

## De l'origine des macroalgues aux marchés actuels

**Résumé** Les macroalgues sont connues et utilisées depuis des siècles, principalement pour leur usage alimentaire. Cette utilisation a commencé à la Préhistoire et demeure actuellement l'usage majoritaire, notamment dans les pays asiatiques. Cependant, les applications se sont également diversifiées au cours du temps : agriculture, industrie chimique ou alimentation animale. Le xx<sup>e</sup> siècle a vu croître l'industrialisation de la filière avec l'avènement des hydrocolloïdes et le début de la bioraffinerie. Durant cette période, les algues ont également investi de nouveaux domaines, comme la cosmétique ou les biostimulants végétaux. Plus récemment, ce sont les domaines des biomatériaux et bioplastiques qui constituent une nouvelle voie de recherche. Ces différentes applications et domaines d'utilisation nécessitent des volumes d'algues en constante augmentation. Leur production, mondialisée, est essentiellement portée par les pays asiatiques et la culture de macroalgues. À l'inverse, l'Europe et la France dénotent dans ce contexte par une faible contribution aux volumes mondiaux (1 %) et une production basée essentiellement sur la récolte d'algue sauvage.

**Mots-clés** Production mondiale, production française, histoire, usages, modes de production.

**Abstract** Seaweeds - Origin and production

Seaweeds have been known and used for centuries, mainly as food. This use began in prehistoric times and is still the main use today, particularly in Asian countries. However, applications have also diversified over the centuries: agriculture, the chemical industry and animal feed. The 20<sup>th</sup> century saw the industrialisation of the sector with the advent of hydrocolloids and the start of biorefining. During this period, algae also entered new fields such as cosmetics and plant biostimulants. More recently, biomaterials and bioplastics have emerged as new areas of research. These different applications and fields of use require ever-increasing volumes of algae. Seaweed production is globalised and is mainly driven by Asian countries and the cultivation of seaweeds. Conversely, Europe and France stand out in this context, with a low contribution to global volumes (1%) and production based essentially on the harvesting of wild algae.

**Keywords** World production, french production, history, uses, production methods.

### Présentation générale du CEVA

Centre technique français dédié aux algues et végétaux marins, le Centre d'études et de valorisation des algues (CEVA) célèbre en 2022 ses quarante années d'activité. Son implantation sur la presqu'île de Pen Lan à Pleubian, dans les Côtes d'Armor, est loin d'être anodine. La Bretagne est à la fois un « hotspot » de biodiversité algale, avec près de 800 espèces identifiées, et une région où les algues sont exploitées depuis des siècles. La presqu'île de Pen Lan a ainsi vu se succéder au fil du temps de multiples activités de récolte et de transformation, d'abord artisanales et traditionnelles, puis industrielles dès la fin du xix<sup>e</sup> siècle.

La prise de conscience du développement des algues vertes sur le littoral breton, depuis les années 1970, motive les collectivités et les acteurs de la recherche à créer un centre de recherche sur ce site, alors en cours de reconversion. Mais très rapidement, les activités du CEVA se diversifient pour accompagner le développement de la filière et la valorisation de tous types d'algues, tout en assurant une gestion durable de la ressource, et en poursuivant le travail sur la qualité des eaux et la santé des écosystèmes littoraux. Le CEVA devient au fil des années un pôle d'excellence et s'impose comme une référence européenne dans le domaine des algues, par ses travaux de recherche appliquée sur leur valorisation dans les secteurs de l'alimentation animale et humaine, de l'agriculture, de la cosmétique ou des produits biosourcés, mais aussi de la culture des macroalgues et des microalgues, en eau de mer comme en eau douce (*encadré 1*).

Depuis lors, le CEVA est devenu un acteur-clé du secteur des algues, par sa position transversale dans l'écosystème de l'innovation, de la recherche appliquée et technologique au prototypage, à la démonstration et à la mise en œuvre préindustrielle, en passant par le développement de produits et de procédés. Nos quarante années d'activité fêtés récemment, et le développement toujours plus important du secteur algal, sont l'occasion de revenir sur la place des algues dans l'économie et l'industrie, au fil du temps et pour les années à venir, dans le contexte d'un monde qui change. Les applications des algues sont multiples et parfois méconnues, ou occultées par certaines applications plus médiatisées.

Nous avons déjà commencé à évoquer les termes de microalgues et macroalgues. Il est temps de préciser de quoi nous parlons lorsque nous employons ces termes. Les algues sont rangées classiquement en deux grandes catégories : les macroalgues et les microalgues (*figure 1*).

Les **macroalgues** sont des organismes pluricellulaires d'une grande diversité (environ 10 000 espèces recensées dans le monde) vivant à différents étages des bords marins (du haut de plage jusqu'aux algues de fond). Elles sont divisées en trois catégories : les algues brunes (Phaeophycées), les algues rouges (Rhodophycées) et algues vertes (Chlorophycées).

Les **microalgues** sont, quant à elles, des organismes unicellulaires qu'on retrouve aussi bien dans les eaux douces que salées (où elles constituent le phytoplancton).

Ces deux catégories (microalgues et macroalgues) sont regroupées sous le terme « algues », mais elles sont différentes sur de nombreux points de vue : écosystème, habitat, culture,

