

Développement de la phycoculture dans le cadre de la diversification des activités conchylicoles

Initiative et synergie partenariale pour le développement de pratiques novatrices et durables en réponse aux besoins des professionnels
Agriculture et Ressources Marines



Convention P33 (2011-2013)

AVANT-PROPOS

Ce document fait la synthèse des résultats obtenus lors de la première phase du projet NORMANDALG dans le cadre de l'appel à projets du Conseil Régional Basse-Normandie: *Initiative et synergie partenariale pour le développement de pratiques novatrices et durables en réponse aux besoins des professionnels - agriculture et ressources marines* : « **DEVELOPPEMENT DE LA PHYCOCULTURE DANS LE CADRE DE LA DIVERSIFICATION DES ACTIVITES CONCHYLICOLES (2012-2013)** ». Un travail préliminaire initié dans le cadre d'un stage Master 2 AQUACAEN en 2011-2012 est également présenté puisqu'il a permis de définir le système fiable de fixation des supports de culture sur les tables ostréicoles même dans des conditions météorologiques difficiles. Des essais de culture sur tables ostréicoles et sur pieux de bouchots ont été réalisés sur 8 espèces algales locales d'intérêt économique (*Laminaria digitata*, *Saccharina latissima*, *Himanthalia elongata*, *Palmaria palmata*, *Chondrus crispus*, *Gracilaria gracilis*, *Codium tomentosum*, *Ulva sp.*) ainsi que la mise au point de la première étape de la phase éclosion pour *Porphyra dioica*. Les résultats obtenus permettent de dégager des pistes de culture intéressantes pour chaque espèce. Les essais menés sur 2 années ont permis de définir les problèmes récurrents qui doivent être pris en compte pour mener à bien les cultures d'algues sur concessions conchylicoles en Basse-Normandie. Par ailleurs, une enquête auprès de la profession conchylicole en Basse-Normandie a montré que des professionnels étaient d'ores et déjà intéressés par la diversification vers la culture de macroalgues.

Anne-Marie RUSIG/Isabelle MUSSIO

BioMEA FRE 3484 CNRS

Equipe Fonctionnement des Ecosystèmes Exploités

IBFA-Université de Caen Basse-Normandie

Esplanade de la Paix – CS 14032

14032 Caen cedex 5

Sébastien PIEN/Katia MARIE

SMEL – Centre expérimental

Zone conchylicole

50560 Blainville/Mer

Maxime GODEFROY

Les Normandines

50560 Gouville/Mer

Christian LE FERON DE LONGCAMP

Les Huîtres de la Dune

50310 Lestre

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES TABLEAUX	8
ACTIONS DE COMMUNICATION	10
INTRODUCTION	12
1-Contexte du projet	12
2-Partenaires	13
2-1-Partenaires scientifiques	13
2-2-Partenaires professionnels et représentants de la profession	14
3-Le marché de l’algue dans le Monde, en Europe et en France : état des lieux	14
3-1-Débouchés	14
3-2-Production	15
3-3-Echanges commerciaux	17
LES TESTS DE CULTURE DE MACROALGUES SUR CONCESSIONS CONCHYLICOLES	19
1-Matériel et Méthodes	19
1-1-Les espèces algales	19
1-1-1-Choix des espèces algales	19
1-1-1-1- <i>Saccharina latissima</i> ou Kombu breton	21
1-1-1-2- <i>Laminaria digitata</i>	21
1-1-1-3- <i>Himanthalia elongata</i>	21
1-1-1-4- <i>Palmaria palmata</i>	21
1-1-1-5- <i>Chondrus crispus</i>	22
1-1-1-6- <i>Gracilaria gracilis</i>	22
1-1-1-7- <i>Ulva sp.</i>	22
1-1-1-8- <i>Codium tomentosum</i>	22
1-1-2-Récolte des algues	22
1-1-3-Stockage des algues récoltées	23
1-2-Sites d’expérimentation: localisation des concessions	23
1-2-1-Site de Gouville/Mer	24
1-2-2-Site de Lestre	25

1-2-3-Site de Pirou	25
1-2-4-Site de Fermanville	26
1-3-Systèmes de culture	26
1-3-1-Supports de culture	26
1-3-2-Techniques de fixation des supports	26
1-3-2-1-Fixation des cordes	26
1-3-2-2-Fixation des poches	28
1-3-2-3-Fixation des cylindres NORTEN	28
1-4-Mise en place des cultures	28
1-4-1-Sur des cordes	29
1-4-1-1-Les laminaires (<i>Laminaria digitata</i> , <i>Saccharina latissima</i>)	29
1-4-1-2- <i>Himanthalia elongata</i>	31
1-4-1-3- <i>Palmaria palmata</i>	31
1-4-1-4- <i>Gracilaria gracilis</i>	32
1-4-1-5- <i>Codium tomentosum</i>	32
1-4-2-Dans des cylindres et des poches	33
1-4-2-1- <i>Chondrus crispus</i>	33
1. En cylindre	33
2. En poches moulées de mailles 14 mm	33
1-4-2-2- <i>Ulva sp.</i>	34
1-4-2-3- <i>Gracilaria gracilis</i>	34
1-4-3-Captage naturel de plantules au sein des concessions ostréicoles	35
1-5-Suivi des cultures	35
2-Résultats	36
2-1-Comportements des systèmes de culture fixés sur les structures conchyliques	36
2-2-Culture sur cordes	36
2-2-1-Les laminaires	36
2-2-1-1- <i>Laminaria digitata</i>	36
2-2-1-2- <i>Saccharina latissima</i>	39
2-2-2- <i>Himanthalia elongata</i>	41
2-2-3- <i>Gracilaria gracilis</i>	42
2-2-4- <i>Palmaria palmata</i>	43
2-2-5- <i>Codium tomentosum</i>	45
2-3-En cylindres et en poches	46
2-3-1- <i>Chondrus crispus</i>	46
2-3-1-1-Culture en cylindres	46
2-3-1-2-Culture en poches moulées	49
2-3-2- <i>Ulva sp.</i>	49
2-3-3- <i>Gracilaria gracilis</i>	49
2-4-Captage naturel de plantules au sein des concessions ostréicoles	50

3-Discussion, Conclusion et Perspectives	51
QUESTIONNAIRE ENVOYE AUX ENTREPRISES CONCHYLICOLES BAS-NORMANDES - PRE-BILAN DES ENTRETIENS SOCIOLOGIQUES	58
1-Questionnaire NORMAND'ALG	58
1-1-Profil des participants au questionnaire	58
1-2-Diversification des activités conchyliques	59
1-2-1-Souhait des entreprises conchyliques à se diversifier	59
1-2-2-Domaine de diversification	60
1-2-3-Période de l'année durant laquelle les conchyliculteurs seraient disponibles pour la diversification	60
1-2-4-Intérêt de la production d'algues pour les conchyliculteurs	60
1-2-5-Techniques de culture d'algues envisagées sur les concessions	61
1-2-6-Position des entreprises conchyliques par rapport à la démarche NORMAND'ALG	61
1-3-Conclusions	62
2-Entretiens avec les acteurs professionnels et institutionnels	62
CONCLUSION GENERALE – PERSPECTIVES	64
BIBLIOGRAPHIE	65

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Parts de marché des différents domaines d'utilisation des algues	15
Figure 2: Evolution de la production mondiale d'algues de 2000 à 2010 en tonnes	16
Figure 3: Volume des importations et des exportations d'algues en Europe	18
Figure 4: Bac de stockage des algues au SMEL	23
Figure 5: Localisation des 4 sites d'expérimentation	24
Figure 6: Site de Gouville sur Mer (M. Godefroy)	24
Figure 7: Site de Lestre (C. de Longcamp)	25
Figure 8: Site de Pirou (M. Godefroy)	25
Figure 9: Site de Fermanville (C. Follet)	26
Figure 10: Différentes techniques de culture par bouturage	27
Figure 11: Les 2 types de fixation des cordes (modèle entourant et modèle zig-zag) sur une table ostréicole	27
Figure 12: Fixation des cylindres NORTEN	28
Figure 13: Crampons de laminaire insérés entre les torons d'une corde	29
Figure 14: Cordes portant les thalles de <i>Laminaria digitata</i> et <i>Saccharina latissima</i> installées sur les tables ostréicoles	30
Figure 15: Cordes de <i>Saccharina latissima</i>	30
Figure 16: Cupule d' <i>Himanthalia elongata</i> insérée entre les torons d'une corde par sa base	31
Figure 17: Installation des cordes de <i>Palmaria palmata</i> sur tables ostréicoles	32
Figure 18: Cordons de <i>Gracilaria gracilis</i> insérés tous les 10 cm sur une corde	32
Figure 19: Plants de <i>Codium tomentosum</i> bouturés sur une corde	33
Figure 20: Poches moulées contenant du <i>Chondrus crispus</i>	34
Figure 21: Essais de culture d'ulves en poche plates et moulées en 2011	34
Figure 22: Essai de culture de gracilaires dans des poches moulées à Lestre (2011)	35
Figure 23: Comportement des thalles de grande taille de <i>L. digitata</i>	37
Figure 24: Culture sur cordes de <i>Laminaria digitata</i> à Lestre	38
Figure 25: Etat des thalles de grande taille de <i>L. digitata</i> à Lestre et à Gouville/Mer après 4 mois et demi de culture	38
Figure 26: Etat des thalles de taille moyenne (20 cm <taille<90cm) de <i>S. latissima</i> à Lestre et à Gouville/Mer après 4 mois de culture	39

Figure 27: Aspect des thalles de <i>S. latissima</i> après 4 mois de culture	40
Figure 28: Culture de cupules d' <i>Himanthalia elongata</i>	41
Figure 29: Etat des thalles de <i>Gracilaria gracilis</i> après 2 mois de culture à Lestre	42
Figure 30: Culture par bouturage de <i>Gracilaria gracilis</i> sur le site de Gouville/Mer (été 2012) : décoloration des thalles après 2 mois de culture	43
Figure 31: Culture par bouturage de <i>Gracilaria gracilis</i> sur le site de Lestre	43
Figure 32: Etat des thalles de <i>Palmaria palmata</i> en culture	44
Figure 33: Evolution de la culture sur corde de <i>Palmaria palmata</i> à Lestre	44
Figure 34: Evolution de la culture de <i>Codium tomentosum</i> à Lestre	45
Figure 35: Essais de culture sur corde de <i>Codium tomentosum</i> à Gouville d'Avril à Septembre 2012	47
Figure 36: Culture de <i>Chondrus crispus</i> en cylindre à Lestre	46
Figure 37: Etat des boutures de <i>Chondrus crispus</i> après 2 mois de culture en cylindre à Gouville/Mer	48
Figure 38: Etat des boutures de <i>Chondrus crispus</i> cultivées en cylindre fixé sur un pieu mytilicole à Pirou après 2 mois de culture. Observation à travers les mailles du cylindre	48
Figure 39: Etat des thalles d' <i>Ulva sp.</i> cultivés en poches moulées après 3 mois et demi de culture à Lestre (été 2012)	49
Figure 40: Captage naturel sur corde vierge de plantules de <i>Palmaria palmata</i>	51
Figure 41: Profil des responsables d'entreprises ayant répondu au questionnaire	62
Figure 42: Taille des entreprises conchyliques ayant répondu au questionnaire	62
Figure 43: Position des entreprises ayant répondu au questionnaire sur une éventuelle diversification	62
Figure 44: Les différentes réponses concernant les domaines de diversification souhaités par les entreprises ayant répondu au questionnaire	63
Figure 45: Les différentes réponses concernant le type de culture d'algues envisagé	64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Algues autorisées pour l'alimentation humaine par le Conseil Supérieur d'Hygiène Public (CEVA, 2012)	16
Tableau 2: Espèces d'algues marines récoltées en France en 2010	17
Tableau 3: Algues testées dans le projet NORMAND'ALG : débouchés commerciaux et mode actuel d'approvisionnement	20
Tableau 4: Sites de ramassage des différentes espèces algales	23
Tableau 5: Algues testées dans le projet NORMAND'ALG : Bilan et perspectives	57

ACTIONS DE COMMUNICATION

Articles dans la presse spécialisée

- Godard I (2012) NORMAND'ALG : une filière en gestation. Cultures Marines 256 : 10. *(copie de l'article)*
- Godard I (2012) Les algues suscitent de l'intérêt. Cultures Marines 257 :13. *(copie de l'article)*

COmités de PILOTage du projet NORMAND'ALG

- 1^{er} COFIL - 6 mars 2012 - SMEL (Blainville/Mer) – NORMAND'ALG : Développement de la phyoculture dans le cadre de la diversification des activités conchyliques (*1^{ère} diapositive de la présentation et compte-rendu*).
- 2^{ème} COFIL - 26 juin 2012 - SMEL (Blainville/Mer) – NORMAND 'ALG : Développement de la phyoculture dans le cadre de la diversification des activités conchyliques (*1^{ère} diapositive de la présentation et compte-rendu*).
- 3^{ème} COFIL – 19 novembre 2012 – Mairie de Saint-Vaast-La Hougue – NORMAND'ALG : Développement de la phyoculture dans le cadre de la diversification des activités conchyliques (*1^{ère} diapositive de la présentation et compte-rendu*).
- Réunion de réflexion sur la mise en place d'un site pilote de culture de macroalgues sur l'estran bas-normand – 5 septembre 2012 – SMEL (Blainville/Mer) (*1^{ère} diapositive de la présentation*).

Réunions d'information à destination de la profession conchylique (*1^{ère} diapositive de la présentation et lettre d'invitation envoyée aux entreprises conchyliques*).

- le 14 mai 2012 à 10h30 à la salle des fêtes de Gouville-sur-Mer (Manche) à destination des concessionnaires de la côte Ouest.
- le 16 mai 2012 à 14h30 à la salle des fêtes de Carentan (Manche) pour les concessionnaires de la côte Est et du Calvados.

Participations à des réunions nationales et internationales

- 1^{ère} réunion du groupe de travail national de suivi des projets de recherche et développement en algoculture – 14 janvier 2013 – Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (Paris) (*1^{ère} diapositive de la présentation*).
- Groupes de travail « Algues en circuit fermé » et « Algues alimentaires » organisés par le CEVA (Centre de Valorisation des Algues, Pleubian) et AQUIMER – 21 mars 2012 (Boulogne/Mer).
- Journée « Algues Marines Bio » - InterBio Bretagne – 21 mai 2012 (Lanildut).

- Atelier de Diversification – Salon National de la Conchyliculture – 12 septembre 2012 (Vannes).
- Atelier de travail NETALGAE « La filière macroalgues : Etat des lieux et perspectives » - 25 septembre 2012 (Brest).
- Forum IDEALG – 28 septembre 2012 (Rennes)
- Colloque final NETALGAE – du 5 au 7 novembre 2012 (San Sebastian, Espagne)
- Réunion BREIZ'ALG – 5 décembre 2012 (Ploufragan)
- Réunion de Présentation du Pôle Mer Bretagne organisé par la MIRIADE – 13 décembre 2012 (Agon-Coutainville)

Réunions avec des industriels

- entreprise agroalimentaire (clause de confidentialité) - 2 juin 2012 – SMEL (Blainville/Mer)
(1^{ère} diapositive de la présentation)
- Association des entreprises agroalimentaires normandes – Mme AUDIC- 30 mars 2012

INTRODUCTION

1-Contexte du projet

En 2010, se sont tenues en France, les Assises Nationales de la Conchyliculture organisées par le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche. Elles se sont déroulées dans un contexte de grave crise de surmortalité touchant les juvéniles de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) depuis 2008. Ces Assises ont permis de réunir toutes les parties de la filière et ont abouti à la formulation de 50 propositions. La proposition 34 portait sur le développement de la diversification des activités notamment par le biais de la culture de macroalgues (Assises de la Conchyliculture, 50 propositions issues des Assises de la Conchyliculture, 22 juin au 11 octobre 2010).

Depuis, plusieurs projets de développement de culture d'algues chez les conchyliculteurs ont vu le jour dans différentes régions de France avec comme principal débouché le marché de l'alimentation. Ainsi en Basse-Normandie, le laboratoire BioMEA (Biologie des Mollusques marins et des Ecosystèmes Associés) de l'Université de Caen Basse-Normandie et le SMEL mènent le projet NORMAND'ALG qui étudie la faisabilité technico-économique de la culture de macroalgues sur les concessions conchyliques. En Bretagne, le projet CHACO, mené sous l'égide du programme BREIZ'ALG porté par Bretagne Développement Innovation, a pour but de développer la co-culture algues/coquillages. En Languedoc-Roussillon, le CEPALMAR travaille sur le projet ALGMED qui étudie les potentialités de diversification des activités conchyliques et de la pêche par la culture d'algues vertes.

Le laboratoire BioMEA (Université de Caen Basse-Normandie) et le SMEL collaborent étroitement depuis de nombreuses années. En 2002, une thèse financée par le Conseil Régional Basse-Normandie a ainsi été réalisée en collaboration avec le SMEL sur l'algue rouge d'intérêt économique *Palmaria palmata* (Le Gall, 2002). En 2007, une étude économique sur la «faisabilité de l'exploitation des algues en Basse-Normandie» avait été effectuée pour le SMEL dans le cadre d'un stage de Master 2 de la Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de l'Université Caen Basse-Normandie (Uzureau, 2007).

Le projet NORMAND'ALG est né suite à une discussion avec des membres de l'Association des Jeunes Ostréiculteurs (AJO) sur les pistes possibles de diversification pour les entreprises conchyliques. L'une des pistes retenues a été celle de la culture de macroalgues locales d'intérêt économique. Le projet NORMAND'ALG étudie ainsi la faisabilité technique et économique de la culture de macroalgues locales sur des concessions conchyliques. Ainsi, en 2010-2011, une étude préliminaire menée conjointement par le SMEL et BioMEA-UCBN sur la possibilité de développer la culture d'algues sur les structures ostréiques a été conduite dans le cadre d'un stage de master 2 AQUACAEN (Poncelet, 2011). Les résultats obtenus montraient ainsi qu'il était pertinent de poursuivre plus loin ces travaux.

