

## Les algues spontanées, les algues cultivées et leurs utilisations

Par Yannick LERAT\*

**Outre les récoltes effectuées dans des biomasses sauvages, ce sont, chaque année, près de 15 millions de tonnes d'algues qui sont produites dans le monde.**

**L'application principale des macro-algues au niveau mondial concerne l'alimentation humaine.**

**Si nous avons choisi de mettre l'accent sur les algues alimentaires, c'est que celles-ci représentent, selon nous, un secteur clef pour le futur, à la fois dans les pays orientaux et dans les pays occidentaux. Mais les algues sont aussi sources de molécules d'intérêt pour la santé (au travers de compléments alimentaires) et de biomasse (pour la chimie et l'énergie).**

**Le risque est donc grand de voir s'instaurer une compétition entre les cultures nécessaires à l'alimentation humaine et celles destinées à la chimie/énergie.**

**Tout le défi est donc d'arriver à un développement harmonieux dans ces différents domaines d'application.**

### Les grandes algues

Le terme de *macro-algues* (ou grandes algues) recouvre une grande variété d'espèces, avec des adaptations spécifiques à des milieux environnants parfois extrêmes. Les macro-algues sont des végétaux eucaryotes photosynthétiques incorporant des chlorophylles associées à différents pigments. Ces variations de pigmentation permettent de classer les macro-algues en trois groupes différenciant celles-ci selon leur couleur.

On distingue donc :

- ✓ les algues brunes (les phéophycées), qui poussent dans des eaux allant de tempérées (sous nos latitudes métropolitaines) à froides, voire très froides (dans les océans Arctique et Antarctique),
- ✓ les algues rouges (les bangiophycées et les floridéophycées), qui sont présentes dans des eaux allant de tempérées à chaudes, en particulier dans la zone intertropicale,
- ✓ les algues vertes (les chlorophycées), qui poussent dans tous les types d'eaux et sont souvent associées à des

phénomènes de prolifération, car elles sont particulièrement bien adaptées à la croissance dans des eaux eutrophisées (les algues nitrophiles, par exemple).

### L'algue ressource

Chaque année, ce sont près de 15 millions de tonnes d'algues qui sont produites dans le monde (FAO, 2010). Loin d'être anecdotique, cette ressource végétale atteint des tonnages équivalents à ceux de certaines productions agricoles terrestres.

Leur production a fortement augmenté au cours des dix dernières années, essentiellement portée par le développement de nouvelles zones de cultures. Les pays asiatiques sont leaders, avec en tête la Chine, la Corée, le Japon, mais aussi l'Indonésie. Environ 95 % de cette production est obtenue par culture. Le reste provient de récoltes effectuées dans des biomasses sauvages.

Les pays européens en produisent environ 200 000 tonnes par an, celles-ci proviennent quasi exclusivement de cueillettes pratiquées dans les populations

d'algues sauvages. Le tonnage produit par culture est pour l'instant très faible.

L'application principale des macro-algues au niveau mondial concerne l'alimentation humaine. Essentiellement consommées dans les pays asiatiques, par tradition, les algues se substituent aux légumes qui accompagnent les plats des pays occidentaux. Il est à noter que l'application principale des 10 000 tonnes de micro-algues produites annuellement est elle aussi l'alimentation humaine. Comme quoi nos aliments de demain sont peut-être déjà disponibles.

L'autre grande famille d'applications concerne les texturants (des substances colloïdales) qui sont eux aussi utilisés, pour partie, dans les formulations des aliments. Il s'agit notamment de l'alginate (extrait d'algues brunes), et de l'agar-agar et du carraghénane, qui sont, quant à eux, des extraits d'algues rouges. Environ 86 000 tonnes de ces colloïdes sont produites chaque année (en augmentation de 20 % sur les dix années écoulées) (BIXLER (H.J.) & PORSE (H.) (2011), "A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry", *Journal of Applied Phycology* 23, pp. 321-335). En Europe et dans les pays occidentaux, ce sont principalement des algues brunes qui sont utilisées pour en extraire des alginates.

### Les cultures d'algues

Les cultures d'algues, à l'échelon de la planète, s'avèrent très variées et vont, en termes de complexité, des techniques de bouturage les plus simples aux techniques les plus sophistiquées permettant de maîtriser l'ensemble du cycle de vie des algues produites.

