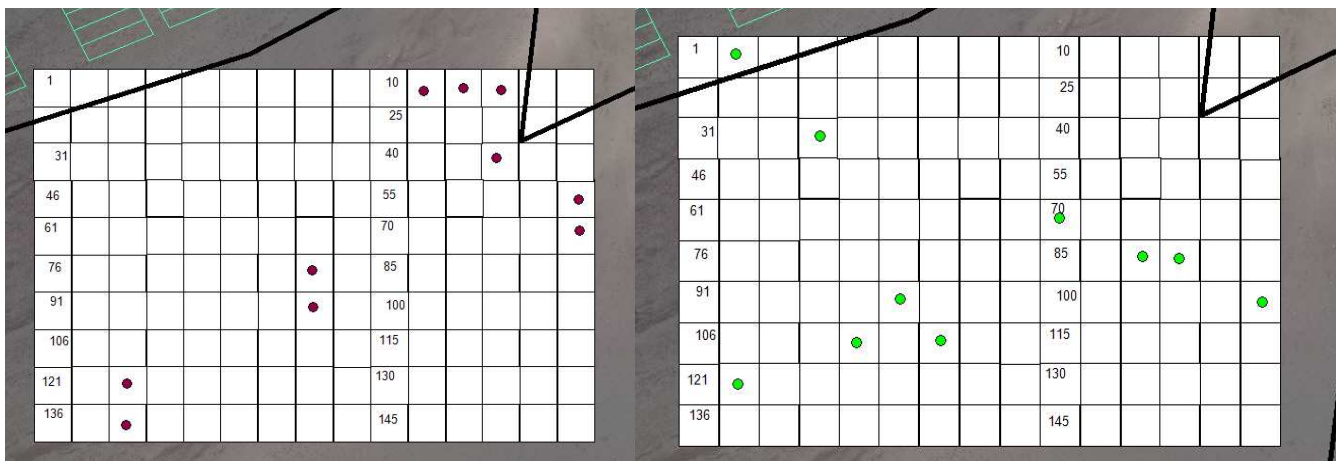


Figure 12 : Plan d'échantillonnage en août 2016 (gauche) et mars 2016 (droite).

Toutefois, dans le cadre d'une pêche manuelle ou mécanisée et sans présager des aspects qualitatifs de l'algue, les résultats semblent suffisamment pertinents pour démontrer qu'elle doit être calée en fin de printemps ou début d'été de façon à maximiser les récoltes. De plus, le stock disponible durant cette saison semble être très important et parfaitement exploitable.

SUIVI DES BARRAGES DE SARGASSES.

1- Généralités

Les barrages sont des ouvrages constitués de poteaux reliés par des cordes à proximité des parcs mytilicoles. Leur fonction est de protéger les élevages de moules de la dérive des sargasses. En effet, sans cette protection, les sargasses dérivantes en fin de printemps, seraient stoppées par les pieux des bouchots et s'accumuleraient à leur pied. Les conséquences sur l'élevage des moules sont multiples. Les algues ainsi accumulées deviennent des échelles à prédateurs annihilant les effets des moyens de défense installés en bas de pieux. D'autre part, l'effet de ces algues avec les mouvements marins (vagues, courants...) peuvent avoir un effet abrasif fort et provoquer des décrochages de moules. De plus, il semble que les sargasses en tas soient un rempart, modifiant la course des courants et limitant l'accès des animaux à l'alimentation, d'où une croissance moindre (professionnels, com. pers.). D'autre part, la forte période de dérive des sargasses est la même que celle d'implantation des cordes de naissains de moules sur les chantiers. Or, les algues en masse se déposent sur les chantiers, arrachant les jeunes moules des cordes et provoquant des pertes très importantes.

Les mytiliculteurs ont dû s'adapter à cette menace et mènent aujourd'hui plusieurs actions afin de minimiser les pertes sur leur production. La première d'entre elles est l'arrachage manuel ou le nettoyage à l'aide d'une herse (Michel & al, 2014). Mais ces manœuvres sont de la maintenance supplémentaire sur les bouchots et donc un coût financier dont l'efficacité ne semble pas faire l'unanimité au sein de la profession. L'autre solution est le barrage de sargasses, qui concerne environ 15% du parc mytilicole sur la côte Ouest du Cotentin. Il s'agit de pieux reliés par des cordes qui ont pour but d'arrêter les algues avant d'envahir les bouchots. Le problème est que ces structures sont installées sur le domaine public maritime, en marge des concessions mytilicoles, sans autorisation. Le Comité régional de la Conchyliculture Normandie Mer du Nord travaille depuis plusieurs années à la régularisation de ces ouvrages auprès des autorités compétentes. Toutefois, cette régularisation se heurte aujourd'hui à trois problèmes :

- Problème de gestion et d'entretien des barrages
- L'impact de ces barrages sur l'environnement
- Le devenir des algues récoltées sur les barrages.

De ce fait, et après les travaux préliminaires menés en 2014, les résultats ont poussé à poursuivre l'investigation. Concernant les barrages, le programme proposait de tester plusieurs types

de barrages, d'en mesurer l'efficacité et de proposer une géométrie qui soit à la fois efficace et unique sur l'ensemble du parc mytilicole. Des mesures de gestion de ces barrages pourraient ensuite être proposées.

2- Matériel et méthodes

Un barrage expérimental d'une longueur de 27 mètres est installé à Bricqueville sur Mer (Manche). Cinq types de géométries sont retenus :

- ✓ 3 brins, le premier à 30 cm, le deuxième à 60 cm et le dernier à 90 cm
- ✓ 2 brins, le premier à 30 cm et le second à 90 cm
- ✓ 1 brin haut, situé à 90 cm du sol
- ✓ 1 brin bas, situé à 30 cm du sol
- ✓ En croix

Tous les schémas sont reproduits trois fois, excepté la croix qui n'a pas de réplicas (cf. figure 13 et 14). L'espace entre deux poteaux est de 2 mètres, excepté pour la croix pour laquelle l'écart est de 3,50 mètres. En comparaison, un « barrage professionnel » est suivi en haut d'estran depuis 2014. Il s'agit d'un barrage composé de 2 cordes ; l'une située à 40 cm et la deuxième à 1,00 mètre, très proche de la configuration « 2 brins » du barrage expérimental. Seuls 2 mètres de ce barrage sont suivis (les cordes entre les deux poteaux les plus au large) depuis trois années.



Figure 13 : Positionnement des barrages suivis à Bricqueville sur Mer (Manche)

En 2015, ce barrage était suivi dès que le coefficient de marée permettait l'accès, soit pour des coefficients supérieurs à 90/95. En 2016, il est décidé d'instaurer un suivi mensuel. A chaque visite, l'ensemble des algues et de leur support était pesé sur place puis remis à un endroit où le courant ne pouvait les renvoyer sur le barrage. Lors de ces suivis, le barrage qui a servi d'exemple en 2014 (Michel & al, 2015), situé plus haut sur l'estran (figure 14) est également suivi et permet la comparaison avec les années 2015 & 2016.

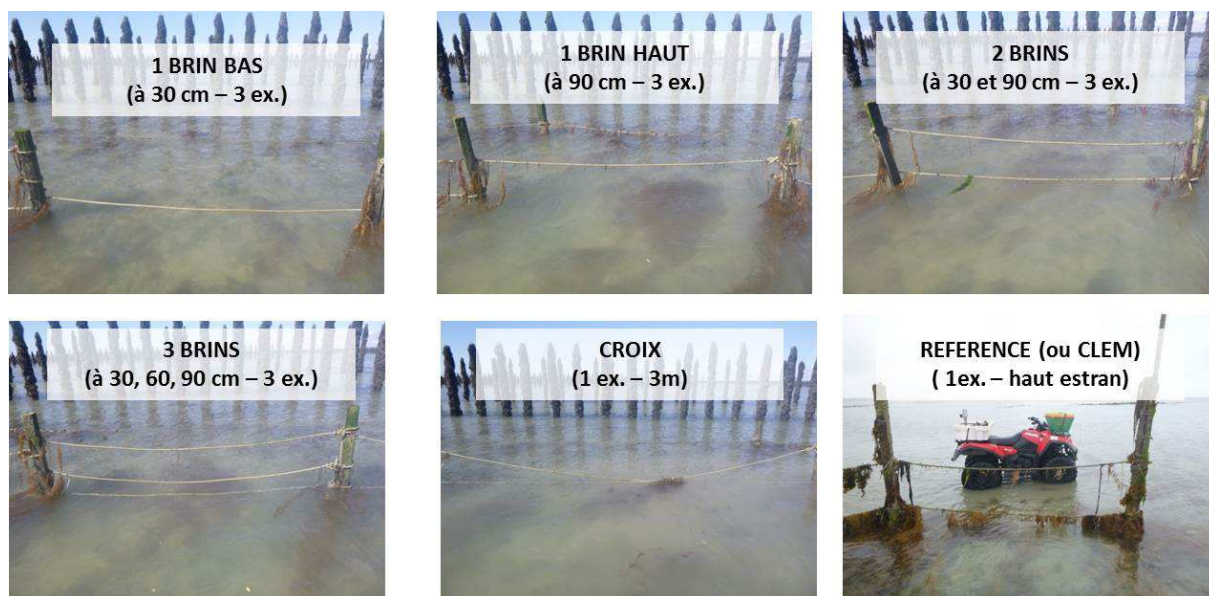


Figure 14 Géométrie des barrages expérimentaux

Ces résultats sont ensuite stockés dans une base de données, en considérant une proportion algue / poids total à 60%, selon des résultats obtenus en 2014 (Michel & al, 2014). Ils permettent une comparaison temporelle entre les différentes formes de barrages ainsi qu'une approche de comparaison annuelle d'arrivées de biomasse sur les barrages. Au final, cela permettra d'estimer la biomasse minimale susceptible d'envahir les parcs mytilicoles de Bricqueville sur Mer.

3- Résultats

a) Comparaison entre les années

Si le barrage expérimental est suivi depuis deux années, le barrage de haut d'estran est suivi depuis 2014, soit trois saisons. Les résultats des arrivages annuels de *Sargassum muticum* sur les différents barrages suivis sont visibles sur la figure 15.

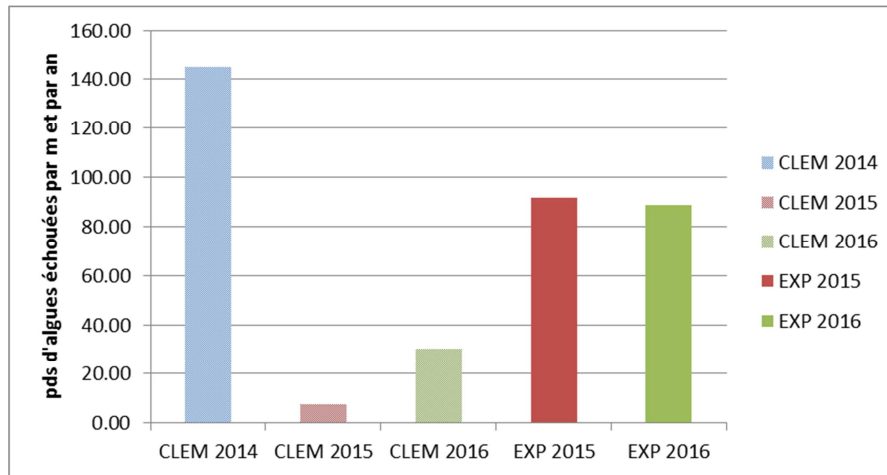


Figure 15 : Arrivage annuel par mètre linéaire sur les barrages haut et moyen (ou expérimental) estran.

Sur le suivi du barrage de haut d'estran (appelé CLEM), les arrivages sont très différents suivant les années. En 2014, ils sont très nettement supérieurs à ceux de 2016 tandis qu'en 2015, seule une dizaine de kilogrammes par mètre linéaire est récupérée. Par contre, sur le barrage expérimental (EXP), les résultats, sur les deux années, sont assez homogènes, autour de 90 kilogrammes par mètre linéaire.