Cette volonté affichée de l'UCBN et du SMEL ainsi que de deux conchyliculteurs professionnels de continuer les travaux engagés s'est concrétisée en 2012 par une réponse à un appel à projet émanant de la Région Basse-Normandie. Au cours de la période 2012-2013, différentes actions ont alors été engagées :

- une partie technique sur estran comportant des essais de culture d'algues sur les concessions conchylicoles sur la base des premiers résultats obtenus lors de l'étude préliminaire réalisée en 2011,

- la maîtrise de la première étape en laboratoire de la culture d'une espèce locale de *Porphyra* (*Nori*) consistant en la mise au point d'une souche de *Conchocelis*, prérequis indispensable pour pouvoir envisager par la suite sa culture sur estran.

- une partie sociologique concernant l'évaluation du nombre de professionnels bas-normands intéressés par la culture de macroalgues en activité complémentaire ainsi que des entretiens sociologiques menés auprès de professionnels et d'acteurs du milieu conchylicole pour connaître leur perception de la mise en place de cultures de macroalgues sur les concessions conchylicoles,

- une partie communication avec d'une part une information sur les macroalgues à destination des conchyliculteurs et d'autre part des actions de communication pour faire connaître le projet NORMAND'ALG.

2- Partenaires

2-1- Partenaires scientifiques

1. Laboratoire BioMEA de l'Université de Caen Basse-Normandie

A l'Université de Caen Basse-Normandie, l'unité CNRS INEE-FRE3484 BioMEA "*Biologie des Mollusques marins et des Ecosystèmes Associés*" est l'une des unités de recherche de l'IBFA (Institut de Biologie Fondamentale et Appliquée). Les recherches de BioMEA sont organisées selon 2 axes :

- la physiologie de la reproduction des mollusques marins,
- le fonctionnement des écosystèmes marins exploités.

C'est dans le cadre du deuxième axe que des travaux sur les macroalgues sont menés par Anne-Marie RUSIG et Isabelle MUSSIO, Maîtres de Conférences des Universités.

2. Le SMEL, Synergie Mer et Littoral

Synergie Mer et Littoral est un établissement public sous l'égide du Conseil Général de la Manche qui a pour mission de promouvoir l'expansion des activités économiques liées aux ressources vivantes marines du département de la Manche. Il peut intervenir à toutes les étapes des filières des produits de la mer : des ressources naturelles à la production et l'exploitation jusqu'à leur valorisation. Le programme NORMAND'ALG est porté au SMEL par Sébastien PIEN, chef de projets, et par Katia MARIE recrutée dans le cadre de ce programme comme Ingénieur d'Etude en 2012.

2-2- Partenaires professionnels et représentants de la profession

1. *Maxime GODEFROY* (signataire de l'appel à projet), conchyliculteur à Gouville-sur-Mer (Manche). M. GODEFROY exploite plusieurs concessions en ostréiculture et mytiliculture dans le cadre de son entreprise « Les Normandines »,
2. *Christian de LONGCAMP* (signataire de l'appel à projet), ostréiculteur à Lestre (Manche), dirige la société « Les Huîtres de la Dune »,
3. *Christine FOLLET*, ostréicultrice à Fermanville (Manche) possède une concession en pleine eau qui alimente son entreprise « La Belle Fermanvillaise »,
4. *Le Comité Régional Conchylicole Manche-Mer du Nord* est également associé au projet.

3-Le marché de l'algue dans le Monde, en Europe et en France : état des lieux

L'intérêt croissant pour les macroalgues comme matière première d'importance économique se traduit actuellement au niveau européen et national par la production de documents de synthèse très récents sur cette filière :

- *Le livre TURQUOISE* - Person J (2011) Algues, filières du futur, Livre turquoise, Adebiotech, Romainville, 163p.

www.adebiotech.org/home/img/algues/LIVRE_TURQUOISE-V.screen.pdf

- *Programme Interreg IV NETALGAE* - Mesnildrey L, Jacob C, Frangoudes K, Reunavot M, Lesueur M (2012) La filière des macro-algues en France. Rapport d'étude. NETALGAE – Interreg IVb. Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°9, 38p.

- *Programme Breiz'Alg* - Breiz'Alg (2012) Etude de marché et d'opportunité économique relative au secteur de l'algue alimentaire en France, en Europe et à l'international. Bretagne Développement Innovation 31p.
www.bdi.fr/ressources/etude-de-marche-et-dopportunit-economique-relative-au-secteur-de-lalgue-alimentaire-en

Ce paragraphe « Le marché de l'algue dans le Monde, en Europe et en France : état des lieux » vise à fournir une vision très synthétique de cette filière sur la base des documents cités.

3-1-Débouchés

Les algues sont utilisées dans de nombreux domaines : alimentation humaine pour leurs qualités nutritionnelles avérées, industrie des gélifiants pour leurs phycocolloïdes (alginates, agars et carraghénanes), cosmétologie, pharmacologie...et depuis peu dans le domaine des bioénergies. 75% de la production mondiale des macroalgues sont destinées à l'alimentation humaine (« algues légumes ») (Figure 1A). En termes d'utilisation la France se place au 9^{ème} rang mondial avec 180 000 tonnes transformées ou consommées en 2011 (Breiz'Alg, 2012).

En France les algues sont principalement destinées au marché des hydrocolloïdes (alginates, agars et carraghénanes) (Figure 1B).

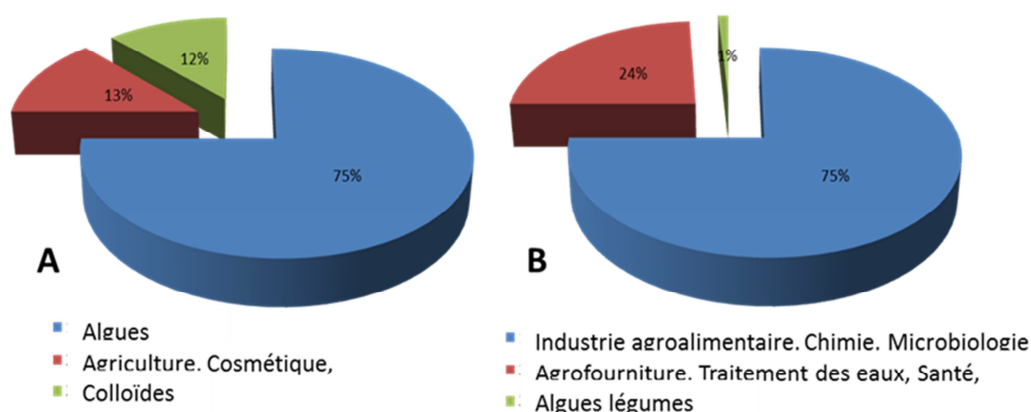


Figure 1: Parts de marché des différents domaines d'utilisation des algues **A/** au niveau mondial, **B/** en France (d'après CEVA 2009 dans Mesnildrey et al., 2012).

Le secteur de l'algue alimentaire est très peu développé en France et concerne surtout des entreprises artisanales. Vingt et une espèces de macroalgues sont autorisées à la consommation humaine par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique (Tableau 1), ces algues devant satisfaire un certain nombre de critères sanitaires, notamment des teneurs maximales en 5 métaux lourds (arsenic minéral, cadmium, mercure, plomb, étain) et iode à ne pas dépasser. A noter que deux des sept espèces de *Porphyra* (*P. tenera* et *P. yezoensis*) et *Laminaria japonica* sont des espèces non indigènes et sont donc cultivées en Asie.

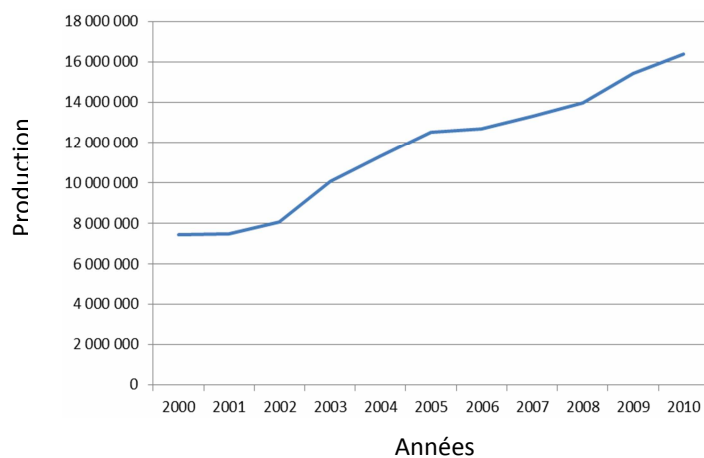
3-2-Production

Depuis 2000, la production d'algues dans le monde est en constante augmentation (Figure 2). Ainsi en 2010, le marché mondial des macroalgues représentait plus de 16 millions de tonnes issues de la culture et de la récolte (pêche ou cueillette sur l'estran). Les algues cultivées représentent plus de 90% de cette production et sont essentiellement produites en Asie du Sud-Est (Chine, Philippines, Indonésie, Corée, Japon) où cette activité existe depuis longtemps. En Europe la filière des macroalgues repose sur la récolte d'algues sauvages sur le littoral atlantique (Frangoudes et al., 2012, Netalgae). Un état des lieux de la filière macroalgues en Europe a été dressé dans le cadre du programme Netalgae et concerne 6 pays européens (Norvège, Royaume-Uni, Irlande, France, Espagne et Portugal). Depuis 2000, la

Tableau 1: Algues autorisées pour l'alimentation humaine par le Conseil Supérieur d'Hygiène Public (CEVA, 2012).

Nom scientifique	Nom en français
Algues brunes	
1. <i>Ascophyllum nodosum</i>	9. Corde à nœuds
2. <i>Fucus vesiculosus</i>	10. Goémon à ampoules
3. <i>Himanthalia elongata</i>	11. Haricot ou spaghetti de mer
4. <i>Undaria pinnatifida</i>	12. Wakamé ou fougère de mer
5. <i>Laminaria digitata</i>	13. Laminaire
6. <i>Saccharina latissima</i>	14. Kombu breton
7. <i>Laminaria japonica</i>	15. Kombu royal
8. <i>Alaria esculenta</i>	16. Wakamé atlantique
Algues rouges	
17. <i>Palmaria palmata</i>	22. Dulse
18. <i>Porphyra spp.</i> (7 espèces)	23. Nori
19. <i>Chondrus crispus</i>	24. Petit goémon ou pioka
20. <i>Gracilaria gracilis</i>	25. Gracile ou agar
21. <i>Lithothamnium calcareum</i>	26. Maërl
Algues vertes	
27. <i>Ulva sp.</i>	29. Laitue de mer
28. <i>Enteromorpha sp.</i>	30. Aonori ou cheveux de mer

Figure 2: Evolution de la production mondiale d'algues de 2000 à 2010 en tonnes (FAO, 2009).



production annuelle en Europe jusqu'alors d'environ 350 000 tonnes par an n'a cessé de diminuer jusqu'à être réduite d'un tiers, cette diminution étant liée à de nombreux facteurs comme le déplacement des usines de transformations vers les pays tiers ou encore les revendications environnementales (Frangoudes et al., 2012).

En France, environ 70 000 tonnes d'algues sont récoltées annuellement plaçant ainsi la France au 10^{ème} rang mondial en 2011. Ce sont plus d'une vingtaine d'algues marines qui sont pêchées, récoltées ou cultivées en France (Tableau 2). La majeure partie de la récolte est réalisée par 35 navires goémoniers (environ 65 000 tonnes). Des récoltants à pied (50 récoltants professionnels sous statut ENIM ou MSA et 300 occasionnels sous statut TESA) complètent cette production pour environ 6 000 tonnes par an. L'aquaculture quant à elle ne représente que 50 tonnes environ. On dénombre moins d'une dizaine d'algoculteurs localisés en Bretagne et en Vendée qui cultivent principalement *Undaria pinnatifida* et *Saccharina latissima* (Mesnildrey, 2012 ; Breiz'Alg, 2012). La principale région productrice d'algues en France est la Bretagne où l'algue est traditionnellement exploitée. C'est également en Bretagne qu'environ 85% des usines de transformation de macroalgues sont localisés.

Tableau 2: Espèces d'algues marines récoltées en France en 2010 (Mesnildrey et al., 2012)

Algues brunes	31.	<i>Ascophyllum nodosum</i>
	32.	<i>Fucus serratus</i>
	33.	<i>Fucus vesiculosus</i>
	34.	<i>Fucus spiralis</i>
	35.	<i>Laminaria digitata</i>
	36.	<i>Laminaria hyperborea</i>
	37.	<i>Laminaria saccharina</i>
	38.	<i>Himanthalia elongata</i>
	39.	<i>Pelvetia canaliculata</i>
Algues rouges	40.	<i>Asparagopsis armata</i>
	41.	<i>Chondrus crispus</i>
	42.	<i>Corallina officinalis</i>
	43.	<i>Delesseria sanguinea</i>
	44.	<i>Dilsea carnosa</i>
	45.	<i>Gracilaria sp.</i>
	46.	<i>Gelidium sesquipedale</i>
	47.	<i>Laurencia pinnatifida</i>
	48.	<i>Mastocarpus stellatus</i>
	49.	<i>Palmaria palmata</i>
	50.	<i>Porphyra umbilicalis</i>
Algues rouges	51.	<i>Ulva sp.</i>
	52.	<i>Enteromorpha sp.</i>

3-3-Echanges commerciaux

A l'échelle mondiale, les macroalgues font l'objet de flux importants d'exportation et d'importation (Person, 2011).

53. Les flux d'importations représentent plus de 2 millions de tonnes pour une valeur d'environ 770 millions M\$ (Breizh'alg, 2012). Les principaux importateurs se situent

dans l'Hémisphère Nord et possèdent les outils de transformation des algues (Uzureau, 2007). La Chine et le Japon sont les deux plus gros importateurs en volume, respectivement 32% et 16%. La France se place au 4^{ème} rang (6%) derrière les Etats-Unis (9%) (Breizh'alg, 2012). A l'échelle européenne, la France en 2009 était le premier pays importateur d'algues avec un peu moins de 20 000 tonnes importées (Figure 3). La France s'approvisionne principalement auprès du Chili (27%), des Philippines (22%) et de la Tanzanie (17%) (Breiz'Alg, 2012).

54. Les flux d'exportation représentent également plus de 2 millions de tonnes pour une valeur d'environ 680 M\$. L'Indonésie (32%), le Chili (19%) et la Chine (11%) sont les principaux exportateurs en volume (Breizh'alg, 2012).

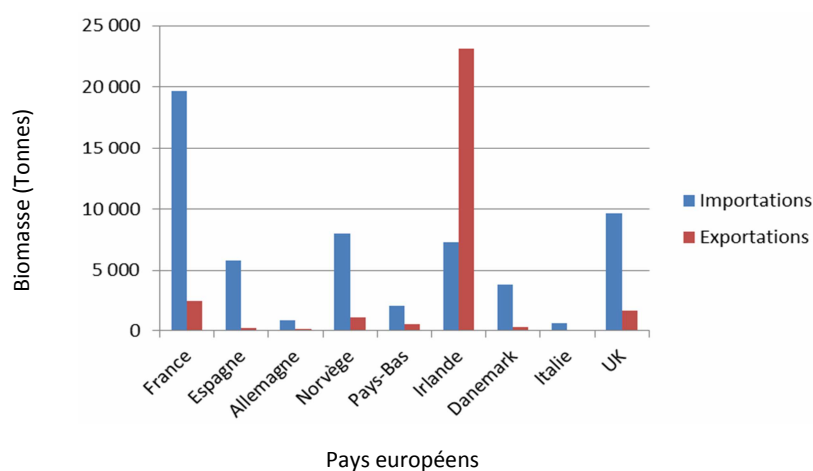


Figure 3: Volume des importations et des exportations d'algues en Europe (FAO, 2009).

LES TESTS DE CULTURE DE MACROALGUES SUR CONCESSIONS CONCHYLICOLES

En Asie, la culture de macroalgues sur estran se pratique déjà pour certaines espèces comme par exemple l'algue rouge *Porphyra (nori)* qui supporte la dessiccation et qui est cultivée sur des filets émergeant à marée basse (Perez, 1997). En revanche, elle ne se pratique pas encore sur des concessions conchylicoles.

Sur les côtes de la Basse-Normandie, les concessions ostréicoles sont naturellement colonisées par des macroalgues qui se développent directement sur les structures (tables, poches, élastiques) servant alors de supports. Ces concessions conchylicoles apparaissent donc comme propices au développement et à la croissance des algues.

Les expérimentations qui ont été menées dans le cadre de NORMAND'ALG (Master 2 AQUACAEN 2011-2012 et 2012-2013) sur concessions conchylicoles avaient pour objectifs:

- (1) de définir le mode de fixation des supports de culture sur les tables ostréicoles et pieux mytilicoles,
- (2) de déterminer les espèces algales indigènes et d'intérêt économique qui se prêtent le mieux à la culture sur les structures conchylicoles (tables et pieux) et aux conditions climatiques et environnementales des côtes de la Manche,
- (3) de tester pour chaque espèce algale la technique de culture sur concession la plus appropriée.

Ces expérimentations ont été menées sur six espèces indigènes des côtes bas-normandes, dans 4 sites conchylicoles présentant des conditions différentes par la méthode du bouturage et selon différentes techniques de culture.

1-Matériel et Méthodes



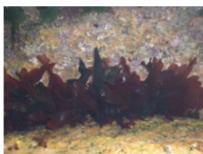



1-1-Les espèces algales

1-1-1-Choix des espèces algales

Les côtes bas-normandes, et notamment celle du département de la Manche, présentent une grande diversité algale offrant ainsi un large panel d'espèces algales d'intérêt économique. Toutefois, le choix des espèces d'algues à cultiver a été fait sur la base des critères suivants :

- intérêt économique reconnu,
- espèce faisant partie de la flore algale de Basse-Normandie,
- espèce supportant une émergence passagère permettant sa culture sur estran,
- bonne connaissance de l'espèce.

Tableau 3: Algues testées dans le projet NORMAND'ALG : débouchés commerciaux et mode actuel d'approvisionnement.

