Les laminaires forêts arbustives de la mer : un milieu riche et menacé

Première partie *par Jean-Claude Ménard & Simon Oertlin, septembre 2020*

*Les **laminaires** sont des macro-algues emblématiques de la Bretagne. Entre Loire et Vilaine, elles sont soumises à des impacts naturels et surtout anthropiques. ELV a été créé à partir de ces constatations et son projet scientifique de 2009 à 2014 a montré que les laminaires étaient un **bioindicateur de la qualité des masses d'eau**. Nous avons souhaité mettre en évidence l'intérêt de ces macro-algues si importantes pour les écosystèmes. Le sujet étant important et complexe, nous avons choisi de le traiter en **deux parties**. Il vous sera donc proposé sur deux Newsletters : un premier article pour présenter la **richesse** des champs de laminaires, tant sur le plan **écologique** qu'**économique**, mais aussi les **menaces** qui pèsent sur ce milieu ; un deuxième article pour aborder le rôle de ces macro-algues dans le **captage du carbone** et leur vaste **distribution dans le monde**. Bonne lecture !*

Les zones infra littorales rocheuses de l'ensemble des mers froides et tempérées sont occupées par une forêt de grandes algues brunes désignées globalement sous le nom de « kelp » ou laminaires. Sur les côtes françaises, six espèces de laminaires occupent cet espace compris entre le 0 des cartes marines et environ -30 m (jusqu'à - 40m sur le plateau de Rochebonne). La forêt de Laminaires s'étend en profondeur tant que l'énergie lumineuse le permet. Dans les mers chaudes les laminaires existent mais à des profondeurs parfois importantes du fait d'une eau autour de 14/15° et d'une lumière suffisante.

La frange supérieure de l'infra littoral découvre lors des basses mers de vives-eaux. C'est un espace de très forte turbulence qui peut limiter les Laminaires au bénéfice d'algues rouges.

À l'ombre des frondes de laminaires se développe une flore très diversifiée, dont certaines espèces sont nettement sciaphiles (ombrophiles). Les algues comme les animaux se distribuent en différentes strates interagissant les unes avec les autres, tout en profitant de l'atténuation des conditions hydrodynamiques sous la canopée offerte par les Laminaires.

Les laminaires sont exploitées (*Digitata*) depuis plus de 150 ans en Bretagne comme engrais puis comme base pour des aliments (gélifiant) ou pour des cosmétiques et de plus en plus pour leur valeur culinaire tel que le kombu royal (*Saccharina Latissima)*. Certaines ont été introduites pour leur valeur culinaire comme le wakame (*Undaria Pinitifada)*. Les champs de laminaires constituent un habitat d'une très grande richesse mais qui est menacé par le réchauffement de la mer et les activités anthropiques.

Depuis quelques années, le rôle de séquestration de certains écosystèmes végétalisés marins a été mis en évidence, notamment pour les herbiers, les mangroves et les marais maritimes. Le carbone y est à la fois stocké à court terme dans leur biomasse vivante (feuille, tige, racine) et à long terme dans les sédiments quand ils se décomposent. D'un autre côté, les macro-algues produisent de l'oxygène grâce à la photosynthèse. Au total, les océans fournissent ainsi 50 % de l'oxygène de notre atmosphère (voir article sur la désoxygénation, newsletter #12 de février 2020). Mais outre leur rôle indispensable pour la biodiversité, les laminaires présentent également de multiples intérêts économiques.

1. Biologie

Qu'est-ce qu'une laminaire ?

C'est une macro-algue constituée de trois parties :

- des **crampons** (ou haptères) grâce auxquels elle se fixe sur la roche
- un **stipe** généralement rigide pouvant être plat ou rond
- des **lames** (ou *thalles* ou encore *frondes*) d'où la laminaire tire son nom

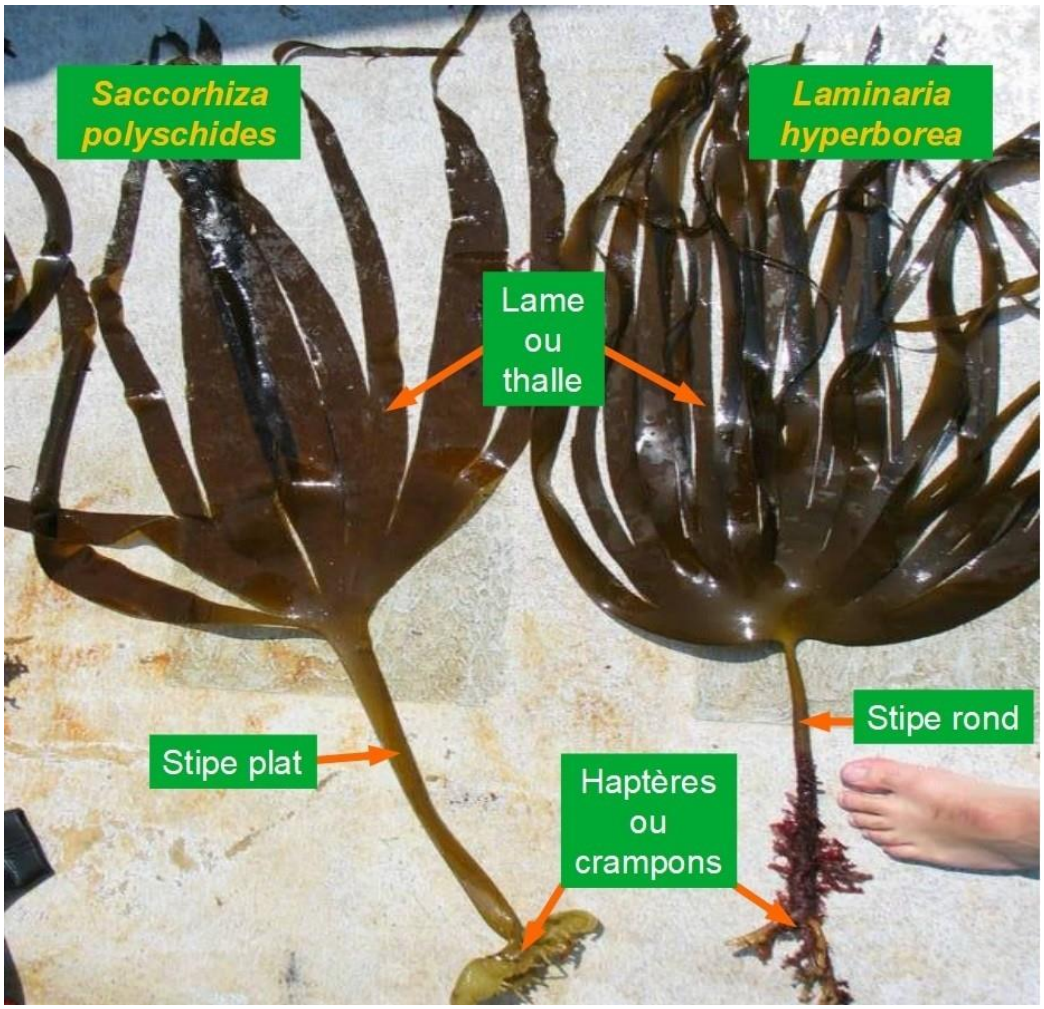


Figure 1 : Lames, stipes et haptères de deux laminaires (Sacchoriza polyschides et Laminaria Hyperborea)

Les forêts de laminaires en France représentent un écosystème emblématique des fonds subtidaux rocheux sur la Manche, la mer Celtique et le golfe de Gascogne. Elles sont constituées par de grandes algues brunes (*Phéophycées*) dont la taille dépasse souvent le mètre et peut aller jusqu'à plusieurs mètres selon les espèces et les sites.

Comme tous les végétaux, les laminaires sont des organismes photosynthétiques qui produisent leur matière organique à partir de l'énergie lumineuse, du CO_2 et des nutriments. Mais contrairement aux végétaux terrestres, qui puisent les sels nutritifs dans la terre grâce à leurs racines, les laminaires absorbent le CO_2 et les nutriments de la colonne d'eau par toute la surface de leur thalle (fronde). Les crampons ou haptères, ne servent donc pas de « racines » mais forment

un système de fixation rigide qui permet à l'algue de rester accrochée sur la roche même par fort hydrodynamisme.