Enfin, que ce soit en 2015 ou en 2016, le barrage expérimental d'estran médian capte plus d'algues que le barrage professionnel de haut d'estran.

b) Suivi mensuel

La figure 16 montre les arrivages mensuels sur le barrage professionnel de ces trois dernières années (en pointillés) et sur le barrage expérimental pour ces deux dernières années. Malgré les différences en termes de quantités vues dans le paragraphe précédent, il est à noter que les échouages sur les barrages s'effectuent essentiellement en Mai et en Juin, excepté en 2015 sur le barrage expérimental. En règle générale, 85 à 90% des algues arrivent sur cette période qui peut occasionnellement se poursuivre continuer en juillet. D'autre part, le phénomène semble débuter en Avril. On n'observe aucun arrivage en Août, même si l'observation n'a été faite qu'en 2015. Toutefois, en 2016, les échouages se sont arrêtés en juillet

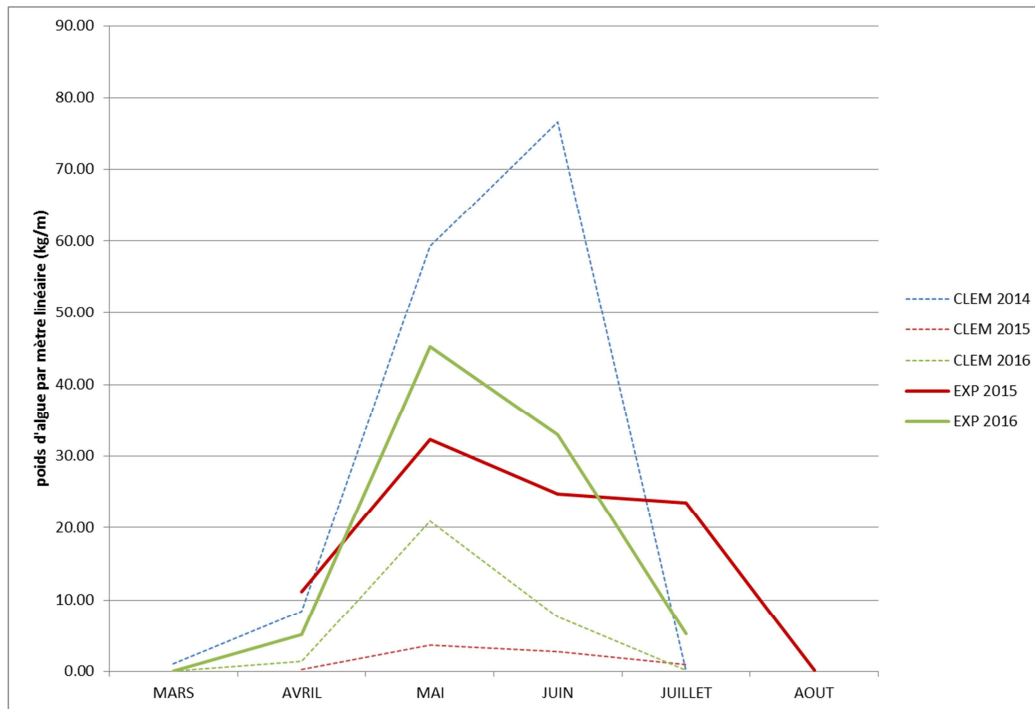


Figure 16 : Arrivages mensuels sur les barrages

c) Capture par type de barrage

Le barrage expérimental comportait plusieurs configurations, certaines étaient reproduites d'autres pas (cf. Matériel et méthodes). Les résultats obtenus et visibles sur la figure 17, montrent plusieurs choses :

- ✓ Comme vu précédemment, la capture sur les barrages commence dès le mois d'Avril. Cependant, on peut voir qu'une des configurations capte significativement moins d'algues que les autres, il s'agit du cas du « brin haut ».
- ✓ A partir du mois de Mai et jusqu'au mois de Juillet, les 4 types de barrages reproduits en triplicats captent significativement de la même manière.
- ✓ Au mois de Juin, on observe un pic de capture d'algues avec le système en croix. Toutefois, le résultat montre les captures sur un seul exemple de ce type de structures, contrairement aux autres systèmes, installés en triplicat.

- ✓ On voit les densités d'algues diminuer sur les barrages au mois de Juillet puis s'arrêter en Aout (non représenté sur le graphique)

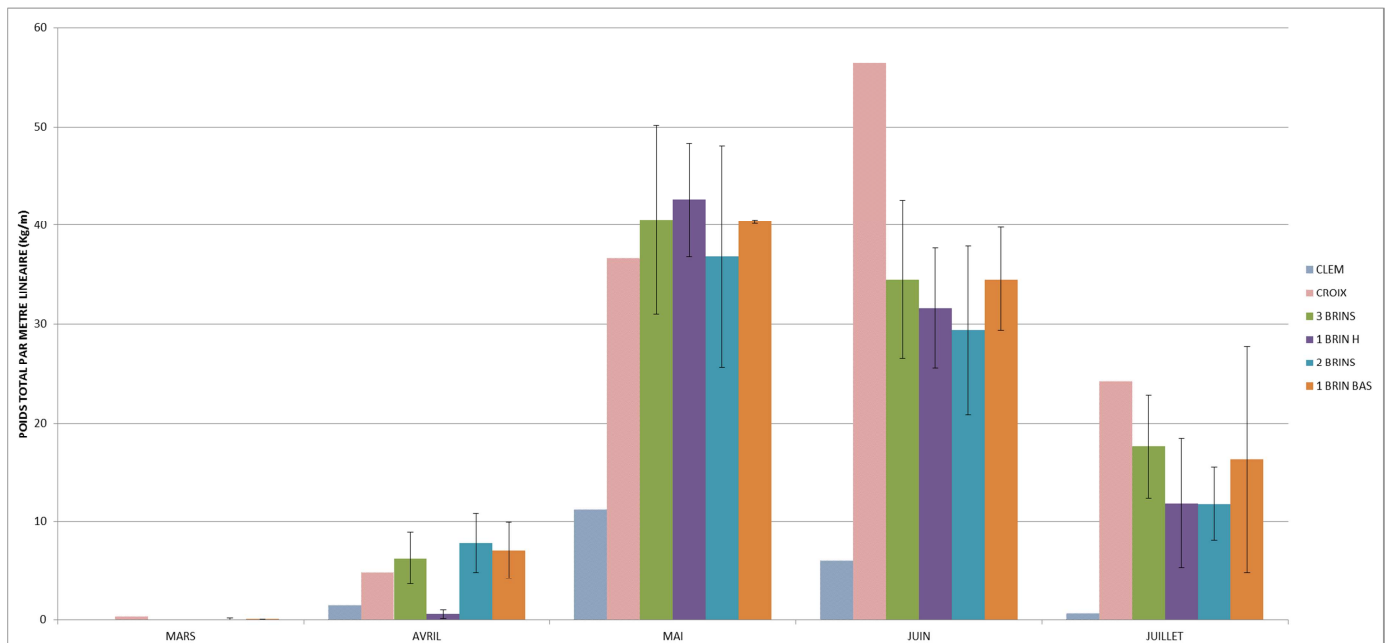


Figure 17 Quantité d'algues échouées sur les barrages en fonction de leur géométrie

4- Conclusions

Dans l'ensemble, on peut noter qu'il n'y a pas de différence notable entre les barrages testés. La plupart du temps, les algues sont arrêtées par les barrages, qu'il y ait une, deux ou trois cordes ou que les cordes soient en haut ou en bas et dans des proportions significativement identiques. Il faut également préciser que les algues prises dans les barrages sont, dans leur très grande majorité, encore accrochées à leur support. Par conséquent, on peut imaginer qu'une algue, dès que sa flottabilité devient positive malgré le poids de son support, se trouve emmenée par le courant tout en restant proche du sol. Mais, pour qu'elle puisse soulever ce poids, il lui faut généralement atteindre une taille importante, probablement supérieure à 1 mètre, voire plus si on tient compte de l'angle imposé à l'algue par le courant lors de son déplacement. De ce fait, l'algue est stoppée lorsqu'elle rencontre une corde, qu'elle soit à 30 cm ou 90 cm.

L'exception à cette règle est le résultat obtenu en Avril. Durant ce mois, le captage obtenu par le barrage équipé d'une corde seule implantée à 90cm est significativement inférieur aux trois autres configurations et proche de 0. A cette période, l'algue est encore en début de croissance et accélère véritablement en Juin (cf. chapitre I.3b page 26). Par conséquent, les algues qui parviennent

à décoller leur support et dérivent, doivent être celles qui sont accrochées sur un support léger ou très léger (coquille de bivalves, petits cailloux). A ce moment de l'année, la plupart des algues ont une taille inférieure au mètre et se font stopper par les barrages munis d'une corde située proche du sol (30 cm). Dans l'ensemble, les quantités stoppées en Avril restent modestes, toutefois, on peut imaginer que les algues qui parviennent à passer sous un barrage haut finissent leur course dans les parcs mytilicoles, sont stoppées par les pieux et finissent leur croissance au pied des élevages de moules. Il faut donc pouvoir stopper toutes les algues pour protéger la production mytilicole.

Lors de la demande de régularisation des barrages effectuée par le CRC NMdN auprès de la DDTM, les autorités nationales avaient insisté sur l'accessibilité du domaine public maritime en dehors des concessions conchylicoles. Or, un barrage de défense contre les sargasses peut être considéré comme un obstacle à la circulation sur l'estran. Cependant, on voit qu'un barrage équipé de cordes n'excédant pas les 30 cm au-dessus du sol s'avèrent tout aussi efficace qu'un barrage équipé de plusieurs cordes et atteignant 90 cm de hauteur. Et un obstacle de 30 cm n'est pas un problème pour une personne normalement valide et n'empêche pas une circulation libre sur l'estran. Donc, un barrage muni d'une seule corde située à 30 cm du sol semble suffisant pour stopper un maximum de sargasses.

Ensuite, la DDTM demandait un mode de gestion des barrages. Tout d'abord, les échouages ayant lieu entre Avril et Août, les cordes doivent être présentes lors de cette période mais peuvent



Figure 18 Photo des cordes recouvertes et écrasées par les Sargasses

être retirées en Septembre et réinstallées en Mars.

Lors de la période d'échouages, on voit nettement que les barrages sont rapidement pleins, surtout de mai à juillet. Or, dans ce cas de figure et surtout pour des barrages de faible hauteur, il est possible qu'ils perdent en efficacité, les cordes étant complètement écrasées par les sargasses (cf. Figure 18). Par conséquent, et simplement d'un point de vue technique, il semble qu'un barrage devait être débarrassé de ces algues au moins deux fois dans la saison d'échouages. Mais, une telle disposition demande du temps sur des marées de vives eaux et donc un budget (pas encore estimé). Cette manœuvre, à grande échelle, doit être mécanisée, et une étude d'ingénierie reste à réaliser. Ensuite, il faut organiser la récolte, déterminer les personnes ou corps de métier amenées à s'en occuper, puis stocker ou évacuer les algues une fois arrivées à terre.

L'autre interrogation concerne les supports que les algues entraînent avec elles lors de leurs dérives et qui se trouvent également stoppés par les barrages. La meilleure solution serait de ramasser les algues tout en laissant les cailloux sur place. Mais, cette option semble très compliquée à mettre en œuvre. Les algues sur les barrages sont complètement emmêlées et la séparation, qui doit être immédiate, ne peut être que mécanique. L'autre option réside à la séparation des cailloux une fois arrivés à terre mais se pose la question du devenir de ces supports (retour en mer, stockage, valorisation...).

Ensuite, il reste le devenir des algues dont le traitement à leur arrivée à terre est fortement dépendant de la valorisation attendue.

Etude de valorisation de la biomasse

I- Matériels et méthodes

1- Etude des variations de compositions des Sargasses en bassin

L'idée de cette expérience est d'essayer de comprendre les évolutions des différents composés dans la biomasse de *Sargassum muticum* en fonction des conditions environnementales pour éventuellement modéliser ces variations et anticiper sur les meilleures périodes de récolte. Pour cela, 60 individus de Sargasses ont été récoltés avec leur support en Janvier 2015 et mis en bassin sous conditions contrôlées suivants les paramètres décrits dans le tableau 2. Un tiers de l'eau des bassins est renouvelé tous les 3 jours. Dans chaque bassin, trois individus sont récoltés tous les 15 jours et congelés avant analyse. Les résultats concernant la variation des composés sont ensuite comparés aux variations sur des prélèvements réalisés en milieu naturel.

Tableau 2 Paramètres contrôlés pour la croissance des Sargasses en bassin

	Hiver	Eté
Nombre de pieds sur support	30	30
Température (°C)	11	18
Photopériode ($\mu\text{mol photon.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$)	19,1	52
Durée Jour / Nuit	8 / 16	16 / 8
Bullage	Oui	Oui

Les algues présentes dans le bassin simulant des conditions hivernales n'ont pas montré de croissance lors des deux premiers mois ; les conditions de ce bassin ont donc été modifiées et passées en conditions estivales (tableau 2) le 23 Avril 2015.

