

An underwater photograph of various types of seaweed, including long, thin, yellowish-brown blades and darker green, more complex structures. The background is a deep blue, suggesting clear water.

CARNETS
DE
SCIENCES

Véronique Leclerc
Jean-Yves Floc'h

Les secrets des Algues

éditions
Quæ

Véronique Leclerc
Jean-Yves Floc'h

Les secrets des Algues

Éditions Quæ

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex, France

© Éditions Quæ, 2010
ISBN : 978-2-7592-0348-2
ISSN en cours

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

SOMMAIRE

Avant-propos	5
Préface	7
Hommage à Pierre Arzel	8
Remerciements	9
Une algue, c'est quoi ?	11
Des microscopiques aux géantes	35
Les symbioses	61
Curieuses niches écologiques	79
Quand les algues prolifèrent	91
Toxiques ou invasives ? Les deux peut-être... ..	113
Algues à tout faire	135
Recette de Pierrick Leroux	162
Conclusion	163
Glossaire	164
Bibliographie	166
Crédits photographiques	167

AVANT-PROPOS

Certains scientifiques s'interrogent sur le bien-fondé de conserver le mot « algue » pour désigner des organismes aussi différents les uns des autres. Le grand public, au contraire, est souvent sollicité par ce vocable pour attirer son attention sur les effets soit bénéfiques (quelquefois miraculeux) soit négatifs (voire inquiétants à l'excès) attribués aux « algues ». Nous avons choisi de conserver ici le mot « algue » dans son acception la plus large pour parcourir ensemble ce monde si disparate auquel nous sommes tous confrontés, le plus souvent, sans le savoir.

Quel lien entre les taches rouge sang sur la neige et les algues géantes de certaines mers ? Quelles analogies entre les algues qui colorent certains lacs pollués et celles qui interdisent périodiquement la consommation de mollusques marins ? Comment certaines algues font-elles pour « grimper » aux arbres ou sur les toitures de certaines habitations ? Quel rapprochement avec les algues de l'estran bien connues des pêcheurs à pied ? Jusqu'à quelles profondeurs les algues descendent-elles en mer ? Comment vivent-elles ? Comment se reproduisent-elles ? Quelles sont les substances qui les constituent et dont on vante périodiquement les vertus ? Voilà quelques-unes des questions auxquelles nous avons tenté de répondre dans ce modeste ouvrage.

Nous sommes bien conscients de n'avoir soulevé ici qu'un petit coin du voile qui recouvre les étranges secrets des algues. Nous avons voulu proposer aussi quelques clés, noms scientifiques et termes techniques, qui permettront aux plus curieux d'ouvrir plus grandes, « sur la Toile », les portes de ce monde fascinant que le langage courant appelle « Algues ». Si tel était le cas, nous aurions gagné notre pari.

Véronique Leclerc, journaliste scientifique
Jean-Yves Floc'h, professeur émérite
à l'université de Bretagne occidentale, Brest

PRÉFACE

S'il est un domaine des sciences de la nature difficile à présenter à un public non-spécialiste, c'est bien celui des algues. Leur simple définition aura demandé un chapitre entier aux auteurs ! Mais que l'on se rassure : ils ont merveilleusement réussi à rendre leur propos accessible à tous. Ce n'est d'ailleurs pas plus aisé de s'adresser à des scientifiques non-spécialistes du domaine. Non que cette partie de la biologie soit d'une telle complexité ; elle reste simplement largement ignorée du plus grand nombre, ce qui en entraîne une vision datant souvent d'il y a plus de cinquante ans... Autant dire la préhistoire, à la vitesse à laquelle les sciences modernes avancent.