Les laminaires ont une durée de vie variable selon les espèces. Annuelle pour la *Sacchoriza Polyschides* à une quinzaine d'années pour les *Hyperboréas.* Elles se reproduisent en fin d'été sous nos latitudes en disséminant des spores. Selon la latitude, les conditions de turbidité et de température de l'eau, les espèces de laminaires sont plus ou moins présentes.

Un habitat qui abrite une grande biodiversité

La biodiversité des forêts de laminaires est extraordinairement forte comparée à celle des autres communautés algales. En effet la laminaire (stipes, frondes, haptères) constitue en elle-même un substrat pour de nombreuses espèces, et leurs présences modifient les conditions physiques du milieu (hydrodynamisme, condition lumineuse), créant de nombreux habitats complexes et hétérogènes[1]. Ainsi à l'ombre des frondes se développent une flore et une faune importantes et diverses. Les algues comme les animaux profitent de l'atténuation des conditions hydrodynamiques et les haptères constituent en eux-mêmes un milieu particulier. Le bulbe creux des *Saccorhiza polyschides* est un abri recherché par la faune vagile (mobile mais qui ne nage pas) et un lieu de ponte pour certains poissons[2].

Les forêts de laminaires présentent un nombre d'espèces plus important que les forêts « inshore » (environ 750 espèces). La diversité et le nombre d'individus sont plus importants dans les forêts *d'Hyperboréa* en raison de la présence d'épiphytes sur lesquels viennent s'accrocher d'autres organismes, que dans les forêts de *L. digitata* ou de *Saccorhiza polyschides* où la tige est nue.

Figure 2: Laminaire Hyperboréa et son épiphyte - R.Derrien

[1] Kelly, 2005
[2] Castric et al., 2001

Une forte production primaire

La forte production primaire des laminaires résulte d'une production nouvelle de biomasse, de matériels détritiques dégradés et de matières organiques dissoutes. Comme toute plante, les laminaires produisent de la matière nouvelle par photosynthèse lors de leur croissance (plus de trois mètres par an au printemps pour les *Saccorhiza polyschides*). La croissance des frondes est souvent compensée par l'érosion de celles-ci, relarguant de la matière organique dans le milieu. De plus les laminaires produisent du mucus et d'autres matières extracellulaires dont sont recouverts les thalles. Enfin, les spores rejetées par les laminaires constituent également une part de cette production qui est une source de nourriture après dégradation par les bactéries pour les espèces vivantes dans les réseaux trophiques proches des champs de laminaires. La seule production annuelle de spores d'un champ de laminaires est estimée à 70 $gC/m^2/an$ comparativement à la production primaire planctonique qui avoisine les 100-300 $gC/m^2/an$

Tableau 1 : *Comparaison de performances de production primaire dans divers habitats très productifs de la planète (Mc Lusky et Elliott, 2004). Gamme de variations mesurées sur plusieurs habitats de même type dans le monde.*

Habitat	$gC/m^2/an$
Herbier de Zostère	58 - 330
Marais salant	100 – 500
Herbier à Spartines	133 - 1153
Mangrove	0-2700
Champ de Laminaires	1200 - 1800

La production primaire d'un champ de laminaire sous nos latitudes tempérées est comparable à celle des mangroves qui sont des habitats protégés assurant le rôle essentiel de nourricerie et de frayère pour la faune tropicale.

2. Un réseau trophique complexe

Les invertébrés

Une faible proportion de brouteurs est observée dans cet écosystème car seuls certains gastéropodes (comme l'*Ansates pellucida (Fig. 2)*) sont capables de survivre avec les laminaires fraîches comme unique source de nourriture[3]. Une étude menée par Schaal et *al*. en 2010, montre que dans les champs de laminaires, les brouteurs basent essentiellement leurs régimes alimentaires sur les algues rouges épiphytes ou sur le biofilm déposé sur la fronde des laminaires.

[3] Schaal, 2009

La forte production primaire des champs de laminaires constitue une ressource alimentaire importante pour les suspensivores, les invertébrés déposivores, et les filtreurs qui sont à leur tour des proies pour les invertébrés plus mobiles comme les polychètes, les cnidaires et les décapodes. Ce sont également pour les sites aux alentours un enrichissement des fonds. Les laminaires nécrosés se déposent et constituent un nouveau milieu trophique très riche pour le développement d'espèces commerciales très recherchées : crevettes, bars, soles, rougets…

Figure 3: Quatre gastéropodes Ansates pellucida en train de brouter un thalle de laminaire

Les poissons

Cette richesse en faune invertébrée rend ce milieu très attractif pour les poissons. En analysant les signatures isotopiques[4], Frederiksen démontre l'importance de cette faune de petits crustacés et de mollusques dans le régime alimentaire des poissons. Certains petits labridés (*Ctenolabrus rupestris* et *Centrolabrus exoletus*) qui se nourrissent essentiellement de petits gastéropodes tels que *Rissoa parva et Lacuna vincta,* sont spécialistes[5] de ces écosystèmes. Cette faune attire de plus grands prédateurs tels que le bar *Dicentrarchus labrax, le mulet noir, le lieu, le sar,* ou le congre *Conger conger*.

Les oiseaux

Les champs de laminaires sont également des zones importantes pour certaines espèces d'oiseaux marins qui se nourrissent des invertébrés et des poissons présents tels que le Plongeon imbrin (*Gavia immer*), le Grèbe huppé (*Podiceps cristatus)* ou encore le Grand Cormoran (*Phalacrocorax carbo*). En Norvège, une analyse isotopique montre que 37 % et 49 % du carbone consommé par le Grand Cormoran et par l'Eider à duvet (*Somateria mollissima*), avait pour origine les forêts de laminaires[23].

Enfin, beaucoup d'espèces d'oiseaux comme l'Huitrier Pie, les Courlis, les Tournepierre à collier… sont dépendantes des accumulations de laminaires en haut de plage en raison de leur forte densité en invertébrés.

[4] Frederiksen, 2003
[5] Norderhaug et al, 2005

Une ressource pour les écosystèmes voisins

Un champ de laminaires accueille une grande densité d'invertébrés mobiles (beaucoup de petits crustacés). Cette capacité de déplacement leur permet de se cacher ou de fuir leurs prédateurs comme les poissons. La dispersion est différente d'une espèce à une autre[6]. Les espèces présentes dans les haptères se déplacent au sol alors que les espèces présentes sur les frondes ou sur les stipes se déplacent dans la masse d'eau, de laminaire en laminaire. Cette forte mobilité de la faune facilite les interactions avec les hauts niveaux trophiques. Des migrations verticales benthiques et pélagiques ont été observées ainsi qu'un déplacement extérieur au champ. Ceci suggère que les champs de laminaires peuvent être une source secondaire (faune invertébrée) exploitée dans d'autres chaînes alimentaires comme les systèmes pélagiques ou les autres systèmes benthiques[25].

Les champs de laminaires : une frayère et une nurserie :

L'importance des champs de laminaires comme nurserie pour le développement des juvéniles de poissons a largement été reconnu[7]. Quelques invertébrés comme les gastéropodes ou les nudibranches attachent leurs œufs sur les haptères ou les stipes des algues. De plus ces milieux attirent de nombreuses espèces de poissons nidificatrices ou des espèces qui pondent leurs œufs agglutinés sur les algues. Les Ganoïdes et les Salmonidés utilisent cet habitat comme une vaste nurserie et comme une zone de refuge. Cette manne reproductrice associée à la richesse de la faune invertébrée rend ce milieu très attractif pour de nombreux prédateurs. C'est également le lieu privilégié de reproduction pour les crustacés, homards, araignées, crabes…

Les changements complets ou partiels des forêts de laminaires dus à des perturbations anthropiques peuvent entraîner la diminution de certaines espèces de poissons et de crustacés. La structure complexe et la densité (distribution et la taille des frondes) ont un impact sur le recrutement des populations de poissons associés à ces algues. En réduisant la force des courants, ces champs peuvent favoriser l'établissement de poissons en transition et/ou influencer leur survie pendant une certaine période de leur vie en leur procurant un abri et/ou une source alimentaire.