Espèce algale		Débouchés commerciaux	Mode d'approvisionnement
<i>Saccharina latissima</i>		-Algue légume (Kombu breton), -Algue fourrage	-Récolte -Culture en mer par exploitation de son cycle de vie (ALEOR, Lézardrieux, Bretagne)
<i>Laminaria digitata</i>		-Industrie des gélifiants (alginates)	-Récolte -Culture en mer par exploitation de son cycle de vie (ALEOR, Lézardrieux, Bretagne)
<i>Himanthalia elongata</i>		-Algue légume (Haricot de mer) -Cosmétique	-Récolte
<i>Palmaria palmata</i>		-Algue légume -Algue fourrage (ormeaux d'élevage), -Cosmétique	-Récolte -Essai de culture sur la côte ouest de l'Irlande par exploitation du cycle de vie
<i>Chondrus crispus</i>		-Industrie des gélifiants (carraghénanes) -Algue légume -Cosmétique	-Récolte -Culture à terre en bassins par bouturage (SARL INNOVALG, Bouin Vendée)
<i>Gracilaria gracilis</i>		-Industrie des gélifiants (agar)	-Culture en mer par bouturage (Asie, Chili)
<i>Ulva sp.</i>		-Algue légume	-Récolte
<i>Codium tomentosum</i>		-Algue légume (Asie) -Chimie fine -Cosmétique	-Récolte

Huit espèces répondant à ces critères ont ainsi été présélectionnées. Toutes ne seront pas forcément retenues ultérieurement en fonction des résultats obtenus lors des essais de culture. Il s'agit des algues brunes *Saccharina latissima*, *Laminaria digitata* et *Himanthalia elongata*, des algues rouges *Palmaria palmata*, *Chondrus crispus* et *Gracilaria gracilis* et des algues vertes *Ulva sp.* et *Codium tomentosum* qui sont toutes des algues d'intérêt économique soit pour l'alimentation, humaine et animale, soit pour les industries (Tableau 3).

Sur les 8 espèces algales choisies seule la culture en mer de *Saccharina latissima* par exploitation de son cycle de vie et de *Gracilaria gracilis* par bouturage est maîtrisée et fait l'objet d'une production à l'échelle semi-industrielle à industrielle. La culture en mer de *Palmaria palmata* reste encore expérimentale. *Chondrus crispus* est cultivé en bassins à terre par bouturage. Mais pour l'essentiel de ces espèces algales, l'approvisionnement en biomasse repose encore sur une économie de récolte (*Laminaria digitata*, *Himanthalia elongata*, *Palmaria palmata*, *Chondrus crispus*, *Ulva sp.*, *Codium tomentosum*).

1-1-1-1-*Saccharina latissima* ou Kombu breton

Saccharina latissima appelé également Kombu breton est une algue brune pérenne infralittorale de mode calme qui présente une lame ondulée et gaufrée, un stipe et des crampons de fixation. Elle peut atteindre 3 mètres de long et doit son nom à la présence de cristaux de sucres à la surface de son thalle lorsqu'elle sèche. Elle est utilisée en alimentation humaine et animale. Elle est également source d'alginate et de mannitol.

1-1-1-2-*Laminaria digitata*

Laminaria digitata ou Laminaire est une algue brune pérenne infralittorale de mode calme qui possède une lame digitée en lanières. Son stipe cylindrique est lisse et flexible. Elle peut atteindre plusieurs mètres de long. Elle est avec *Laminaria hyperborea* et dans une moindre mesure *Ascophyllum nodosum* la source principale d'alginate employés dans l'industrie agroalimentaire comme agents épaississants, gélifiants et communément utilisés dans différents secteurs comme les industries pharmaceutiques et les industries du textile.

1-1-1-3-*Himanthalia elongata*

Himanthalia elongata est une algue brune annuelle infralittorale de mode battu. Elle se présente sous la forme d'un disque pédonculé correspondant à la partie végétative dont partent deux lanières qui se ramifient dichotomiquement et qui peuvent atteindre 3 mètres de long. Ces lanières correspondent à la partie fertile de l'algue. Ce sont ces lanières qui sont consommées sous le nom de «haricot de mer». Cette algue a également, grâce à sa forte teneur en vitamine C, des propriétés anti-oxydantes et assainissantes intéressantes pour la cosmétique.

1-1-1-4-*Palmaria palmata*

L'algue rouge *Palmaria palmata* est une algue pérenne et infralittorale de mode calme à semi-battu. Elle est formée de lames simples ramifiées ou lobées qui peuvent atteindre 1 mètre de long. La richesse de cette algue en protéines cytoplasmiques, en vitamines et en fibres alimentaires lui confère de fortes potentialités nutritionnelles et

biotechnologiques. Cette algue est traditionnellement consommée sous forme d'algues sèches dans les pays côtiers de l'Atlantique Nord (Angleterre, Irlande, Norvège et Canada). *Palmaria palmata* est également employée comme aliment d'appoint pour le bétail et considérée comme une excellente algue fourrage en aquaculture en raison de sa richesse en protéines (Le Gall, 2002).

1-1-1-5-Chondrus crispus

Chondrus crispus est une algue rouge pérenne, infralittorale. Elle est très polymorphe. A l'échelle de la Basse-Normandie, des différences morphologiques sont observées entre les différents sites de récolte. Elle présente un thalle dressé de 10 à 15 cm de haut rouge-brun foncé présentant souvent des reflets bleus. En Europe, cette algue est utilisée avec *Mastocarpus stellatus* et *Gigartina pistilatta* pour la production de carraghénanes. Cet hydrocolloïde est utilisé dans la fabrication des produits laitiers et des viandes reconstituées en raison de ses propriétés gélifiante, épaississante et d'agent stabilisateur.

1-1-1-6-Gracilaria gracilis

Gracilaria gracilis est une algue rouge pérenne infralittorale formant des cordons cylindriques ramifiés. En Europe elle constitue avec les autres espèces de *Gracilaria* et les espèces du genre *Gelidium* la source d'agar-agar, agent gélifiant stable à des températures élevées, thermoréversible au-delà de 85°C et capable de régélification en refroidissant (Netalgae, Frangoudes et al., 2012). Elle est d'ailleurs cultivée par bouturage depuis longtemps en Asie, principalement en Chine, en Inde et aux Philippines ainsi qu'au Chili.

1-1-1-7-Ulva sp.

Ulva sp. est une algue verte constituée d'une lame aplatie constituée de 2 couches de cellules. C'est une espèce très opportuniste qui se développe dans une large gamme de températures et de salinités. La croissance du thalle étant multidirectionnelle, la multiplication végétative par fragmentation s'avère possible. Cette algue est consommée sous le nom de laitue de mer. Sa capacité importante à absorber les sels nutritifs en fait également un excellent biofiltre pour l'épuration des eaux d'élevage.

1-1-1-8-Codium tomentosum

L'algue verte *Codium tomentosum* est une algue pérenne infralittorale dont le thalle souple vert foncé est formé d'axes cylindriques à ramifications assez régulières, dichotomes, atteignant une trentaine de centimètres de longueur. Elle est consommée en Asie et utilisée dans les cosmétiques pour son action sur la régulation hydrique.

1-1-2-Récolte des algues

Les algues ont été ramassées lors des marées de vives eaux sur différentes zones situées sur les côtes de la Manche et du Calvados, là où les gisements d'algues sont relativement importants. Le tableau 4 récapitule en fonction des espèces étudiées les différents sites de ramassage.

Tableau 4: Sites de ramassage des différentes espèces algales.

<i>Himanthalia elongata</i>	<i>Saccharina latissima</i>	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Chondrus crispus</i>	<i>Gracilaria gracilis</i>	<i>Palmaria palmata</i>	<i>Ulva sp</i>	<i>Codium tomentosum</i>
-Cap Lévy (Manche)	-Gouville/Mer (Manche) -Luc/Mer (Calvados)	-Blainville/Mer (Manche)	-Blainville/Mer (Manche) -Cap Lévy (Manche) -Réville (Manche)	-Luc/Mer (Calvados)	-Cosqueville (Manche) -Gouville/Mer (Manche) -Cap Lévy (Manche) -Luc/Mer (Calvados)	-Luc/Mer (Calvados)	-Cap Lévy (Manche) -Cosqueville (Manche)

1-1-3-Stockage des algues récoltées

Après ramassage sur l'estran, les macroalgues sont stockées au centre expérimental du SMEL (Blainville/Mer) dans des bacs carrés de 300 litres remplis d'eau de mer et thermorégulés à 10 °C (Figure 4). Un bullage est mis en place. Les bacs sont éclairés par des néons lumière du jour (58 watts) avec une photopériode de 10 heures de lumière/14 heures de nuit. L'eau des bacs est renouvelée à 20% trois fois par semaine à partir d'une réserve d'eau de mer également thermorégulée à 10°C.



Figure 4: Bac de stockage des algues au SMEL.

1-2- Sites d'expérimentation : localisation des concessions

Grâce à la mise à disposition par les partenaires professionnels de tables ou de pieux sur leurs concessions, les expérimentations ont pu être menées sur quatre sites différents

répartis sur la côte Ouest (Gouville/Mer : A et Pirou : C), la côte Est (Lestre : B) et le Nord-Cotentin (Fermanville : D) du département de la Manche (Figure 5). Ces quatre sites présentent des caractéristiques différentes, permettant ainsi de conduire des essais d'algoculture dans différentes conditions environnementales.



Figure 5: Localisation des 4 sites d'expérimentation : Gouville/Mer (A), Lestre (B), Pirou (C), Fermanville (D).

1-2-1-Site de Gouville/Mer (A) (Maxime GODEFROY, « Les Normandines »)

Le site de Gouville/Mer est localisé sur une concession ostréicole en mode semi-battu. Le niveau bathymétrique est bas, les tables sont donc émergées uniquement lors des marées de vives eaux. La zone se caractérise par un estran rocheux relativement abrité et quelques zones sableuses. Ce site se caractérise par une grande richesse algale naturelle à la fois en nombre d'espèces et en quantité (Figure 6).



Figure 6: Site de Gouville sur Mer (M. Godefroy).

1-2-2-Site de Lestre (B) (Christian de LONGCAMP, « Les Huîtres de la Dune »)

Il s'agit d'une concession ostréicole située sur un estran sableux en mode battu avec des eaux plus agitées (Figure 7). Les algues sont peu présentes sur ce site qui ne découvre que lors des basses mers de vives eaux. On trouve toutefois des algues se fixant et se développant sur les structures ostréicoles (entéromorphes, fucus,...).



Figure 7: Site de Lestre (C. de Longcamp).

1-2-3-Site de Pirou (C) (Maxime GODEFROY)

Le site de Pirou est localisé sur une zone mytilicole caractérisée par un estran sableux. Les pieux qui ont été utilisés dans le cadre de ce travail sont soumis à un mode battu. Ce site ne découvre que lors des marées de vives eaux (Figure 8).



Figure 8: Site de Pirou (M. Godefroy).

1-2-4-Site de Fermanville (D) (Christine FOLLET, « La Belle Fermanvillaise »)

Le site de Fermanville est une concession ostréicole localisée sur la côte Nord du Cotentin qui présente la particularité d'être en pleine eau (5 à 10 mètres de profondeur) et par conséquent uniquement accessible en plongée (Figure 9). Des algues se développent abondamment sur le site.



Figure 9: Site de Fermanville (C. Follet).

1-3-Systèmes de culture

1-3-1-Supports de culture

Dans le cadre de la méthode du bouturage choisie dans le cadre de cette première étude, quatre types de matériel ont été utilisés comme support de culture sur tables ostréicoles et pieux mytilicoles (Figure 10) :

- des cordes en polypropylène de 12 mm de diamètre
- des poches plates à huîtres de mailles 9 et 14 mm et des poches moulées de type «Yad Marine» de mailles de 4, 9 et 12 mm.
- des cylindres en maille NORTEN de 6mm de diamètre, d'une hauteur de 31cm et de 14 cm de diamètre.

1-3-2-Techniques de fixation des supports

1-3-2-1-Fixation des cordes

Les cordes ont été placées sur les tables selon deux modèles (Figure 11) :

- le modèle « entourant » : les cordes sont enroulées autour des pieds des tables et fixées à l'aide de colliers de serrage de type Colson.
- le modèle « zig-zag » : les cordes sont disposées en forme de zig-zag par des Colsons au-dessus des tables.



Figure 10: Différentes techniques de culture par bouturage : **A/** sur corde, **B/** en poche plate, **C/** en poche moulée, **D/** en cylindre NORTEN.

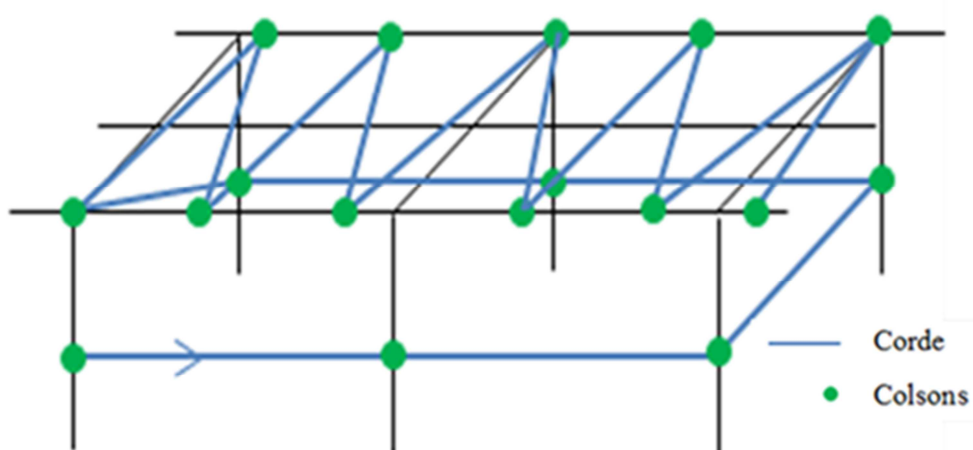


Figure 11: Les 2 types de fixation des cordes (modèle entourant et modèle zig-zag) sur une table ostréicole

1-3-2-2-Fixation des poches

Les poches plates ont été fixées sur les tables à huîtres à l'aide d'élastiques en caoutchouc tandis que les poches moulées ont été disposées en balancier sous les tables (Figures 10B et 10C).

1-3-2-3-Fixation des cylindres NORTEN

Les cylindres ont été fixés sous les tables ostréicoles et aux pieux mytilicoles par des Colsons et des élastiques pour poches à huîtres (Figure 12). Au niveau des tables ostréicoles, les cylindres se trouvaient ainsi situés à environ 40 cm du sol tandis que sur les pieux, ils étaient placés à une hauteur comprise entre environ 1m20 et 1m60 du sol.



Figure 12: Fixation des cylindres NORTEN **A/** sous une table ostréicole et **B/** sur un pieu mytilicole.

1-4-Mise en place des cultures

Il existe deux grandes méthodes de production de biomasse algale : le bouturage et la reproduction sexuée. Le bouturage peut être réalisé chez des espèces qui sont capables de se multiplier naturellement de façon végétative. Cette méthode consiste soit à fragmenter l'algue, chaque fragment étant capable d'augmenter sa biomasse par croissance soit à utiliser des zones du thalle capables de régénérer de façon végétative de nouveaux thalles. Le second système de production de biomasse est utilisé chez des espèces qui ne pratiquent pas naturellement la multiplication végétative. Il repose sur l'exploitation du cycle de vie de l'algue ce qui nécessite de produire des plantules en éclosérie à partir de la réalisation d'une partie du cycle de vie en conditions contrôlées.

Dans cette première étude, la méthode de bouturage a été utilisée pour tester la résistance mécanique du mode de fixation des différents supports ainsi que le comportement des différentes espèces d'algues sur les supports. C'est la raison pour laquelle cette

technique a été utilisée même chez des espèces qui ne se multiplient pas de façon végétative et donc on sait que leur culture nécessitera obligatoirement le passage par le cycle de reproduction sexuée en éclosérie (*Laminaria digitata*, *Saccharina latissima*).

1-4-1-Sur des cordes

1-4-1-1-Les laminaires (*Laminaria digitata*, *Saccharina latissima*)

Lors des expérimentations préliminaires réalisées en 2011, les laminaires (*Laminaria digitata* et *Saccharina latissima*) récoltées entières ont été triées selon leur taille de manière à constituer trois classes :

- les frondes de taille inférieure à 20 cm ou plantules
- les frondes de taille comprise entre 20 et 90 cm
- les frondes de taille supérieure à 90 cm

Les algues ont été insérées par leurs crampons entre les torons de la corde espacées chacune d'entre-elles de 30 cm pour les grandes, de 20 cm pour les moyennes et de 10 cm pour les plantules (Figure 13). Dans le cas particulier des frondes de taille inférieure à 20 cm ou bien des plantules, l'insertion entre les torons a été réalisée au niveau du stipe compte tenu du faible développement des crampons (Figure 15A).



Figure 13: Crampons de laminaire insérés entre les torons d'une corde

Les cordes ont ensuite été installées sur les tables ostréicoles à Gouville/Mer (site A) et à Lestre (site B) selon le modèle « entourant » et le modèle « zig-zag » comme précédemment décrits (Figures 14A et 14B). Les cordes ont été placées sur tables ostréicoles en avril 2011 et maintenues jusqu'en septembre 2011 soit pendant 5 mois.

Une deuxième série d'essais de culture de *Saccharina latissima* a été menée en 2012 sur la concession mytilicole à Pirou (site C) et sur la concession ostréicole en eau



Figure 14: Cordes portant les thalles de *Laminaria digitata* et *Saccharina latissima* installées sur les tables ostréicoles : **A/** selon le modèle « zig-zag », **B/** selon le modèle « entourant ».



Figure 15: Cordes de *Saccharina latissima* : **A/** Jeunes plants de *Saccharina latissima* insérés entre les torons d'une corde par leur stipe. **B/** Corde portant des thalles de *Saccharina latissima* enroulée autour d'un pieu mytilicole (Site C juillet 2012).

profonde à Fermanville (site D). Les algues ont été insérées de la même façon que décrite précédemment. Les cordes ont ensuite été installées sur les supports de production.