Et pourtant, que de sujets attractifs pour tous dans le domaine des algues. Des organismes qui, pour nombre d'entre eux, ne sont ni des plantes ni des animaux ; voilà, par exemple, qui heurte déjà des concepts ancrés dans notre mémoire collective depuis la naissance de la pensée scientifique (c'est-à-dire depuis le V^e siècle av. J.-C.). Des algues parasites d'autres algues (les dino-flagellés) qui sortent du corps de leur victime à la manière de l'*alien* du film de Ridley Scott. Des algues vivant dans les endroits les plus insolites, comme cette espèce connue seulement du pelage des paresseux d'Amérique latine. Des organismes d'une incroyable diversité où se côtoient l'unicellulaire non microbien le plus petit du monde et le végétal aquatique le plus grand connu à ce jour. Des organismes devenus indispensables à nombre d'industries et dont nous mangeons chaque semaine des extraits, le plus souvent sans le savoir. Des organismes dont le rôle écologique passé et actuel a été et est toujours indispensable à l'existence de la nature qui nous entoure. Mais aussi des organismes devenus parfois sources de nuisances avec le dérèglement des écosystèmes lié à l'activité humaine.

Ne déflorons pas plus le sujet, je laisse le lecteur découvrir tout cela et s'émerveiller au fil des pages écrites par Véronique Leclerc et Jean-Yves Floc'h qui comblent avec ce livre, admirablement documenté par une enquête rigoureuse auprès de nombreux spécialistes, un grand vide : tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les algues, que vous avez osé demander... mais pour lequel vous n'aviez encore jamais eu de réponse simple.

Bruno de Reviers
Professeur du Muséum national d'Histoire naturelle
Département Systématique et évolution

Hommage à Pierre Arzel

Pierre Arzel nous a quittés prématurément en 2008.

*Il était enthousiaste à l'idée de participer à l'élaboration
de ce livre dont il a été l'un des instigateurs. Il lui aurait apporté
son précieux éclairage d'ethnologue des goémoniers et d'expert
de l'exploitation des algues marines à l'Ifremer.
Nous lui dédions cet ouvrage en témoignage de notre amical souvenir.*

REMERCIEMENTS

Nous remercions chaleureusement les scientifiques qui ont accepté de prendre sur leur temps pour répondre à nos questions :

Denis Allemand, Erwan Ar Gall, Pierre Arzel, Olivier Barbaroux, Jean Barret, Catherine Belin, Paul Bordenave, Nathalie Bourgougnon, Maria Cellamare, Thierry Chopin, Michel Coste, Alain Couté, Bruno Denetière, Éric Deslandes, Bruno de Reviers, Auguste Dizerbo, Jean-Marcel Dorioz, Marie-France Dupuis-Tate, Alain Dutartre, Raymond Kaas, Louis Kermorgant, Patrick Lassus, Jérôme Lazzarotto, Claude Le Bec, Françoise Le Dévéhat, Alain Ménesguen, Soizig Morin, Élisabeth Nézan, Marie-Christine Peltre, Philippe Potin, Bernard Quéguiner, Valérie Stiger-Pouvreau.

Tous sont des spécialistes reconnus d'un groupe d'algues ou d'un domaine de recherche ayant un lien avec les algues. Nous avons bénéficié de leurs conseils, de leurs encouragements, de leurs critiques et de leur relecture précieuse autant qu'exigeante du texte. Cet ouvrage leur doit beaucoup. Qu'ils en soient amicalement remerciés.

Nous remercions également toute l'équipe des éditions Quæ pour le soin qu'elle a apporté à la présentation de ce livre. Nous sommes particulièrement reconnaissants à Nelly Courtay pour la grande patience dont elle a fait preuve lors de l'assemblage des pièces de ce puzzle. Qu'elle veuille bien accepter notre très amicale gratitude.



An underwater photograph of a rocky seabed. Large, brown, wavy seaweed blades are visible at the top. Below them, several sea urchins with dark, spiny heads are attached to the rocks. The water is clear, and the lighting is bright, creating a vibrant scene. A semi-transparent green rectangular box is overlaid on the lower right portion of the image.

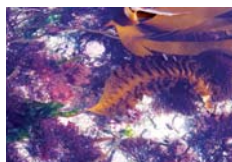
Une algue,
c'est quoi ?