Les algues brunes (*Laminaria sp*, *Undaria pinnatifida*, *Alaria esculenta*,...) sont généralement cultivées selon le système dit des *long lines* : les végétaux poussent sur un cordage porteur, en pleine eau, et sont maintenus à une profondeur déterminée par un système de bouées et de poids, l'ensemble étant ancré dans des fonds allant de 20 à 50 mètres de profondeur. Ces structures sont souvent implantées près de sources d'approvisionnement naturel en éléments nutritifs (nitrates, ammonium, phosphates), comme les embouchures de rivière, ou encore près d'autres sites de production aquacole (parc à huîtres, bassins d'élevage de poissons).

Dans d'autres cas, il est nécessaire d'apporter les sels nutritifs de façon artificielle, grâce à des jarres poreuses remplies d'une solution nutritive concentrée qui va diffuser lentement, ou par l'arrosage de la solution nutritive au moyen de bateaux pompes ; une autre technique est celle du trempage des lignes de culture dans des bassins amenés en mer et remplis là encore d'une solution concentrée en sels nutritifs. Après trempage, les lignes sont retendues en mer.

En règle générale, les éléments reproducteurs des algues (les sporophytes) sont collectés à la bonne saison à l'aide de collecteurs composés de fibres de coco ou de polyamide pelucheux enroulées autour d'un cadre et sont mis en culture dans des bassins placés dans des serres appropriées, où

la lumière et la température sont contrôlées. Les jeunes plants vont se développer au rythme des apports en lumière et en sels nutritifs, et seront prêts à être mis en mer quand ils atteindront une taille d'environ un demi-centimètre. Tout au long de leur croissance, les algues sont contrôlées, et leurs pathologies traitées.

La mise en mer est réalisée en enroulant les cordelettes porteuses des jeunes sporophytes autour d'un cordage porteur d'un diamètre plus conséquent pour lui permettre de résister aux mouvements de la mer et aux courants. Ce système de production est de loin celui qui est le plus utilisé en Chine, au Japon et en Corée. La manière de disposer les cordages, horizontalement ou verticalement, dépend des conditions hydrodynamiques du lieu de culture.

Les algues rouges sont cultivées de différentes manières :

**Culture par reproduction asexuée** (pour *Gracilaria sp*, *Eucheuma sp* ou *Kappaphycus alvarezii*) :

- ✓ dans des bassins peu profonds ensemencés avec des boutures obtenues par fragmentation des thalles. Les algues y sont régulièrement retournées et la biomasse totale est homogénéisée au niveau du bassin ;
- ✓ sur des fonds de sable, à faible profondeur : des boutures d'algues sont plantées dans le substrat, puis récoltées quand elles ont atteint une taille commercialement intéressante ;
- ✓ sur des monolignes implantées à une profondeur de l'ordre d'un mètre soixante, dans des lagons soumis à des courants peu violents, sont fixés, à l'aide de liens, des brins d'algues d'une cinquantaine de grammes ;
- ✓ sur des radeaux flottants arrimés en mer et supportant des lignes sur lesquelles, comme dans le cas précédent, les brins d'algues sont fixés.

**Culture par reproduction sexuée** (*Porphyra sp*) :

- ✓ l'algue rouge *Porphyra sp* a un cycle de vie complexe dont la maîtrise désormais totale permet d'obtenir des plants de très grande qualité utilisés notamment dans la fabrication des makis sushis. Une des formes sous laquelle cette algue se présente, la génération Conchocelis (se présentant sous l'aspect de filaments), est cultivée selon la technique du *free living* dans des laboratoires spécialisés. À des moments déterminés de l'année, qui varient en fonction de la latitude à laquelle les futures algues seront produites, les filaments de conchocelis sont dispersés, se répandant sur des coquilles de mollusques bivalves qu'ils vont coloniser en y creusant des tunnels. Les coquilles ainsi « ensemencées » sont placées dans des bassins à température et à éclairage contrôlés, et leur développement sera suivi pendant deux mois. Parvenus à maturité, les filaments de conchocelis vont former des spores dont la libération dans le milieu extérieur peut être contrôlée avec précision. À une date déterminée, les coquilles sont placées dans des bassins particuliers, surmontés de grandes roues sur lesquelles des filets ont été fixés. La libération massive de spores va permettre d'ensemencer les filets, qui seront ensuite placés en mer pour y finir leur croissance. Les structures d'accueil peuvent être des systèmes de pieux

que l'on trouve près de la côte et sur lesquels seront attachés les filets, ou des systèmes en pleine mer ancrés par des fonds d'une cinquantaine de mètres, ce qui permet en général d'améliorer la productivité et la qualité de la production. Toutes les trois semaines, les algues pourront être récoltées à l'aide d'un système de coupe automatique se composant d'un bac à fond plat surmonté d'un système de tonte équipé d'une rehausse sur laquelle va courir le filet et qui permet également de fixer la hauteur de la coupe ;