2- Etude des variations de composition en milieu naturel

L'étude de variation de composition des Sargasses s'est faite par des prélèvements bimensuels, entre Avril 2015 et Aout 2016, Les algues prélevées sont transportées, rincées à l'eau claire puis le taux de matière sèche est mesuré avant que les algues soient congelées, lyophilisées

puis broyées. La poudre sèche obtenue est conservée à température ambiante dans l'obscurité avant analyses.

3- Analyses biochimiques

Les analyses réalisées sur tous les prélèvements, en bassin ou en milieu naturel, sont les suivantes :

- ▲ Matière inorganique par calcination
- ▲ Mannitol par High Performance Anion Exchange Chromatography with Pulsed Amperometric Detection (HPAEC-PAD)
- ▲ Fucoïdanes totaux par HPAEC-PAD
- ▲ Laminaranes totaux par HPAEC-PAD
- ▲ Alginates par colorimétrie
- ▲ Composés phénoliques totaux (TPC) par colorimétrie

4- Extraction des composés potentiellement actifs et extraits bruts

La première optimisation consiste à définir le meilleur solvant d'extraction des composés phénoliques. En effet, en fonction des espèces d'algues, les composés phénoliques ne sont pas les mêmes et donc les solvants d'extraction diffèrent (Tanniou et al. 2013; Koivikko et al. 2005).

La seconde optimisation de protocole vise à optimiser le volume de solvant à ajouter par gramme de biomasse, afin d'obtenir le meilleur compromis entre rendement d'extraction et utilisation de solvant (influençant les coûts de production). Dans le but d'obtenir une fraction riche en composés phénoliques, des extractions à l'acétone (50%) ont été réalisées en faisant varier le ratio biomasse (g)/solvant (ml) : 80ml/g, 40ml/g, 20ml/g et 10ml/g.

Dans un second temps, en fonction des résultats des premiers essais, des extractions successives seront réalisées afin de définir les solvants nécessaires pour l'extraction des différents composés d'intérêts que sont les fucoïdanes, les alginates, les laminaranes, le mannitol et les composés phénoliques.

II- Résultats

1- Etude des variations de compositions des Sargasses en bassin

L'étude de croissance des algues dans les bassins ne s'est pas avérée concluante car les thalles des Sargasses étaient trop fragiles pour être manipulés et se cassaient avant de pouvoir effectuer les mesures. Néanmoins, des différences flagrantes ont pu être observées durant cette étude. En effet, les algues mises en conditions hivernales n'ont pas connu de croissances alors qu'en conditions estivales, une croissance fût observée.

Matière inorganique

Les matières inorganiques se composent des sels minéraux, éléments intéressants pour certaines valorisations mais aussi des métaux lourds qui peuvent, en fonction de leur concentration, restreindre les applications en fonction des réglementations en vigueur. La figure 19 représente l'évolution du pourcentage de matière inorganique (par rapport aux solides totaux dans l'algue) dans

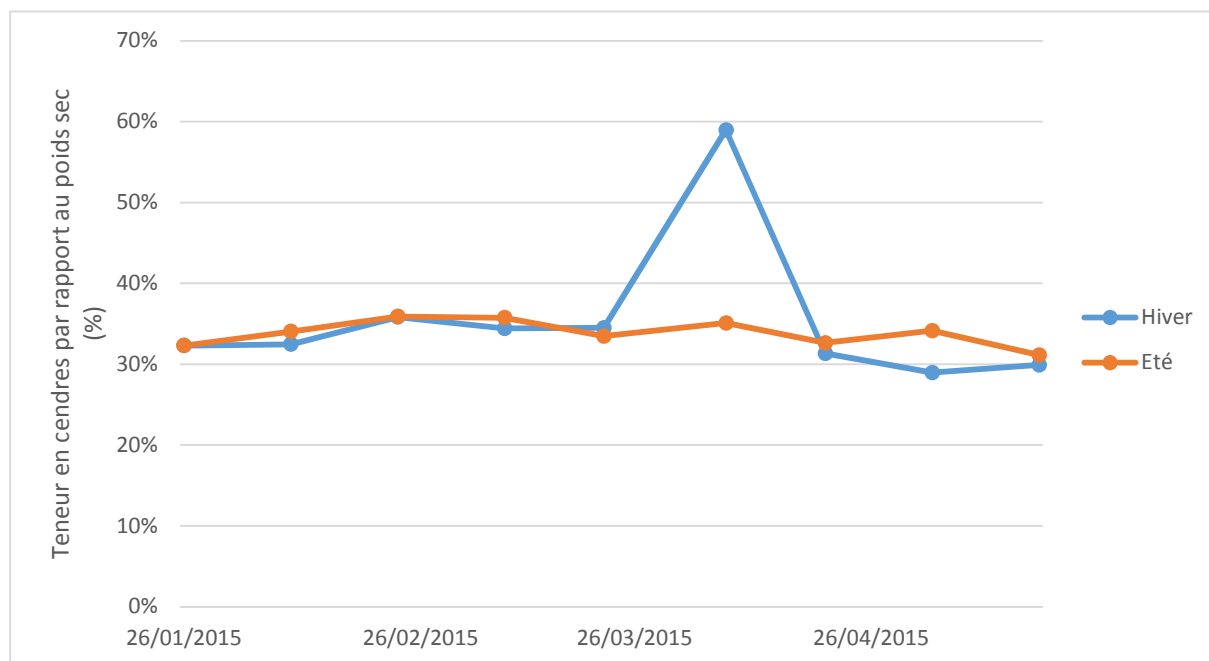


Figure 19 Variation de teneur en matière inorganique dans les Sargasses en bassin

Sargassum muticum en fonction des conditions de température et de luminosité ainsi que du temps. Les proportions sont relativement stables au cours du temps et peu de différences sont observées entre les deux conditions. En effet, les taux de matières minérales se situent entre 30 et 35% dans

tous les prélèvements exceptés ceux du 7 Avril dans les conditions hivernales pour lesquelles une valeur de 59% a été mesurée (probablement due à une erreur de mesure).

Mannitol

L'évolution du taux de mannitol dans la biomasse en fonction des conditions dans les bassins est présentée dans la figure 20, la ligne noire verticale représente le passage en condition estivale du bassin initialement en condition hivernale. A T0, fin Janvier, la biomasse était composée 3.40% de mannitol (% PS). Dans les conditions estivales, une augmentation régulière de la teneur en mannitol

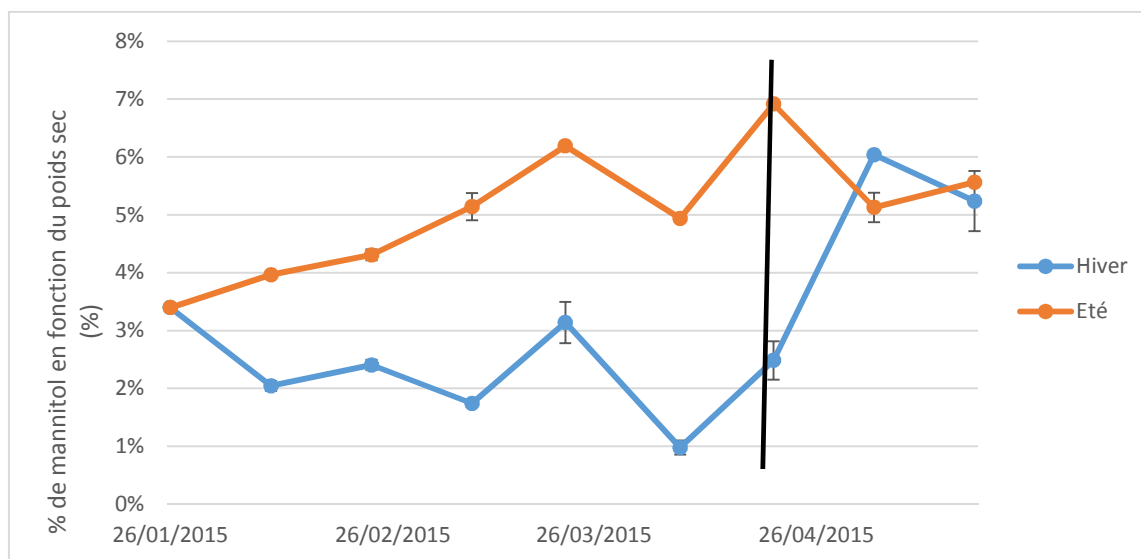


Figure 20 Variation de teneur en mannitol dans les Sargasses en bassin

est observée pendant les deux premiers mois pour arriver sur une valeur plateau d'environ 6%. Dans les conditions hivernales, le taux de mannitol a tendance à diminuer aux alentours de 2%. Lorsque la température et la luminosité augmentent (passage du bassin en condition estivale indiquée par la barre verticale noire), une forte augmentation du mannitol est notée pour atteindre les teneurs observées dans les algues stockées en conditions estivales. Le taux de mannitol dans les algues est probablement lié aux augmentations de température et/ou de luminosité, ce fait doit être vérifié sur l'évolution de ce composé en milieu naturel.

Fucoidanes

De la même manière que pour le mannitol, l'évolution de la composition en fucoidanes totaux a été étudiée mais peu de variations ont été observées que ce soit en fonction du temps ou en fonction des conditions environnantes (figure 21).

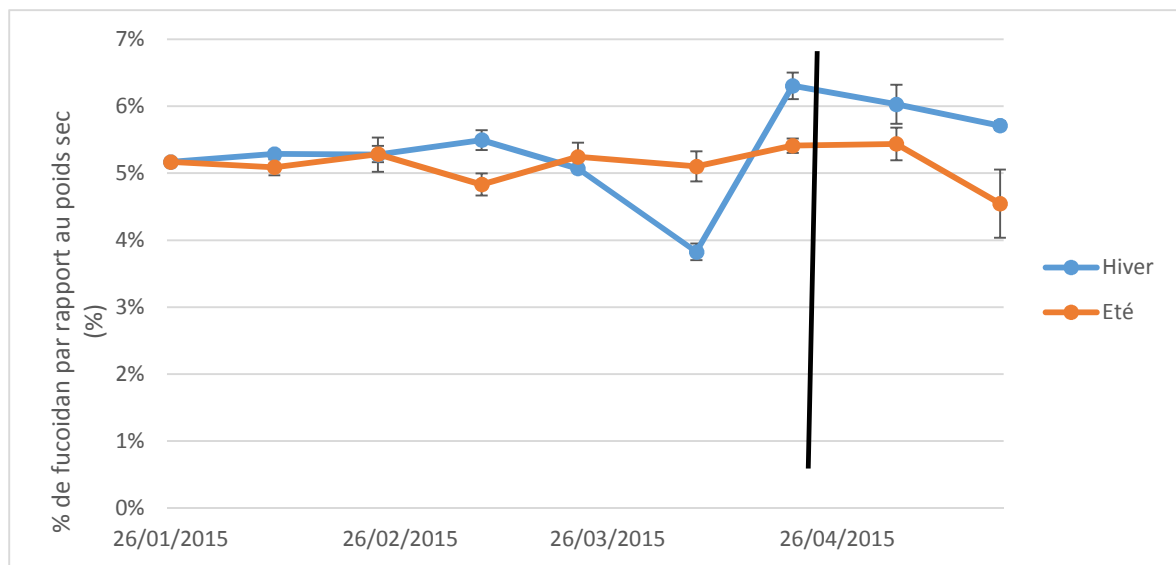


Figure 21 Variation de teneur en fucoidanes dans les Sargasses en bassin

Alginates

L'évolution des alginates dans la biomasse est relativement similaire entre les conditions et dans le temps (Figure 22) avec des valeurs comprises entre 15 et 25%.