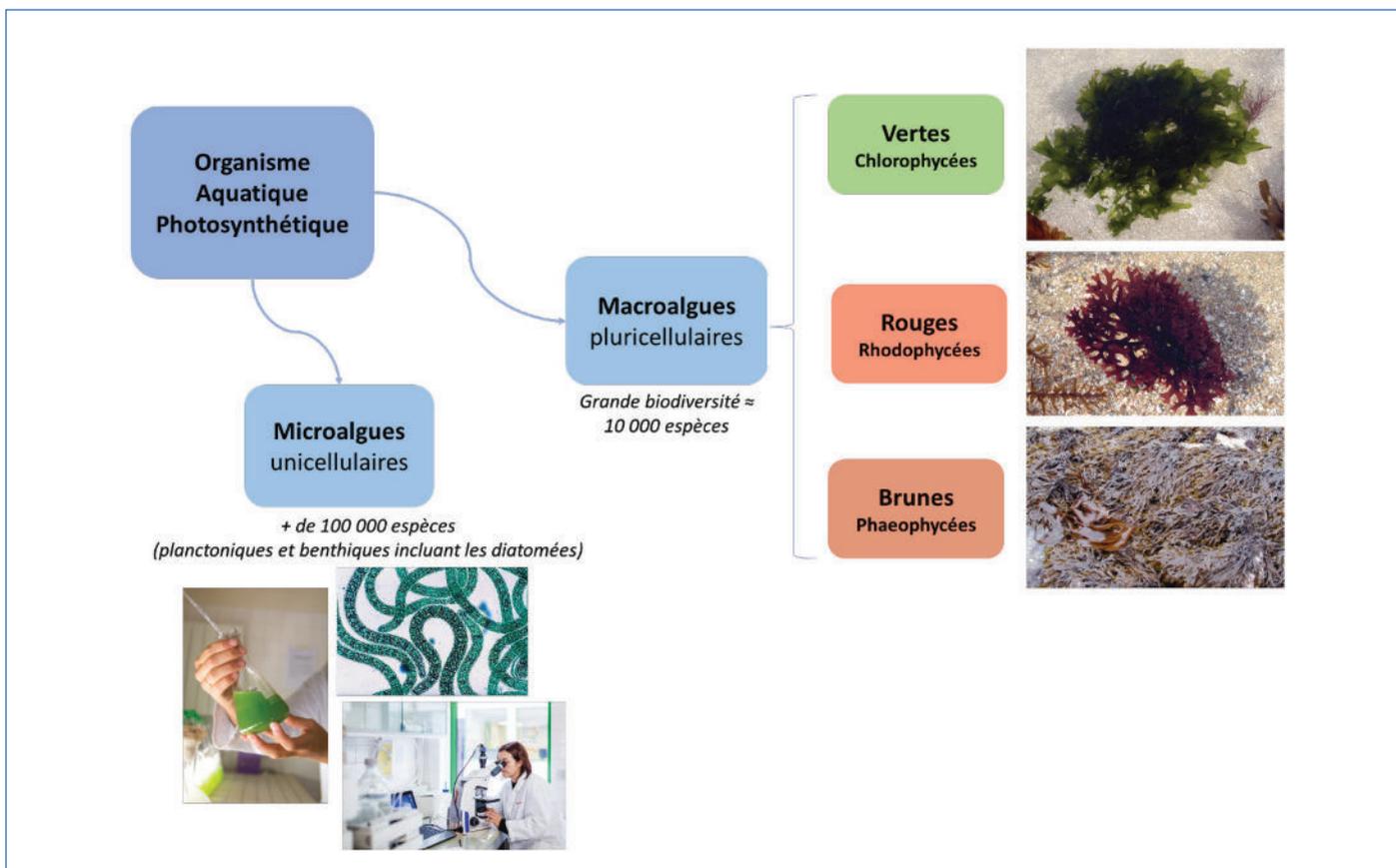


Figure 1 - Diversité des macroalgues et des microalgues.

### Encadré 1

#### Pôles scientifiques et techniques du CEVA

Le CEVA est divisé en trois pôles scientifiques et techniques permettant de couvrir un large spectre d'applications :

- Le pôle **Écologie & Environnement (EENVI)**, dont l'objectif est de caractériser les habitats naturels de macroalgues et de végétaux marins et de contribuer à leur gestion durable (*via* notamment la compréhension des phénomènes de dérèglement de la végétation aquatique), apporte ainsi un soutien aux collectivités publiques et aux usagers de la mer. Ce pôle possède une expertise forte en écologie côtière, océanographie et, plus spécifiquement, en biologie et écophysiologie des macroalgues. Il déploie des outils tels que la cartographie et géomatique (SIG), la modélisation numérique, la télédétection et le traitement d'images. Il propose une approche combinée de terrain et en laboratoire permettant de collecter différents types de données tels que des paramètres de biomasses algales et leur diversité *in situ* via des vérités terrain couplées aux traitements d'images multi- et hyperspectrales (aérienne, drone et satellite).
- Le pôle **Aquaculture & Sourcing (AQUAS)** a pour mission de développer et de promouvoir l'activité amont des filières microalgues et macroalgues par le développement des connaissances sur leur biologie et le développement des méthodes et techniques de culture. Son expertise porte sur l'identification et la caractérisation des algues, la compréhension de la croissance, de la reproduction et de la conservation des différentes espèces, les itinéraires techniques de culture à terre et en mer, ainsi que sur le traitement des effluents. Le pôle est en particulier très impliqué dans des programmes de développement de pratiques culturelles durables (AMTI, cocultures, etc.) et dans le développement de méthodes de retraitement biologiques d'effluents agricoles, aquacoles ou encore industriels, basées sur les propriétés phyto-épuratoires des algues. Pour ce faire, le pôle AQUAS dispose d'équipements spécifiques, une station de pompage d'eau de mer, une plateforme de culture de microalgues (colonnes de culture et photobioréacteurs de différentes capacités, des bassins ouverts, ...), d'une éclosérie, d'une plateforme de culture à terre (en bassin) et d'une concession en mer de six hectares pour la culture des macroalgues et des coquillages. Enfin, le pôle héberge une banque de souches de microalgues et macroalgues.
- Le troisième pôle **Innovation & Produits (INPRO)** valorise les algues une fois qu'elles ont été cultivées, puis récoltées, dans les différents domaines d'application établis comme émergents. Son expertise technique couvre les matrices algales, les procédés physico-chimiques et enzymatiques pour les valoriser, et leurs métabolites d'intérêt (polysaccharides, oligosaccharides, polyphénols, pigments, etc.). Pour cela, le pôle INPRO s'appuie sur un laboratoire d'analyse spécialisé, un laboratoire de R&D et un hall pilote polyvalent permettant la montée en échelle des procédés et des prestations à façon. Il possède également une longue expérience des marchés et applications des algues, ainsi que de leur usage alimentaire. La visite du site internet Sensalg<sup>(1)</sup>, qui traite particulièrement de ce sujet et dont le CEVA est gestionnaire, est vivement recommandée à nos lecteurs.