Le cycle reproductif chez les laminaires[8]

Sous nos latitudes, la reproduction des laminaires a lieu au cours de l'été et en automne. Elle commence par l'apparition de taches sombres (appelées sores) à l'extrémité du thalle. L'observation au microscope montre que les sores sont constitués principalement par des milliers de petits sacs (ou sporocystes) remplis de granulations (ou spores). Lorsque le sporocyste est mûr, il éclate, libérant les spores qui vont germer chacune en un filament microscopique (le prothalle) qui sera mâle ou femelle selon la nature du spore qui l'a engendré. Les prothalles libèrent ensuite des gamètes mâles ou femelles qui vont se féconder pour donner un zygote (2n). Chaque zygote germe en une laminaire. Chez la plupart des laminaires, les spores sont produites dès la première année.

Le pouvoir de régénération des laminaires.

[6] Jorgensen *et al*, 2003
[7] Shaffer, 2003 ; Kelly, 2005
[8] Perez, 1968

Une reconstitution parfaite du thalle de *Laminaria digitata* peut être obtenue entre sept et neuf mois, si la coupe est faite à au moins 5 centimètres du haut du stipe[9]. Ce pouvoir de régénération n'est possible que lors des quatre premières années de la vie d'une *L. digitata*. Une *Saccharina latissima* âgée d'un an dont le thalle est coupé à 10 cm au-dessus du sommet du stipe se reconstitue en six mois. Contrairement aux idées reçues, un stipe coupé ne se régénère pas, mais il mettra environ 18 mois pour dégénérer, occupant un emplacement potentiel pour de nouvelles laminaires.

3. Facteurs écologiques

De nombreux facteurs abiotiques conditionnent la répartition horizontale et verticale des laminaires sur une petite ou grande échelle. Il s'agit de la nature du **substrat**, de **l'hydrodynamisme**, de la **température**, de la **salinité** et de la **luminosité**.

- **Le substrat** doit avoir une certaine cohésion pour éviter que ces grandes algues ne se fassent emporter par les courants. Il s'agira alors de roche, de blocs ou de galets suffisamment gros. L'inclinaison de la roche (platier ou tombant) joue également un rôle fondamental dans la répartition des espèces[10].
- **L'hydrodynamisme** est un facteur de première importance. Ainsi les vagues, les courants et le marnage de la marée déterminent des milieux plus ou moins hospitaliers pour les laminaires. Un fort hydrodynamisme déstabilise le substrat mais il augmente l'oxygénation du milieu, cependant son influence disparaît peu à peu avec la profondeur. Deux grands types d'exposition à l'hydrodynamisme sont à distinguer dans les niveaux intertidaux et haut infralittoral : le mode battu et le mode abrité.
- **La température** intervient dans les processus de croissance et de reproduction. Pour la laminaire *Saccharina latissima,* les températures supérieures à 20 °C affectent la photosynthèse[11]. La répartition spatiale des espèces de laminaires est fortement liée à la température. On trouve rarement la laminaire *digitata* en dessous et au niveau de la Loire. Les *Sacchorizes en revanche* supportant bien des températures plus élevées…
- **La salinité** peut varier considérablement sur la côte selon les influences fluviales et l'importance de la marée. Les algues s'accommodent de ces variations avec plus ou moins de succès, cependant il est rare que ce facteur soit seul en cause. Un panache fluvial est généralement turbide (chargé en particules minérales ou de phytoplancton) ce qui atténue la pénétration de la lumière et modifie la nature du fond.
- **La lumière** agit de différentes manières sur la photosynthèse des algues : par sa quantité (énergie lumineuse), par sa qualité (nature des rayonnements qui parviennent en profondeur), et par sa photopériode (durée des périodes d'éclairement et d'obscurité). Ce dernier paramètre est prépondérant dans la répartition biogéographique des laminaires car il rythme la vie des algues (reproduction, croissance…).

  La quantité et la qualité de la lumière conditionnent la répartition des algues selon un gradient bathymétrique. La distribution d'une espèce est limitée en profondeur par son point de compensation qui correspond au niveau où l'intensité lumineuse est telle que la photosynthèse et la respiration s'équilibrent d'un point de vue des échanges métaboliques. L'eau de mer se comporte comme un filtre qui absorbe progressivement les radiations lumineuses. Les radiations rouges disparaissent totalement aux environs de 10 mètres de profondeur. Les algues ayant différents cortèges pigmentaires, elles

[9] Perez, 1967
[10] Santos, 1993
[11] Anderson, 2013

absorbent préférentiellement l'énergie lumineuse à différentes longueurs d'ondes. Les algues capables d'absorber les rayonnements bleus pourront donc se développer plus en profondeur.

- **La turbidité** (eau chargée en particules minérales) peut provenir de la remise en suspension de substrat meuble sous l'action des houles ou des courants, mais elle provient surtout des apports continentaux par les fleuves. Une forte turbidité limite la pénétration de la lumière et empêche donc les algues de se développer en profondeur. La sédimentation de ces particules sur les thalles des algues pourrait perturber les échanges entre le thalle et l'eau et avoir un effet négatif sur la croissance des algues, ou permettre le développement de certaines bactéries. Enfin, le recouvrement du substrat rocheux par une fine pellicule de vase, nuit au processus de fixation des spores[12]. Une plus grande quantité de vase peut étouffer les jeunes pousses inhibant leur développement. Un dépôt de vase sur les zoospores de la laminaire *Saccharina latissima* a un effet nuisible sur sa croissance[13].

***Tableau 2** : Synthèse du rôle et de l'utilité des champs de laminaires. J-C Ménard ELV*

[12] Buraws, 1971 in Brikett *et al.*, 1998
[13] Perez et al, in Derrien-Courtel, 2006

4. Usages économiques et pratiques

La composition des laminaires en fait des spécimens très intéressants non seulement pour nos assiettes, mais aussi pour notre quotidien en général. On peut lister plusieurs domaines d'utilisation des laminaires.

- **Carburant**, comme au siècle dernier où le goémon servait de chauffage bas prix en Bretagne. Aujourd'hui, elles sont envisagées comme biocarburant grâce à leur taux en lipide[14].
- Extraction de **minéraux** : les laminaires, en absorbant les minéraux qui les entourent, les associent à des composants chimiques naturels connus de notre organisme. En consommant des algues, on absorbe ainsi facilement ces minéraux. Essentiellement constituées d'eau (80 à 90%), ces macro-algues présentent une matière sèche extrêmement riche : 50% de glucides (dont fibres), 3 à 15% de protéines, 7 à 38% de minéraux et 1 à 3% de lipides (acides gras polyinsaturés, oméga 3, oméga 6).
- Dans le domaine **médical**, l'alginate extraite des laminaires est utilisé pour « encapsuler » des substances et des médicaments, permettant ainsi d'avoir un substitut aux greffes du pancréas[15]
- Comme **matériau** biodégradable, pour des emballages[16] ou la construction[17]
- Dans **l'alimentaire**[37] : consommées telles quelles, séchées, en condiments[18] (wakamé, kombu royal) ou utilisation des alginates comme épaississants, gélifiants, émulsifiants ou stabilisants. Riches en minéraux (iode, calcium, …) et en vitamines (A, C et E), les algues figurent au menu des Asiatiques depuis des siècles. La présence des minéraux et oligo-éléments est plus importante que dans les légumes terrestres (sodium, potassium, calcium, magnésium, soufre, fer, iode, cuivre, zinc, sélénium).

5. Menaces actuelles sur cet écosystème

[14] Chung *et al.*, 2011
[15] Schneider *et al.*, 2005
[16] http://algopack.com/
[17] Voir ou revoir l'article d'Anne Mirété sur les Sargasses, rubrique Bio-inspiration de la newsletter #12 de février 2020 37 Pour des idées de recettes, consulter l'article ELV « Les macroalgues : un rôle écologique majeur dans le milieu marin. C'est aussi une ressource exceptionnelle mais peu connue. » issu de la newsletter #4 de mars-avril 2017 https://www.assoloirevilaine.fr/preservation-biodiv
[18] Comme les mélanges huile, algues, épices du chef cuisinier Olivier Roellinger https://youtu.be/QFNH3jgn9Kg?t=1490

Les champs de laminaires présentent donc un très fort intérêt écologique et économique. Cependant c'est un habitat fortement menacé.