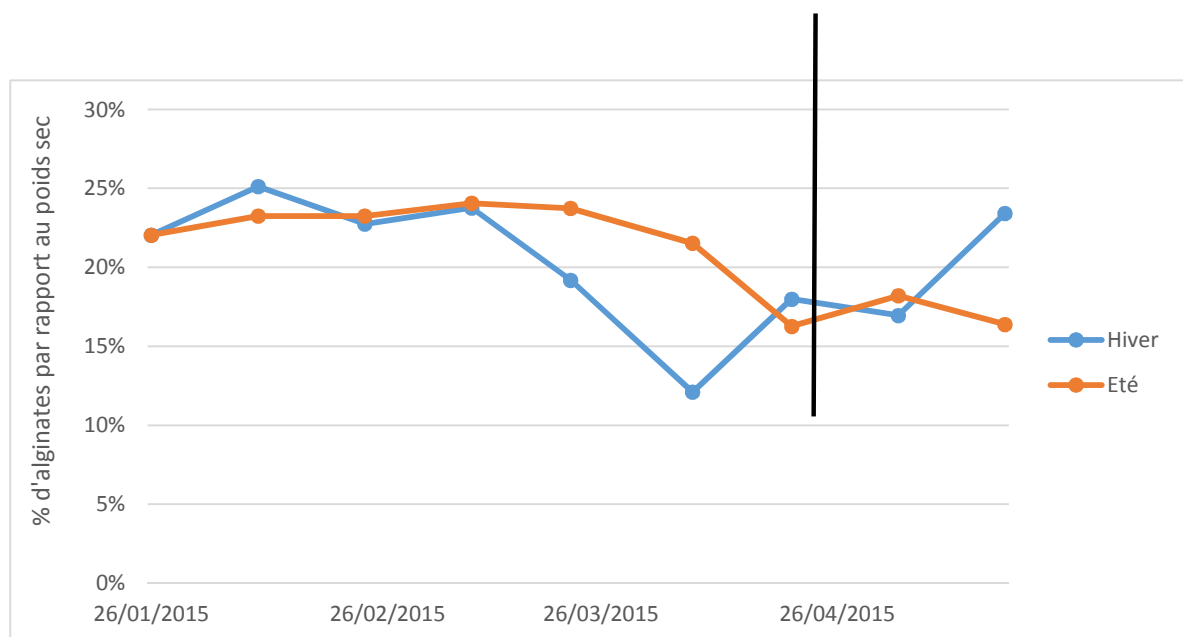


Figure 22 Variation de teneur en alginates dans les Sargasses en bassin

Laminaranes

Les taux de laminaranes dans les Sargasses sont très faibles, compris entre 0.6 e 0.8%, et sont stables dans le temps dans les deux conditions étudiées (Figure 23).

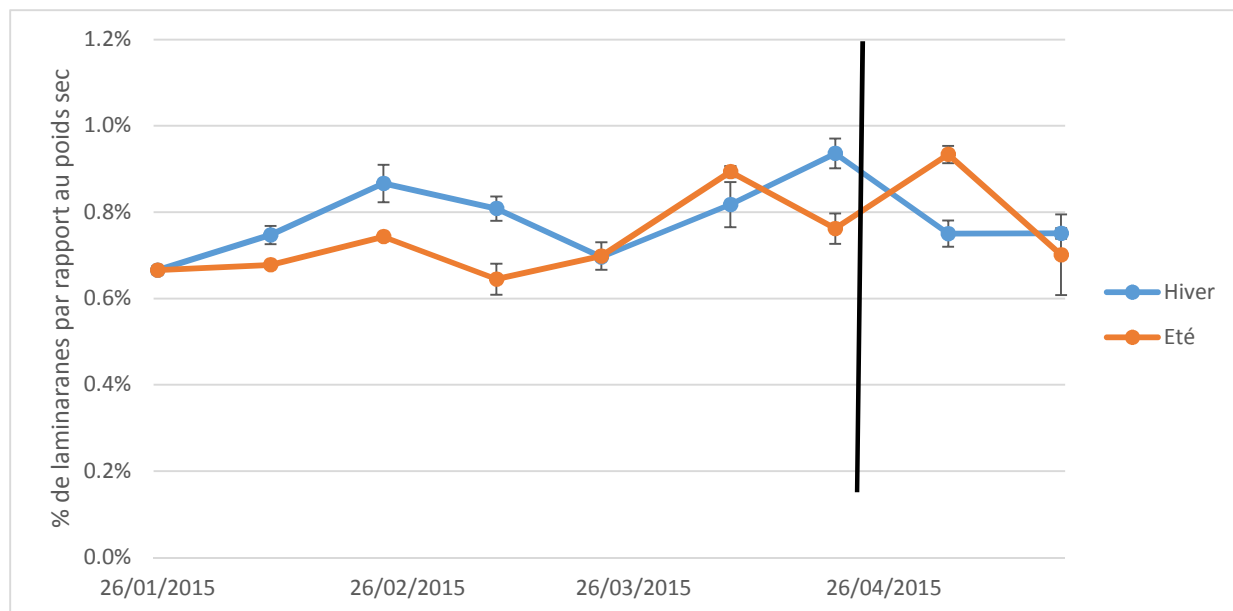


Figure 23 Variation de teneur en laminaranes dans les Sargasses en bassin

Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires qui sont produits en fonction des conditions environnementales comme par exemple l'exposition lumineuse. Néanmoins, la figure 24,

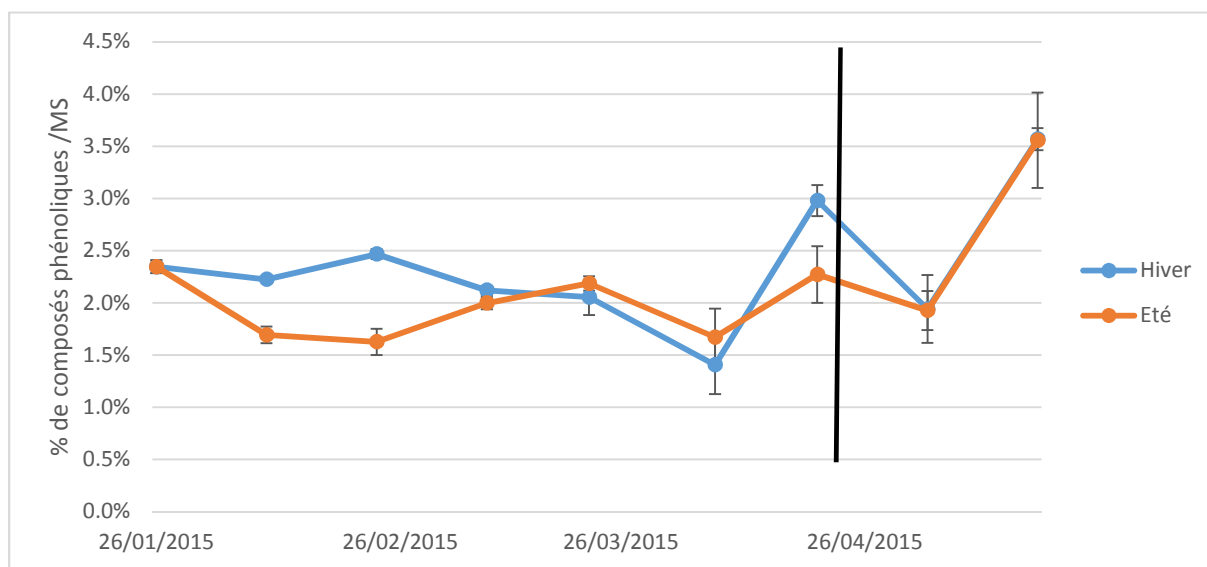


Figure 24 Variation de teneur en composés phénoliques dans les Sargasses en bassin

représentant les évolutions des composés phénoliques dans les bassins ne montre pas de différences entre les algues dans les conditions hivernales ou estivales.

2- Etude des variations de compositions des Sargasses en milieu naturel

Des prélèvements de biomasse dans leur milieu naturel ont été effectués tous les 15 jours. Après mesure de leur teneur en matière sèche, les algues ont été lyophilisées avant analyses. Les matières sèches évoluent peu au cours du temps, oscillant entre 12 et 14%. De même pour les matières inorganiques totales se situant entre 25 et 35% des solides totaux dans l'algue. Les variations des autres composés dans la biomasse sont présentées dans la figure -A, la figure -B représente les mêmes composés sans les valeurs d'alginate. Concernant les alginate, une augmentation est remarquée sur les deux premiers mois, de 18% fin Avril à 27% mi-Juin avant d'être

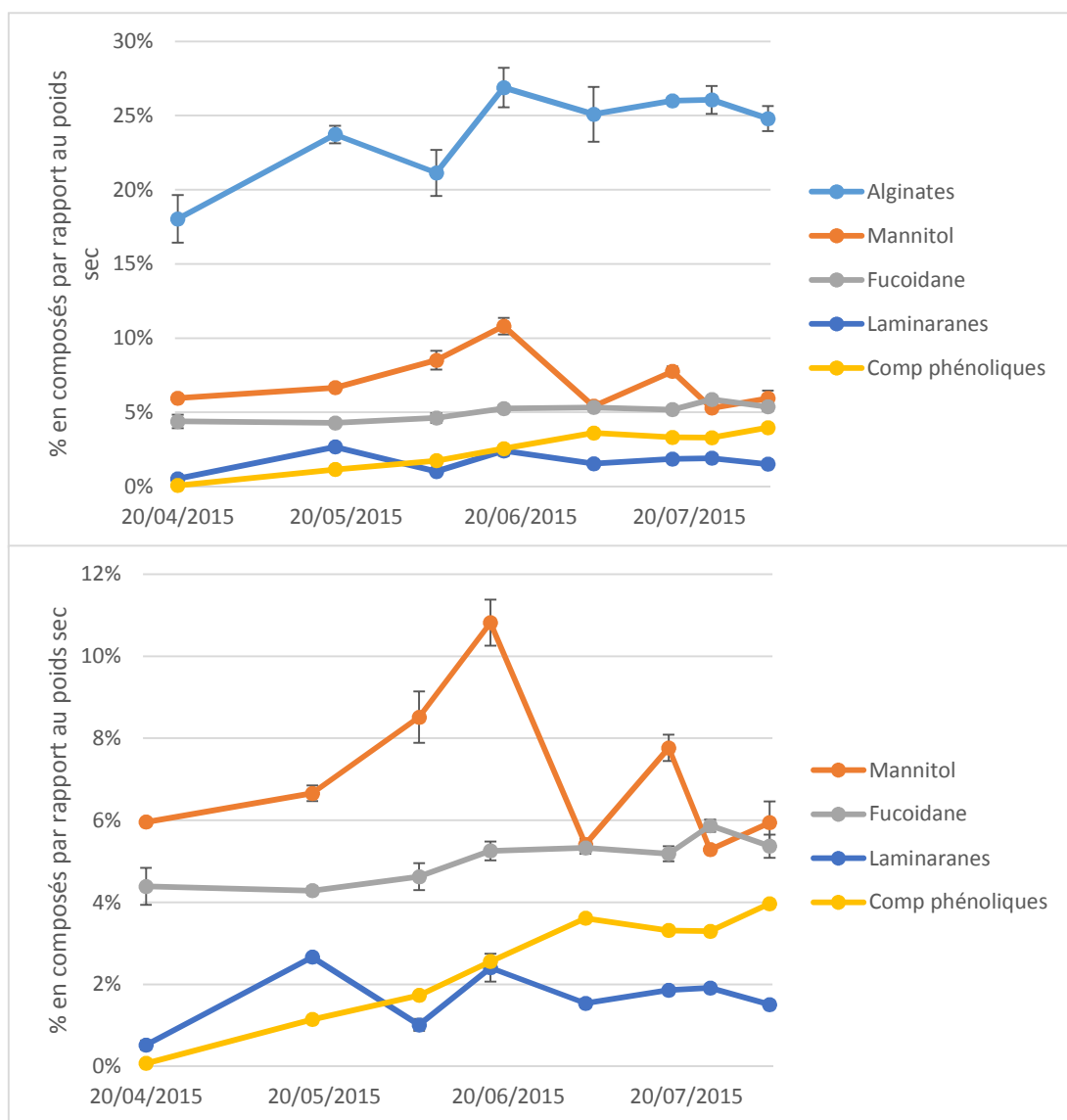


Figure 25 Variation saisonnière des composés dans la biomasse en 2015

stable à cette valeur jusqu'au mois d'Août.

La teneur en matière organique est relativement stable au cours des saisons (résultats non présentés) et est comprise entre 25% et 30% des solides totaux. Néanmoins, un profil des sels minéraux et métaux lourds a été réalisé sur un échantillon prélevé en début de saison (Mai 2015) et un en fin de saison (Juillet 2015). Les résultats, tableau 3, montrent quelques différences sur certains composés. En effet, si on s'intéresse aux composés d'intérêt pour une application en agriculture (en vert dans le tableau 3), on constate une augmentation significative du fer entre le début et fin de saison. En revanche, les métaux lourds (en rouge dans le tableau 3), et notamment l'arsenic, sont en proportion trop élevée pour une valorisation directe en alimentation car la réglementation impose un taux maximum de 45 mg/kg.