Pour plus d'information, n'hésitez pas à consulter le site internet du CEVA<sup>(2)</sup> ou contacter directement les auteurs.

<sup>(1)</sup><https://sensalg.fr>

<sup>(2)</sup>[www.ceva-algues.com](http://www.ceva-algues.com)

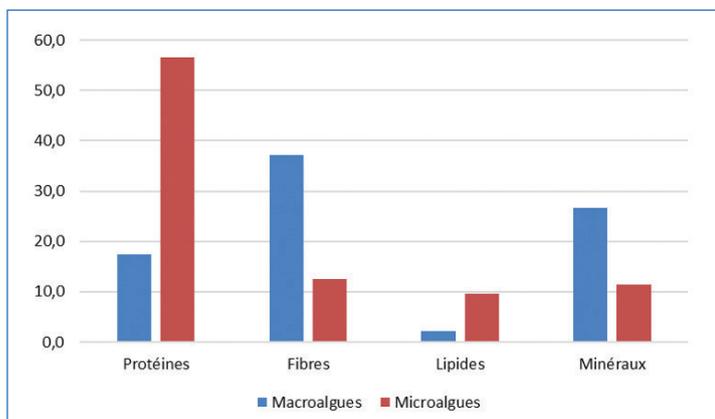


Figure 2 - Composition nutritionnelle moyenne des macroalgues et microalgues (en % MS).



Figure 3 - *Porphyra sp.*, une des espèces de macroalgues dont des traces de consommations préhistoriques ont été retrouvées. Actuellement utilisée dans la confection des feuilles qui enroulent les makis japonais. © CEVA.

composition, etc. Pour donner un aperçu de leurs différences, voici la composition nutritionnelle moyenne des macroalgues et des microalgues autorisées en Europe pour l'alimentation humaine (figure 2). Attention, néanmoins : le graphique représente bien des moyennes de deux groupes très diversifiés en termes d'espèces. Ainsi, des variations sont à prévoir lorsqu'une espèce est regardée de façon spécifique. Nous nous focaliserons dans ce dossier sur les macroalgues. Par conséquent, les microalgues, cyanobactéries (spiruline) et autres *Labyrinthulomycetes*, des familles de microorganismes tout aussi intéressantes pour leurs compositions que pour leurs applications, ne seront pas abordées ici. Elles impliquent des modes de production, des marchés et des usages différents, qui en font un univers à part entière que nous pourrions explorer à une autre occasion.

Dans ce dossier spécial macroalgues, seront présentés successivement les origines et les usages historiques et actuels, la production des macroalgues, les hydrocolloïdes, les matériaux algosourcés, les composés nutritionnels et bioactifs et, pour conclure, les enjeux et perspectives.

### Usages historiques et actuels des macroalgues

Les macroalgues sont une des plus anciennes formes de vie sur Terre. Apparues en mer, les macroalgues se sont progressivement complexifiées au cours de leur évolution, engendrant des lignées pluricellulaires. Elles se sont diversifiées pour former les grandes familles actuelles de macroalgues (rouges, brunes et vertes), puis ont conduit à l'apparition de végétaux terrestres. On compte aujourd'hui près de 10 000 espèces de macroalgues à l'échelle planétaire. Elles sont présentes dans toutes les mers, mais aussi dans de nombreuses eaux douces du globe, et elles présentent une source de biodiversité très importante, ouvrant la voie à de multiples usages.

### Une place encore prépondérante de l'algue alimentaire

Sur le site préhistorique de Monte Verde, au Chili, des traces de quatre genres de macroalgues marines ont été identifiées (*Sargassum sp.*, *Gracilaria sp.*, *Porphyra sp.* et *Durvillea sp.*) et remontent à 14 000 ans (figure 3). Les traces de cuisson et de mastication relevées illustrent un usage alimentaire ou comme complément. Des théories récentes, mais néanmoins encore controversées [1,2] expliqueraient même la colonisation des Amériques par la *kelp highway*, ou autoroute des algues. Cette zone côtière et riche en macroalgues, qui se retrouve maintenant sous les eaux, aurait permis la progression de populations côtières de chasseurs-cueilleurs depuis l'Asie.

En Europe du Nord, des consommations de macroalgues sont liées en Irlande, en Islande, en Nouvelle-Écosse et en Norvège. Les premiers moines ermites irlandais, qui débarquèrent en Bretagne au VII<sup>e</sup> siècle, consommaient de la dulse, une macroalgue rouge. Les Vikings se nourrissaient de macroalgues séchées lors de leurs épopées à travers les océans, jusqu'au Groenland et probablement aussi en Amérique, ce qui pourrait les avoir préservés du scorbut connu plus tard par les navigateurs européens. En Bretagne, en revanche, seule une utilisation traditionnelle indirecte de macroalgues pour ses vertus gélifiantes est rapportée, avec la confection de flan utilisant le « pioca » (*Chondrus crispus*) ramassé sur la plage. Les pays qui consomment aujourd'hui le plus de macroalgues alimentaires restent les pays asiatiques, notamment le Japon et la Corée, même si la consommation tend parfois à s'essouffler. En effet, pour les populations les plus jeunes, dont le régime alimentaire s'occidentalise, les algues sont parfois perçues comme un aliment trop traditionnel. À l'inverse, la consommation de macroalgues comme légumes et condiments se développe en Occident. Cette tendance est portée par des consommateurs soucieux de leur alimentation, demandeurs d'aliments « naturels » produits de manière durable et curieux d'innovation et de nouvelles textures et saveurs. Ainsi, il est estimé que les Japonais consomment en moyenne entre 5 et 10 grammes de macroalgues par jour. Si certains consommateurs européens réguliers peuvent s'approcher de ces niveaux, une étude récente en France estimait la consommation moyenne de la population générale à moins de 300 mg/jour. À l'échelle mondiale, les usages alimentaires des algues restent le premier marché, notamment en valeur. Celui-ci est bien sûr tiré par la consommation asiatique, mais des usages traditionnels et nouveaux des algues alimentaires (figure 4) existent dans toutes les régions du monde, qu'il s'agisse de l'Amérique du Sud, de l'Europe ou de l'Amérique du Nord par exemple.