Une algue, c'est quoi ?

Ce matin, dans un glacier des Alpes, à plus de 2 500 mètres d'altitude, le froid cingle le visage. Tout autour, la neige est d'une blancheur immaculée. Partout, non. Car à quelques pas, une curieuse tache rouge attire le regard. On dirait du sang. Pourtant, aux alentours, aucune trace de lutte n'est visible. Pas d'empreintes, ni de plumes ni de poils. Un peu plus loin, d'autres taches tapissent la neige. Mais cette fois, elles sont jaunes, et même vertes. De quoi s'agit-il ?

Ce sont des algues. Minuscules, elles raffolent des conditions extrêmes et colonisent la fine pellicule d'eau de fonte sur la neige et la glace. Elles y trouvent tout ce qu'il leur faut pour vivre, se nourrir et se reproduire.

Partons maintenant dans le désert le plus sec du monde : le désert d'Atacama au Chili. Il n'y pleut jamais. Hormis quelques rares oasis à l'intérieur des terres, rien ne pousse. En tout cas, rien de visible. Car, nichées dans les pores des roches, des algues microscopiques foisonnent. Pour elles, c'est le paradis. Pas de concurrence, de la lumière à profusion et juste ce qu'il faut d'humidité apportée chaque matin par la plus timide des rosées.



■ Page précédente

C'est vers la basse mer que la biodiversité marine est des plus fortes. Ici se déploient les algues brunes, les laminaires, les vertes ulves et la variété infinie des gracieuses algues rouges.



■ Les algues, quelle drôle d'idée !

Les algues regroupent un ensemble d'organismes très variés. Toutes possèdent de la chlorophylle et, en ce sens, ce sont des végétaux. Elles vivent en milieu aquatique ou dans des lieux humides. Pourtant, les algues ne constituent pas un groupe naturel dans « l'arbre de la vie ». Le mot « algue » représente plutôt une commodité de langage. Sous ce terme, cohabitent des organismes sans lien de parenté direct. On y trouve des bactéries (appelées algues bleues ou cyanobactéries) et des organismes plus évolués (des eucaryotes) uni- ou pluricellulaires. Ils vivent seuls ou en colonies. Ils peuvent être libres ou fixés sur un support. Leur taille varie de moins d'un micromètre (mille fois plus petit qu'un millimètre) à plusieurs dizaines de mètres pour certaines algues nommées *Macrocystis*. Elles font partie des plus grands végétaux du monde. En Californie, on trouve des *Macrocystis* de 60 mètres de long. À l'opposé, la plus petite algue connue est aussi la plus commune sur notre planète. Il s'agit d'une algue bleue appelée *Prochlorococcus*. Il y en a dans tous les océans et elle mesure entre 0,5 et 0,7 micromètre.

Près de 30 000 espèces d'algues ont été répertoriées jusqu'ici. Un végétal sur dix est une algue. Mais le monde des algues n'a pas encore révélé tous ses secrets. L'intérêt des scientifiques s'est surtout porté sur les espèces de grandes tailles. Or, les avancées technologiques de ces dernières années montrent la richesse des espèces microscopiques.

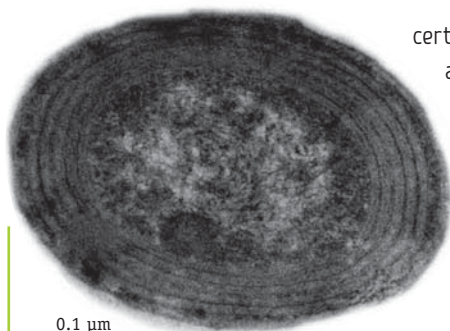
Les algues pluricellulaires, quant à elles, sont étudiées depuis très longtemps. L'algue *Porphyra* était déjà utilisée en Chine au VI^e siècle av. J.-C. Des textes grecs et romains relatent l'emploi de



L'algue géante *Macrocystis* formant une canopée à la surface de l'eau (Californie, États-Unis).