Tableau 3 Sels minéraux et métaux lourds dans la biomasse

	Mai 2015	Juillet 2015
Calcium	1467,7	1192,5
Potassium	7619,7	6928,9
Magnésium	1285,5	1273,2
Sodium	1450	2957,1
Phosphore	132,9	129,1
Argent	<0,17	<0,17
Aluminium	444,3	1145,21
Arsenic	283,49	165,02
Baryum	15,69	14,12
Bore	119,69	77,23
Cadmium	0,63	0,91
Cobalt	0,75	0,57
Chrome	2,47	18,81
Cuivre	<0,83	1,3
Fer	293,44	815,18
Mercure	<0,08	<0,08
Lithium	<0,83	1,87
Manganèse	33,16	46,2
Molybdène	0,33	1,71
Nickel	2,95	7,92
Plomb	0,59	1,08
Antimoine	<0,83	<0,83
Sélénium	<0,33	0,57
Etain	<1,67	<1,67
Zinc	12,91	13,42

Le suivi saisonnier s'est poursuivi sur la saison 2016 entre Avril et Juillet afin de comparer les évolutions de composition avec l'année précédente. La figure 26 représente l'évolution des composés entre Avril et Juillet 2015 (courbes bleues) et Avril et Juillet 2016 (courbes rouges). En général, on constate une évolution similaire entre les deux années.

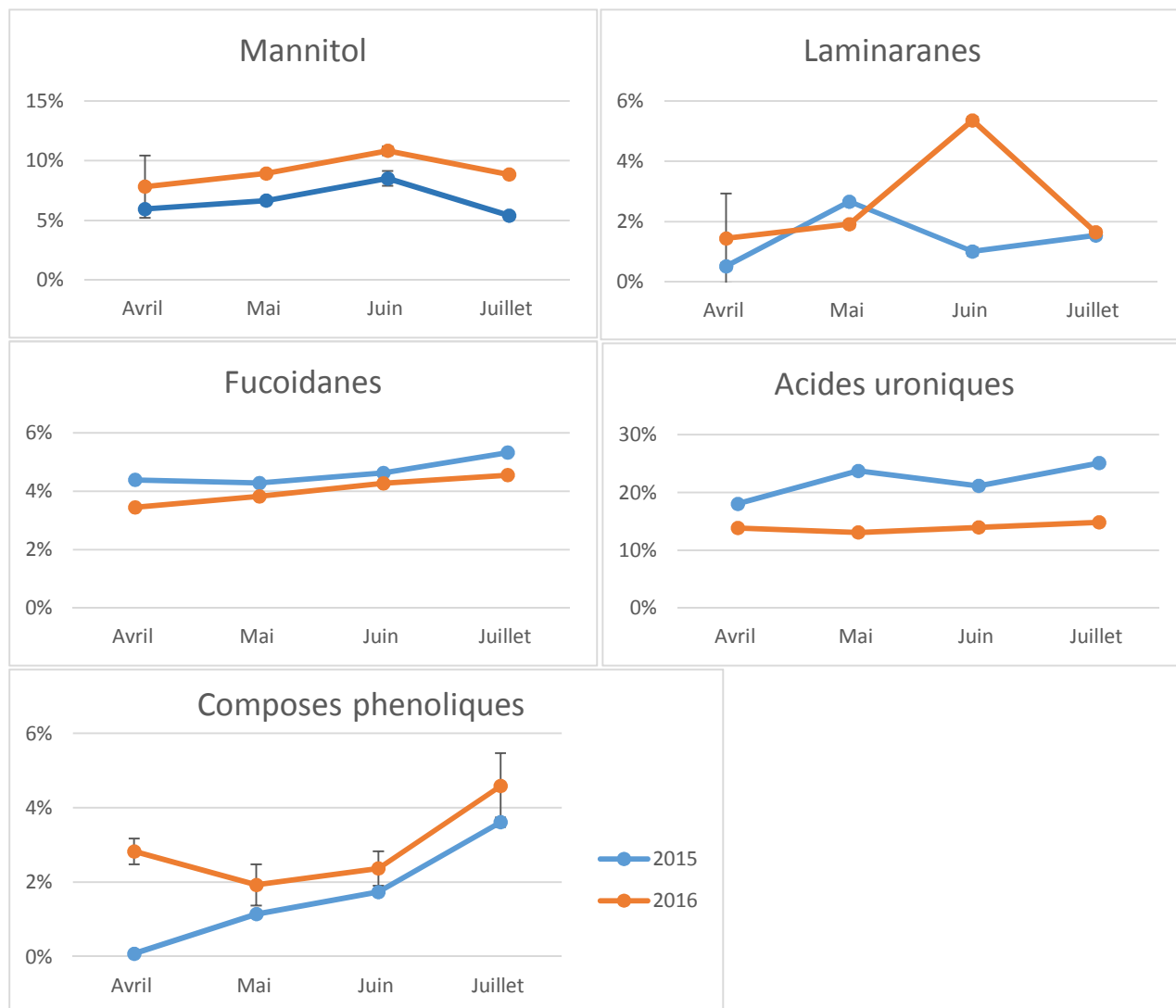


Figure 26 Comparaison de l'évolution des composés dans la biomasse entre 2015 et 2016

3- Tests d'extraction

Le premier test consiste à définir le meilleur solvant pour l'extraction des composés phénoliques. En effet, en fonction des espèces, les composés phénoliques sont différents et donc les solvants à utiliser sont également différents (Tanniou et al. 2013; Koivikko et al. 2005). Les résultats sont exprimés en pourcentage de composés phénoliques totaux extraits (% des solides totaux dans la biomasse initiale). Deux solvants permettent une extraction optimisée des composés phénoliques, l'acétone à 50% et l'isopropanol (IPA) à 50% (Figure 27). Cependant, l'IPA interagit avec les réactifs

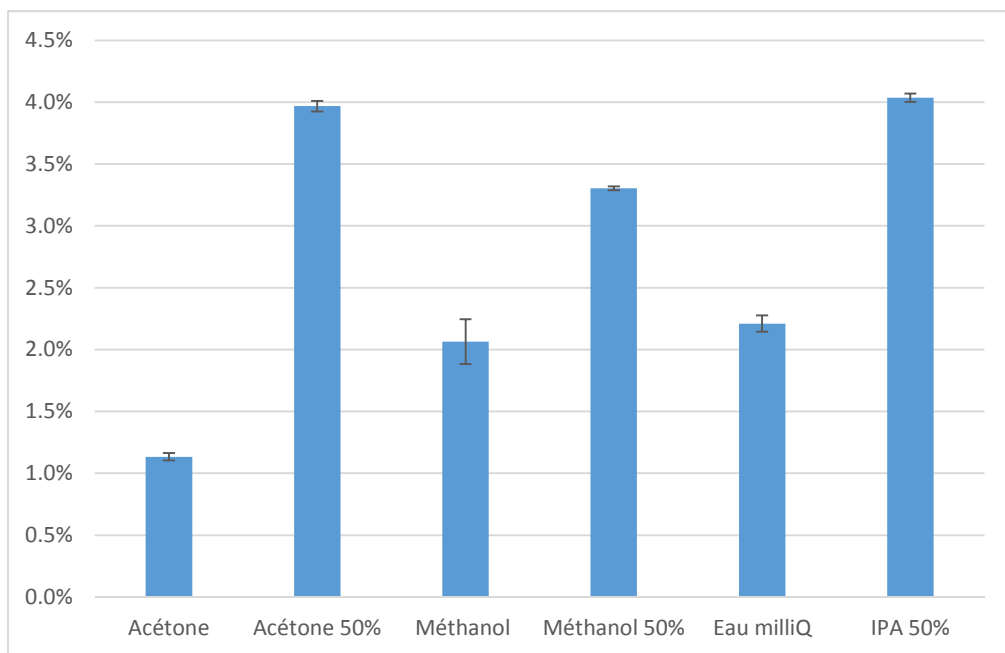


Figure 27 Taux de composés phénoliques dans la biomasse en fonction des solvants d'extraction

de quantification des composés phénoliques pouvant générer une erreur de mesure. Pour la suite des analyses, l'acétone à 50% sera utilisée pour l'extraction des composés phénoliques.

Trois différents protocoles ont été testés pour l'extraction des différents composés (Figure 28). Le premier protocole (histogrammes bleus) consiste en trois extractions successives. La première à l'acétone, la seconde à l'acide chlorhydrique (HCl) et la dernière est une extraction 100% aqueuse (H_2O). De la même manière, la seconde extraction est réalisée en deux étapes avec une extraction acide suivie d'une extraction aqueuse. Et enfin, la dernière extraction est uniquement une extraction aqueuse. La figure 28 représente les rendements totaux à chaque étape d'extraction ainsi que la somme des rendements en fonction des protocoles utilisés. Au total, on constate qu'environ 60% des solides totaux présents dans la biomasse sont extraits en utilisant un protocole à trois étapes, environ 50% sur un protocole en deux étapes et seulement 30% avec une seule extraction aqueuse. Lors du procédé en trois étapes, les rendements obtenus sont de 33%, 22% et 3.5% respectivement

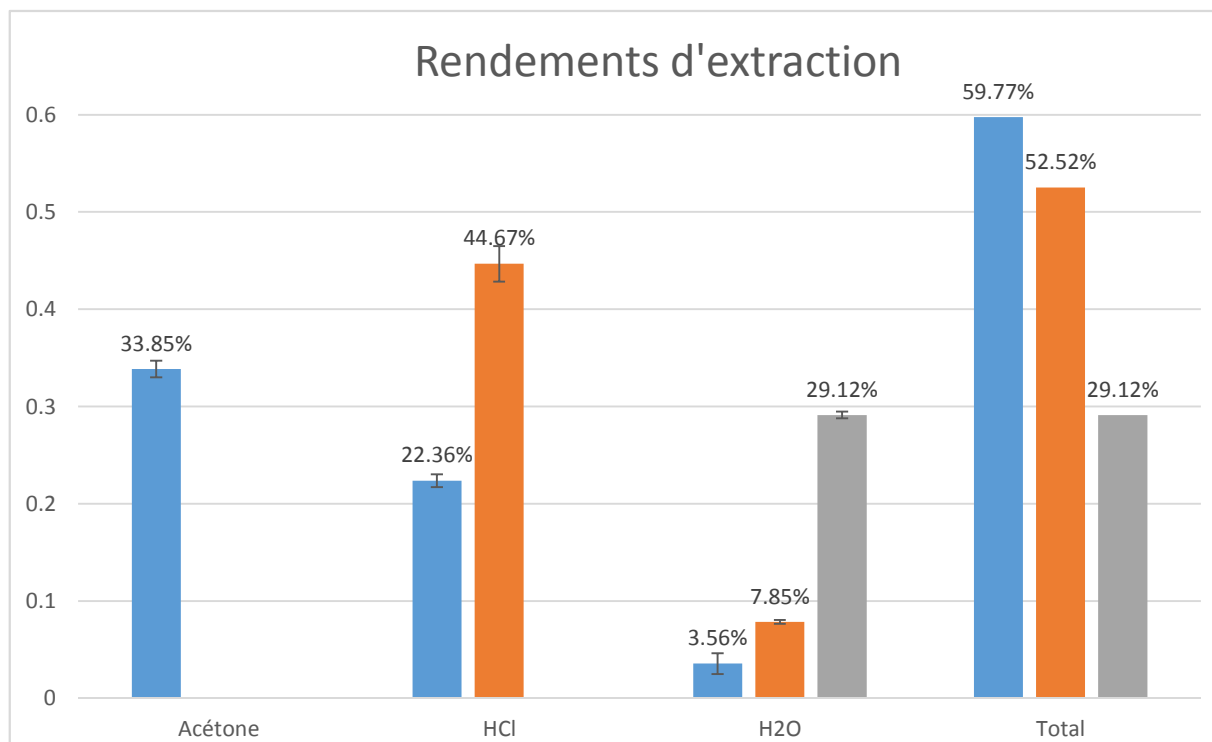


Figure 28 Rendements d'extraction totaux en fonction des protocoles utilisés

pour la succession des trois extractions. Concernant le protocole en deux étapes, les rendements sont respectivement de 44% et 7%. La première étape du protocole en deux étapes, extraction acide, est celle qui permet d'obtenir le rendement le plus important (>40%).

Du point de vue des composés extraits, on constate une différence dans les rendements de composés extraits et notamment entre les protocoles en 2 et 3 étapes comparés à celui en une étape (figure 29). Par exemple, les rendements d'extraction des composés inorganiques sont de l'ordre de 20% pour les protocoles en 2 et 3 étapes alors qu'il est inférieur à 10% pour le dernier protocole. La même observation peut être faite concernant les alginates (20-25% pour les premiers protocoles et 11% pour le dernier) et les fucoidanes (5% et 2.3%). Concernant le mannitol, les différences de rendements entre les protocoles sont plus faibles avec un maximum de 5.6% pour le protocole en 3 étapes et 4.2% pour le protocole en 1 étape. Enfin, pour l'extraction des composés phénoliques, le protocole en 3 étapes donne des rendements plus importants (3.5%) alors que les autres protocoles, n'incluant pas d'extractions avec un solvant organique, ne permettent d'extraire que 1.5% de composés.