Nous ne nous focaliserons pas ici sur cet usage alimentaire des macroalgues, qui laisse moins de place à la chimie. Néanmoins les composés spécifiques des macroalgues font bien sûr partie intégrante de leurs intérêts organoleptiques et nutritionnels, et jouent sur la manière de les préparer et cuisiner.

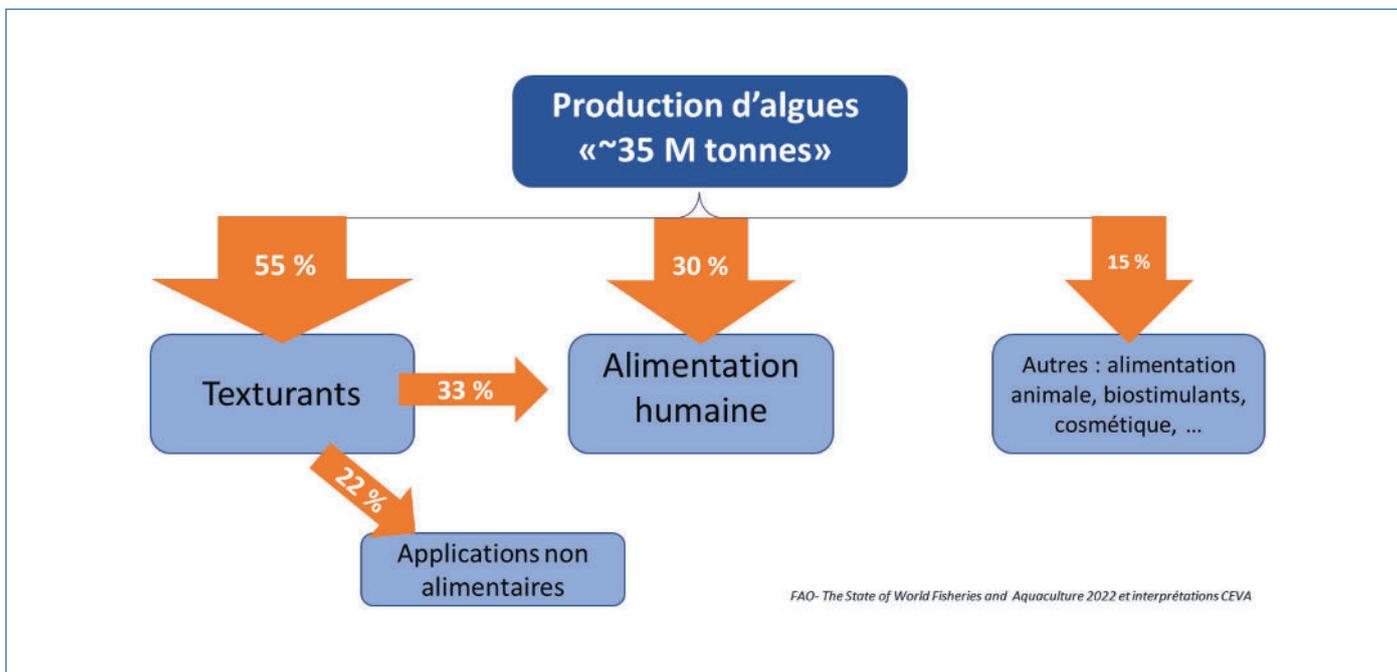


Figure 4 - Répartition schématisée de l'usage économique des macroalgues. © FAO Fisheries and Aquaculture statistics 2022/CEVA.

### Des ressources exploitées par les populations côtières pour d'autres applications

Les macroalgues jouent aussi depuis longtemps un rôle dans les domaines de l'agriculture et de l'élevage. Sur toute la frange atlantique de l'Europe par exemple, depuis la Scandinavie et l'Islande jusqu'au Portugal, les macroalgues ont été très tôt utilisées comme amendements agricoles, selon un usage empirique, qui apportaient azote, phosphore et minéraux, mais aussi de nombreux composés bénéfiques à la plante, à une époque où le terme de biostimulant n'existait pas encore. On ne retrouve plus aujourd'hui cet usage direct que de matière anecdotique, mais qui donne toute leur saveur aux pommes de terre de Noirmoutier ou de certaines îles bretonnes. Il a surtout ouvert la porte à une industrie des biostimulants, en pleine expansion aujourd'hui.

L'usage en élevage était moins fréquent, mais il était cependant courant pour les populations côtières en fin d'hiver quand le fourrage se faisait rare ou lors de sécheresses et famines. On le retrouve notamment en Europe du Nord, mais aussi en Grèce par exemple (comme nous le rapporte Jules César en 45 av. J.-C. dans son œuvre *Bellum Africanum*). Certaines périodes de guerre ont aussi été l'occasion d'expérimenter l'usage des macroalgues dans la ration des animaux d'élevage, ou même pour stimuler les chevaux de l'armée française lors de la Première Guerre mondiale. Comme pour l'agriculture, l'usage de macroalgue brute comme part « énergétique » de la ration a aujourd'hui régressé, au profit d'usages beaucoup plus ciblés et orientés vers la santé de l'animal. Plus récemment, d'autres usages ont aussi émergé, comme l'utilisation des macroalgues lors du développement de la thalassothérapie au XIX<sup>e</sup> siècle, puis en cosmétique marine. Enfin, si les algues étaient utilisées dans la pharmacopée traditionnelle chinoise (*Pen Ts'ao*, 2800 av. J.-C.) ou même, plus ponctuellement, dans certaines pharmacopées occidentales (goître, gestion du poids), les recherches se multiplient aujourd'hui pour valoriser leurs actifs. Nous reviendrons sur l'ensemble de ces usages liés à la bioactivité des macroalgues.