55. En juin 2012, sur le site de Fermanville (site D), 41 thalles de *Saccharina latissima* d'une longueur comprise entre 30 et 50 cm ont été insérés sur une corde qui a ensuite été installée sur une table ostréicole en eau profonde selon le modèle « zig-zag ».
56. En juillet 2012, 40 thalles de *Saccharina latissima* de longueur comprise entre 30 cm et 50 cm ont été placés sur une corde enroulée autour d'un pieu mytilicole à Pirou (site C) (Figure 15B).
 - En octobre 2012, suite aux résultats obtenus à partir de l'essai conduit en juillet 2012, l'expérience a été reconduite mais avec des thalles de taille supérieure (60 à 80 cm) et présentant donc des crampons plus développés.

1-4-1-2-*Himanthalia elongata*

Les lanières fertiles d'*Himanthalia elongata* sont les seules parties consommables de l'algue (« haricot de mer ») et se développent à partir de la cupule pérenne de l'algue au moment de sa reproduction. Ainsi des cupules dépourvues de lanières fertiles ont été récoltées en mars 2012 et insérées par leur base dans les torons d'une corde tous les 10 cm (Figure 16). En avril 2012 deux cordes portant chacune 21 cupules ont ainsi été installées sur des tables ostréicoles selon le modèle « zig-zag » à Gouville/Mer pendant 8 mois (décembre 2012) et à Lestre pendant 6 mois (octobre 2012).



Figure 16: Cupule d'*Himanthalia elongata* insérée entre les torons d'une corde par sa base.

1-4-1-3-*Palmaria palmata*

En 2011, des essais de culture de *Palmaria palmata* ont été menés à Lestre. Vingt plants ont été insérés sur une corde tous les 10 cm par la base des thalles. La corde a été installée sur une table ostréicole selon le modèle « entourant » (Figure 17A).

En mars 2012, des cordes portant 40 boutures de *Palmaria palmata* d'un poids global de 410 et 459g (Figure 17B) ont été placées sur des tables ostréicoles à Lestre et à Gouville/Mer selon le modèle en « zig-zag » pendant 8 mois.



Figure 17: Installation des cordes de *Palmaria palmata* sur tables ostréicoles **A/** selon le modèle « entourant » (Lestre, campagne 2011), **B/** selon le modèle « zig-zag » (Gouville/Mer, campagne 2012)

1-4-1-4-*Gracilaria gracilis*

Deux essais de culture de gracilaires ont été menés pendant la période estivale correspondant à leur période de croissance. Le premier essai a eu lieu de juin 2011 à septembre 2011 et le second de mai 2012 à septembre 2012 sur les sites de Gouville/Mer (site A) et de Lestre (site B). Les cordons des gracilaires ont été insérés régulièrement tous les 10 cm sur des cordes de 4 mètres de long (Figure 18). Les cordes ont été fixées sur les tables selon le modèle « entourant » (juin 2011) et selon le modèle « zigzag » (mai 2012).



Figure 18: Cordons de *Gracilaria gracilis* insérés tous les 10 cm sur une corde.

1-4-1-5-*Codium tomentosum*

La culture de l'algue verte *Codium* a été testée à Gouville/Mer (site A) et Lestre (site B) en avril 2012. Quarante-et-un plants de *Codium tomentosum* ont ainsi été insérés au niveau de leur base entre les torons d'une corde tous les 10 cm (Figure 19). La

biomasse totale initiale de *Codium* installée à Gouville/Mer est de 1234g et de 976g pour Lestre soit un poids moyen par plant compris entre 24 et 30g. Les cordes portant les boutures ont été installées à partir d'avril 2012 sur les 2 sites sur des tables ostréicoles selon le modèle en « zig-zag » pendant 6 mois à Lestre et pendant 8 mois à Gouville/Mer.



Figure 19: Plants de *Codium tomentosum* bouturés sur une corde

1-4-2-Dans des cylindres et des poches

La culture de 3 espèces algales a été testée par bouturage dans des poches et cylindres. Il s'agit des 2 algues rouges *Chondrus crispus* et *Gracilaria gracilis* et de l'algue verte *Ulva sp.*. A noter que l'algue rouge *Gracilaria gracilis* a également été testée par bouturage sur cordes (cf 1-4-1-4). La forme des thalles et la morphologie de *Chondrus crispus* et *Ulva sp.* ne permettant pas d'insérer correctement les algues dans les torons des cordes (thalle fin et fragile sans base réellement bien développée pour *Ulva sp.* et absence d'une partie basale très courte réduite à un disque pour *Chondrus crispus*) ont conduit à écarter les essais sur cordes pour ces algues et à privilégier la culture dans des contenants comme les poches et les cylindres.

1-4-2-1-*Chondrus crispus*

1. En cylindre

Des essais de culture de *Chondrus crispus* dans des cylindres NORTEN sur les sites de Gouville/Mer (site A), de Lestre (site B) et de Pirou (site C) ont débuté en mars 2012. Six cylindres ont étéensemencés avec environ 318g de thalles de *Chondrus*. Deux cylindres ont été installés sur chacun des sites sur une table ostréicole à Gouville/Mer et à Lestre et sur un pieu mytilicole à Pirou. Les cultures ont été maintenues pendant 7 mois (fin de l'essai : octobre 2012) (Figure 12B).

2. En poches moulées de mailles 14 mm

Des essais de culture de *Chondrus crispus* par bouturage en poches moulées ont été également menés sur les sites de Gouville/Mer et Lestre d'octobre 2012 à avril 2013 soit durant 6 mois. Deux poches moulées contenant en moyenne 500 g de *Chondrus*

crispus ont été installées sur une table ostréicole dans chaque site selon la méthode classiquement utilisée pour les poches à huîtres (Figure 20).



Figure 20: Poches moulées contenant des boutures de *Chondrus crispus*

1-4-2-2-*Ulva* sp.

Un essai de culture en poches d'*Ulva* a été réalisé en 2011 lors des essais préliminaires. Un poids frais défini de thalles (100g-385g) préalablement débarrassés d'épiphytes a été introduit dans 13 poches plates et moulées qui ont été réparties sur les deux sites de Gouville/Mer et de Lestre de la façon suivante :

- Lestre : 4 poches moulées (mailles 9 mm et 4 mm) et 4 poches plates (Figure 21)
- Gouville/Mer : 2 poches moulées et 3 poches plates



Figure 21: Essais de culture d'ulves en poche plates et moulées en 2011

1-4-2-3-*Gracilaria gracilis*

Un essai de culture de *Gracilaria gracilis* dans 2 poches moulées (9 mm) a été réalisé en 2011 à Lestre pendant 2 mois sur la période estivale. Chaque poche a étéensemencée avec des thalles de *Gracilaria* à raison de 100 g pour l'une et 200 g pour l'autre. Les poches ont ensuite été fixées sur les tables ostréicoles (Figure 22).



Figure 22: Essai de culture de gracilaires dans des poches moulées à Lestre (2011)

1-4-3-Captage naturel de plantules au sein des concessions ostréicoles

En février 2012 des cordes vierges en polypropylène ont été installées sur des tables ostréicoles selon le modèle « zig-zag ». Deux cordes ont été placées à Gouville/Mer, l'une à proximité d'un rocher naturellement colonisé par des algues, l'autre plus éloigné. Une seule corde a été installée à Lestre.

1-5-Suivi des cultures

Le suivi des cultures a été réalisé environ une fois par mois environ sur chaque site à condition que les coefficients de marée étaient suffisamment forts pour y accéder. Ce suivi a reposé sur un contrôle visuel des cultures associé à des prises de vue et avait pour objectif de contrôler :

- la résistance mécanique des systèmes de culture, notamment au niveau des fixations des cordes et des différentes poches et cylindres sur les tables à huîtres ou les pieux mytilicoles,
- l'aspect des algues, c'est-à-dire l'altération éventuelle de leur pigmentation et la présence ou non d'épiphytes,
- pour les laminaires la qualité des frondes ainsi que la croissance de leurs crampons qui s'allongent et s'enroulent autour des cordes et de leur zone stipo-frondale qui correspond à la zone de croissance de l'algue,
- pour *Himanthalia elongata*, l'apparition de lanières à partir des cupules,
- l'augmentation de biomasse pour les cultures dans les poches.

2-Résultats

2-1-Comportements des systèmes de culture fixés sur les structures conchyliques

Sur toute la durée des essais (expériences préliminaires réalisées d'avril à octobre 2011 et expérimentations durant la période 2012-2013) les cordes fixées sur les tables ostréicoles ainsi que sur les pieux mytilicoles ont résisté aux différentes conditions météorologiques et ceci sur l'ensemble des sites testés. Concernant les autres supports, il est à noter que seulement deux poches plates ont été arrachées sur le site très exposé de Lestre où les eaux sont particulièrement battues.

En 2011, dès le début des essais au printemps les sargasses ont proliféré aussi bien sur le site très exposé de Lestre que sur le site abrité de Gouville/Mer « étouffant » ainsi les algues en culture. De même sur ces 2 sites les cultures en poche d'ulves et de gracilaires ont été colonisées par différentes espèces animales comme les éponges, les ascidies et les moules. De même il a été constaté sur les cordes l'installation d'autres espèces algales que celles initialement bouturées. En revanche, une colonisation de la surface des poches par des algues et des animaux n'a été observée qu'à Lestre.

En 2012, comme en 2011, les sargasses ont envahi les sites de Gouville/Mer et de Lestre. Sur ce dernier site leur prolifération a débuté dès le mois de mai tandis qu'à Gouville/Mer, leur apparition a été plus tardive (mois de juillet). Le mois de septembre a marqué la fin de l'invasion par les sargasses. Les cordes installées sur les tables ostréicoles à Gouville/Mer ont été également colonisées par des algues mais à Lestre, cette colonisation a été plus limitée. L'espèce *Chondrus crispus* en cylindre a été colonisée par des ascidies et des éponges sur les deux sites. Cette colonisation a été observée lorsque *Chondrus crispus* est cultivée en poche mais sur Gouville/Mer. Il a été constaté à Lestre plutôt un envasement des cordes.

2-2-Culture sur cordes

2-2-1-Les laminaires

Les essais de culture de *Laminaria digitata* et *Saccharina latissima* sur cordes fixées sur tables ostréicoles réalisées pendant 5 mois d'avril à septembre 2011 avaient pour objectif de tester la résistance du dispositif de fixation sur les tables mais également de suivre le comportement des algues sur les cordes en fonction de leur taille.

2-2-1-1-Laminaria digitata

Pour *L. digitata*, seuls des thalles de grande taille (> 90cm) et de taille moyenne (entre 20cm <taille <90cm) ont été mis en culture à Lestre et à Gouville/Mer sur des cordes fixées sur les tables ostréicoles selon les deux modèles, « entourant » et « zig-zag ».

A Gouville/Mer à l'issue de la période de culture qui s'est étalée d'avril à septembre 2011 soit 4 mois et demi, tous les thalles de taille moyenne avaient été entièrement

arrachés tandis que 53% des thalles de grande taille se sont maintenus sur les cordes quel que soit le modèle de fixation. Cependant les thalles de grande taille (> 90cm) ont mieux résisté avec le modèle « zig-zag » (65%) qu'avec le modèle « entourant » (42%).

A Lestre, les deux classes de taille ont en partie résisté. Cependant, quel que soit leur taille, les thalles se sont :

- soit enroulés autour des cordes ce qui a conduit à leur altération se traduisant par une dépigmentation de la lame

- soit ont été sectionnés au niveau de leur zone stipo-frondale lorsque les cordes étaient fixées selon le modèle « zigzag ».

Avec le modèle « entourant » 59% des algues ont été soit arrachées au niveau de la zone stipo-frondale soit détachées des cordes. Pour les 41% algues restantes les lames étaient encore présentes mais entièrement abrasées. A noter que contrairement à Lestre, les algues sur les cordes fixées selon le modèle « zig-zag » à Gouville/Mer ne se sont pas enroulées autour des cordes ce qui n'a pas empêché un blanchiment des lames (Figure 23).

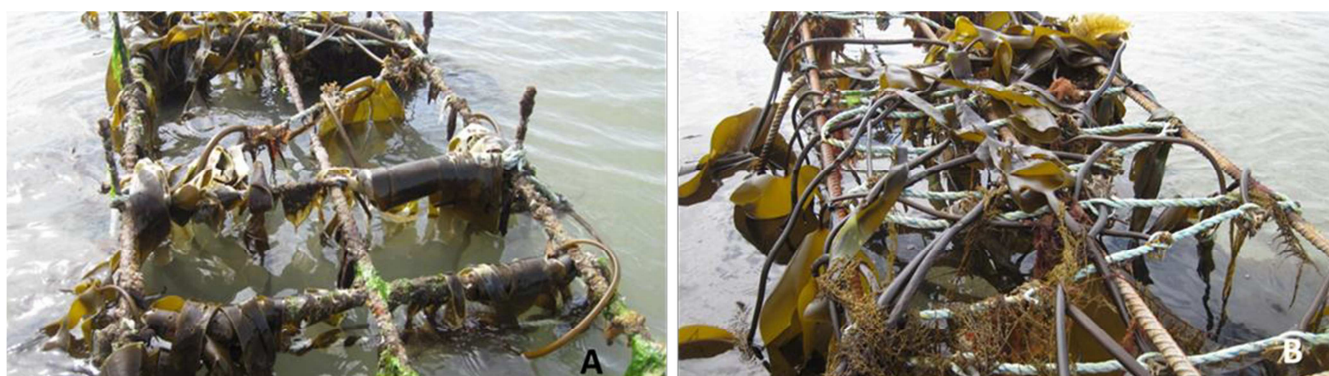


Figure 23: Comportement des thalles de grande taille de *L. digitata* à **A/** Lestre et **B/** Gouville/Mer

A Lestre, les laminaires qui sont restés fixées sur les cordes pendant toute la durée de la culture (5 mois) ont montré une croissance de leur thalle au niveau de la zone stipo-frondale (Figure 24A) ainsi que de leurs crampons (Figure 24B). La présence de taches claires correspondant aux zones fertiles ou sores après émission des spores a été observée sur certains thalles indiquant qu'au cours de la période de culture les algues sont devenues fertiles montrant ainsi que les conditions de culture n'ont pas perturbé le cycle de vie de l'algue (Figure 24C).

La figure 25 résume l'état des thalles de *L. digitata* de grande taille (> 90cm) après 4 mois et demi de culture à Lestre et à Gouville/Mer. On observe ainsi que si l'arrachage d'algues entières a été plus important à Gouville/Mer (40%) qu'à Lestre (16%), le pourcentage d'algues entières en fin de culture est cependant plus important à Gouville/Mer (42%) qu'à Lestre (31%) où l'arrachage partiel des algues a été le plus fréquent (53% vs 19% à Gouville/Mer).



Figure 24 : Culture sur cordes de *Laminaria digitata* à Lestre **A/** Croissance de la zone stipo-frondale (2 mois et demi de culture, 2011) **B/** Croissance des crampons (2 mois et demi de culture, 2011) **C/** Zones de fertilité de l'algue (sores) après émission des spores (4 mois et demi de culture).

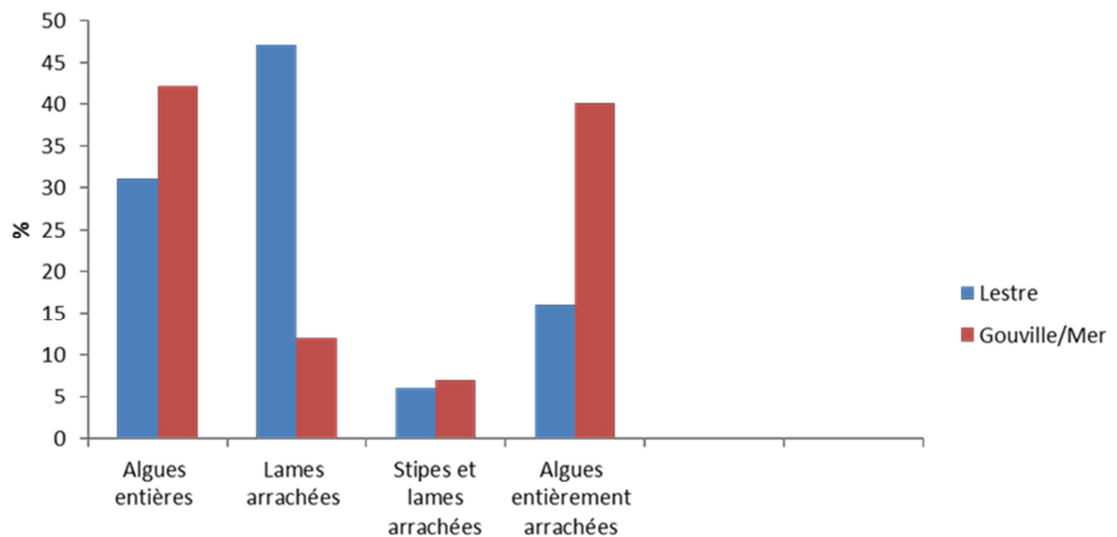


Figure 25: Etat des thalles de grande taille de *L. digitata* à Lestre et à Gouville/Mer après 4 mois et demi de culture.

Les expérimentations menées sur *Laminaria digitata* ont prouvé la résistance du système de culture sur cordes installées sur tables ostréicoles selon le modèle « zig-zag ». En revanche, pour cette espèce des problèmes d'abrasion, d'arrachage et d'enroulement des frondes autour des structures et des cordes ont été observés. Toutefois les algues cultivées qui ont résisté ont pu poursuivre leur croissance ainsi que leur cycle de vie puisque certains thalles sont devenus matures. Cependant ce système de culture sur cordes sur les tables ostréicoles ne permet pas de cultiver des thalles de grande taille, la qualité des frondes étant ainsi altérée.

2-2-1-2-*Saccharina latissima*

Deux techniques de culture ont été utilisées pour l'algue brune *Saccharina latissima*. Les cordes ont été soit fixées sur les tables ostréicoles selon les modèles « zig-zag » et « entourant » comme pour *L. digitata* (étude 2011) soit enroulées autour de pieux mytilicoles (étude 2012).