Figure 4: Laminaire envahie par des moules en baie de la Baule

Récemment, Sandrine Derrien-Courtel du Muséum National d'Histoire Naturelle de Concarneau a alerté l'ensemble des acteurs scientifiques sur l'état des champs de laminaires sur le littoral d'Iroise[31]. Il semble, comme l'ont observé les plongeurs de l'association Estuaire Loire Vilaine, ELV, que sur plusieurs autres sites en Bretagne, les laminaires soient menacées, voire « intoxiquées » ou « malades ». Des campagnes de recensement et de prélèvements ont donc été conduites dans le Finistère en 2008 afin de subir une analyse pathologique, menée par la Station Biologique de Roscoff. Les scientifiques s'interrogent. La diminution des champs de laminaires estelle liée à une augmentation de la turbidité des masses d'eaux, à la présence d'éléments dans l'eau qui leur sont néfastes, à une infection bactérienne, à une évolution du milieu liée au réchauffement climatique ? Toutes ces questions sont en cours d'études. Les champs de laminaires sont soumis à de nombreuses perturbations d'origine anthropique. Dragages et clapages de vases et sédiments, implantation d'éoliennes prévus sur des zones rocheuses particulièrement riches en champs de laminaires.

Impacts potentiels des activités anthropiques

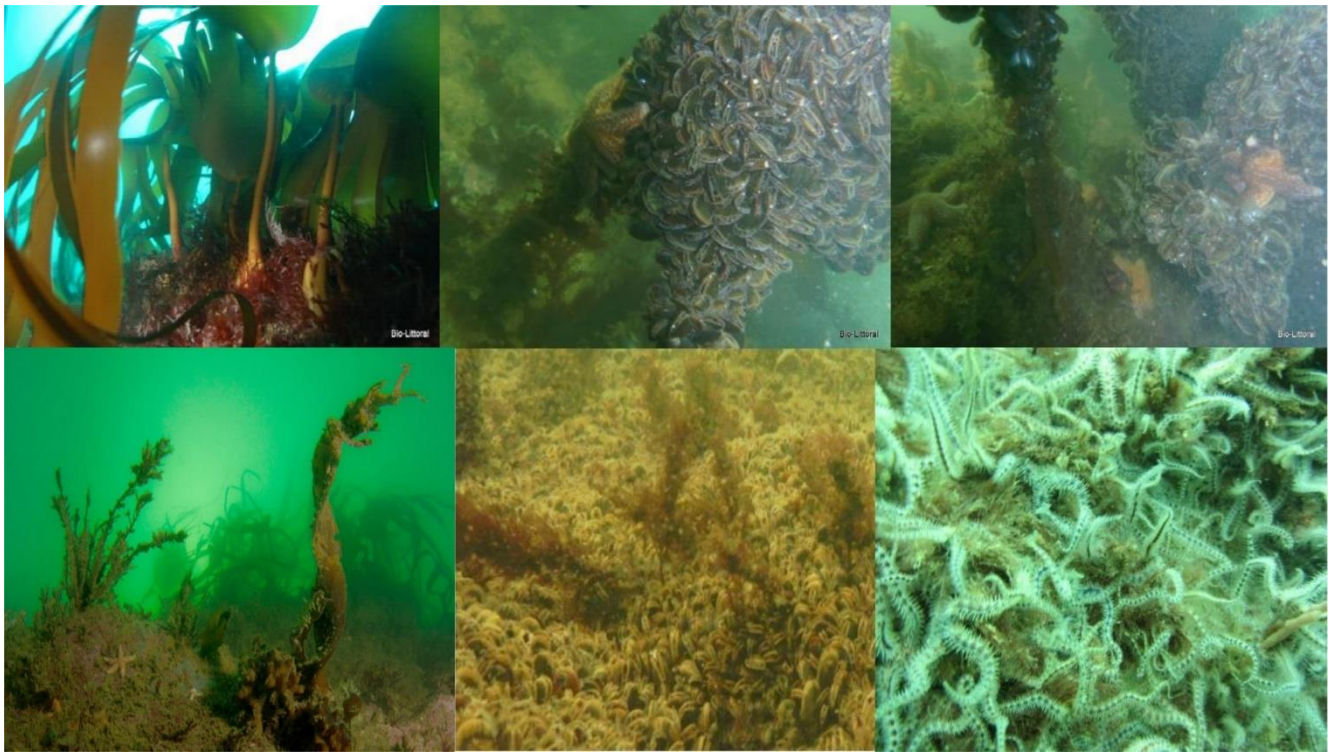


Figure 5: Evolution d'un champ de laminaires en fonction de la turbidité du milieu

Les champs de laminaires sont soumis à de nombreuses perturbations d'origine anthropique **:**

- **L'exploitation des laminaires** par la technique du scoubidou se pratique essentiellement dans le Finistère Nord.
- **La surpêche des prédateurs** (comme le bar) pourrait provoquer une augmentation des organismes brouteurs et entraîner le développement d'algues opportunistes au détriment des laminaires et de leurs épiphytes.
- **Des apports excessifs de nutriments** peuvent altérer l'écosystème en éliminant les espèces les plus sensibles à l'eutrophisation. On peut noter l'augmentation générale des éléments N et P depuis quelques décennies, qui provoquent des marées vertes sur le littoral Breton et d'importants développements de micro-algues (blooms) dans les estuaires et baies abritées du sud de la Bretagne, (la Baule, la baie de Vilaine). L'atténuation de la lumière est très importante et la photosynthèse pratiquement absente à quelques mètres de profondeur. L'impact sur le développement des laminaires peut être important.
- **L'apparition d'espèces introduites ou opportunistes.** L'éponge *Celtodoryx girardae* pourrait présenter une menace en termes de compétition spatiale avec les jeunes laminaires[32]. L'algue *halydris siliquosa* semble prendre la place des laminaires lorsque la turbidité est importante au printemps ou l'espèce invasive *sargassum muticum.* La turbidité apparaît comme un facteur déterminant dans l'apparition d'espèces opportunistes ou invasives. D'origine anthropique, elle peut être le résultat des dragages du chenal de navigation des clapages de sédiments ou du dévasage des ports. Plus ponctuellement, il peut y avoir des aménagements littoraux qui pourront engendrer très localement des panaches de turbidité et des zones de fortes sédimentations de matériaux fins. Les impacts attendus sur les champs de laminaires sont la diminution de la lumière et

donc la remontée des ceintures algales, ou l'envasement (étouffement et colmatage) des sites rocheux qui deviennent alors impropres à la fixation des jeunes pousses.

- **L'augmentation globale de la température** (augmentation de plus d'1°C des eaux du littoral des Pays de la Loire depuis 50 ans, données IFREMER), peut avoir pour conséquence la disparition sur nos côtes des espèces les plus froides (comme *Laminaria hyperborea ou Laminaria digitata*). Ce phénomène a déjà été observé en manche sur la façade anglaise pour l'algue *Alaria esculenta*[32]. A contrario, ce réchauffement peut favoriser la remontée vers le nord de espèces d'affinité méridionales comme *Laminaria ochroleuca.* Exacerbé dans des milieux peu profonds en période estivale, ce réchauffement favorise le développement d'espèces introduites telles qu'*Undaria pinnatifida* comme cela a été observé sur le littoral morbihannais ou dans le port de Piriac.
- **Les clapages proches des plateaux rocheux,** des vases et sédiments représentent des éléments nuisibles à la présence de macroalgues. La turbidité liée aux clapages et les colmatages des habitats transforment ces lieux en véritables zones mortes. La diminution importante de la photosynthèse et le recouvrement du benthos rocheux par ces vases détruisent toute possibilité de vie pour la faune et la flore qui meurent par étouffement. La reproduction et la fixation des laminaires est impossible et seules des espèces opportunistes pourraient se fixer comme les moules (photo baie de la Baule).
- **Les activités humaines nouvelles EMR, les travaux offshores.** Les projets de champs d'éoliennes prévues sur la côte Française sont prévus sur des zones sablo-vaseuses et sur une zone rocheuse (banc de Guérande). L'impact sur une zone rocheuse peut être important pendant les travaux. Le creusement pour les fondations d'immenses excavations de 8m de diamètres 20 à 30 m de profondeur. Des tranchées ou le recouvrement des câbles sur une centaine de kilomètres. Ces travaux peuvent entraîner une destruction d'habitats, une forte turbidité (photosynthèse diminuée), un colmatage et un étouffement des sites.