- ✓ les algues vertes sont cultivées dans des lagunes, en particulier par reproduction asexuée (voir le cas des algues rouges), en *free-living* ou en fixant des bou-tures sur des filins ou des filets. Les techniques de récolte sont variables. Traditionnellement, les algues sont prélevées à la main (utilisation de fourches, fau-cilles, râpeaux), en particulier dans les pays à faible coût de main-d'œuvre. Quelques machines existent dans les pays développés où la main d'œuvre est plus onéreuse.

La mécanisation des procédures a principalement touché les algues de cueillette :

- ✓ en France, des bateaux goémonier ont des capacités de charge allant de 7 à 32 tonnes et utilisent un élé-ment hydraulique tournant, le scoubidou, pour arracher les laminaires (des algues de grande taille) ;
- ✓ des bateaux faucardeurs sont utilisés en Nouvelle-Écosse pour récolter les algues du genre *Ascophyllum* ;
- ✓ aux États-Unis, ce sont des bateaux spécialisés couplant un système de faucardage à un tapis roulant, d'une capacité de charge de 300 tonnes, qui sont employés pour la récolte de l'algue géante *Macrocystis* ;
- ✓ enfin, en Norvège, les champs de laminaires sont exploités à l'aide de bateaux spécialisés d'une capaci-té allant de 30 à 150 tonnes et équipés d'une drague en forme de peigne.

### Les algues alimentaires

Nous avons choisi de mettre l'accent sur les algues ali-mentaires, car celles-ci sont, à notre avis, un secteur clef pour le futur, à la fois dans les pays orientaux et dans les pays occidentaux.

Les algues sont consommées comme des légumes en Asie, depuis l'aube de l'humanité. Les Japonais mangent en moyenne, sur une année, 1,4 kilogramme d'algues par per-sonne. Cette tradition ancienne et cette consommation quotidienne ont permis l'élaboration de nombreuses études épidémiologiques qui mettent en avant les bienfaits pour la santé de ce type d'alimentation.

Les algues présentent un intérêt nutritionnel connu et exploité depuis de nombreuses années, notamment par les populations du Sud-Est asiatique. La valeur nutritionnelle des algues s'explique en grande partie par la présence conjointe de trois grandes catégories de composants : des fibres, des protéines et des minéraux. Plus récemment, de nombreuses études épidémiologiques et cliniques ont mon-

tré qu'il existait des relations étroites entre la consom-mation d'algues (ou celle d'extraits d'algues) et la prévention de certaines pathologies. Les effets bénéfiques des algues sur la santé humaine seraient dus à la présence de métabo-lites présentant des propriétés anti-oxydantes et anti-radi-calaires (neutralisant une prolifération de radicaux libres nocive pour la santé), tels que des caroténoïdes, des poly-phénols et certaines vitamines.

Les algues puisent dans la mer une richesse incompa-rable d'éléments minéraux. La fraction minérale peut atteindre jusqu'à 36 % de leur matière sèche. Elles sont très riches en macro-éléments minéraux (comme le calcium ou le magnésium), ainsi qu'en oligoéléments (comme l'iode, le fer, le zinc, mais aussi le sélénium, le fluor, le bore ou le cuivre).

La teneur en protéines des algues marines est variable. Si les algues brunes disposent d'un contenu protéique res-treint (5 à 11 % de la matière sèche), il en va autrement des algues rouges dont certaines espèces possèdent une frac-tion protéique (allant de 30 à 40 % de la matière sèche) comparable, du point de vue quantitatif, à celle des légumi-neuses (le soja, par exemple). Les algues vertes actuellement peu valorisées, présentent également un contenu protéique non négligeable, puisque ce dernier peut atteindre 40 % de la matière sèche.

Le contenu total des algues en fibres alimentaires (rap-porté à la matière sèche) est important (de 32 à 50 %).

Parmi les fibres alimentaires insolubles, on trouve une fraction cellulosique, qui est présente en faible proportion chez les trois phylla, ainsi que de l'amidon floridéen (notam-ment dans des algues rouges). Les fibres insolubles sont associées classiquement à des effets sur la diminution du temps de transit au niveau du côlon.