En 2011, tous les thalles de taille $< 20\text{cm}$ ont été arrachés dès le premier mois de culture aussi bien sur le site de Lestre que sur le site de Gouville/Mer. Le taux d'arrachage des algues de taille moyenne ($20\text{cm} < \text{taille} < 90\text{cm}$) et de grande taille ($> 90\text{cm}$) a varié selon le site de culture. Ainsi à Lestre il était compris entre 94% pour les algues de grande taille et 97% pour les algues de taille moyenne. A Gouville/Mer ce taux d'arrachage était nettement moins important puisqu'il était de 34% pour les algues de grande taille et de 74% pour les algues de taille moyenne. Si l'on s'intéresse aux algues de taille moyenne, on constate qu'à Lestre les algues ont été entièrement arrachées tandis qu'à Gouville/Mer les algues ont été soit entièrement arrachées (63%) soit partiellement arrachées (11%) (Figure 26).

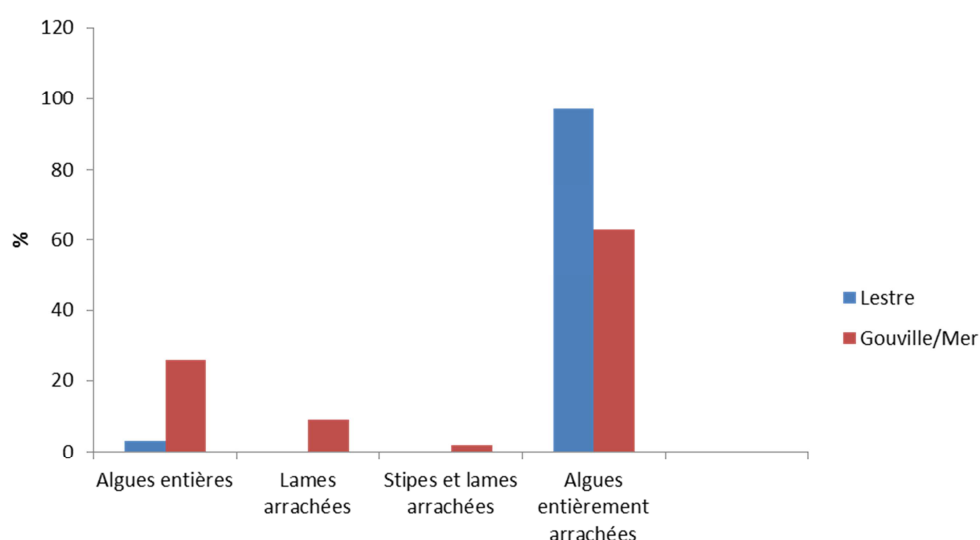


Figure 26: Etat des thalles de taille moyenne ($20\text{ cm} < \text{taille} < 90\text{cm}$) de *S. latissima* à Lestre et à Gouville/Mer après 4 mois de culture.

Les 2 sites se distinguent également par l'aspect des algues en culture. A Lestre, les thalles ont perdu leur aspect gaufré caractéristique et ont été fortement abrasés par leur extrémité (Figure 27A) entraînant ainsi une diminution de la biomasse algale tandis qu'à Gouville/Mer les algues ont conservé un aspect normal (Figure 27B).

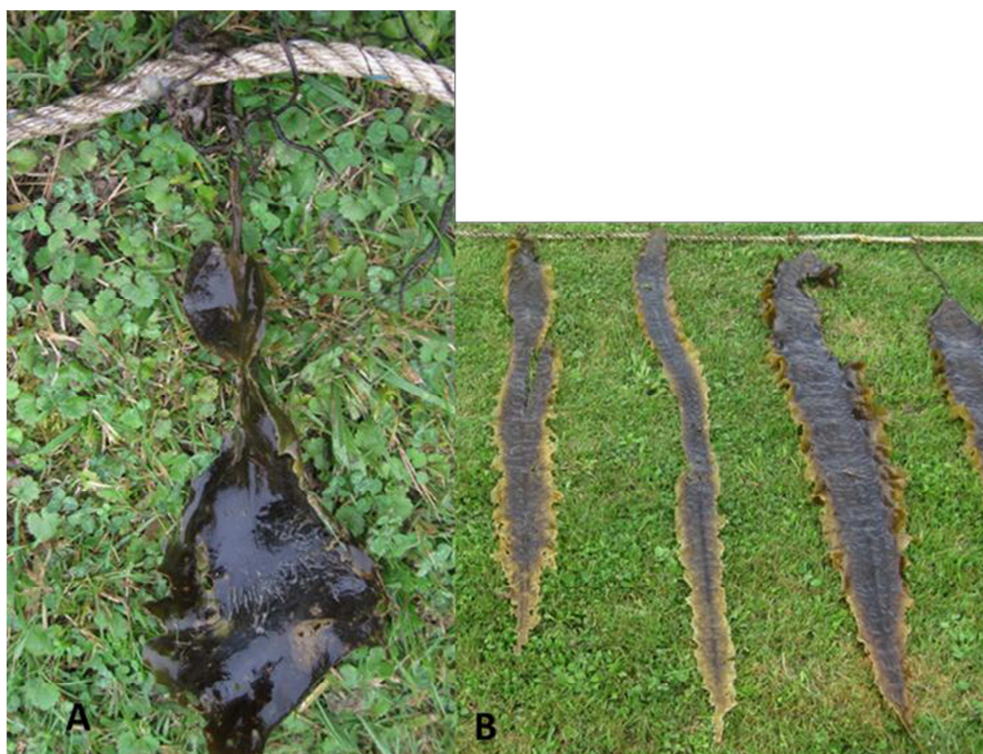


Figure 27: Aspect des thalles de *S. latissima* après 4 mois de culture **A/** à Lestre, **B/** à Gouville/Mer

En 2012, les essais de culture de *Saccharina latissima* sur pieux à Pirou (site C) n'ont pas été concluants puisque l'ensemble des algues installées en juillet ont toutes été arrachées dès le premier mois de culture. Les algues qui étaient implantées sur la corde qui a été installée en octobre ont également été arrachées mais seulement partiellement puisque quelques crampons avec stipes étant encore présents sur la corde. Les thalles qui ont été cultivés en eau profonde à Fermanville (site D) ont également été totalement arrachés.

Les essais de culture de *Saccharina latissima* ont été marqués par un très fort taux d'arrachage des thalles compris entre 34% et 100% selon les sites et la taille des thalles. C'est à Gouville sur Mer, site le moins exposé, que les taux ont été les moins forts. Comme pour *Laminaria digitata*, ce système de culture n'est pas adapté pour les saccharines. Cependant les systèmes de fixation ont quant à eux résisté puisque seuls les thalles ont été arrachés.

2-2-2-*Himanthalia elongata*

La culture sur cordes de cupules d'*Himanthalia elongata* a été menée d'avril 2012 à décembre 2012 soit pendant 8 mois à Gouville/Mer mais seulement pendant 6 mois à Lestre, jusqu'en octobre 2012 (Figure 28A). A Gouville/Mer, durant les deux premiers mois de culture, quelques cupules ont été arrachées. Les cupules restantes étaient en bon état. Cependant la période estivale 2012 a été marquée à Gouville/Mer par une prolifération des sargasses pouvant expliquer l'arrachage par la suite d'une grande partie des cupules. Ainsi en septembre il a été observé que 70% des cupules avaient été arrachées. Cependant les 30% des cupules restantes étaient de bonne qualité, non dépigmentées avec même pour certaines d'entre elles un début de développement des lanières ce qui correspond bien au cycle naturel de l'algue où ces lanières s'observent généralement à l'entrée de l'hiver (Figure 28B). Cependant la croissance de ces lanières est restée limitée.

A Lestre, les sargasses ont envahi le site dès le premier mois de culture en avril-mai et sont restées très présentes durant 3 mois, compliquant les observations notamment en juillet. Les cupules ont cependant conservé un bon état. En revanche, en septembre, comme à Gouville/Mer 70% des cupules ont été arrachées tandis que les cupules restantes étaient très envasées (Figure 28C). Par contre contrairement à Gouville/Mer aucun développement de lanières n'a pu être observé même après 6 mois de culture.



Figure 28: Culture de cupules d'*Himanthalia elongata* **A/** Corde portant les cupules et placée selon le modèle « zig-zag » à Lestre, **B/** Début de développement des lanières (→) sur une cupule d'*Himanthalia* après 8 mois de culture (Gouville/Mer, décembre 2012), **C/** envasement des cupules après 5 mois de culture à Lestre.

La culture des cupules d' *Himanthalia elongata* en vue d'obtenir des lanières a pu être suivie pendant 8 mois. La prolifération des sargasses a été probablement responsable de l'arrachage important des cupules en période estivale. Cependant les cupules restantes ont conservées jusqu'à la fin de l'expérimentation un bon état physiologique et certaines d'entre-elles ont d'ailleurs été capables de poursuivre leur cycle de vie avec une ébauche de développement de lanières.

2-2-3-*Gracilaria gracilis*

Pendant l'été 2011 des premiers essais de bouturage sur cordes de l'agarophyte *Gracilaria gracilis* ont été réalisés sur les sites de Lestre et de Gouville/Mer. A l'issue des 2 mois de culture, une faible perte des algues insérées dans les torons a été constatée à Lestre (Figure 29A). Les algues restant sur la corde étaient de bonne qualité, sans épiphytes même si certaines d'entre-elles étaient décolorées suite à une dépigmentation (Figure 29B). Les résultats obtenus pendant la même période à Gouville/Mer sont très différents puisque sur les 30 thalles insérés le long de la corde, un seul thalle décoloré a pu être récupéré

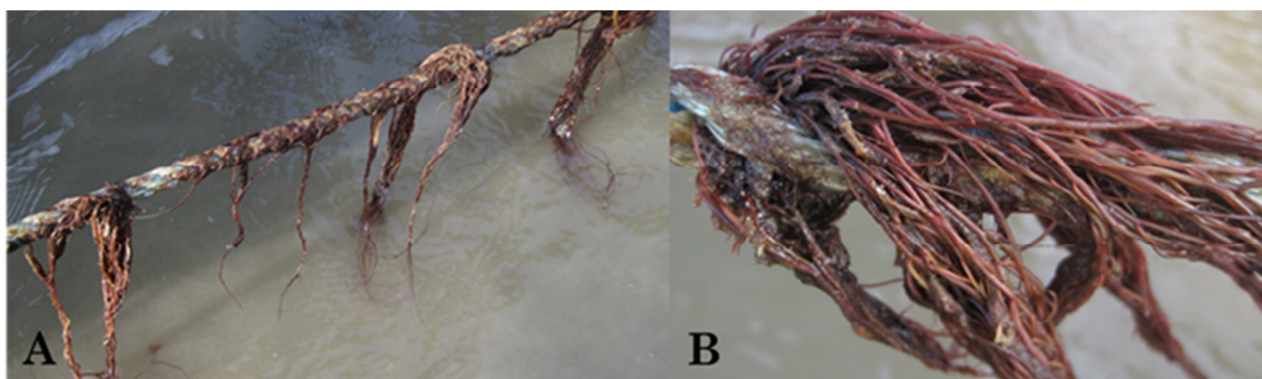


Figure 29: Etat des thalles de *Gracilaria gracilis* après 2 mois de culture à Lestre **A/** Boutures placées le long de la corde, **B/** Détail d'une bouture (Lestre, été 2011).

L'expérience a été répétée en 2012. Sur le site de Gouville/Mer, les boutures de *Gracilaria gracilis* se sont d'abord décolorées dès le premier mois de culture, les cordons ont été abrasés laissant sur la corde seulement les bases qui étaient toujours présentes un mois plus tard mais qui ont ensuite totalement disparu après 4 mois de culture (Figure 30). Ce phénomène est intervenu plus tardivement à Lestre qu'à Gouville/Mer. Après un mois de culture, les gracilaires avaient conservé un bon état général et n'étaient pas décolorées. Un début de décoloration a été observé après seulement 2 mois de culture. Mais comme à Gouville/Mer les boutures de gracilaires ont totalement disparu au bout de 4 mois de culture (Figure 31).



Figure 30: Culture par bouturage de *Gracilaria gracilis* sur le site de Gouville/Mer (été 2012) : décoloration des thalles après 2 mois de culture.

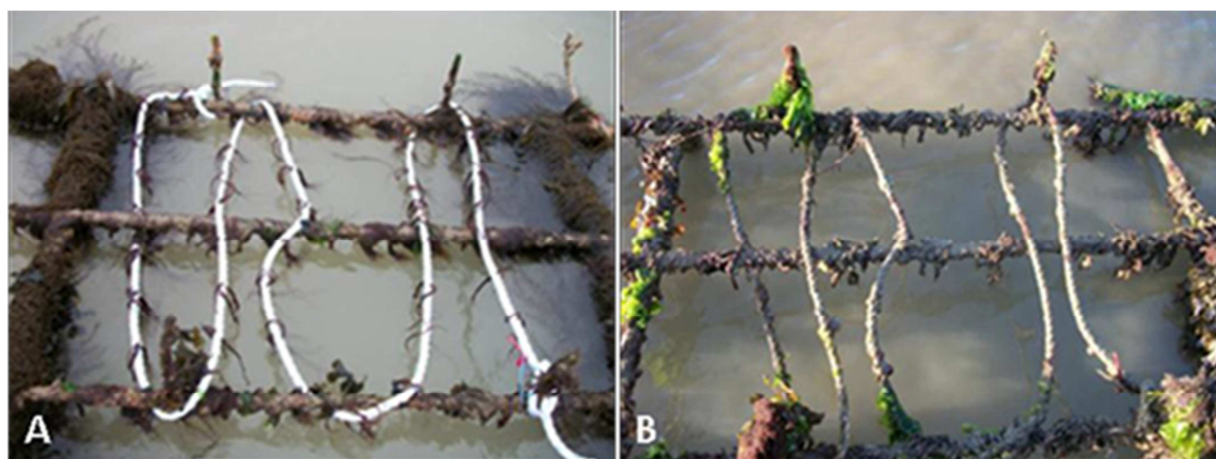


Figure 31: Culture par bouturage de *Gracilaria gracilis* sur le site de Lestre **A/** Mise en place des cordes en mai 2012, **B/** Après 4 mois de culture tous les plants ont été arrachés.

Les différents essais menés avec l'agarophyte *Gracilaria gracilis* montrent des résultats différents d'une année sur l'autre notamment en ce qui concerne l'arrachage suggérant ainsi la nécessité d'améliorer l'insertion des boutures sur les cordes. La dépigmentation de *Gracilaria gracilis* ne pose pas de problème en termes de valeur marchande de l'algue puisqu'il ne s'agit pas de d'une algue-légume, la biomasse étant destinée à l'extraction de l'agar.

2-2-4-Palmaria palmata

Les essais de culture sur cordes de *Palmaria palmata* ont été menés à Lestre et Gouville/Mer du printemps à l'automne sur les 2 années 2011 et 2012.

En 2011, après 2 mois de culture à Lestre, 95% des algues bouturées sur une corde installée selon le modèle « entourant » ont été arrachés. Le seul thalle restant étant quant à lui fortement dégradé et marqué par un début d'altération de sa pigmentation (Figure 32A).

En 2012, les suivis réalisés sur les cordes portant des thalles de *Palmaria palmata* installées selon le modèle « zig-zag » sur des tables ostréicoles à Lestre et à Gouville/Mer

de mars à octobre ont mis en évidence un taux d'arrachage important. Ainsi après deux mois de culture ce taux d'arrachage était de l'ordre de 62.5% à Gouville/Mer. Après 6 mois de culture il était de 100% à Lestre. Les thalles restants à Gouville/Mer étaient pour certains très abrasés. Au cours de la culture les cordes installées à Gouville/Mer ont été colonisées par d'autres espèces algales tandis qu'elles se sont envasées à Lestre. Les thalles ont été partiellement dépigmentés cependant une augmentation de la taille des thalles, résultat de leur croissance, a pu être observée à Gouville/Mer (Figure 32B).



Figure 32: Etat des thalles de *Palmaria palmata* en culture A/ A Lestre après 2 mois de culture (étude 2011), B/ à Gouville/Mer après 7 mois de culture (étude 2012).

La figure 33 montre l'évolution de la culture de *Palmaria palmata* sur corde installée à Lestre de mars à septembre 2012.



Figure 33: Evolution de la culture sur corde de *Palmaria palmata* à Lestre A/ à l'installation de la corde (mars 2012), B/ envahissement par les sargasses après 4 mois de culture (juillet 2012), C/ après 6 mois de culture, l'ensemble des thalles a été arraché et la corde est entièrement envasée.

L'arrachage important des plants de *Palmaria palmata* aussi bien sur le site semi-battu (Gouville/Mer) que sur le site exposé (Lestre) montre que la technique de bouturage sur corde n'est pas adaptée pour la culture de *Palmaria palmata*. La culture de cette algue nécessite obligatoirement de passer préalablement par une phase éclosion afin d'ensemencer les supports de plantules issues de la reproduction sexuée.

2-2-5-*Codium tomentosum*

Des cordes portant des plants de *Codium tomentosum* ont été installées sur tables ostréicoles à Lestre et à Gouville/Mer selon le modèle « zig-zag » à partir du mois d'avril 2012. La culture a été menée jusqu'en septembre 2012 à Lestre soit pendant 5 mois et jusqu'en décembre 2012 à Gouville/Mer soit pendant 8 mois.

A Lestre, après un mois de culture les sargasses ont commencé à envahir le site et par conséquent ont recouvert partiellement la corde portant les plants. Cependant malgré la présence des sargasses sur le site jusqu'en juillet, une reprise de croissance des boutures a été observée dès le mois de juin se traduisant par l'apparition de zones plus claires dans la région apicale de certains cordons. Cependant en septembre une grande partie des boutures a été arrachée. Cet arrachage a été associé à un phénomène d'envasement de la corde. Cependant les boutures restantes ont conservé une belle pigmentation traduisant leur bon état physiologique (Figure 34).