Ainsi, les laminaires qui jouent un rôle irremplaçable dans la séquestration du $C0_2$ et représentent une richesse en biodiversité exceptionnelle risquent de disparaître ainsi que la faune associée sans doute remplacées par des espèces opportunistes comme les *Cystoseires baccata* sur le plateau du Four ou les moules en baie de la Baule.

Dans un prochain article, on pourra voir plus précisément un autre service rendu par les laminaires, non pas seulement au sein des écosystèmes locaux mais à l'échelle du globe, puisqu'on parlera de leur **rôle dans le captage du carbone et dans la production d'0_2 en même temps que leur distribution dans le monde.**

Bibliographie / Pour en savoir plus :

Andersen, G. S., Pedersen, M. F., & Nielsen, S. L., 2013, Temperature acclimation and heat tolerance of photosynthesis in Norwegian Saccharina latissima (Laminariales, Phaeophyceae). *Journal of Phycology*, *49*(4), 689-700.

Birkett D. A., Maggs C. A., Dring M. J., Boaden P. J. S. and Seed R., 1988, Infralittoral reef biotopes with kelp species (volume VII). An overview of dynamic and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs. *Scottish Association of Marine Science (UK Marine SACs Project*). 174pp.

Christie H., Jorgensen N.M., Norderhaug K.M, 2007, Bushy or smooth, high or low; importance of habitat architecture and vertical position for distribution of fauna on kelp. *Journal of sea research* 58:198-208.

Christie H., Norderhaug K.M., Fredriksen S., 2009, Macrophytes as habitat for fauna. *Marine Ecology Progress Series* 396: 221-233.

Chung, I. K., Beardall, J., Mehta, S., Sahoo, D., & Stojkovic, S. (2011). Using marine macroalgae for carbon sequestration

Derrien-Courtel S., 2008, L'étude des peuplements subtidaux rocheux (flore et faune) du littoral Breton permetelle de contribuer à l'évaluation de la qualité écologique du littoral et d'en mesurer les changements dans le temps ? Thèse MNHN, 221p.

Derrien-Courtel S., Le Gal A., Mercier-Pécard M., Derrien R., Decaris F.-X., Mercier N., 2007. REBENT Résultats de la surveillance du Benthos – Région Bretagne – Suivi stationnel des roches subtidales 2004-20052006. Contrat IFREMER, mars 2007, 526p.

Derrien-Courtel S., Mercier-Pécard M, Derrien R., Decaris F-X., Le Gal A. et Mercier N., 2008. Inventaire ZNIEFF-MER faunistique et floristique des fonds subtidaux rocheux de Belle-Ile en Mer. Données 2002-2005. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, Département Milieux et Peuplements Aquatiques. Station de Biologie Marine de Concarneau, 259p.

Derrien-Courtel S, 2009**,** Fiche de synthèse d'habitat laminaires dans le cadre du REBENT Bretagne, 13p.

Eckman J. E., Duggins, D. O. et Sewell A. T., 1989, Ecology of understorey kelp environments, I. Effects of kelps on flow and particle transport near the bottom. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 129: 173187.

Fredriksen, S., 2003, Food web studies in a Norwegian kelp forest based on stable isotope (δ13C and δ15N) analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 260: 71-81.

Jorgensen N.M and Christi H., 2003, Diurnal, horizontal and vertical dispersal of kelp-associated fauna.
Hydrobiologia, 503: 69-76

Kelly E., 2005, The role of kelp in the marine environment. *Irish Wildlife Manuals*, No. 17. National Parks and Wildlife Service, Department of Environment, Heritage and Local Government, Dublin, Ireland.Løvas S.M., 124pp.

Mc Mohammed, A. I. & Fredriksen, S., 2004**,** Production, respiration and exudation of dissolved organic matter by the kelp *Laminaria hyperborea* along the west coast of Norway. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 84: 887-894.

Munda I.M. & Luning K., 1977, Growth performance of Alaria esculenta off Helgoland. HelgolSnder Wlss Meeresunters, 29 : 311-314.

Norderhaug K.M., Christie H, Rinde E., 2002, Colonisation of kelp imitations by epiphyte and holdfast fauna; a study of mobility patterns. *Marine Biology* 141:965-973.

Norderhaug K.M., Fredriksen S., Nygaard, K., 2003. Trophic importance of *Laminaria hyperborea* to kelp forest consumers and the importance of bacterial degradation to food quality. *Marine Ecology Progress Series* 255:135144.

Norderhaug K.L., Christie H., Fosså J.H and Fredriksen S., 2005**,** Fish–macrofauna interactions in a kelp (*Laminaria hyperborea*) forest, Journal of the Marine Biological Association of the UK , 85 (5): 1021-1300.

Norderhaug K.M., Christie H., Fredriksen S., 2007, Is habitat size an important factor for faunal abundances on kelp (*Laminaria hyperborea*), *Journal of Sea Research*, 58:120-124.

Norton T.A. & G.R. South, 1969, Influence of reduced salinity on the distribution of two laminarian algae. *Oîkos*, 20 : 320-326.

O'Connor, Todd W. A, 2010, Consequences of habitat disturbance and recovery to recruitment and the abundance of kelp forest fishes, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, In press.

Perez René, 1967, Phénomène de régénération chez laminaria digitata lamouroux et son application possible à l'exploitation des laminaires. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 31(4), 367-372. Open Access version : https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/3868/

Perez René, 1968, Les nouvelles méthodes de récolte et le repeuplement des champs de laminaires. *Science et Pêche*, 175, 1-7. Open Access version : https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/7285/

Phang Siew, university of Malaya, Kuala Lumpur, Institute of ocean and earth Sciences (IOES) ''Algae end climate change adaptation and mitigation''

Santos, R., 1993, A multivariate study of biotic and abiotic relationships in a subtidal algal stand. *MARINE ECOLOGY-PROGRESS SERIES*, *94*, 181-181.

Schaal, G., 2009, *Structure et fonctionnement des réseaux trophiques associés aux écosystèmes littoraux rocheux en situation écologiques contrastées : approches isotopiques et biochimiques combinées* (Doctoral dissertation, Paris 6).

Stephan Schneider, Peter J. Feilen, Frank Brunnenmeier et Timo Minnemann, « Long-term graft function of adult rat and human islets encapsulated in novel alginate-based microcapsules after transplantation in immunocompetent diabetic mice », *Diabetes*, vol. 54, no 3, mars 2005, p. 687–693

Deuxième partie ‘’les laminaires’’ : leur rôle dans la captation du CO_2 et la production d’O_2, et leur répartition dans le monde *par Jean-Claude Ménard, Simon Oertlin, Floriane Turrel, novembre 2020*

Réduire le réchauffement climatique : le captage du carbone par les laminaires

Contexte général : émissions de CO_2 et lutte contre le réchauffement climatique

ELV revient régulièrement sur la nécessité de combattre le réchauffement climatique qui est à l’origine de phénomènes comme la prolifération d’algues vertes, la désoxygénation (cf. NL #12 de février 2020), la montée des eaux, l’érosion… Deux façons de contrer l’augmentation des concentrations en CO_2 dans l’atmosphère : limiter les émissions de gaz à effet de serre ou stocker le carbone émis. C’est sur les émissions qu’il faudrait agir car il est actuellement impossible de les compenser intégralement. La deuxième solution, le stockage de carbone, vient dans un second temps comme complément et seulement pour contrebalancer des émissions impossibles à éviter. Eviter, Réduire, Compenser : réduire à défaut de pouvoir éviter ; compenser à défaut de pouvoir éviter et après avoir réduit au maximum les impacts...