### Premiers usages industriels des macroalgues : les prémices d'une chimie biosourcée

Les macroalgues ont connu des usages industriels dès le XVI<sup>e</sup> siècle, notamment en France et en Norvège. À l'époque, une industrie du verre en plein essor requiert des quantités croissantes de soude utilisée pour la préparation des fondants (carbonates sodiques/potassiques). Le brûlage de macroalgues brunes, réalisé dans des fours traditionnels le long des côtes, permet alors la production de « pains de soude », souvent très riches en potasse. Le développement de cette activité a par ailleurs conduit à l'une des premières réglementations de gestion durable de la ressource. Dès 1681, une ordonnance de Colbert instaure une réglementation sévère qui régit périodes de récolte et quantité des récoltants. Cette activité perdure jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, et jusqu'au développement du procédé Leblanc de production du carbonate de sodium. Une autre industrie prend alors le relais : en 1811, le chimiste français Bernard Courtois découvre l'iode et ses applications désinfectantes, ce qui relance l'activité industrielle des macroalgues en Europe et en Amérique du Nord, toujours par brûlage des macroalgues brunes<sup>(1)</sup>. La découverte d'iode dans les mines de nitrate chiliennes en 1855 met un coup d'arrêt à cette activité, qui perdurera en France jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, grâce à des mesures protectionnistes. D'autres usages industriels se développent progressivement. On peut notamment citer le cas de l'usine Hercules en Californie créée pendant la Première Guerre mondiale et présentée dans le paragraphe suivant. C'est cependant l'avènement de l'usage des phycocolloïdes au XX<sup>e</sup> siècle qui marquera la bascule vers une industrie de grande ampleur.

### Le développement de bioraffineries algales

Comme nous le verrons, l'un des enjeux posés par la production des macroalgues reste leur disponibilité et leur coût, même si des cultures à grande échelle se développent pour certaines espèces. Il est donc logique, comme pour les végétaux terrestres, de s'orienter vers la valorisation de plusieurs flux de matière et de l'ensemble de la biomasse.



Figure 5 - *Laminaria hyperborea* utilisée pour extraction d'alginate. © Guillaume Le Berre.

Cette approche, parfois complexe à mettre en œuvre sur des procédés de production historiques et des usines construites de longue date pour optimiser la production d'un composé unique, est essentielle aujourd'hui. Les initiatives se multiplient, dans le cadre de nouvelles usines/entreprises, ou en marge des procédés traditionnels. On peut citer en Europe des sociétés déjà bien établies comme Algäia en France, ou des start-ups comme Alginor en Norvège ; ces sociétés produisent principalement de l'alginate à partir des grandes macroalgues brunes (*Laminaria digitata* et *Laminaria hyperborea*, figure 5), dont le procédé d'extraction est présenté ultérieurement, en cherchant à valoriser les co-produits de cette filière. De plus en plus d'entreprises cherchent notamment à produire des biostimulants, en amont de l'extraction des colloïdes, ou à valoriser leurs co-produits dans le domaine des matériaux, par exemple.

D'un point de vue historique, la première production massive de produits chimiques de base à partir de macroalgues, selon le concept moderne de « bioraffinerie », a été établie pendant la Première Guerre mondiale aux États-Unis. L'embargo allemand sur le potassium et l'acétone, nécessaires pour la production de poudre, a alors conduit à la création d'une usine stratégique par la société Hercules<sup>(2)</sup>. La macroalgue brune géante *Macrocystis* a été récoltée et traitée à un rythme atteignant jusqu'à 2 000 tonnes par jour pour produire une grande variété de produits chimiques : acétone, K<sub>2</sub>O, acide butyrique, acide propionique, acide acétique, butyrate d'éthyle, propionate d'éthyle, méthyl-éthyl-cétone et biogaz. À son pic d'activité, l'entreprise employait 1 400 salariés et opérait 156 fermenteurs de 200 m<sup>3</sup> chacun. Le contexte géopolitique et économique était bien sûr l'élément moteur de ce développement, qui ne s'est pas poursuivi sous cette forme après-guerre (reconversion du site vers d'autres activités de raffinerie pétrolière et végétale). La durabilité de la récolte, à l'aide de bateaux-usines récoltant des volumes très importants, n'était pas non plus prise en compte à l'époque. Néanmoins cet exemple illustre bien la faisabilité technique de ce type de démarches de bioraffinerie.

À une échelle plus réduite, on peut aussi citer la bioraffinerie d'Arkhangelsk en Russie<sup>(3)</sup>. Elle a également été créée à l'occasion de la Première Guerre mondiale, initialement construite pour la production d'iode (désinfection des blessures). Après des années difficiles, son développement reprend à la sortie de la Seconde Guerre mondiale avec la

production d'alginate, puis une diversification vers d'autres composés comme le mannitol et d'extraits pour la cosmétique par exemple. Certains sites chinois sont aussi aujourd'hui spécialisés dans ce type d'approche combinant la production d'hydrocolloïdes (alginate notamment), de co-produits « traditionnels » (iode, mannitol, etc., même si ceux-ci sont en déclin et concurrencés par d'autres sources) et de nouveaux produits à plus haute valeur ajoutée, comme les biostimulants.

## Production de macroalgues en France et à l'international

### Un marché mondialisé, dominé par l'Asie et l'Asie du Sud-Est

Selon les données de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la production d'algues à l'échelle mondiale avoisine les 36 millions de tonnes, très majoritairement dominé par l'Asie (95 % de la production) (figure 6). Ces chiffres constituent la seule source de données agrégées actuellement disponible bien qu'ils soient parfois contestés [3]. En effet, les taux de croissance affichés par certains des principaux pays producteurs pourraient être exagérés et les usages/volumes connus des produits dérivés ne semblent pas toujours en phase avec les données de production d'algues annoncées.

La Chine et l'Indonésie sont les plus gros producteurs (respectivement 57 % et 28 % de la production mondiale), suivis par la Corée du Sud (5 %) et les Philippines (4 %) [4]. La culture de macroalgues est le mode de production majoritaire. Ainsi, plus de 96 % de la production mondiale est réalisée par culture. Il faut par ailleurs noter que la croissance du marché est aujourd'hui exclusivement tirée par le développement de l'algoculture, la récolte de macroalgues sauvages étant probablement déjà proche des limites imposées par une exploitation durable de cette ressource.