Figure 34: Evolution de la culture de *Codium tomentosum* à Lestre **A/** Installation de la corde en avril 2012, **B/** Invasion des sargasses en juin 2012, **C/** Croissance des cordons visibles par des zones apicales plus claires (→), **D/** Arrachage de la plupart des boutures en septembre 2012.

Sur le site de Gouville/Mer, deux mois après le début de la culture en juin les tables ont commencé à être colonisées également de façon importante par l'algue brune *Sargassum muticum* ainsi que par les algues vertes du genre *Ulva* qui ont été présentes jusqu'en automne. A partir du mois de juillet, une reprise de croissance des thalles a néanmoins été observée par l'apparition de zones apicales plus claires. Comme à Lestre, le mois de septembre a été marqué par un arrachage important des boutures. Cependant les boutures restantes ont pu poursuivre leur croissance jusqu'à l'arrêt de la culture en décembre (Figure 35).

Les essais de culture de plants de *Codium tomentosum* sur cordes à Lestre et Gouville/Mer ont montré que cette espèce se prêtait bien au bouturage sur cordes puisque les cordons ont pu poursuivre leur croissance. La morphologie particulière du thalle de *Codium tomentosum* constitué de cordons permet une bonne fixation des plants sur la corde car contrairement à d'autres espèces algales l'arrachage s'est produit sur les deux sites plus tardivement, en septembre peut-être dû à des thalles arrivés en fin de cycle, et par conséquent se détachant à la faveur de conditions météorologiques particulières.

2-3-En cylindres et en poches

2-3-1-*Chondrus crispus*

2-3-1-1-Culture en cylindres

Des essais de culture de boutures de *Chondrus crispus* ont été réalisés dans des cylindres fixés soit sous des tables ostréicoles pour les sites de Gouville/Mer et de Lestre soit sur des pieux mytilicoles à Pirou. Les cultures se sont déroulées de mars à octobre 2012. A Lestre, les cylindres fixés sous les tables ostréicoles ainsi que les boutures contenues dans les cylindres ont été entièrement envasés et colonisés par des ascidies après 4 mois de culture ce qui n'a pas permis d'évaluer la biomasse à l'issue de la culture (Figure 36).

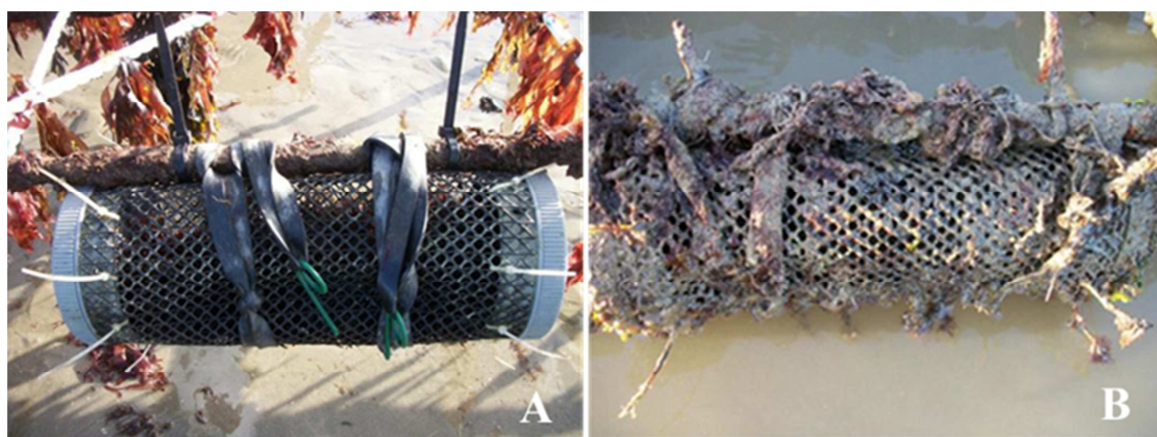


Figure 36: Culture de *Chondrus crispus* en cylindre à Lestre : **A/** Installation du cylindre en mars 2012, **B/** Etat du cylindre après 6 mois de culture.



Figure 35: Essais de culture sur corde de *Codium tomentosum* à Gouville/Mer d'avril à septembre 2012: **A/** Mise en place de la culture en avril, **B/** Colonisation de la structure par des algues vertes du genre *Ulva* en juin, **C/** Prolifération des sargasses en juillet, **D/** Aspect d'une bouture après plusieurs mois de culture montrant une reprise de croissance, **E/** Aspect de la corde à la fin de la culture.

A Gouville/Mer, ce phénomène d'envasement a été observé plus rapidement après seulement 2 mois de culture mais n'a pas concerné les cylindres eux-mêmes (Figure 37). Seules les boutures ont été recouvertes de vase et colonisées par des ascidies. Après 6 mois de culture, les boutures dans les cylindres étaient totalement épiphytées. L'état des boutures récupérées après culture à Lestre et à Gouville/Mer n'a pas permis d'évaluer la biomasse finale.



Figure 37: Etat des boutures de *Chondrus crispus* après 2 mois de culture en cylindre.

A Pirou contrairement aux cylindres fixés sous les tables ostréicoles, les boutures de *Chondrus crispus* cultivés dans les cylindres sur le bouchot sont restées de bonne qualité pendant les 5 premiers mois de culture (Figure 38). Après 6 mois de culture, à partir du mois de septembre, un début de dépigmentation a été observé. Après 7 mois de culture, les boutures contenues dans chacun des 2 cylindres ont été récupérées et leur biomasse évaluée. Il a été constaté une très forte diminution de la biomasse, de l'ordre de 70% de la biomasse initiale. Ceci suggère que probablement l'hydrodynamisme du site de Pirou n'est pas compatible avec la culture d'algues en cylindre, les boutures de *Chondrus crispus* ayant été probablement fragmentées en morceaux de taille inférieure aux mailles du cylindre au cours de la culture. Cependant le brassage a permis de conserver des boutures de bonne qualité, ni envasées, ni épiphytées.

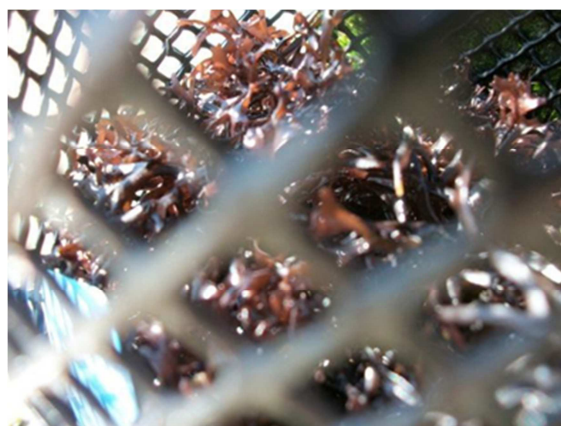


Figure 38: Etat des boutures de *Chondrus crispus* cultivées en cylindre fixé sur un pieu mytilicole à Pirou après 2 mois de culture. Observation à travers les mailles du cylindre.

2-3-1-2-Culture en poches moulées

Des essais de culture de *Chondrus crispus* en poches moulées sur table ostréicole ont été tentés à Lestre et Gouville/Mer pendant la période hivernale 2012-2013 (Figure 20). Les poches ont ainsi été placées sur les tables en octobre 2012 pendant 6 mois. La culture en poches moulées n'a pas permis d'obtenir la croissance des boutures de *Chondrus crispus*, les 4 poches installées sur les tables montrant en fin de culture une diminution très importante de la biomasse initiale, en moyenne 85% de la biomasse initiale à Lestre et 67% à Gouville/Mer. Cependant à noter la bonne qualité des thalles de *Chondrus crispus* récupérés à Lestre.

2-3-2-*Ulva* sp.

En 2011, des essais de culture par bouturage d'*Ulva* sp. dans des poches à huîtres et des poches moulées de mailles différentes ont été réalisés à Gouville/Mer et à Lestre pendant 3 mois et demi en période estivale. L'objectif de ce travail visait à tester la croissance des fragments de thalles mis en culture en poches et par conséquent voir s'il était possible d'augmenter la biomasse initiale. Seules les poches moulées de maille 4 mm ont permis de conserver des ulves en grande partie de bonne qualité contrairement à celles de maille 9 mm où les algues étaient très épiphytées, fragmentées et visqueuses. Les thalles placés en poches plates classiques ont soit été fragmentés ou bien ont subi une dépigmentation sévère (Figure 39). A noter que les poches plates placées sur le site de Lestre ont été arrachées au cours d'une tempête.

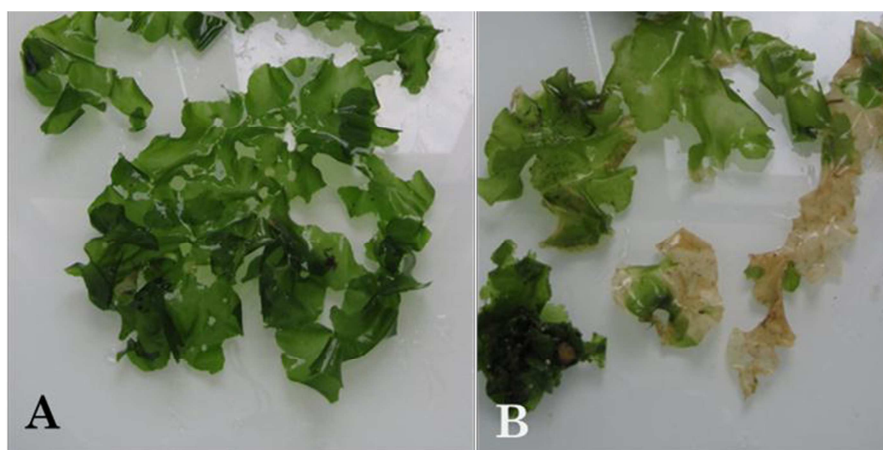


Figure 39: Etat des thalles d'*Ulva* sp. cultivés en poches moulées après 3 mois et demi de culture à Lestre (été 2012) **A/** mailles 4 mm, **B/** mailles 9 mm

Cependant le suivi quantitatif de la biomasse algale réalisé sur les ulves cultivées dans les poches moulées de mailles 4 mm et 9 mm placées à Lestre et à Gouville/Mer a montré une diminution sévère de la biomasse initiale comprise entre 98% et 63% à la fin de la culture.

2-3-3-*Gracilaria gracilis*

Les essais de culture de *Gracilaria gracilis* en poches moulées durant 2 mois pendant la période estivale à Lestre n'ont pas permis d'obtenir une augmentation de la biomasse mais une réduction sévère de la biomasse initiale, diminution de 95% dans la première poche et de 88% dans la seconde. De plus l'état des cordons de *Gracilaria gracilis* n'était pas satisfaisant : fragmentation, vase, colonisation par des éponges, ascidies et moules, épiphytisme.

Concernant la culture des algues en cylindres et poches, il apparaît pour les 3 espèces testées (*Chondrus*, *Ulva* et *Gracilaria*), une fragmentation sévère des thalles dans les contenants même à Gouville/Mer, site le moins exposé ainsi qu'un envasement important et de l'épiphytisme. Ce système de bouturage en poches et en cylindres n'a pas permis une augmentation de la biomasse initiale en raison d'une refragmentation des boutures initiales permettant alors leur passage à travers les mailles des cylindres et des poches.

Si l'envasement et la colonisation par d'autres organismes vivants ont pu être observés chez les 3 espèces cultivées en poches sur tables ostréicoles, les résultats sont plus contrastés selon le support de fixation des cylindres. En effet pour *Chondrus crispus* qui a été testé en cylindre sur table et sur pieu myticole, la biomasse algale récupérée après 7 mois de culture sur pieu myticole (site de Pirou) était de bonne qualité à savoir des thalles bien pigmentés et sans épiphytes ainsi qu'une absence d'envasement. Cependant la biomasse finale était bien inférieure à la biomasse initialement ensemencée. Ainsi si le brassage de l'eau sur le site de Pirou a permis aux algues d'être de bonne qualité, il a entraîné cependant une fragmentation trop importante des boutures. A l'inverse, les cylindres fixés sur tables ostréicoles à Gouville/Mer et à Lestre se sont eux très rapidement envasés ne permettant pas de disposer d'une biomasse algale de qualité et dont le taux de croissance n'a pu être évalué. L'envasement observé, même à Lestre qui est un site battu, suggère une trop grande proximité des cylindres avec le substrat contrairement aux cylindres sur pieu myticole moins sous l'influence du substrat compte tenu de leur hauteur de fixation.

A noter un épiphytisme plus important lorsque les cylindres ou poches ont les mailles de grande taille permettant le passage d'épiphytes dans les contenants.

2-4-Captage naturel de plantules au sein des concessions ostréicoles

Afin de connaître les espèces algales qui pouvaient être naturellement captées sur le site de Gouville/Mer qui présente une biodiversité algale d'une grande richesse, une corde vierge a été installée en février 2012 sur une table ostréicole à Gouville/Mer. Après 4 mois de mise en place de la corde, des plantules de *Palmaria palmata* ont été visibles à l'œil nu. Ces plantules ont continué à se développer et à croître durant l'été (Figure 40A et B). Sur le site de Lestre, très pauvre en espèces algales, aucun captage n'a pu être effectué sur la corde vierge placée sur une table. Cependant la corde a servi de piège pour des algues comme les *Fucus* en avril qui se sont retrouvés enroulés sur la corde et les sargasses en juin et juillet (Figure 40C). Par contre si en septembre la corde n'était plus encombrée d'algues, elle était envasée.

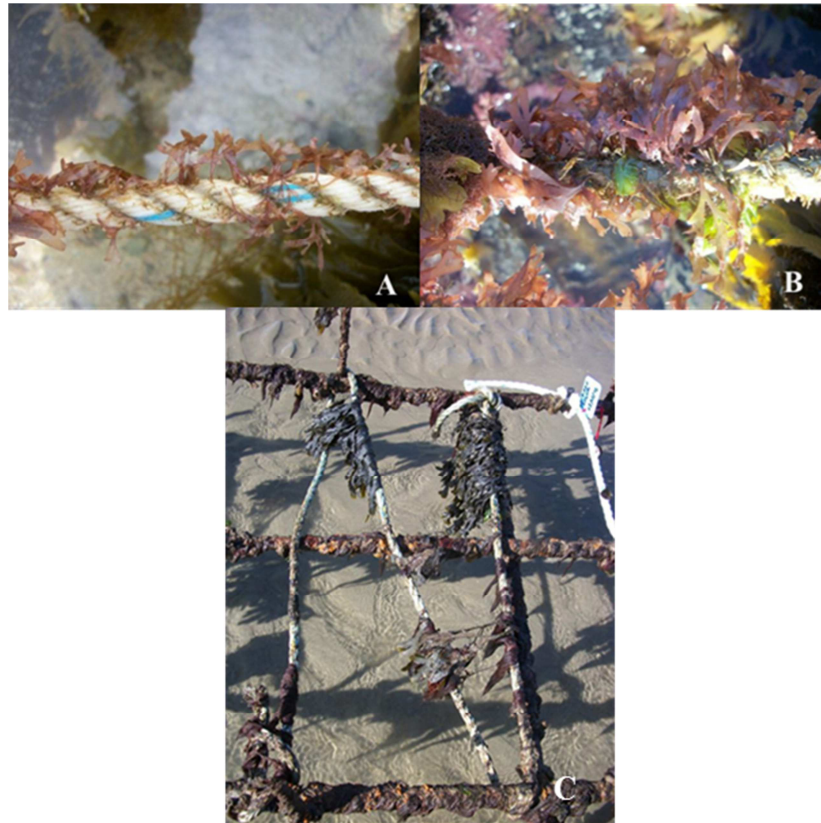


Figure 40: Captage naturel sur corde vierge de plantules de *Palmaria palmata* : **A/** Développement des plantules en juillet 2012, **B/** Croissance des plantules (septembre 2012), **C/** Thalles de *Fucus* pris au piège dans la corde (Lestre).

3-Discussion, Conclusions et Perspectives

La culture sur tables ostréicoles ou sur pieux de bouchots impose un certain nombre de contraintes qui relèvent à la fois des concessions (situation, exposition, type de structures) mais également des espèces algales envisagées pour la culture (exigences écophysiologiques, saisonnalité..). La position bathymétrique de la concession constitue une des contraintes majeures puisqu'elle n'est pas toujours bien adaptée aux espèces algales que l'on souhaite cultiver, position bien souvent trop élevée. En effet, les algues ne se développent pas au hasard sur l'estran. Il existe des algues plus tolérantes que d'autres aux stress que peuvent provoquer les alternances d'émersion et d'immersion sur l'estran combinées à d'autres stress environnementaux. Ainsi, la déshydratation plus ou moins longue des algues en fonction des marées présente un premier stress qui peut être plus ou moins amplifié en fonction des saisons par la variation des facteurs climatiques (intensité de l'ensoleillement, fluctuations des températures entre très basses et très élevées selon la période de l'année, dessalure des algues provoquée par les précipitations).

Une autre catégorie de contraintes pouvant également survenir sur ces estrans concerne les épisodes de forts vents voire même de tempêtes qui dans certains cas arrivent à déstabiliser les structures ostréicoles. D'autres phénomènes se produisent comme

l'envasement qui accentue la turbidité des eaux nuisant au développement des algues. Ce n'est sans compter également sur la prolifération saisonnière récurrente de l'algue japonaise, *Sargassum muticum*, qui est particulièrement abondante au printemps et en été sur les côtes de la Manche et dont les thalles de plusieurs mètres s'enroulent autour des structures ostréicoles.

Par conséquent faire pousser des algues sur des zones où naturellement elles n'existent pas ou peu relève du défi sachant que certaines espèces algales s'acclimateront plus facilement que d'autres.

Les expérimentations ont été menées sur 2 années, durant la période printemps-été 2011 dans le cadre d'un stage de Master 2 AQUACAEN (UCBN) et durant l'année 2012-2013 dans le cadre de l'appel à projet Région ce qui nous a permis de constater sur ces deux années :

- la très bonne résistance sur la durée des systèmes de fixation des supports sur les structures même dans des conditions météorologiques difficiles,
- la présence des sargasses au printemps et en été qui va devoir être pris en compte en raison de la récurrence de ce phénomène,
- l'envasement et la colonisation par d'autres organismes.