Rôle des écosystèmes terrestres dans le stockage du CO_2

Les forêts terrestres, en particulier au niveau des tropiques, séquestrent une partie du CO_2 de l’atmosphère en se développant : via la photosynthèse, les végétaux produisent des composés carboniques à partir de la lumière du soleil et des glucides et autres nutriments qu’ils puisent dans le sol ou dans l’air. Rappelons brièvement que les énergies fossiles (pétrole, charbon) que nous utilisons actuellement sont issues de végétaux décomposés il y a des millions d’années dans des conditions très particulières (enfouissement dans la matière minérale et maturation à l’écart de la biosphère). En les brûlant, on libère le carbone stocké depuis très longtemps par ces végétaux. Il existe donc un cycle du carbone, qui se trouve capté par les végétaux au moment de leur croissance et rejeté ou « fossilisé » au moment de leur décomposition. On pourrait donc se dire qu’il suffirait de « recycler » les énergies fossiles en plantant de nouveaux arbres et en les fossilisant artificiellement de la même manière pour qu’ils deviennent du pétrole par la suite. Mais si on ne met que quelques secondes à libérer des tonnes de carbone en brûlant ces énergies fossiles, leur production, elle, prend des millions d’années ! Sans parler de la difficulté à faire sédimenter correctement ces végétaux… C’est notamment cette différence de temporalité entre dégagement et stockage du carbone fossile qui rend ce modèle énergétique non-durable.

Cependant, à court ou moyen terme, la création de forêts permet de « fixer » une partie du carbone atmosphérique dans la biomasse végétale. Chaque année, les écosystèmes terrestres absorbent ainsi près de 30 % des émissions de gaz à effet de serre, en prenant en compte la déforestation[1], les arbres « emmagasinant au cours de leur vie jusqu’à 20 tonnes de CO_2 dans leur tronc, leurs branches et leur système racinaire »[2]. Ainsi, il y a des centaines de millions d’années lors de l’ère géologique du carbonifère, l’apparition des premiers arbres tels qu’on les connaît aujourd’hui (des conifères) a participé à une réduction très forte de la concentration en CO_2 dans

l'atmosphère puisqu'on est passé d'une concentration 9 fois supérieure à celle d'aujourd'hui, à une concentration « seulement » 3 fois supérieure.

Planter de nouveaux arbres permet donc, en théorie, de réduire le taux de CO_2 dans l'atmosphère… mais à condition de le faire correctement et à bonne échelle ! C'est-à-dire en veillant à (re)créer un écosystème riche, diversifié et pertinent par rapport aux conditions climatiques et aux populations locales (exproprier des Indiens au

1 Canadell, J. G., & Raupach, M. R. (2008). Managing forests for climate change mitigation. science, 320(5882), 1456-1457.

2 Peter Wohlleben, La vie secrète des arbres, « Les arbres et le carbone », p.140

nom d'une compensation carbone financée par une multinationale étrangère n'a pas plus de sens que de planter des hectares d'eucalyptus qui appauvrissent le sol et sont très vulnérables à des crises comme les incendies ou les proliférations d'insectes ravageurs).

Saccharina latissima sur filière (© GERARD CAZADE)

Rôle des océans dans le stockage du CO_2 : les deux pompes à carbone

Les plantes terrestres produisent 50% de l'O_2 atmosphérique dont 20% par la forêt amazonienne. Alors, si on parle régulièrement du « poumon vert » de la planète pour l'Amazonie, la plus importante forêt au monde, son « poumon bleu » capte encore plus de CO_2 et produit les 50 % restant de l'O_2 atmosphérique (rapport UICN). L'océan agit en effet comme un réel puit de carbone. Le rôle de « pompe à carbone » des océans a été mis en avant ces dernières décennies mais commence tout juste à être pris en compte.

Pompe de solubilité : importance et limites

La pompe de solubilité correspond au transfert du CO_2 présent dans l'atmosphère dans les eaux de surface où il se dissout puis se diffuse ensuite dans les eaux profondes où il est stocké pendant des siècles. Les océans auraient ainsi absorbé environ un tiers de toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) anthropiques depuis le début de l'industrialisation (milieu XVIIIe siècle)[1], dont 90 % via la pompe de solubilité. Cependant, cette pompe sature et perd en efficacité. De plus, l'absorption de quantités croissantes de CO_2 contribue activement à l'acidification des océans, qui menace de nombreuses espèces comme les mollusques et les coraux[2]. Le problème est qu'en retour, la destruction des coraux libère du CO_2… On ne peut pas s'en

remettre à l'action chimique naturelle des océans pour réguler nos émissions de GES : la pompe à solubilité atténue le phénomène mais ne le résout pas.

Pompe biologique : stockage dans la biomasse et dans les sédiments

La pompe biologique quant à elle correspond à la consommation de CO_2, *via* la photosynthèse, par des micro-organismes comme le phytoplancton ou par des macro-organismes comme les plantes aquatiques ou les algues. Cette pompe est semblable à ce que font les arbres et autres végétaux sur la terre ferme. Elle est dite « biologique » mais ne constitue pas non plus une solution miracle, bien qu'elle soit d'un intérêt majeur. En effet, tout d'abord le phytoplancton absorbe une partie du CO_2 dissous dans les océans pour se développer, ce qui le stocke temporairement dans cette biomasse. Temporairement car la décomposition de ces organismes en suspension à leur mort rejette à nouveau du CO_2 même si une partie peut se déposer sur le benthos voire sédimenter dans les roches.

Comme les végétaux terrestres le phytoplancton fabrique du dioxygène (O_2) via le mécanisme de photosynthèse. Grâce à sa chlorophylle, le plancton végétal capte la lumière du soleil qu'il utilise comme une source d'énergie pour fabriquer du glucose. Pour créer ce sucre, il lui faut du carbone (C) et de l'hydrogène (H), deux éléments qu'il retrouve dans le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H2O) naturellement présents dans son environnement. Il rejette ensuite ce dont il n'a pas besoin, à savoir de l'O_2. L'oxygène ainsi produit est rejeté en partie dans l'eau, ce qui va permettre à toutes les autres espèces marines de respirer, l'autre partie étant directement libérée dans l'atmosphère. Non seulement le phytoplancton produit du dioxygène, mais il joue également un rôle de filtre puisqu'il absorbe le CO_2. Un rôle plus qu'essentiel à la vie sur Terre…

Les plantes marines stockent également le CO_2, à la fois dans leur biomasse et dans les sédiments sur lesquels elles se développent (zostères, posidonies). Les mangroves, les marais maritimes et les prés salés figurent parmi les écosystèmes les plus efficaces sur ce point de vue, notamment par leur capacité à « piéger » le carbone dans les sédiments grâce à leur système racinaire. Bien que ces trois écosystèmes marins couvrent une surface sensiblement moins étendue que les écosystèmes terrestres (forêts tempérées, tropicales et boréales), leur taux de carbone sédimenté est beaucoup plus important : 18 à 1713 g C/m² par an pour les écosystèmes marins contre 0,7 à 13,1 g C/m² par an pour les forêts terrestres[1].

1 Sabine, C. L., & Feely, R. A. (2007). The oceanic sink for carbon dioxide. Greenhouse gas sinks, 31.

2 Poirier A-G, (2013), La vulnérabilité des puits de carbone océaniques par rapport à l'acidification des océans, Université de Nantes

Efficacité du stockage en carbone des océans	
Puits de carbone	**Stockage global en Tg C/an**
Pompe de solubilité	2 000 ± 700
Mangroves	17 à 23
Marais salants	60,4 à 70
Prés salés	27,4 à 44
Macro-algues	15 à 39

Source : Poirier, 2013 ; IUCN (2009) p. 33 et 43 ; UNEP (2009) p.39

Et les laminaires dans tout ça ?

Les études ont surtout mis l'accent sur les marais salés, les mangroves et les prés salés, car ce sont des écosystèmes sédimentaires. Les macro-algues, elles, se développent sur du substrat rocheux (où elles se fixent à l'aide de crampons) et se nourrissent dans la colonne d'eau. On sait cependant que leur biomasse est impressionnante, que leur productivité est l'une des plus fortes du règne végétal comme on a pu le voir dans la première partie de ce long article (Newsletter précédente #15 de Août/Septembre 2020). *Macrocystis pyrifera* peut ainsi croître de 50 cm par jour !