Plus intéressante, la fraction de fibres solubles représen-te de 51 à 56 % des fibres totales chez les algues vertes et rouges, et de 67 à 87 % chez les algues brunes. Les fibres solubles sont généralement associées à des comportements d'hydratation (absorption, rétention, gonflement) qui influencent le transit du bol alimentaire dans l'estomac et l'intestin grêle, et qui peuvent avoir des effets hypocholes-térolémiants et hypoglycémiant.

La nature des fibres solubles est variable en fonction du phyllum considéré. Les fibres solubles sont pour les algues rouges : les agars, les carraghénanes et les xylanes. Pour les algues brunes, les fibres solubles sont représentées par les laminaranes, les alginates et les fucanes.

Le rôle des polyphénols issus de végétaux terrestres dans la lutte contre le stress oxydatif n'est plus à démontrer. Les polyphénols limitent le développement de certains cancers et interviennent dans la prévention des accidents cardio-vasculaires en protégeant les lipoprotéines de faible densité (LDL) contre l'oxydation.

En s'opposant aux phénomènes d'oxydation des lipides cellulaires et de l'ADN, les polyphénols jouent également un rôle dans le maintien de la fluidité membranaire et dans la prévention des altérations génomiques et des mutations.

La plupart des algues marines contiennent des polyphé-nols, appelés phlorotannins. À la différence des polyphénols

issus des végétaux terrestres qui dérivent de l'acide ellagique, les polyphénols algaux dérivent d'unités phloroglucinol.

En fonction des types de liaisons qui relient les monomères entre eux, les phlorotannins se classent en quatre grandes familles de composés : les phloroéthols, les fucols, les fucophloroéthols et les fualols. À cette diversité de structures, s'ajoute une grande variabilité du degré de polymérisation ; les phlorotannins constituent ainsi un ensemble de molécules très hétérogène offrant une grande variété d'activités biologiques potentielles. L'activité antioxydante d'extraits de polyphénols d'algues brunes et d'algues rouges a été mise en évidence par des études effectuées *in vitro*, ainsi que sur des modèles animaux.

Dans les algues, comme chez les autres végétaux, les caroténoïdes jouent un rôle dans l'absorption de l'énergie lumineuse. Ils assurent, d'une part, la transmission de celle-ci à la chlorophylle et, d'autre part, la protection des cellules contre les effets nocifs des rayons ultraviolets. Les caroténoïdes sont de puissants antioxydants. De nombreuses études ont permis de faire le lien entre une alimentation riche en caroténoïdes et une diminution des risques de maladies cardiovasculaires, de certaines formes de cancer (rôle joué par le carotène et le lycopène), ainsi que de certaines maladies ophtalmologiques (rôle de la lutéine et de la zéaxanthine dans la prévention de la cataracte et de la dégénérescence maculaire).

Les algues brunes sont particulièrement riches en caroténoïdes, notamment en carotène, en violaxanthine et en fucoxanthine.

Les principaux caroténoïdes des algues rouges sont le 13-carotène, l'a-carotène et leurs dérivés dihydroxylés que sont la zeaxanthine et la lutéine.

La composition en caroténoïdes des algues vertes reste voisine de celle des plantes supérieures : les principaux caroténoïdes présents sont le carotène, la lutéine, la violaxanthine, l'anthéroxanthine, la zéaxanthine et la néoxanthine.

De nombreuses études ont mis en évidence les propriétés antioxydantes des caroténoïdes algaux et leur rôle dans la prévention de diverses pathologies. Il a ainsi été montré que la fucoxanthine inhibait des proliférations de cellules tumorales.

Les algues constituent une source non négligeable de vitamine C. Leurs teneurs en vitamine C sont en moyenne de 500 à 3 000 mg/kg de matière sèche pour les algues brunes et vertes (des teneurs élevées comparables à celles du persil, des cassis ou des poivrons), alors que les algues rouges contiennent des teneurs en vitamine C de l'ordre de 100 à 800 mg/kg.

Les algues brunes contiennent des teneurs en vitamine E plus importantes que celles observées chez les algues vertes et rouges. Parmi les algues brunes, les teneurs les plus élevées sont observées chez les *Fucaceae* (*Ascophyllum* et *Fucus sp.*), qui contiennent entre 200 et 600 mg de tocophérols/kg de matière sèche. Des différences qualitatives ont par ailleurs été observées entre phylum : les algues brunes contiennent de l'alpha-, du bêta- et du gamma-

tocophérol, alors que les algues vertes et rouges contiennent seulement de l'alpha-tocophérol.