La culture des algues se fait sur les structures conchylicoles en jachères, tables à huîtres dépourvues de poches ou pieux de bouchots sans moules. Le premier travail a été de définir des supports de cultures et de trouver des systèmes de fixations adaptés aux structures. Ces éléments devant être simples et peu coûteux. Nous avons dans un premier temps utilisé des cordes qui ont été fixées aux structures métalliques des tables à l'aide de colliers de serrage (Colson). Afin d'optimiser la biomasse d'algues et d'évaluer d'éventuelles différences de développement et de comportement des algues sur les tables, nous avons testé deux modèles de fixation : **un modèle qualifié d'« entourant » où la corde ensemencée est fixée au niveau des pieds des tables à 10-20 cm au-dessus du substrat et un modèle dit en « zig-zag » où cette fois-ci la corde est fixée plus en hauteur au niveau des poches.** La fixation en « zig-zag » permet d'augmenter le linéaire de corde et donc la quantité d'algues à cultiver.

Dans un premier temps afin de tester la résistance des supports à la culture d'espèces algales de grande taille et d'observer le comportement des individus cultivés sur tables ostréicoles en fonction de leur taille, nous avons décidé pour **les laminaires (*Laminaria digitata* et *Saccharina latissima*)** d'opter pour un système simple de production de biomasse par du grossissement. Cela a consisté à récolter sur l'estran des spécimens de différentes tailles de deux espèces de laminaires d'intérêt économique (*Laminaria digitata* et *Saccharina latissima*) afin qu'elles poursuivent leur croissance sur les cordes. Cette technique nécessite du temps pour le ramassage des laminaires qui ne peut se faire que lors de gros coefficients de marée et pour l'insertion des crampons des algues au niveau des torons de cordes. La récolte des algues, leur fixation sur les cordes et le transfert des cordes sur l'estran doivent se faire très rapidement d'autant plus lorsque les thalles sont de petite taille. **Nous avons remarqué la fragilisation des stipes et des zones stipo-froncales chez les jeunes laminaires récoltées en particulier chez les *Saccharina latissima* ce qui permet un arrachage rapide des algues.**

De plus nous avons observé que les jeunes thalles supportent très peu l'exondation et constaté qu'il était important de respecter la situation exposée ou non de l'estran à la houle. Ainsi pour *S. latissima* qui est une espèce de milieu calme, les jeunes spécimens ont été très facilement arrachés en milieu battu. Si ceux de plus grande taille ont plus ou moins bien résisté, ils ont néanmoins présenté des frondes très abrasées en raison de frottements sur les structures métalliques ostréicoles les rendant par conséquent impropres à une valorisation. Par contre pour les *Laminaria digitata* de plus grande taille (> 90 cm), des observations intéressantes ont été réalisées. **Les laminaires sur cordes ont ainsi été capables de poursuivre leur croissance aussi bien au niveau de la zone stipo-frondale mais également au niveau des crampons témoignant ainsi de leur bon état physiologique. Certaines d'entre-elles étant devenues fertiles ont montré qu'elles étaient en mesure de poursuivre leur développement.** Ces résultats sont d'autant plus intéressants que ces algues ont poursuivi leur cycle de développement à un niveau bathymétrique supérieur à celui de leur localisation naturelle sur l'estran et ont supporté quelques heures d'exondations lors de forts coefficients de marées puisque les structures ostréicoles étaient situées au niveau médiolittoral inférieur et non pas en infralittoral qui est le niveau bathymétrique des laminaires.

La technique de production de biomasse par grossissement sur tables ostréicoles de thalles prélevés sur les populations naturelles n'est bien évidemment pas appropriée pour les laminaires mais cette première série d'expériences nous a permis d'observer le comportement de thalles de différente taille cultivés sur les tables. **Le passage par le cycle de vie qui permet d'obtenir des cordes ensemencées de plantules permettra de s'affranchir des étapes contraignantes et délicates de manutention fragilisant les algues et de disposer de plantules naturellement solidement fixées sur les cordes.** Cela nécessitera en revanche une phase « éclosion » où seront préparées les cordes qui pourront être alors rapidement placées sur l'estran. Cependant, il sera important également de contrôler la phase de pré-grossissement des plantules. Doit-elle se faire rapidement sur les structures conchylicoles ou bien dans des bassins à terre ? Ces paramètres devront être testés en tenant compte des deux espèces de laminaires ainsi que des expositions (mode abrité ou mode calme) des concessions partenaires. La culture des *Saccharina latissima* sur pieux mytilicoles a également donné des résultats décevants mais reste une piste intéressante à creuser notamment en utilisant des cordes ensemencées à partir du cycle de vie en éclosion.

Concernant les 6 autres espèces testées, même si les résultats ne sont pas concluants ils sont cependant encourageants et permettent de dégager des pistes pour la suite de l'étude.

Palmaria palmata

Les essais de cultures pour *Palmaria palmata* nous ont permis de mettre en évidence des exigences quant aux périodes de croissance pour cette espèce montrant en particulier que la saison estivale n'est pas propice à son développement. De plus, l'arrachage important des thalles de *Palmaria palmata* même sur le site où elle est naturellement abondante (Gouville/Mer, site A) nous incite à **privilégier comme pour les laminaires**

l'ensemencement des cordes à partir de son cycle de vie, protocole maîtrisé par le SMEL et BioMEA (Le Gall et al., 2004). Le captage naturel pour l'ensemencement des cordes est également une piste à suivre à condition que les cordes vierges soient placées dans un site qui présente un peuplement relativement abondant de *Palmaria palmata* permettant l'émission des semences naturelles et témoignant de conditions écophysiologiques favorables à cette espèce. La bonne connaissance que nous avons de cette espèce aussi bien en termes de cycle de vie que d'exigences écophysiologiques sur les côtes de la Manche et notamment de Basse-Normandie doit nous permettre **d'améliorer le système de captage naturel** (Le Gall, 2002).

Codium tomentosum

L'état physiologique des thalles de *Codium tomentosum* cultivés sur cordes sur tables ostréicoles en fin de culture indique que **cette espèce tolère la culture sur estran**. Son arrachage tardif comparé à celui des autres espèces cultivées pendant la même période, est à rapprocher probablement plutôt d'une fin de vie des thalles, la taille des boutures initialement insérées sur les cordes étant proche de celle de thalles adultes. Il serait alors ainsi intéressant de **relancer des essais de bouturage de *Codium* en démarrant la culture avec des boutures réduites à quelques cordons**.

Himanthalia elongata

Les essais de culture d'*Himanthalia elongata* montrent également **un bon état physiologique des cupules en culture ainsi qu'une poursuite du cycle de reproduction chez quelques-unes**. La culture d'*Himanthalia* se heurte essentiellement à une difficulté de fixation des cupules sur la corde.

Gracilaria gracilis

Gracilaria gracilis est une espèce algale qui est cultivée par bouturage en Asie et au Chili. Sa culture par bouturage sur structures ostréicoles ne semble cependant pas appropriée, les plants bouturés ont été abrasés massivement. De plus, c'est une algue qui reste immergée même à marée basse. Ainsi il serait intéressant **d'envisager pour cette espèce qui est plutôt rencontrée dans des cuvettes calmes à fond vaso-sableux sa culture dans des claires ostréicoles**.

Les essais de culture en poches et cylindres n'ont pas donné de résultats concluants en raison d'une fragmentation des boutures supérieure à leur vitesse de croissance entraînant une perte de matière à travers les mailles des poches et des cylindres due à l'hydrodynamisme des sites même à Gouville/Mer. Cependant *Chondrus crispus* est une algue qui présente un intérêt économique avéré ce qui nécessite de poursuivre le travail sur sa culture. **Il apparaît nécessaire de retravailler sur le système même de bouturage de *Chondrus crispus***. Par ailleurs le cycle de *Chondrus crispus* est un cycle similaire à celui de *Palmaria palmata*, cycle désormais très bien maîtrisé par les partenaires de NORMAND'ALG, ce qui nous encourage à envisager également le développement de sa culture en passant par son cycle de reproduction.

Le tableau 5 récapitule pour chaque espèce algale étudiée les résultats obtenus sur les essais de culture ainsi que les stratégies perspectives d'amélioration de leur culture compte-tenu des résultats.

Notons que nous avons tenté de multiplier les expérimentations (différents sites, différentes structures, supports, algues, saisons...) afin de pouvoir dégager le plus rapidement des pistes de culture.

Si certains essais de cultures n'ont pas présenté de résultats positifs, nous pensons qu'ils ne doivent pas être nécessairement abandonnés. Certains méritent d'être réitérés car ils n'ont parfois pu être menés qu'une seule fois, et d'autres n'ont également pas été réalisés ni à la bonne saison pour un développement et une croissance optimaux de l'espèce algale, ni sur le bon support, ni par la meilleure méthode de culture etc...

Ces essais de cultures nous ont permis d'appréhender les conditions particulières que présentent les sites et les structures ostréicoles ou mytilicoles à savoir :

3. **les matériaux des structures** (table en ferraille, pieux en bois pour les bouchots pouvant favoriser l'abrasement des algues, leur enroulement...)
4. **leur configuration** (la hauteur des structures jouant un rôle par rapport à la bathymétrie et donc aux alternances émergence/immersion)
5. **leur localisation** (l'hydrodynamisme des sites, battus à abrités mais aussi le type de substrat sablo-vaseux ou rocheux sur lequel sont fixées les structures pouvant jouer un rôle sur le développement de différentes espèces, sur l'arrachage, sur l'épiphytisme...)
6. **l'accès aux sites** en fonction de forts coefficients de marée

De même, il n'y aura pas une technique unique de culture pour les algues sur ces structures. Ainsi nos observations conduisent à définir pour chaque espèce algale à cultiver :

7. **le site** avec son hydrodynamisme et la qualité de son substrat
8. **la bathymétrie.** En général, les espèces algales mises en culture sont particulièrement sensibles à la déshydratation lors des marées d'autant qu'elles ne sont pas situées à leur niveau bathymétrie naturel pour leur développement. Il est nécessaire de réaliser les cultures le plus bas possible sur l'estréan afin de profiter d'un maximum d'immersion. Les variations de températures sont ainsi atténuées en particulier en période estivale.
9. **les structures** (tables à huîtres ou pieux de bouchots).
10. **les supports de cultures.** Sachant que la technique de fixation des supports à l'aide de colliers de serrage (Colson) a été concluante, un type de support sera attribuée à l'espèce algale en fonction de ses particularités et de sa méthode de culture.
11. **les méthodes de culture.** Si les systèmes de bouturage peuvent être envisagés pour certaines espèces telles les Gracilaires ou *Codium*, nous avons déjà vu que pour d'autres espèces comme les laminaires ou *Palmaria palmata*, il sera impératif de passer par le cycle de développement et ainsi par une phase éclosion en bassins contrôlés avant la mise en mer. Ces techniques de cultures sont étroitement couplées aux types de supports.

12. **les périodes de culture.** Pour chaque espèce, il est important de tenir compte de leur saisonnalité pour leur croissance. Nous avons des espèces estivales préférant les eaux tièdes et de bonne luminosité contrairement à d'autres espèces dites d'eaux froides ayant un développement plus important de la période hivernale jusqu'au printemps.

La phase suivante du programme NORMAND'ALG portera sur :

-un travail en écloserie afin de produire des plantules sur supports principalement pour *Palmaria palmata*, *Laminaria*, *Chondrus crispus*. Une écloserie sera construite à la station de Luc sur Mer avec des bassins d'eau de mer thermorégulée qui permettront de réaliser les sporulations, les fécondations et donc de reconstituer en conditions contrôlées le cycle de développement des différentes espèces. Ces techniques de productions de plantules et aussi de pré-grossissement en bassin seront à déterminer pour chaque espèce. Des essais en parallèle seront réalisés au sein de la structure expérimentale du SMEL à Blainville sur Mer.

- la possibilité de disposer d'une concession ostréicole expérimentale permettant de disposer de tables à différents niveaux bathymétriques pour tester le comportement de nos espèces algales, de tester à nouveau certains supports tels que les poches, cylindres et autres supports utilisés en aquaculture en particulier dans le cadre des méthodes de culture par bouturage. Les cordesensemencées en écloserie pourront ainsi être fixées sur cette structure ostréicole et un suivi de la croissance des plantules sera réalisé régulièrement. De même, des cordesensemencées par captages naturels sur des peuplements pourront aussi être placées. Cette concession nous aidera à déterminer, en tenant compte de la méthodologie de culture et des supports adéquats, les espèces les plus favorables pour envisager la culture sur structures conchyliques et à évaluer par linéaire de table la biomasse algale produite par ce type de culture.

- sur la continuité des essais de cultures chez nos partenaires conchyliques. Des comparaisons de culture seront effectuées en fonction des différents sites par rapport à la concession expérimentale.

Tableau 5: Algues testées dans le projet NORMAND'ALG : Bilan et perspectives

Espèce algale		Bilan	Perspectives
<i>Saccharina latissima</i>		-Croissance des thalles et des crampons de <i>L digitata</i> . -Thalles de grande taille (> 90cm) très abrasés	-Passage par éclosion : ensemencement de cordes par exploitation du cycle de vie -Culture sur tables ostréicoles jusqu'à une taille limite de 90cm
<i>Laminaria digitata</i>		-Thalles de bonne qualité jusqu'à une taille limite de 90cm	
<i>Himanthalia elongata</i>		-Arrachage important -Bon état physiologique des cupules non arrachées -Début de développement des zones fertiles (objectif de culture)	-Revoir le système de fixation des cupules sur les cordes
<i>Palmaria palmata</i>		-Arrachage important. -Saison estivale à éviter	-Passage par éclosion : ensemencement de cordes par exploitation du cycle de vie -Respecter la période de croissance de l'algue. Eviter les cultures en été. -Continuer à développer le captage naturel
<i>Chondrus crispus</i>		-Fragmentation trop importante des boutures cultivées en cylindres et poches. -Pas suffisamment d'essais de cultures en fonction des supports, des structures et du niveau bathymétrique.	-Travailler en amont sur la production de boutures à partir des thalles. -Déterminer les supports adéquats pour les boutures. -Etudier la possibilité d'exploiter le cycle de vie pour ensemencer des cordes en éclosion
<i>Gracilaria gracilis</i>		-Algue particulièrement résistante, mais qui ne supporte pas l'exondation.	-Développer la culture par bouturage dans des claires ostréicoles
<i>Ulva sp.</i>		-Bouturage en poche pas concluant. -Fragmentation importante quel que soit le maillage.	-Envisager la possibilité de récolter sur les peuplements naturels qui se développent sur les poches à huîtres en saison estivale.
<i>Codium tomentosum</i>		-Essais intéressants. -L'algue supporte les conditions de culture sur structures ostréicoles.	-Recommencer les cultures avec des boutures de petite taille afin d'évaluer la croissance.

QUESTIONNAIRE ENVOYE AUX ENTREPRISES CONCHYLICOLES

– PRE-BILAN DES ENTRETIENS SOCIOLOGIQUES

Afin de mesurer la pertinence du projet NORMAN'DALG pour la profession, il était essentiel d'évaluer le nombre de professionnels potentiellement intéressés par l'algoculture. Un questionnaire a donc été élaboré par le Comité de Pilotage de NORMAND'ALG et diffusé, avec l'appui du CRC, à l'ensemble des entreprises conchylicoles de la Basse-Normandie. En parallèle des entretiens individuels avec des acteurs professionnels, choisis sur la base des réponses au questionnaire, et institutionnels ont été également réalisés dans le cadre de NORMAND'ALG et du projet de recherche ANR Idealg (WP 8: Analyse des impacts environnementaux, sociétaux et économiques du développement de la culture de macroalgues). Ces entretiens visaient à alimenter une réflexion sur le rôle de l'algoculture dans la diversification des activités du secteur conchylicole.

Cette partie est une présentation synthétique de l'analyse des résultats disponible dans un rapport du SMEL (Marie, 2012).

1-Questionnaire NORMAND'ALG

Le questionnaire (Annexe 1) a été envoyé à 377 entreprises bas-normandes. Afin de permettre aux professionnels de le remplir deux journées d'information sur les macroalgues ont été organisées :

- le 14 mai 2012 à 10h30 à la salle des fêtes de Gouville-sur-Mer pour les concessionnaires de la côte Ouest de la Manche,
- le 16 mai 2012 à 14h30 à la Salle des Fêtes, salle de Théâtre, rue de la Halle à Carentan pour les concessionnaires de la côte Est de la Manche et du Calvados.

1-1-Profil des participants au questionnaire

Sur les 377 entreprises contactées, seules 31 ont répondu au questionnaire soit un peu plus de 8%. Les entreprises qui ont répondu au questionnaire n'avaient pas forcément assisté à une réunion d'information sur les macroalgues.

Le profil des responsables d'entreprise ayant répondu au questionnaire a pu être établi (Figure 54). Ils sont majoritairement âgés de 30 à 40 ans (Figure 54A) et ont au plus 20 ans d'expérience (Figure 54B).

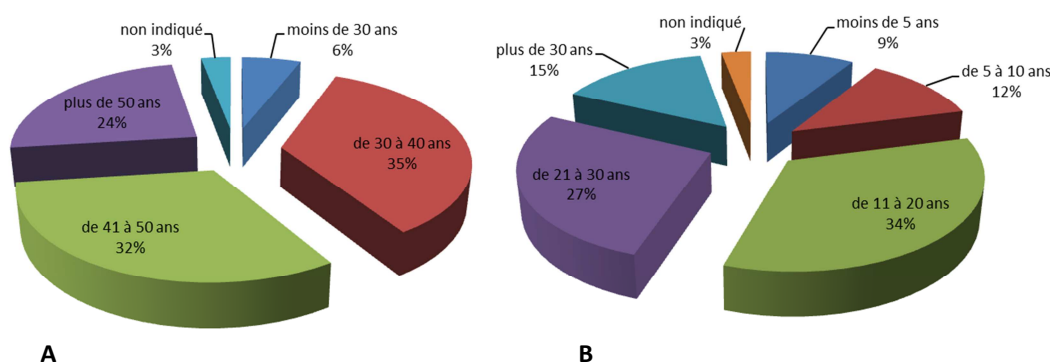


Figure 41: Profil des responsables d'entreprises ayant répondu au questionnaire : **A/** catégories d'âges, **B/** nombre d'années d'expérience.