Si près de 10 000 espèces de macroalgues sont recensées dans le monde, l'algoculture concerne environ 220 espèces et seulement six genres occupent 95 % de la production : des laminaires, grandes macroalgues brunes telles que *Saccharina sp.* (35,4 %) (figure 7) et *Undaria pinnatifida* (7,4 %) et diverses espèces de macroalgues rouges telles que

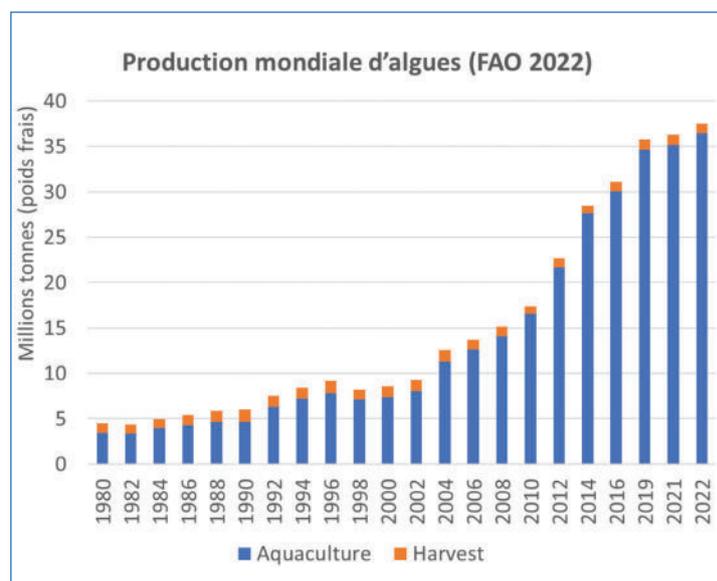


Figure 6 - Production mondiale de macroalgues selon la FAO [4]. © FAO Fisheries and Aquaculture statistics 2024.

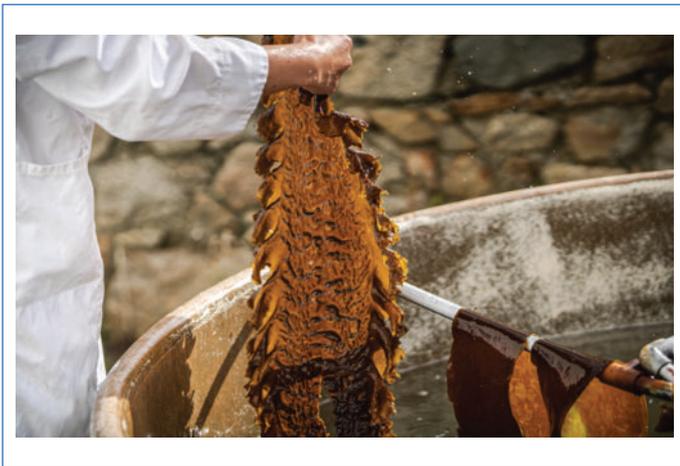


Figure 7 - La macroalgue brune *Saccharina latissima*, une des macroalgues les plus cultivées.  
© Guillaume Le Berre.



Figure 8 - *Gracilaria sp.*

*Eucheuma sp.* et *Kappaphycus sp.* (33,5 %), *Gracilaria sp.* (10,5 %) (figure 8) et *Porphyra sp./Pyropia sp.* (8,6 %) (figure 3). L'estimation du marché des macroalgues reste assez peu précise, dépendant des chiffres (de volume notamment) qui sont utilisés. L'ordre de grandeur se situe entre 5 et 15 milliards de dollars américains pour les macroalgues brutes (sur la base des volumes produits et de leur prix de vente moyen).

### La situation en Europe et en France

Par rapport à la production mondiale, la production européenne est très minoritaire (moins de 1 % de la production en volume). Elle est de plus une exception, car basée majoritairement sur la récolte de gisements sauvages et non sur la culture de macroalgues (figure 9). La Norvège, la France et l'Irlande sont les trois principaux pays producteurs correspondant respectivement à 61 %, 19 % et 11 % de la production européenne. Il n'en reste pas moins qu'une activité économique importante s'est construite autour de ces macroalgues et de leur valorisation dans une multitude de domaines. La France produit environ 70 000 tonnes de macroalgues par an, ce qui en fait le 11<sup>e</sup> producteur mondial. Ce volume

est majoritairement obtenu par récolte de macroalgues sauvages (99 % de la production française) essentiellement destinée à l'extraction d'alginate. Ce type d'extraction, avec celle des carraghénanes, nécessitant des volumes importants de macroalgues, la France importe aussi une part importante de macroalgues (environ 31 000 tonnes selon les douanes françaises) en provenance du Chili, de l'Indonésie, des Philippines et de la Norvège. Une part de la production française (environ 6 000 tonnes) serait également exportée essentiellement vers le marché européen (Espagne, Italie, Allemagne), même si le poids du négoce dans ces chiffres reste incertain.

### Les différents modes de production français

La récolte française des macroalgues est essentiellement concentrée en Bretagne. Elle s'effectue par bateaux pour les macroalgues dites de fond, c'est-à-dire non découvertes à marée basse (figure 10), ou à pied par des récoltants pour les macroalgues de rives. Les macroalgues de fond correspondent à 90 % du volume de la production française, soit entre 50 000 et 70 000 tonnes. Leur récolte est réalisée par bateaux et concerne deux espèces de laminaires : *Laminaria digitata* et *Laminaria hyperborea* (figure 5), destinées à l'industrie des colloïdes et, plus particulièrement, l'extraction d'alginate.

Les macroalgues de rives sont récoltées à pied sur l'estran (la partie du littoral périodiquement recouverte par la marée) par des professionnels. Ces macroalgues représentent environ 10 % de la production française (entre 4 000 et 6 000 tonnes) et sont destinées à l'agroalimentaire (large réseau de PME et ETI, restaurateurs...) et aux transformateurs industriels de différents secteurs (cosmétique, agriculture, alimentation animale...). Les prix de ces macroalgues varient en fonction de l'espèce, du marché visé et de la disponibilité de la ressource ou de leur statut « bio ». Ces deux types de récolte (à pied et par bateaux) sont soumis à une réglementation sous forme de licence. Ces licences sont délivrées aux récoltants professionnels individuels ou aux entreprises ayant une activité de récolte de macroalgues. Le nombre de licences est limité par secteurs géographiques ainsi que par espèces. En 2021, 77 licences ont été délivrées pour la récolte de macroalgues de rive et 35 bateaux étaient autorisés à récolter les macroalgues de fond. Ces licences fixent la période de récolte, la hauteur et la méthode de coupe, ainsi que les zones de jachère pour certaines espèces (*Ascophyllum nodosum*, *Laminaria hyperborea* notamment). Les volumes mensuels récoltés par chaque détenteur de licence sont déclarés et contrôlés lors de la décharge à quai.