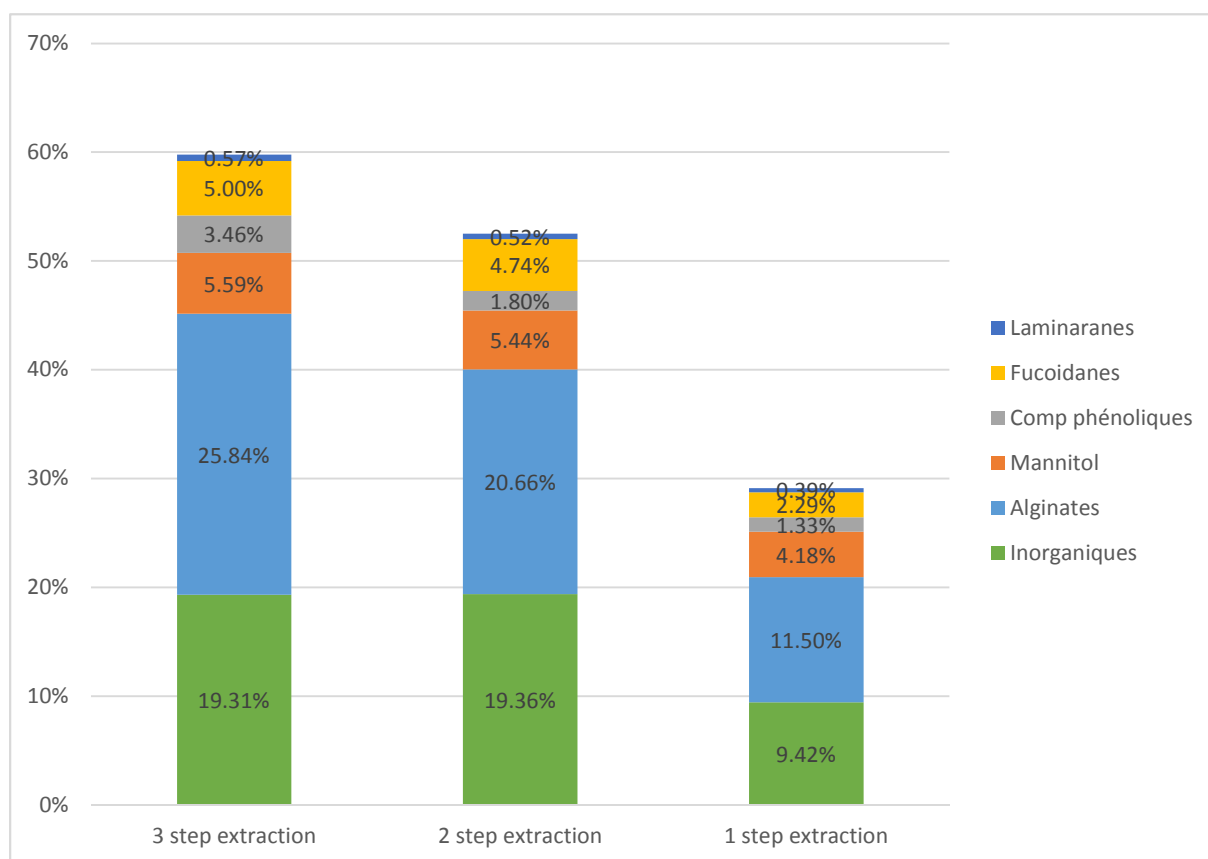


Figure 29 Rendements d'extraction de différents composés en fonction des protocoles utilisés

4- Etude préliminaire de valorisation

Il est relativement difficile de prédire un chiffre d'affaire théorique à ce stade de l'étude. Néanmoins, en se basant sur les premiers essais d'extraction et sur les valeurs actuelles des différents composés, on peut dégager quelques tendances quant au potentiel commercial de la valorisation de *Sargassum muticum*. Ces différentes données, ainsi que les chiffres d'affaire théoriques sont présentés dans le tableau 4. Les prix de vente sont estimés pour des composés purifiés alors que les rendements ne prennent pas en compte les éventuelles pertes de composés lors des étapes de purification. Les chiffres d'affaires annoncés sont donc surévalués. Certains produits existent déjà sur le marché avec des productions industrielles comme le mannitol ou les alginates, d'où le prix de vente relativement faible. En revanche, concernant les autres composés, les rendements d'extraction sont moins élevés mais les prix de vente sont plus importants.

Tableau 4 Rendements d'extraction et chiffre d'affaire potentiel de la valorisation des Sargasses

Extraits	Rdt théorique (kg / t algue)	Prix de vente (€/kg)	CA théorique (€ / t algue)	Marches
Mannitol	50	~ 1	50	Alimentation / Cosmétique
Fucoidanes	35	~ 1 000	35 000	Cosmétique / Pharmaceutique
Laminaranes	6	~ 400	24 000	Médical / alimentation
Alginates	150	~ 10	1 500	Alimentation / Cosmétique
Composés phénoliques	33	~ 500	16 500	Cosmétique / Pharmaceutique

Ce calcul peut être un outil pour comparer le potentiel de valorisation de différentes espèces d'algues comme présenté dans la figure 30. En effet, bien qu'on ne puisse pas baser un modèle économique sur ce calcul, on peut néanmoins comparer le potentiel d'une biomasse en comparaison avec des algues industriellement utilisées. Pour cela, un même protocole d'extraction est appliqué

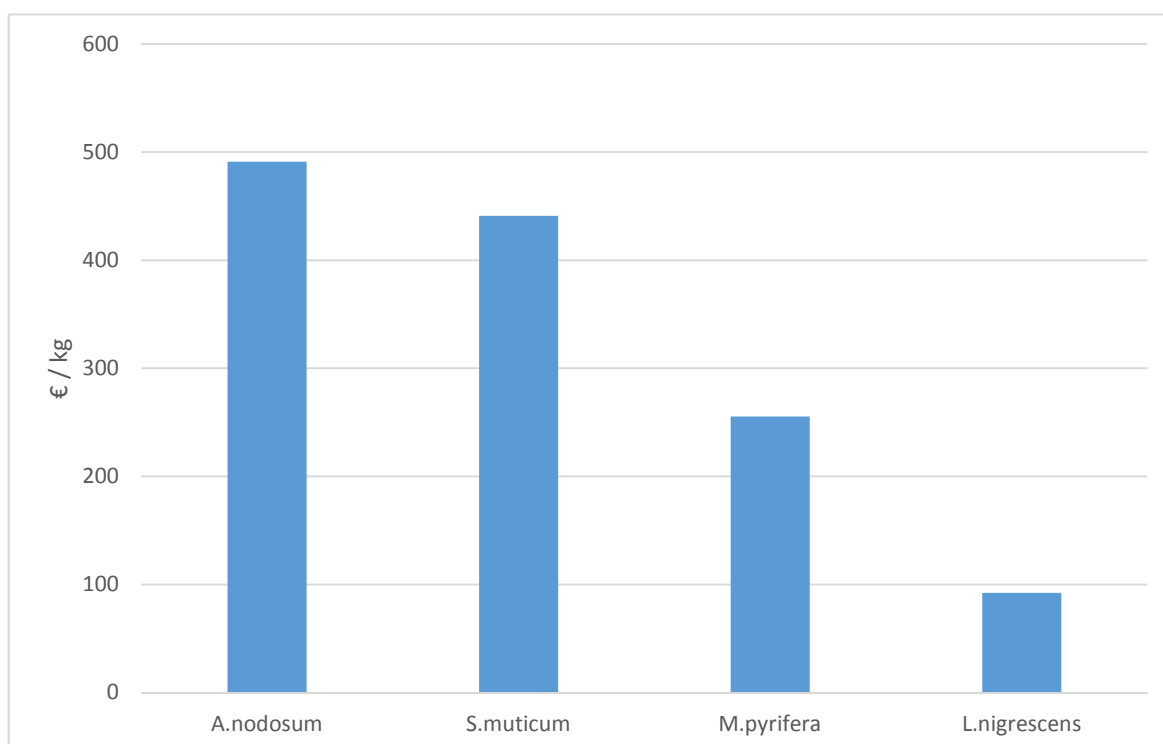


Figure 30 Comparaison du potentiel de valorisation de différentes espèces d'algues brunes

sur différentes biomasses et les compositions sont comparées afin de définir le potentiel d'extraction des composés à hautes valeurs ajoutées. Par ce calcul, on constate que *Sargassum muticum* a un potentiel similaire à *Ascophyllum nodosum*, qui est très utilisé industriellement en Europe et Amérique du Nord.

III- Conclusion

L'étude de l'évolution des compositions des biomasses montre une augmentation de certains composés intéressants comme les fucoidanes ou les composés phénoliques au cours du temps pour atteindre un maximum en début d'été. De plus, ce pic de concentration est corrélé avec le pic de biomasse disponible comme le montre l'étude terrain. Un autre paramètre très important est la constance des résultats obtenus sur une deuxième année. En effet, la comparaison de l'évolution des composés sur deux saisons montre des tendances très similaires ce qui conforte les conclusions quant à la période optimale de valorisation des Sargasses. Néanmoins, il est nécessaire de poursuivre cette étude sur plusieurs années afin de pérenniser ces résultats et ces conclusions.

Concernant les premiers essais d'extraction, différents tests ont été réalisés au laboratoire avec des transpositions industrielles plus ou moins simples. En effet, les essais en milieux aqueux sont facilement transposables alors que l'utilisation de solvants organiques nécessite des précautions et des investissements supplémentaires au niveau industriel. Néanmoins, quels que soient les protocoles utilisés, les composés d'intérêts pour leur valorisation à haute valeur ajoutée ont pu être extraits. Les prochaines étapes consisteraient à optimiser les conditions d'extraction (temps, température...) afin d'augmenter les rendements d'extraction et également de définir les étapes de purification de ces composés.

Au-delà de ce premier projet, l'objectif futur du projet global est de valoriser ces sargasses de manière commerciale en visant des marchés plutôt dits « niches » que de grands volumes. Afin de commencer à tester des bioactivités et ainsi de tester très préliminairement une piste de valorisation, des essais succincts *in vitro* ont été réalisés.

Ces essais d'activités anti-inflammatoires ont été réalisés sur les extraits aqueux. Une inflammation, ou réaction inflammatoire, est la réponse de tissus vivants, vascularisés, à une agression. Si l'inflammation est un processus à l'origine bénéfique de défense, régulièrement,

l'inflammation peut être néfaste en fonction de la virulence du pathogène, de l'état de santé et de l'âge du patient et des autres sources pathogènes associées (Les réactions inflammatoire, Collège français des pathologistes, Cerimes, Edition 2011-2012).

Dans le cadre de cette étude, les essais consistent à déterminer le pouvoir inhibiteur des extraits de *Sargassum muticum* sur la cyclooxygénase, enzyme catalysant la production des prostaglandines. Ces prostaglandines sont des marqueurs de l'inflammation et leur diminution dans le bio-essai, marqué par un pourcentage d'inhibition de l'extrait testé, démontre une activité anti-inflammatoire de cet extrait. Les résultats de l'activité de cet extrait, comparé à un extrait d'*Ascophyllum nodosum*, sont présentés dans le tableau 5. L'*Ascophyllum nodosum* est une algue communément utilisée pour de multiples applications et de nombreuses études scientifiques ont démontré le potentiel anti-inflammatoire d'extraits de cette algue.

Echantillons	Concentration en prostaglandines (pg/ml)	% d'inhibition
Extrait <i>Sargasses</i>	197,1	64,2
Extrait <i>Ascophyllum</i>	19,97	98,23

Tableau 5: Concentrations de prostaglandines entre *Sargasses* et *Ascophyllum*

Ces premiers résultats montrent que les extraits d'algues brunes peuvent avoir une action inhibitrice de la cyclooxygenase et donc potentiellement un pouvoir anti-inflammatoire. En effet, l'extrait de *Sargasses* montre une capacité à inhiber à 64% l'action de l'enzyme alors que l'extrait d'*Ascophyllum* a une capacité d'inhibition de 98%. Une étude plus poussée sur les composés actifs est nécessaire afin d'optimiser la composition des extraits pour obtenir une activité maximale avec un extrait de *Sargasses*.

En parallèle, une étude de faisabilité de mesure du pouvoir anti-inflammatoire sur lignée cellulaire des extraits d'algues pour des applications cosmétiques a été initié en partenariat avec le laboratoire Bioticla de Caen. Les inflammations chroniques sont notamment la source de nombreux problèmes de peau et certains chercheurs évoquent ce type d'inflammation comme la cause du vieillissement tissulaire.