La majorité des questionnaires reçus proviennent de petites entreprises de moins de 5 employés (74%) et de 5 à 10 employés (20%) (Figure 55).

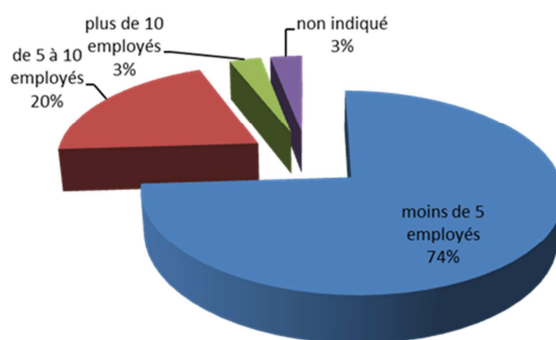


Figure 42: Taille des entreprises conchylicoles ayant répondu au questionnaire.

1-2-Diversification des activités conchylicoles

1-2-1-Souhait des entreprises conchylicoles à se diversifier

75% des entreprises ayant répondu au questionnaire souhaitent développer une activité annexe soit maintenant pour 50% d'entre-elles (16 entreprises) soit dans quelques années pour les autres (7 entreprises). 9% des entreprises (soit 3) ayant répondu au questionnaire ont indiqué avoir déjà opéré cette diversification vers d'autres méthodes de captage ou vers le tourisme (Figure 56).

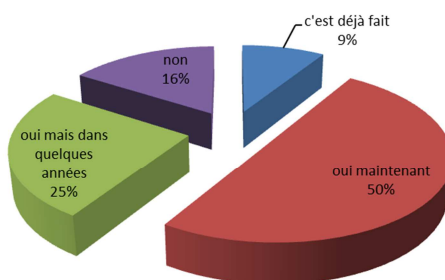


Figure 43: Position des entreprises ayant répondu au questionnaire sur une éventuelle diversification.

1-2-2-Domaine de diversification

A la question concernant le domaine de diversification envisagée, 35% des entreprises ayant répondu seraient intéressées par une diversification vers l'algoculture parmi lesquelles 10 entreprises qui ont exclusivement coché la case « production d'algues ». Viennent ensuite à égalité le « tourisme », « autres productions de coquillages » et « autres méthodes de captage » (14%). Le domaine de diversification le moins souvent coché est « petite pêche » (8%) (Figure 57).

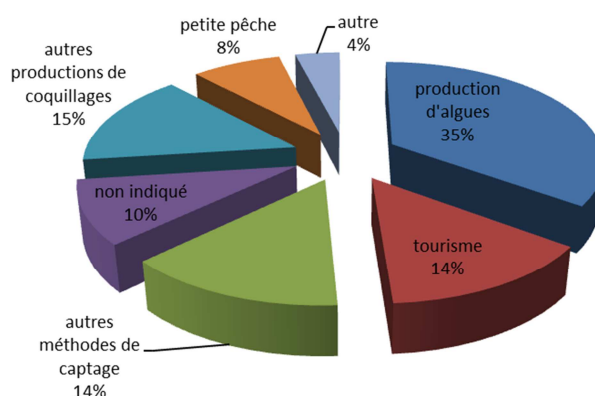


Figure 44: Les différentes réponses concernant les domaines de diversification souhaités par les entreprises ayant répondu au questionnaire.

1-2-3-Période de l'année durant laquelle les conchyliculteurs seraient disponibles pour la diversification

Concernant la période de l'année à laquelle l'entreprise serait disponible pour faire de la diversification comme la production d'algues, il ressort du questionnaire deux réponses majoritaires : « toute l'année » et de « janvier à juin ».

1-2-4-Intérêt de la production d'algues pour les conchyliculteurs

Pour faire le point sur ce que les professionnels attendent d'une diversification vers la production d'algues, 5 propositions, qu'ils devaient classer par ordre de priorité de 1 à 5, leur ont été soumises:

- A-Diversifier mes productions et mes sources de revenus
- B-Renforcer l'image « nature » de la conchyliculture auprès du consommateur
- C-Améliorer la qualité de l'eau des bassins de purification
- D-Est-ce un projet de diversification lié à la crise ou un projet à long terme ?
- E-Autre

Un classement des propositions a été réalisé uniquement dans 68% des questionnaires soit 20 questionnaires sur 31 retournés. Cependant les 5 propositions n'ont pas été toujours toutes hiérarchisées. La proposition A «Diversifier mes productions et mes sources de revenus » a été classée dans les 20 questionnaires et dans 70% des questionnaires en première

position. La proposition B «Renforcer l'image « nature » de la conchyliculture auprès du consommateur» et la proposition D «Est-ce un projet de diversification lié à la crise ou un projet à long terme ? » ont été classées respectivement 14 fois et 15 fois. La proposition C « Améliorer la qualité de l'eau des bassins de purification » 11 fois et la proposition E « Autre » seulement 4 fois.

La proposition B « Renforcer l'image « nature » de la conchyliculture auprès du consommateur » a été placée en première position dans 21% des questionnaires et en seconde position dans 35% des questionnaires. La proposition C « Améliorer la qualité de l'eau des bassins de purification » revient le plus fréquemment en 4^{ème} position dans 64% des questionnaires

Quant à la proposition D « Est-ce un projet de diversification lié à la crise ou un projet à long terme ? », elle est répartie de façon homogène entre la 1^{ère} position (5 questionnaires), la seconde position (4 questionnaires) et la 3^{ème} position (4 questionnaires). Finalement la proposition E « Autre » est peu cochée.

1-2-5-Techniques de culture d'algues envisagées sur les concessions

Concernant les techniques de culture de macroalgues, l'absence de réponse est la réponse principale puisque 39% des entreprises n'ont pas indiqué un type particulier de culture souhaité. Cependant 27% des entreprises souhaitent cultiver les algues sur estran. La culture sur filière au large et la culture en bassin intéressent les entreprises dans une même proportion (17%) (Figure 58).

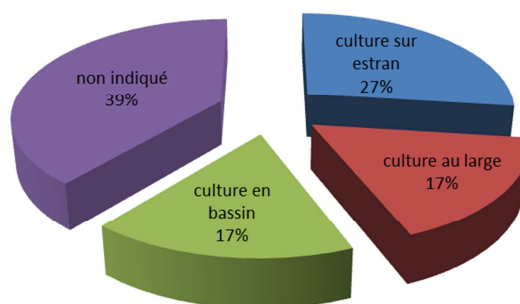


Figure 45: Les différentes réponses concernant le type de culture d'algues envisagé.

1-2-6-Position des entreprises conchyloles par rapport à la démarche NORMAND'ALG

61% des entreprises, soit 19 entreprises, ayant répondu au questionnaire souhaitent prendre part à la démarche NORMAND'ALG et être contactés personnellement, 23% ne souhaitent pas participer à NORMAND'ALG et 16% n'ont pas exprimé d'avis.

1-3-Conclusions

A la lumière de ces résultats il semble qu'une dizaine de professionnels soient d'ores et déjà intéressés par la diversification vers la culture de macroalgues. Plusieurs entreprises souhaitent même être pleinement impliquées dans la démarche NORMAND'ALG. Il est à noter toutefois que le taux de retour des questionnaires est faible et que les personnes ayant renvoyé leur questionnaire sont sûrement les plus intéressées par l'algoculture.

2-Entretiens avec les acteurs professionnels et institutionnels

Du 9 au 12 juillet 2012, des entretiens avec des acteurs professionnels et institutionnels ont été réalisés dans le cadre du projet NORMAND'ALG et en association avec le projet de recherche ANR Idealg (WP 8 consacré à l'analyse des impacts environnementaux, sociétaux et économiques du développement de la culture de Macroalgues) pour lequel sont intervenues Katia FRANGOUEDES (Centre de Droit et d'Economie de la Mer, Université de Bretagne Ouest) et Sophie GIRARD (Unité d'Economie Maritime, IFREMER, Brest). Ces entretiens visaient à alimenter une réflexion menée sur le rôle que peut jouer l'algoculture dans la diversification du secteur conchylicole. Un panel de conchyliculteurs a été sélectionné parmi ceux ayant répondu au questionnaire NORMAND'ALG afin de mieux cerner leurs attentes dans le domaine de l'algoculture et avec l'idée de couvrir la diversité des situations en termes de: localisation géographique, métiers pratiqués, taille et ancienneté dans l'activité, besoins de diversification et intérêt exprimé vis-à-vis de l'algoculture. Neuf personnes ont été entendues pendant ces 4 jours: 6 conchyliculteurs (-trices) (3 sur la côte ouest du département de la Manche, 1 sur la côte est et 2 dans le Calvados), deux représentants de la profession, une personne de la Direction des Pêches et Ressources Marines de la Région et le directeur du centre expérimental du SMEL. Ces entretiens avaient pour but d'évaluer les motivations des personnes interrogées au regard de l'algoculture et d'avoir une première idée de la compatibilité des calendriers conchyliculture/algoculture. Ces entretiens, en nombre limité vu le temps imparti, se sont déroulés sous la forme d'une discussion ouverte. Les données fournies par ces entretiens, complétées éventuellement par des éléments de la discussion avec le CRC, sont essentiellement de nature qualitative. Leur analyse vise avant tout à contextualiser/objectiver la demande de diversification en algoculture et à faire émerger les questions que soulève ce type de diversification reposant sur la maîtrise d'une nouvelle activité.

Il ressort globalement de ces entretiens une volonté de se diversifier de la part des professionnels. Certains ont déjà fait cette démarche de diversification vers des activités comme le tourisme. D'autres envisagent de diversifier les coquillages en élevage. Ils n'ont pas d'*a priori* négatif sur les algues qui seraient même plutôt perçues comme le signe d'un milieu de bonne qualité. Les conchyliculteurs ne voient pas les algues comme des concurrentes des huîtres ou des moules mais envisagent l'algoculture comme une activité complémentaire possible. Cet intérêt est partagé par les ostréiculteurs et les mytiliculteurs.

En cas d'intérêt manifesté pour l'algoculture, celui-ci reste relativement prudent compte tenu des nombreuses interrogations qui subsistent sur la faisabilité à la fois technique et économique de l'activité. Les interrogations sont en effet multiples s'agissant d'une activité encore embryonnaire. Elles portent aussi bien sur le choix des algues, des techniques de culture, sur les rendements d'élevage, la compatibilité avec le calendrier des activités conchylicoles. L'importance des surfaces qui pourraient être consacrées à l'algoculture diffère selon les entreprises. Elles se situent sur des parcs ostréicoles mais aussi sur des parcs à moules. Certains envisagent même la culture sur filière en mer.

Les représentants de la profession ont indiqué la nécessité de mener en amont une réflexion sur l'organisation globale de la production d'algues. Au niveau des collectivités territoriales, l'objectif est de favoriser l'aquaculture et la diversification des activités conchylicoles afin de maintenir les emplois conchylicoles. La possibilité de cultiver des algues est plutôt bien accueillie.

L'étude socio-économique n'est pas terminée et plusieurs thèmes devront encore être abordés. Il faudra prendre en compte les interactions entre conchyliculteurs et pêcheurs, et entre algoculteurs existant depuis plusieurs années et nouveaux producteurs d'algues. La question de l'accès au Domaine Public Maritime et la gestion du foncier sont aussi deux points importants à considérer. Enfin les interactions avec la société civile devront être analysées.

Une synthèse sur l'ensemble des entretiens menés en Bretagne et Basse-Normandie, sera produite dans le cadre du programme IDEALG.

CONCLUSION GENERALE - PERSPECTIVES

La première phase de projet Normand'Alg est achevée présentant de nombreuses pistes pour la faisabilité de la culture d'algues locales d'intérêt économique sur les structures conchyliques. Ce projet original, qui permet d'envisager la co-culture algues et huîtres ou algues et moules nécessite cependant un gros travail expérimental pour mettre au point d'une part les techniques de cultures aux vues des contraintes imposées par les sites conchyliques et d'autre part permettre une production de biomasse d'algues rentable. Pour quelques espèces algales, le passage par une éclosérie pour la production de plantules s'avère indispensable pour disposer de supportsensemencés transposables sur les structures des professionnels. De même l'acquisition d'une concession expérimentale ostréicole permettra de continuer à développer différents essais de cultures et à dimensionner économiquement le coût d'une telle activité. Le second appel à projets du Conseil Régional de Basse-Normandie *Initiative et synergie partenariale pour le développement de pratiques novatrices et durables en réponse aux besoins des professionnels- agriculture et ressources marines* : « **DEVELOPPEMENT DE LA PHASE ECLOSERIE DE CULTURE D'ALGUES EN APPUI AU PROJET NORMAND'ALG** » porte sur l'aménagement de deux unités expérimentales d'écloseries d'algues à la station marine de Luc/Mer et au SMEL à Blainville/Mer permettant la mise au point technique des étapes de maturation, production de semences et prégrossissement en vue d'un transfert technologique dans une éclosérie dimensionnée pour la production de supportsensemencés à destination des partenaires professionnels .

BIBLIOGRAPHIE

Arzel P (1987) Les goémoniers. Le Chasse-Marée, Editions de l'estran, Douarnenez, 305p.

Breizh'Alg (2012) Etude de marché et d'opportunité économique relative au secteur de l'algue alimentaire en France, en Europe et à l'international. Bretagne Développement Innovation 31p.www.bdi.fr/ressources/etude-de-marche-et-dopportunit-economique-relative-au-secteur-de-lalgue-alimentaire-en

Brodie J, Irvine LM (1997) A comparison of *Porphyra dioica* sp. nov. and *P. purpurea* (Roth) C Ag. (Rhodophyta: Bangiophycidae) in Europe. Cryptogamie. Algologie 18: 283-296.

Cabioc'h J, Floc'h JY, Le Toquin A, Boudouresque CF, Meinesz A, Verlaque M (2006) Guide des Algues des Mers d'Europe. Delachaux et Niestlé, Paris, 272p.

de Reviers B (2002) Biologie et physiologie des algues. Tome 1. Belin, Paris, 352p.

Frangoudes K, Jacob C, Lesueur M, Mesnildrey L (2012) Etats des lieux de la filière des macro-algues en France. NETALGAE. 12p.
www.netalgae.eu/uploadedfiles/NE_synthese_fr.pdf

Holmes MJ, Brodie J (2004) Morphology, seasonal phenology and observations on some aspects of the life history in culture of *Porphyra dioica* (Bangiales, Rhodophyta) from Devon, UK. Phycologia 43: 176-188.

Janocka D (2009) Culture *in vitro* de la Fucale *Pelvetia canaliculata*. Applications à la production de biomasse algale et à la cryoconservation de semences. Doctorat de l'Université de Caen Basse-Normandie, 210p.

Le Gall L (2002). Etudes biologiques, biochimiques et cellulaires de *Palmaria palmata* (Rhodophyta). Applications biotechnologiques à l'aquaculture. Doctorat de l'Université de Caen Basse-Normandie, 163p.

Le Gall L, Rusig AM, Cosson J (2004) Organization of the microtubular cytoskeleton in protoplasts from *Palmaria palmata* (Palmariales, Rhodophyta). Botanica Marina 47: 231-237.

Loiseaux S, Rozier C (1978) Culture axénique de *Pylaiella littoralis* (L.) Kjellm (Phéophycées). Revue algologique, Nouvelle Série 13 : 333-340.

Marie K (2012) Analyse des résultats du questionnaire algoculture envoyé aux entreprises conchylicoles de Basse-Normandie en mai 2012. Rapport SMEL, 10p.

Mesnildrey L, Jacob C, Frangoudes K, Reunavot M, Lesueur M (2012) La filière des macro-algues en France. Rapport d'étude. NETALGAE – Interreg IVb. Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°9, 38p.

Pereira R, Sousa-Pinto I, Yarish C (2001) Studies on the life cycle of *Porphyra dioica* and *Porphyra umbilicalis* from Portugal. J. Phycol. 37: 40-41.

Pereira R, Sousa-Pinto I, Yarish C (2004) Field and culture studies of the life history of *Porphyra dioica* (Bangiales, Rhodophyta) from Portugal. Phycologia 43: 756-767.

Pereira R, Yarish C, Sousa-Pinto I (2006) The influence of stocking density, light and temperature on the growth, production and nutrient removal capacity of *Porphyra dioica* (Bangiales, Rhodophyta). Aquaculture 252: 66-78.

Pereira R, Kraemer G, Yarish C, Sousa-Pinto I (2008) Nitrogen uptake by gametophytes of *Porphyra dioica* (Bangiales, Rhodophyta) under controlled-culture conditions. European Journal of Phycology 43: 107-118.

Pérez R (1997) Ces Algues qui nous entourent : Conception actuelle, Rôle dans la biosphère, Utilisation, Culture. IFREMER, Plouzané, 272p.

Person J (2011) Algues, filières du futur, Livre turquoise, Adebiotech, Romainville, 163p.
www.adebiotech.org/home/img/algues/LIVRE_TURQUOISE-V.screen.pdf

Polne-Fuller M, Gibor A (1984) Developmental studies in *Porphyra*. I. Blade differentiation in *Porphyra perforate* as expressed by morphology, enzymatic digestion and protoplast regeneration. Journal of Phycology 20: 609-616.

Poncelet C (2011) Mise en place d'une algoculture sur structures ostréicoles. Rapport Master 2 Exploitation des Ressources Vivantes Côtières, Université de Caen Basse-Normandie, 50p.

Quatrano RS (1974) Developmental biology : development of marine organisms. In: Mariscal R (ed) Experimental Marine Biology, Academic Press, New-York, pp 303-346.

Uzureau L (2007) Etude de faisabilité de l'exploitation des algues en Basse-Normandie. Rapport de Master 2, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Université de Caen Basse-Normandie, 82p.