La culture de macroalgues en France représente une très faible portion de la production (inférieure à 1 %). Elle peut être réalisée à terre en bassin (*Ulva sp.* par exemple) ou en mer sur filière (macroalgues brunes telles que *Saccharina latissima* ou *Alaria esculenta*). Les marchés visés sont similaires aux macroalgues de rive, bien que le prix d'achat soit pour le moment supérieur pour les macroalgues de culture. Cette filière est en développement avec une hausse progressive du nombre de concessions et des projets de culture de macroalgues en mer comme à terre (bassins, lagunage).

Un effort de recherche important est aussi engagé à l'échelle européenne, pour développer la culture de macroalgues rouges, dont la demande alimentaire est très forte. L'apparition d'une nouvelle méthode culture : l'aquaculture multitrophique intégrée, associant la culture *a minima* de deux espèces se rendant des services mutuels et/ou faisant partie

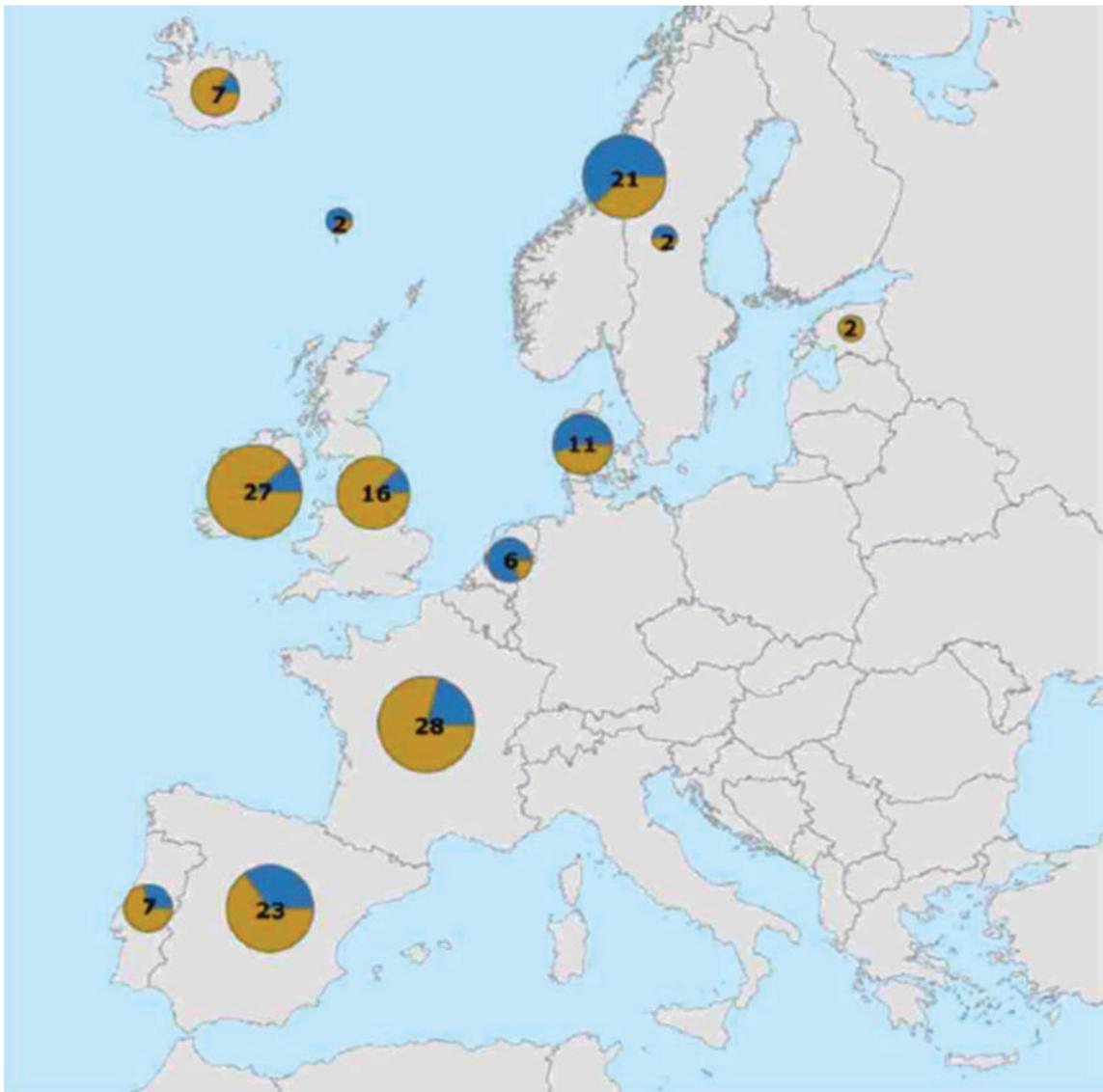


Figure 9 - Nombre d'entreprises produisant des macroalgues et la proportion du système utilisé (récolte, en jaune, vs culture, en bleu, par pays). Le nombre dans les cercles indique le nombre d'entreprises concernées [5].



Figure 10 - Pêche des macroalgues de fond par bateaux équipés de scoubidou (à gauche) ou de peigne norvégien (à droite). © CSAVM-CDPMEM 29.