Bien que très productives, les macro-algues ont une durée de vie assez réduite. Les sites peuvent changer radicalement d'une année sur l'autre sous les effets de tempêtes extrêmes ou de pollutions (cf. observations sur le plateau du Four). Le carbone est donc stocké uniquement dans la biomasse des macro-algues, à court terme (rarement plus de dix ans). Leur décomposition rejette ensuite le carbone dans la colonne d'eau. On peut estimer qu'une partie de ce carbone stocké se dépose sur le benthos pour y sédimenter en partie et sur le microphytobenthos, si elle n'est pas remise en suspension par les courants. Le transfert de carbone entre la colonne d'eau et le benthos dépendrait de l'acidité du milieu. Mais à ce jour, l'absence d'étude sur le transfert de carbone à la mort des laminaires nous limite à ces hypothèses.

1 Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., ... & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2. Frontiers in Ecology and the Environment, 9(10), 552-560.

À cela, on doit ajouter que des espèces comme les oursins se nourrissent de laminaires, ainsi que d'autres « brouteurs » (NL #15 de Août/Septembre 2020). Leur biomasse peut donc être « recyclée » à leur mort par d'autres organismes comme les bactéries. Mais ces mêmes « brouteurs » peuvent également présenter une menace pour les laminaires, car s'ils se reproduisent en trop grand nombre et ne sont pas régulés par leurs prédateurs (souvent moins présents ou disparus à cause de la surpêche), ces « brouteurs » sont capables, en très peu de temps, de détruire les zones à laminaires. La production nette des macroalgues représenterait 68% de la production des écosystèmes dominés par les macrophytes (macroalgues, herbiers, et prés salés) et environ 74% du carbone séquestré par les zones marines côtières (Duarte et *al*., 2005 ; Muraoka, 2004), il est donc important de les préserver.

Réutiliser les laminaires

Des manières existent de réutiliser les laminaires. Nous vous renvoyons au point 4 de la première partie (NL #15 de Août/Septembre 2020) sur les « Usages économiques » des laminaires ainsi qu'à l'article de la NL #4 « Les macro-algues : un rôle écologique majeur dans le milieu marin ». C'est aussi une ressource exceptionnelle mais peu connue.

> Cependant, il n'est bien entendu pas question de produire massivement des laminaires comme ce qui a pu se passer au Brésil pour le colza à la base de biocarburants ou avec le palmier à huile permettant d'obtenir la fameuse huile de palme et qui ont entrainé une destruction colossale de la forêt tropicale *via* une monoculture intensive et une perte de la biodiversité associée. Pour rester logique et cohérent dans la démarche, on peut penser à des cultures à une échelle raisonnable respectant l'équilibre du milieu et l'enrichissant (augmentation de la biodiversité), combinant les algues à des espèces complémentaires tels que les mollusques, à l'image de ce qui s'est fait à Sabah (Malaisie) avec des *Kappaphicus* (algues rouges) associées à des coquillages[1]. En effet, les laminaires fournissent un milieu écologique riche et diversifié, elles atténuent les courants, l'érosion et la puissance des vagues, protégeant ainsi les cultures de mollusques, et augmentant le taux d'oxygène dissout localement[2] (cf. Newsletter de février 2019). Si une culture d'algues devait s'effectuer, ce serait après des études approfondies de la zone.

Laminaria Rodriguezii

Laminaire digitée (*Laminaria digitata*)

Distribution des macro-algues dans le monde

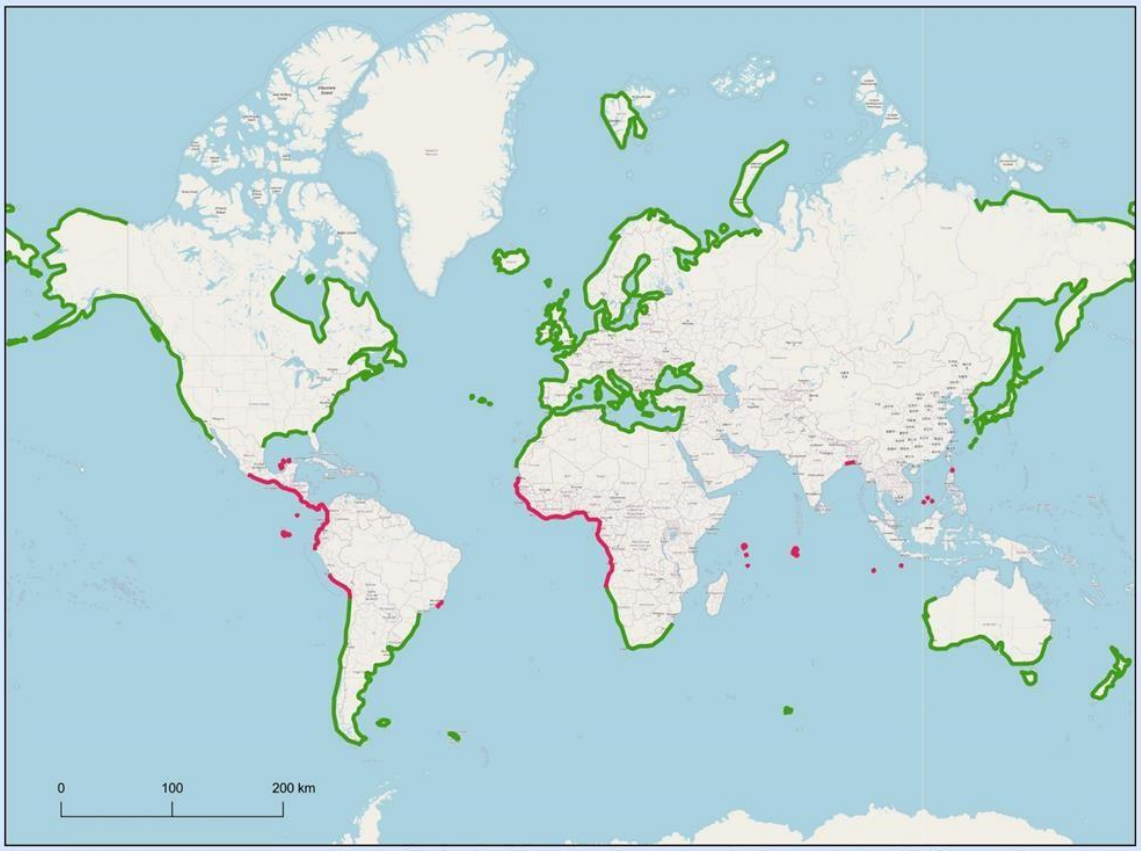
Les forêts et champs d'algues se développent le long des littoraux rocheux et occuperaient près de 58 000 km de linéaire côtier depuis les hautes latitudes jusqu'aux régions tropicales et subtropicales et couvriraient selon les auteurs de 0,6 à 1,4 millions de km² (Suzuki, 1997 ; Duarte et Cebrian, 1996) soit 9 % de la surface des océans (IUCN, 2009). Les laminaires se répartissent davantage dans l'Atlantique Nord (*Laminaria hyperborea*, *L. digitata*) ainsi qu'en Méditerranée (*L. rodriguezii*). Dans le Pacifique, on trouve davantage le genre *Macrocystis*, dont l'espèce *M. pyrifera* a la plus forte croissance au monde (jusqu'à 30 m de longueur), ainsi que le genre *Lessonia*, en particulier en Amérique du Sud. Généralement, les laminaires sont observées aux latitudes tempérées ou boréales (*L. hyperborea, L. digitata*, *Saccharina latissima*). Sur la carte suivante, qui donne une idée de la répartition des laminaires dans le monde, sont représentées les principales zones de laminaires sur les côtes, mais aussi les estimations de certains chercheurs (Graham et *al*., 2007 ; Santelices, 2007) sur la présence de laminaires en zones tropicales dans des eaux profondes. Ces extrapolations ont été reprises dans un document officiel de l'IUCN.