Cette approche proposée par les deux équipes est plus novatrice et permettrait, une fois validée, une mise en application beaucoup plus rapide. Ce nouvel angle, proposé dans le cadre d'une collaboration plus large entre Bioticla et Alganact, s'est révélée cependant plus complexe que prévue.

Au préalable, les conditions de culture de cellules primaires de peau (fibroblastes et kératinocytes) ont été définies, ainsi que les conditions d'induction de l'inflammation dans les cultures.

La première étape de cette étude a été de vérifier la « non toxicité » des extraits sur les cellules testées, en l'occurrence, les fibroblastes. Les résultats de toxicité sont présentés sur la figure 31. En fonction de la concentration, on constate une toxicité des extraits d'*Ascophyllum* (AN 0.01% et AN 0.005%) alors que les extraits de *Sargasses* ne montrent pas de toxicité (SM 0.1% et SM 0.01%) à des concentrations plus élevées. Ce test est une étape indispensable pour définir les concentrations à tester des extraits car une concentration induisant une cytotoxicité ne pourra être testée même si l'action inhibitrice des enzymes est importante. Les premiers résultats obtenus sont, en ce sens, très prometteurs quant au développement d'un extrait de *Sargassum muticum*.

Cependant, la mesure des marqueurs de l'inflammation s'est révélée plus difficile. En effet, différents problèmes techniques sont intervenus pour cette dernière étape de validation, limitant ainsi les tests anti-inflammatoires à proprement mentionné. Il s'est notamment avéré que le transfert des milieux de culture d'une plaque de lecture de 96 puits vers une plaque de 384 puits ou encore la définition des conditions optimales de lecture des résultats soient particulièrement critiques. Le paramétrage d'un lecteur de plaque en fonction des microplaques utilisées s'est aussi révélé problématique. Un important travail de mise au point de cette technique, ne pouvant être inclus dans cette étude très préliminaire, est donc prévu à cet effet entre les deux partenaires.

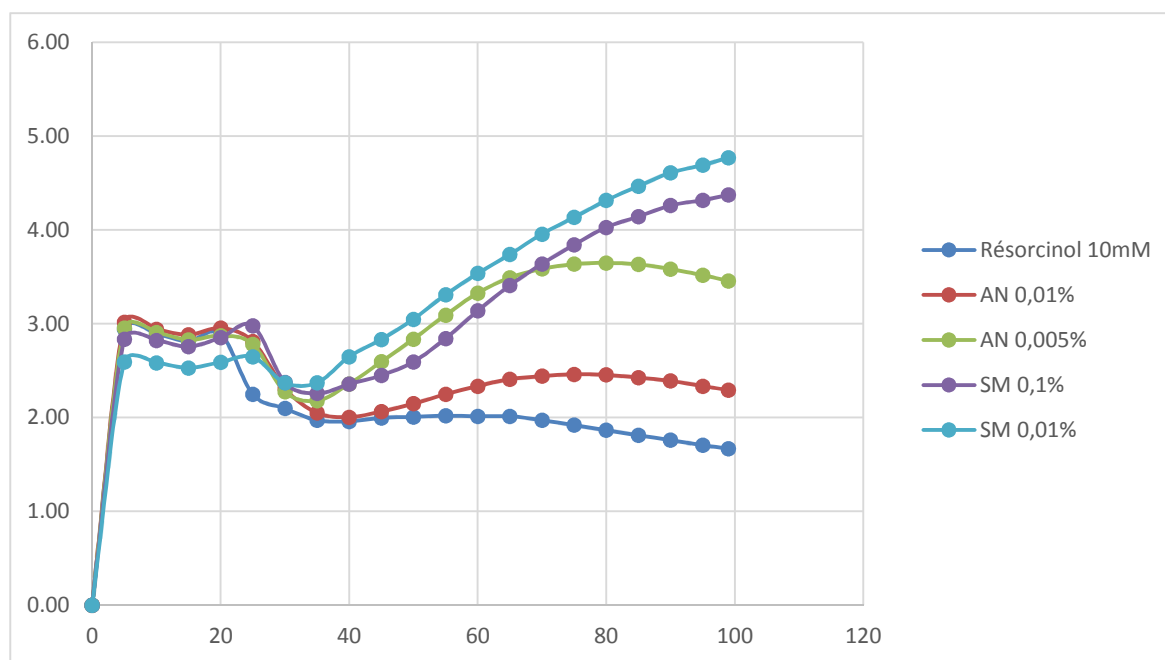


Figure 31: Test de cytotoxicité d'un extrait de Sargasses (SM) et d'Ascophyllum (AN) sur lignée primaire de fibroblastes.

DISCUSSION.

Après cette étude, il apparaît que l'algue *Sargassum muticum* peut être, à l'avenir, une nouvelle ressource économique pour la Normandie. Tous les éléments étudiés au cours de ces deux années de recherche laissent envisager que cette algue invasive, considérée aujourd'hui comme une nuisance, pourrait être la matière première d'une économie innovante et durable. Plusieurs paramètres étudiés concordent parfaitement :

- ✓ Malgré que l'étude se soit limitée à une partie très restreinte du littoral (entre les communes de Coudeville sur Mer et Bricqueville sur Mer), il apparaît que le stock disponible, au plus fort de la croissance en fin de printemps, soit de l'ordre de 2 000 tonnes sur une superficie de 3km². Ce stock est parfaitement comparable au tonnage de certaines espèces d'algues exploitées sur le littoral français. Pour mémoire, la pêche des algues de rive (donc pêchées à pied) représente 6 000 tonnes par an (Comparini, 2015).
- ✓ La pêche de ces algues est parfaitement envisageable. Elle reste très facile d'accès à marée basse, même pour des engins motorisés, que ce soit pour une pêche directe sur l'estran ou en récolte sur les barrages mytilicoles. Entre Mai et Juillet, l'algue est composé d'un thalle de très grande taille (jusqu'à 3 mètres), ce qui facilite sa récolte.
- ✓ Les barrages mytilicoles, aujourd'hui non reconnus officiellement, pourraient être régularisés prochainement par l'état. L'étude montre qu'une géométrie peu gênante pour la circulation sur l'estran permet de capter correctement les algues dérivantes entre Avril et Juillet. Et l'exploitation de ces barrages offrirait une source supplémentaire de matières premières.
- ✓ Après trois années de recherche en laboratoire, il apparaît que *Sargassum muticum* est constitué de molécules connues et valorisables chez les algues brunes, dans des proportions intéressantes et avec des méthodes d'extraction utilisées couramment. De plus, les molécules sont en plus fortes concentrations dans l'algue en fin de printemps, dans une période où l'on atteint le stock maximal sur l'estran.
- ✓ La nature de ces composés oriente la valorisation vers l'agriculture et la culture légumière en particulier. Il s'avère que cette filière est très importante dans le département de la Manche avec des secteurs renommés et labellisés comme les carottes de Créances. Cette voie permettrait de favoriser une exploitation de cette

algue en local, sur un secteur de moins de 100kms. L'autre secteur d'activité qui pourrait être intéressé est la cosmétologie, secteur également présent en région.

Si ces résultats permettent d'entrevoir un avenir pour une filière « sargasses » dans un avenir relativement proche, de nombreuses questions doivent être résolues et permettre une analyse technico-économique crédible.

Tout d'abord, il n'existe aucune réglementation pour la récolte des algues dans les trois départements maritimes normands, ce qui implique que la récolte est interdite sur l'ensemble du littoral. Or, toute activité économique se doit d'être réglementée, d'autant qu'elle se situe sur le domaine public maritime, donc géré par l'Etat. Il en est de même concernant les barrages mytilicoles qui doivent être autorisés pour leur implantation comme pour leur exploitation. Ces travaux ont démontré que l'exploitation de cette ressource pouvait se faire de manière raisonnée, donnée déjà prise en compte par les autorités compétentes qui délivreront et géreront les futures récoltes.

Cette étude s'est limitée à un seul secteur, sur la côte ouest du Cotentin. Cet espace a été choisi en raison des nombreux problèmes causés par les algues sur l'activité mytilicole. Cependant, l'ensemble du territoire normand, notamment sur les secteurs à forte activité conchylicole, doit être sondé afin d'avoir une idée plus précise du stock de sargasses disponible sur l'ensemble des côtes de la région.

D'autre part, les méthodes de récolte doivent être finalisées. Toutes les possibilités sont à étudier. Le ramassage pourrait donc être manuel. 400 pêcheurs à pied professionnels travaillent déjà sur les côtes normandes sur des espèces telles que la coque, la palourde ou la salicorne. La sargasse pourrait être une nouvelle espèce pour ces pêcheurs qui devront se voir attribuer une licence pour accéder à cette ressource. Mais, la récolte mécanisée est également envisageable. Des estrans tel que Briqueville sur Mer sont très faciles d'accès pour tout type d'engins. Toutefois, la rentabilité de ce type d'activités très saisonnière devra être évaluée. Chaque territoire a ses spécificités et, probablement, les méthodes de récoltes différeront en fonction des contraintes de terrain, sociologiques ou économiques.

Les études sur la valorisation permettent de fonder de vrais espoirs sur l'apparition d'une nouvelle filière en Normandie. Toutefois, les travaux devront se poursuivre afin de sélectionner les molécules les plus intéressantes économiquement, notamment celles qui permettront un

développement au niveau local. Ensuite, il faudra affiner la méthode d'extraction de ces molécules, effectuer des essais de valorisation à l'échelle ½ afin d'apprécier la rentabilité économique de ce type d'activités. Ensuite, à l'issue de ces expériences, l'effet des molécules devra être testé de façon expérimentale sur le terrain, notamment sur les champs de cultures légumières de la Manche. Cependant, d'autres domaines économiques devront être abordés et, si possible testés, comme la cosmétologie ou encore l'industrie du bio plastique qui pourrait valoriser le « broyat », soit les parties non utilisées de l'algue lors des extractions.

Les travaux de ces trois années montrent un réel potentiel de développement économique autour de cette algue. Toutefois, il reste encore du travail en termes d'expérimentation scientifique, de rentabilité économique et sur les aspects réglementaires qui devront conduire à la calibrer la taille de cette filière et évaluer les investissements nécessaires sur le territoire normand, l'apport en terme d'emplois pour faire vivre une activité économique fiable tournée vers les filières importantes en Normandie.



Figure 32 : Le barrage à sargasses de Briqueville sur Mer en Juillet 2016 (@SMEL)

Références

- Ale, M.T. & Meyer, A.S., 2013. Fucoidans from brown seaweeds: an update on structures, extraction techniques and use of enzymes as tools for structural elucidation. *RSC Advances*, 3(22), p.8131.
- Ale, M.T., Mikkelsen, J.D. & Meyer, A.S., 2011. Important determinants for fucoidan bioactivity: a critical review of structure-function relations and extraction methods for fucose-containing sulfated polysaccharides from brown seaweeds. *Marine Drugs*, 9(10), pp.2106–30.
- Balboa, E.M., Rivas, S. & González-lópez, N., 2012. Hydrothermal extraction of fucoidan from *Sargassum muticum*. *Journal of Applied Phycology*, pp.6–7.
- Belsher, T. & Pommellec, S., 1988. Expansion de l'algue d'origine japonaise *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt, sur les côtes françaises, de 1983 à 1987. *Cahiers de Biologie Marine*, pp.221–231.
- Bixler, H.J. & Porse, H., 2010. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), pp.321–335.
- Black, W.A.P., Dewar, E.T. & Woodward, F.N., 1952. Manufacture of algal chemicals. IV—Laboratory-scale isolation of fucoidin from brown marine algae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 3(3), pp.122–129.
- Brownlee, I. a et al., 2005. Alginate as a source of dietary fiber. *Critical reviews in food science and nutrition*, 45(6), pp.497–510.
- Cacabelos, E. et al., 2010. Do grazers prefer invasive seaweeds ? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, pp.182–187.
- Chandia, N.P. & Matsuhira, B., 2008. Characterization of a fucoidan from *Lessonia vadosa* (Phaeophyta) and its anticoagulant and elicitor properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 42(3), pp.235–240.
- Connan, S. et al., 2004. Interspecific and temporal variation in phlorotannin levels in an assemblage of brown algae. *Botanica Marina*, 47(5), pp.410–416.
- Cumashi, A. et al., 2007. A comparative study of the anti-inflammatory, anticoagulant,