Les algues constituent une source de vitamines du groupe B. À la différence des végétaux terrestres, les algues contiennent de la vitamine B 12, qui est particulièrement indiquée non seulement dans la prévention des effets liés au vieillissement, mais aussi dans le traitement du syndrome de la fatigue chronique (SFC) et dans celui de l'anémie.

### **Autres applications (non alimentaires) des algues**

À côté de l'alimentation humaine, d'autres applications sont réservées aux algues dans notre quotidien. La plus ancienne est sans doute l'utilisation des algues échouées sur les plages pour amender les terres agricoles. Leur dégradation lente pendant la période hivernale apporte aux sols des quantités importantes de minéraux (potassium, calcium, magnésium...) et de composés organiques qui vont retenir l'eau tout en aérant la terre. Toutes les zones côtières où des algues sont disponibles ont utilisé un jour cet engrais naturel. Il continue à être utilisé aujourd'hui pour des productions artisanales ou à forte valeur ajoutée (produits agricoles certifiés « bio », par exemple). En France, les algues sont listées au titre des substances autorisées en engrais et amendements pour les terres agricoles.

L'alimentation animale est une autre utilisation ancestrale des algues. Dans le passé, les troupeaux étaient emmenés sur l'estran pour se nourrir du goémon directement sur les roches. De nos jours, des farines d'algues brunes sont préparées et incorporées dans les formulations d'aliments pour jeunes animaux. C'est un marché beaucoup plus restreint que celui des colloïdes, mais qui perdure depuis des années.

Les produits cosmétiques sont une autre application traditionnelle des algues. En thalassothérapie ou pour des produits de soins corporels, la présence de polysaccharides confère une dermo-compatibilité remarquable qui a permis le développement de gammes spécifiques de produits. La découverte de certains actifs (des hydratants, des antibactériens et des antioxydants) a permis d'enrichir la gamme de ces produits, dont la diversité trouve son origine dans celle des espèces d'algues exploitables. Les tonnages utilisés par cette industrie, très faibles, peuvent donc s'appuyer sur une production par cueillette d'algues sauvages, dans leur milieu naturel.

À côté de ces applications non alimentaires, que nous qualifierons de traditionnelles, d'autres sont en train d'émerger. Il s'agit de marchés de substitution dans lesquels on cherche à remplacer une ressource pétrochimique par une source durable, si possible végétale. La chimie des spécialités s'intéresse aux algues, comme le font également la chimie des matériaux et l'énergie. La logique présidant à ce mouvement est toujours la même : les industriels recherchent une biomasse végétale dont la production serait durable. Or, les quantités de matière nécessaires sont telles que les productions agricoles ne pourraient pas supporter à elles seules leur substitution complète au pétrole. Il en

résulterait une compétition entre les cultures nécessaires à l'alimentation humaine et celles destinées à la chimie/énergie. C'est ce qui est en train de se mettre en place dans les pays émergents, vers lesquels les pays développés délocalisent leur production de biomasse pour la chimie et l'énergie. La FAO a publié une alerte face aux famines qui s'installent dans certains pays émergents ayant adhéré à ce modèle de développement. Le modèle économique associé aux algues sauvages en matière de production d'énergie n'est pas encore viable, mais il pourrait l'être pour certaines spécialités chimiques à valeur ajoutée.

### **Conclusion**

Les macro-algues peuvent apporter des solutions qui soient économiquement et techniquement viables pour plusieurs domaines clefs du développement durable. Elles sont sources de nourriture pour l'homme (comme légumes) ou pour les animaux d'élevage, de molécules d'intérêt pour la santé (au travers de compléments alimentaires) et de biomasse (pour la chimie et l'énergie).

Les points forts de ces végétaux sont :

- ✓ une faible utilisation de l'eau douce pour les algues marines (l'essentiel des espèces),
- ✓ des zones de production sur des surfaces non agricoles,
- ✓ leur capacité à absorber des sels nutritifs présents en excès dans certaines baies marines ou ailleurs, qui permet de réhabiliter des sols pollués par une surexploitation agricole,
- ✓ une productivité très élevée par rapport aux végétaux terrestres (de 150 à 300 tonnes de matière sèche par hectare et par an) sans qu'il soit nécessaire de recourir à des variétés OGM.

Ces atouts font l'objet de nombreuses investigations de la part d'entreprises relevant de différentes filières qui préparent leur stratégie matières premières pour l'avenir.

### **Note**

\* Directeur scientifique, Centre d'Étude et de Valorisation des Algues (CEVA), (Presqu'île de Pen Lan, à Pleubian – Finistère).