---

1 Phang Siew, university of Malaya, Kuala Lumpur, Institute of ocean and earth Sciences (IOES) ''Algae end climate change adaptation and mitigation''

2 https://www.salaweg.com/fr/les-algues/bienfaits-%C3%A9cologiques-de-lalgoculture.html

Répartition des laminaires dans le monde



Projection Mercator Sources : voir "En savoir plus / Références" ELV 2020

Légende :

- Laminaires en eaux peu profondes
- Laminaires en eaux profondes tropicales selon estimations (Graham *et al*, 2007)

Principales laminaires dans le monde : informations clefs et répartition				
Nom	**Localisation**	**Taille**	**Profondeur**	**Durée de vie**
Laminaria hyperborea (Laminaire rugueuse)	Atlantique Nord (Spitzberg→ Bretagne Sud), Manche, Mer du Nord, Méditerranée et Mer Noire	Jusqu'à 2m de long	-20m en Atlantique et jusqu'à -40m en Méditerranée (eaux claires)	10 à 15 ans
Laminaria digitata (Laminaire digitée)	Atlantique Nord (Spitzberg→ Bretagne Sud), Manche, Mer du Nord, Méditerranée et Mer Noire	1m / 1m50 (jusqu'à 4m)	-6m	3 à 5 ans
Laminaria ochroleuca (Laminaire jaunâtre)	Manche occidentale jusqu'aux côtes marocaines, Méditerranée	2m environ (jusqu'à 2m50)	-40m, voire -80 à -110m (détroit de Messine)	Annuelle
Laminaria rodriguezii	Méditerranée (endémique)	2m	-30m (minimum) jusqu'à -150m	Annuelle
Macrocystis pyrefera	Côtes du Pacifique (Amériques, Asie de l'est), sud Australie, Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud	Jusqu'à 45/50 m	De 0 à -30m	?
Saccorhiza polyschide (Laminaires à bulbe)	Norvège au Maroc, Ouest de la Méditerranée (plus rare)	2 / 2m50 Jusqu'à 10m	Jusqu'à-35m	Annuelle
Saccharina japonica (kombu)	Japon, Corée, Chine, Russie, France (étang de Thau : introduite en 1984)	Jusqu'à 1m	-10m	2 ans (1 en aquaculture)
Saccharina latissima (kombu royal)	Atlantique Nord (Spitzberg → sud du Portugal), Japon, détroit de Béring, côtes pacifique et atlantique (estuaire du St Laurent au New Jersey)	Jusqu'à 3m de longueur	De 0 à -30m	2 à 4 ans
Undaria pinnatifida (wakame)	Japon, Corée, Chine (endémique), Bretagne, côte Atlantique européenne, Manche (importée pour élevage ou via navires)	50cm à 1m20 (Méditerranée) et jusqu'à 3m (Atlantique, Pacifique)	De -1m50 (Méditerranée) de profondeur à - 18m (Ouessant) selon la turbidité de l'eau	Annuelle
Lessonia Trabeculata	Chili, Pérou, Argentine	Jusqu'à 2,5m	De -0,5 à -20m	Annuelle
Lessonia nigrescens	Chili, Pérou, Argentine	?	?	?

Pour conclure…

Nous avons vu à travers ces deux articles, le rôle essentiel des forêts et champs de laminaires dans le milieu marin. C'est un habitat remarquable où près de 750 espèces ont été répertoriées (deux fois plus que dans nos forêts terrestres). C'est un refuge pour les poissons juvéniles et un lieu de reproduction pour de nombreuses espèces. Ces macro-algues ont un rôle important dans la production d'O_2 et la captation du CO_2. Les laminaires fournissent un milieu écologique riche et diversifié, elles atténuent les courants, l'érosion et la puissance des vagues et augmentent le taux d'oxygène dissous localement (Newsletter de février 2019). Les laminaires sont également utilisées comme bioindicateur de la qualité du milieu qui est jugé en bonne santé si elles sont présentes.

Longtemps exploitées par l'homme, elles sont désormais considérées comme des biotopes à préserver et à encadrer dans leur exploitation. Certaines espèces sont cultivées (algoculture), en Bretagne, par exemple, avec le Kombu royal (*Saccharina latissima*). Les pays asiatiques, quant à eux, ne conçoivent pas de faire en mer de la ''monoculture'' comme nous le faisons pour les huitres ou les moules chez nous. Ils associent systématiquement des algues à des coquillages, parfois des poissons dans des cages ou des holothuries (concombres de mer). Ainsi une chaîne trophique est reconstituée et se développe en améliorant la biodiversité du milieu. Bien

évidemment, les espèces associées sélectionnées ont été choisies avec respect du milieu.

Les macro-algues sont menacées par des phénomènes anthropiques. Toutes les activités qui entraînent de la turbidité : dragages, forages, clapages et les blooms de phytoplancton associés empêchent la pénétration de la lumière. On observe des phénomènes de disparition cycliques de ces forêts à la suite de l'effet de ''cascades trophiques'' dues à la pullulation d'herbivores (oursins) qui broutent les laminaires. Cette pullulation est la conséquence du déclin de certaines espèces des plus hauts niveaux trophiques comme la loutre de mer dans le Pacifique Nord. Ce déclin est expliqué par leur chasse excessive par l'homme, puis à des changements de comportement de prédation des orques dus à la disparition des baleines, leur proie principale, surpêchées par l'homme. Les orques se rabattent alors sur les colonies de loutres, qu'ils déciment.

Ainsi, même si les laminaires sont nécessaires au recyclage du CO_2 (et à la production d'O_2), les questionnements liés au réchauffement climatique dû aux GES sont loin d'être résolus. Nous devons diminuer drastiquement nos relargages de carbone anthropique. Sans compter qu'il n'est pas le seul coupable dans ce désastre écologique. N'oublions pas, par exemple, les émissions de méthane…

Pour en savoir plus / Références :

- http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Laminaria_japonica/en
- http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=143755
- http://doris.ffessm.fr/Especes/
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Laminaria
- https://www.marlin.ac.uk
- https://www.algaebase.org
- https://sanctuarysimon.org/dbtools/species-database/id/40/macrocystis/pyrifera/giant-kelp
- https://www.starthrower.org/research/kelpmisc/kelp_mp.htm
- https://lautre-chili.fr/blog/cochayuyo-algue-typique-des-cotes-chiliennes/
- https://eu.oceana.org/en/eu/media-reports/features/underwater-forests
- https://www.salaweg.com/fr/les-algues/bienfaits-%C3%A9cologiques-de-lalgoculture.html
- Frangoudes K., 2011, Seaweeds Fisheries Management in France, Japan, Chile, and Norway, Cahiers de Biologie Marine, n°52, 517 – 525.
- Graham, M. H., Kinlan, B. P., Druehl, L. D., Garske, L. E., & Banks, S. (2007). Deep-water kelp refugia as potential hotspots of tropical marine diversity and productivity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(42), 16576-16580.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). (2009). The management of natural coastal carbon sinks (Gland: Laffoley, D. et Grimsditch, G.).
- Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., ... & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2. Frontiers in Ecology and the Environment, 9(10), 552-560.
- McLusky, D. S., & Elliott, M. (2004). The estuarine ecosystem: ecology, threats and management. OUP Oxford.
- Mongruel, R., Kermagoret, C., Carlier, A., Scemama, P., Le Mao, P., Levain, A., ... & Bailly, D. (2019). Milieux marins et littoraux : évaluation des écosystèmes et des services rendus.
- Poirier A-G, (2013), La vulnérabilité des puits de carbone océaniques par rapport à l'acidification des océans, Université de Nantes.

- Santelices, B. (2007). The discovery of kelp forests in deep-water habitats of tropical regions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(49), 19163-19164.
- Tréguer, P., Bowler, C., Moriceau, B. et al. Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. Nature Geosci 11, 27–37 (2018). https://doi.org/10.1038/s41561-017-0028-x
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2009). Blue carbon. A rapid response assessment (Norway: Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C.M. Valdés, L., DeYoung, C., Fonseca, L. et Grimsditch, G.).
- Valero & Engel, Dynamiques des champs de laminaires de *L. digitata* : ressources algales en Bretagne : impacts biotiques, abiotiques et anthropiques.
- Vanhoutte-Brunier A., Laurans M., Mongruel R., Guyader O., Davoult D., Marzin A., Vaschalde D., Charles M., Le Niliot P. (2016). Évaluation des services écosystémiques du champ de laminaires de l'archipel de Molène. Retour d'expérience du site du Parc naturel marin d'Iroise. Rapport des projets VALMER Interreg IV A Manche et IDEALG ANR Investissements d'avenirs. 119 pages.