- antiangiogenic, and antiadhesive activities of nine different fucoidans from brown seaweeds. *Glycobiology*, 17(5), pp.541–52.
- Dalmo, R.A. & Seljelid, R., 1995. The immunomodulatory effect of LPS , laminaran and sulphated laminaran [beta-1 , 3-D-glucan] on Atlantic salmon , *Salmo salar* L ., macrophages in vitro. *Journal of Fish Diseases*, 3, pp.175–185.
- Dettmar, P.W., Strugala, V. & Craig Richardson, J., 2011. The key role alginates play in health. *Food Hydrocolloids*, 25(2), pp.263–266.
- Dillehay, T.D. et al., 2008. Monte Verde: seaweed, food, medicine, and the peopling of South America. *Science (New York, N.Y.)*, 320(5877), pp.784–6.
- Draget, K.I., Smidsrød, P.O. & Skjåk-brnk, P.G., 2005. Alginates from Algae. , pp.1–30.
- Elyakova, L. et al., 1995. Molecular characteristics of subfractions of laminarin. *Chemistry of Natural Compounds*, 30(2), pp.273–274.
- Foley, S. et al., 2011. An Unfractionated Fucoidan from *Ascophyllum nodosum*: Extraction, Characterization, and Apoptotic Effects in Vitro. *Journal of Natural Products*, pp.1851–1861.
- Gaboriau, D. et al., 2007. Binding of sperm proacrosin/beta-acrosin to zona pellucida glycoproteins is sulfate and stereodependent. Synthesis of a novel fertilization inhibitor. *Developmental Biology*, 306(2), pp.646–57.
- Glombitza, K.-W. & Pauli, K., 2003. Fucols and phlorethols from the brown alga *Scytothamnus australis* Hook. et Harv. (Chnoosporaceae). *Botanica Marina*, 46(3), pp.315–320.
- Hagerman, A., 1988. Extraction of tannin from fresh and preserved leaves. *Journal of Chemical Ecology*, 14(2), pp.453–461.
- Hampson, F.C. et al., 2005. Alginate rafts and their characterisation. *International Journal of Pharmaceutics*, 294(1–2), pp.137–147.
- Hellio, C., Bourgougnon, N. & L, Y.L.E.G.A., 2000. Gland of *Mytilus edulis* : Purification , Partial Characterization and Application for Screening Products w i t h Potential Antifouling Activities. , 16(0).

- Hernandez-Carmona, G., Mchugh, D.J. & Francisco, L., 2000. Pilot plant scale extraction of alginates from *Macrocystis pyrifera*. 2. Studies on extraction conditions and methods of separating the alkaline-insoluble residue. *Journal of Applied Phycology*, (1936), pp.493–502.
- Holdt, S.L. & Kraan, S., 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), pp.543–597.
- Holtkamp, A.D. et al., 2009. Fucoidans and fucoidanases--focus on techniques for molecular structure elucidation and modification of marine polysaccharides. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82(1), pp.1–11.
- Honya, M. et al., 1999. Monthly changes in the content of fucans, their constituent sugars and sulphate in cultured *Laminaria japonica*. *Hydrobiologia*, 398–99, pp.411–416.
- Kelly, S., 2005. *Isolation of a b-1,3-glucan (laminaran) from brown algae and investigation of its interaction with mammalian cells*. National University of Ireland, Galway.
- Keusgen, M. & Glombitza, K.-W., 1997. Pseudofuhalols from the brown alga *Sargassum spinuligerum*. *Phytochemistry*, 46(8), pp.1403–1415.
- Kim, Y. et al., 2000. Structural characterization of b-D-(1,3;1,6)-linked glucans using NMR spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 328, pp.331–341.
- Klarzynski, O. et al., 2000. Linear beta-1,3 glucans are elicitors of defense responses in tobacco. *Plant Physiology*, 124(3), pp.1027–38.
- Kloareg, B. & Quatrano, R.S., 1988. Structure of the cell walls of marine algae and ecophysiological functions of the matrix polysaccharides. *Oceanography and Marine Biology*, 26, pp.259–315.
- Knight, M. & Parke, M., 1950. A biological study of *Fucus vesiculosus* L. and *F. Serratus* L. *Journal of Marine Biology Association of the United Kingdom*, 29(2).
- Koivikko, R., 2008. *Brown algal phlorotannins*. University of Turku.
- Koivikko, R. et al., 2005. CONTENTS OF SOLUBLE , CELL-WALL-BOUND AND EXUDED PHLOROTANNINS IN THE BROWN ALGA *Fucus vesiculosus* , WITH IMPLICATIONS ON THEIR ECOLOGICAL FUNCTIONS. *Journal of Chemical Ecology*, 31(1), pp.195–212.

- Kotake-Nara, E. et al., 2001. Carotenoids affect proliferation of human prostate cancer cells. *The Journal of nutrition*, 131(12), pp.3303–6.
- Kumar, S.R., Hosokawa, M. & Miyashita, K., 2013. Fucoxanthin: a marine carotenoid exerting anti-cancer effects by affecting multiple mechanisms. *Marine drugs*, 11(12), pp.5130–47.
- Kwon, H.-J. et al., 2013. In vitro antiviral activity of phlorotannins isolated from *Ecklonia cava* against porcine epidemic diarrhea coronavirus infection and hemagglutination. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 21(15), pp.4706–4713.
- Li, B. et al., 2008. Fucoidan: Structure and Bioactivity. *Molecules*, 13(8), pp.1671–1695.
- Loraine, I., 1989. *L'algue japonaise Sargassum muticum Caractéristiques et répartition*.
- Mabeau, S., Kloareg, B. & Joseleau, J.-P., 1990. Fractionation and analysis of fucans from brown algae. *Phytochemistry*, 29(8), pp.2441–2445.
- Martino, A. De et al., 2000. The light-harvesting antenna of brown algae Highly homologous proteins encoded by a multigene family. *European Journal of Biochemistry / FEBS*, 5549, pp.5540–5549.
- McHugh, D.J., 2003. *A guide to the seaweed industry*,
- Mulloy, B. et al., 1994. Sulfated fucans from echinoderms have a regular tetrasaccharide repeating unit defined by specific patterns of sulfation at the 0-2 and 0-4 positions. *The Journal of Biological Chemistry*, 269(35), pp.22113–23.
- Nishino, T. et al., 1994. Isolation and partial characterization of a novel amino sugar-containing fucan sulfate from commercial *Fucus vesiculosus* fucoidan. *Carbohydrate Research*, 255, pp.213–224.
- Nishino, T. & Nagumo, T., 1987. Sugar constituents and blood anticoagulant activities of fucose containing sulfated polysaccharides in nine brown seaweed species. *Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan*.
- O'Connell, E., 2008. *Purification and characterisation of an algal polysaccharide (fucoidan) and enzymes involved in modification of this polysaccharide*. National University of Ireland, Galway.
- Patankar, M.S. et al., 1993. A revised structure for fucoidan may explain some of its biological

- activities. *The Journal of Biological Chemistry*, 268(29), pp.21770–6.
- Pawar, S.N. & Edgar, K.J., 2012. Alginate derivatization: A review of chemistry, properties and applications. *Biomaterials*, 33(11), pp.3279–3305.
- Peng, J. et al., 2011. Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: metabolism and bioactivities relevant to human health. *Marine drugs*, 9(10), pp.1806–28.
- Percival, E. & McDowell, R., 1968. Book Review: Chemistry and Enzymology of Marine Algal Polysaccharides. By E. Percival and R. H. McDowell. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 7(9), p.746.
- Pfetzinger, J. et al., 2000. Effects of Temperature and Prolonged Emersion on Photosynthesis , Carbohydrate Content and Growth of the Brown Intertidal Alga *Pelvetia canaliculata*. *Botanica Marina*, 43(Kremer 1973), pp.399–408.
- Plouguerné, E. et al., 2006. Spatial and seasonal variation in density , reproductive status , length and phenolic content of the invasive brown macroalga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt along the coast of Western Brittany (France). *Aquatic Botany*, 85, pp.337–344.
- Plouguerné, E., Cesconetto, C. & Gama, B.A.P., 2012. Within-thallus variation in polyphenolic content and antifouling activity in *Sargassum vulgare*. , pp.1629–1635.
- Ragan, M.. & Glombitza, K., 1986. Phlorotannins, brown algal polyphenols. *Progress in Phycological Research*, pp.129–241.
- Ribeiro, A.-C. et al., 1994. A sulfated α -l-fucan from sea cucumber. *Carbohydrate Research*, 255(0), pp.225–240.
- Rioux, L.-E., Turgeon, S.L. & Beaulieu, M., 2009. Effect of season on the composition of bioactive polysaccharides from the brown seaweed *Saccharina longicruris*. *Phytochemistry*, 70(8), pp.1069–75.
- Shuyun, Y. & Jay-Allemand, C., 1991. Use of antioxidants in extraction of tannins from walnut plants. *Journal of Chemical Ecology*, 17(5), pp.887–896.
- Tanniou, A. et al., 2013. Green improved processes to extract bioactive phenolic compounds from

brown macroalgae using *Sargassum muticum* as model. *Talanta*, 104, pp.44–52.

Targett, N.M. & Boettcher, T., 1995. Tropical marine herbivore assimilation of phenolic-rich plants. *Oecologia*, 103, pp.170–179.

Tseng, C.K. & Fei, X.G., 1987. Macroalgal commercialization in the Orient. In M. Ragan & C. Bird, eds. *Twelfth International Seaweed Symposium SE - 23*. Developments in Hydrobiology. Springer Netherlands, pp. 167–172.

Vauchel, P., 2007. *Optimisation de procédés innovants pour l'obtention de phycocolloïdes*.

Zubia, M., Payri, C. & Deslandes, E., 2008. Alginate, mannitol, phenolic compounds and biological activities of two range-extending brown algae, *Sargassum mangroveense* and *Turbinaria ornata* (Phaeophyta: Fucales), from Tahiti (French Polynesia). *Journal of Applied Phycology*, 20(6), pp.1033–1043.

Résumé

Débuté en 2014, le projet Sargasses a pour but d'évaluer la faisabilité technique et scientifique de la récolte de sargasses, algue invasive originaire du Japon, en vue d'une valorisation. Le site d'étude, Bricqueville sur Mer (Manche) est choisi pour l'importance du stock présent et les nuisances que cette algue occasionne sur l'activité mytilicole, très importante dans ce secteur.

L'étude sur l'estran s'est déroulée en deux grands chapitres. Le premier concerne le stock présent et récoltable directement sur l'estran. Sur les 3 km² impactés par la présence de cette algue, le stock estimé au plus fort de la croissance en fin de printemps est d'environ 2 000 tonnes, dont une grande proportion est récoltable. L'autre partie concerne la lutte pour préserver les élevages de moules par la construction de barrages pouvant capter les algues dérivantes. Un schéma d'implantation et un mode de gestion sont proposés à la fois aux professionnels et aux administratifs cherchant à protéger au mieux les élevages tout en laissant le libre accès aux usagers de l'estran. Au final, et même si certains points restent encore à travailler, les algues pêchées sur estran ou captées sur les barrages devront être la matière première d'une filière encore en devenir.

Cette filière devra reposer sur l'extraction de certains composés d'intérêt économique reconnu présent généralement dans les algues brunes. Il fallait déjà s'assurer que les sargasses normandes contenaient en quantités suffisantes ces composés, comme certains sucres. L'autre partie du travail était de calibrer la méthode d'extraction à la fois la plus performante et la moins coûteuse possible. Après avoir démontré ces algues avaient un réel potentiel de valorisation avec l'extraction possible de plusieurs de ces composés, une première approche de rendement économique place *S. muticum* à un niveau comparable à une autre algue brune bien connue; *A. nodosum*.

Summary

Started in 2014, the « Sargasses » project aimed to study the scientific and technical feasibility of harvesting the invasive brown seaweed *Sargassum muticum* in order to valorize it. One site was studied, Bricqueville sur Mer due to its important biomass arrivals and the problems for the mussel farming, well developed in this area.

Two parts were investigating during this study. The first one was to evaluate the available and harvestable stock of biomass. At the maximum, on the 3 km² of the studied area, the seaweed biomass was evaluated at around 2,000 tons. The other part, intended to study the possibility to implant barrier to stop the seaweed and protect the mussel farms. Moreover, the barrier design had to satisfy the legislative aspect and give an easy access to shell pickers. The seaweed, from the shore or picked by the barrier, should be the raw material of a future industry in Normandie.

This industry would be based on the extraction of some compounds known as potential high value product. The first objective of this study was to identify those compounds and quantify their content in the biomass. The valorisation process was based on defining the best compromise between extraction efficiency (yields) and production cost.

After a few trials on *Sargassum muticum* extracts, the potential added value of processing this seaweed had been shown to be close to *Ascophyllum nodosum*, an industrially used brown seaweed.