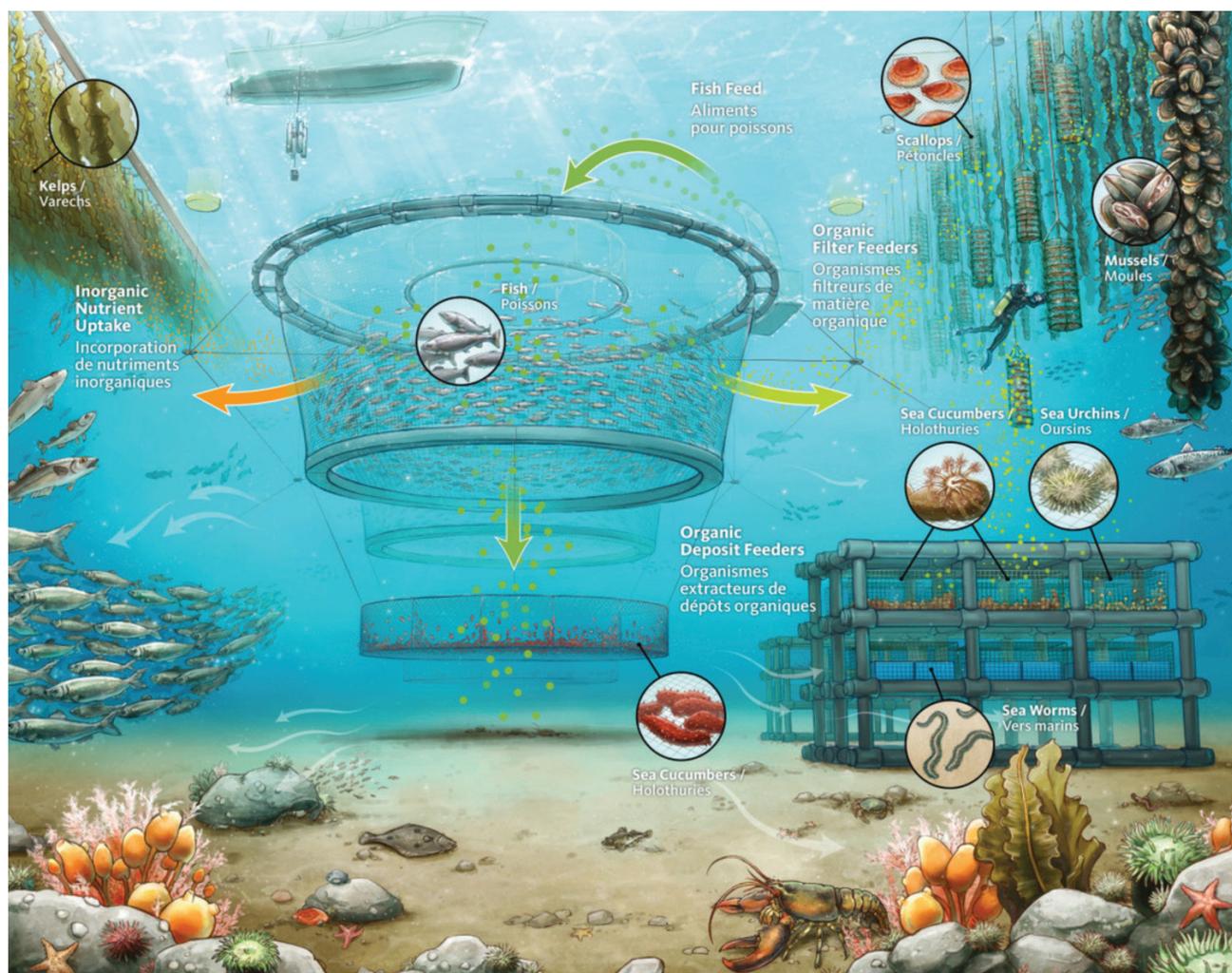


Figure 11 - Exemple théorique du fonctionnement d'un système d'aquaculture multi-trophique intégrée en mer. © Fisheries and Oceans Canada 2013.

d'une chaîne trophique, consiste également en une opportunité de développement de la culture de macroalgues en France (figure 11).

La dernière filière de production concerne les macroalgues épaves (macroalgues échouées ou dérivantes). Elles concernent trois principales espèces de macroalgues : *Gelidium sp.*, *Ulva sp.* et *Solieria sp.*. L'espèce *Gelidium* est récupérée en mer par bateaux (titulaires eux aussi de licences de pêche) après arrachage naturel par les tempêtes pour l'extraction de l'agar pharmaceutique. Cette filière est en place depuis de nombreuses années, bien qu'en déclin depuis les années 1990, et porte sur 1 700 à 2 000 tonnes annuelles, exportées en Espagne depuis la fermeture de la dernière usine française de transformation. *Ulva sp.* et *Solieria sp.* sont collectées après échouage ou en mer, pour des filières de valorisation en cours de construction avec le développement d'outils de collecte et de valorisation adaptés. Ces macroalgues dérivantes/échouées ne sont pas autorisées directement en alimentation humaine et animale et les transformateurs se tournent par exemple vers la conversion en produits pour les marchés de l'agriculture ou l'intégration à des matériaux (plastiques, papiers, etc.).

(1) <http://histoires-de-sciences.over-blog.fr/article-30505855.html> (consulté le 15/11/24).

(2) <http://sunnycv.com/history/exhibits/gunpowder.html> (consulté le 15/11/24).

(3) <https://av1918.ru/en/history> (consulté le 15/11/24).

[1] T.J. Braje, T.D. Dillehay, J.M. Erlandson, R.G. Klein, T.C. Rick, Finding the first Americans, *Science*, **2017**, 358(6363), p. 592-594.

[2] B.A. Potter *et al.*, Arrival routes of first Americans uncertain, *Science*, **2018**, 359(6381), p. 1224-25.

[3] H. Porse, B. Rudolph, The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook, *J. Appl. Phycol.*, **2017**, 29, p. 2187-2200.

[4] J. Cai *et al.*, Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development, *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*, **2021**, 1229.

[5] F. Vazquez Calderon, J. Sanchez Lopez, An overview of the algae industry in Europe: Producers, production systems, species, biomass uses, other steps in the value chain and socio-economic data, *JRC Pub. Repos.*, **2022**.

**Florence DUFRENEIX**, cheffe de projet nutrition humaine et animale, et **Ronan PIERRE\***, responsable du pôle Innovation et produit.

Centre d'étude et de valorisation des algues CEVA, Pleubian.

\*ronan.pierre@ceva.fr