L'algue géante *Macrocystis* formant une forêt sous-marine.



La cyanobactérie océanique *Prochlorococcus* observée par microscopie électronique en transmission (MET).

certaines algues pour fertiliser les terres agricoles. Mais il faut attendre les XVII^e et XVIII^e siècles en Occident pour qu'un réel intérêt scientifique soit porté sur les algues avec les grandes explorations. Des spécimens sont alors récoltés dans le monde entier. Les algues macroscopiques présentent somme toute une organisation assez simple par rapport à celle des autres végétaux. Elles ne possèdent ni feuilles, ni tige, ni racines. Leur corps est appelé thalle.

Où vivent les algues ?

Il y a des algues pratiquement partout sur notre planète. Très peu exigeantes, il leur suffit d'un brin de lumière et d'un soupçon d'eau pour se développer. Naturellement, elles préfèrent les lieux les plus humides. La plupart des algues vivent en effet dans les océans. Elles y représentent plus de 90 % des végétaux. Les grandes algues vivent plutôt le long des côtes rocheuses, depuis la zone balayée par les marées jusqu'à 150, voire 200 mètres de profondeur. La pleine mer, quant à elle, abrite surtout des algues microscopiques. Elles constituent le phytoplancton. Mais il existe aussi des grandes algues errantes au milieu des océans. Ce sont les célèbres sargasses de la mer du même nom. Elles forment de vastes étendues végétales flottantes à l'est des Antilles. Tout un écosystème complexe s'y abrite.

La flore des neiges

La neige peut changer de couleur quand elle abrite des algues microscopiques. Elle devient rouge avec *Chlamydomonas nivalis*, pourpre avec *Ancylonema*, verte avec *Raphidium*, *Chlorella* et *Pleurococcus*, et jaune avec *Scotiella nivalis*. Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, la fine pellicule d'eau recouvrant les glaciers est un véritable nectar pour ces êtres unicellulaires. Elle se révèle même plus nutritive que l'eau chaude des étangs et des mares dans les vallées. Froide, elle dissout mieux le gaz carbonique et l'oxygène de l'atmosphère. Elle est riche en particules nutritives captées par la neige en traversant les nuages. On trouve même des molécules azotées formées par les décharges électriques dans l'atmosphère.

Toutes ces algues forment une manne inespérée. Elles constituent le premier maillon d'une chaîne alimentaire où s'ébattent protozoaires, vers, insectes et oiseaux. Ils réussissent ainsi à coloniser ces territoires inhospitaliers. Mais comment ces algues ont-elles fait pour grimper sur les glaciers ? Elles n'ont rien fait justement. Elles se sont seulement laissées porter par le vent. Elles peuvent ainsi faire plusieurs fois le tour du monde sous forme de spores. Elles sont prêtes à germer dès que les conditions deviennent favorables. Ainsi, au printemps, même enfouies sous la neige, elles donnent naissance à de petites algues munies d'un flagelle. Ce petit moteur leur sera très utile pour rejoindre la surface en nageant à contre-courant dans l'eau de fonte.



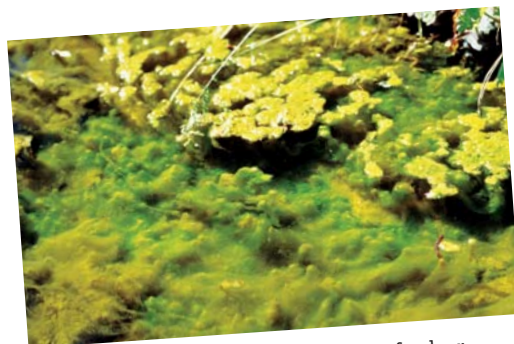
Mais les algues ne vivent pas seulement dans les océans, il y en a aussi sur les continents. Là, elles colonisent les lacs, les rivières, les étangs, les mares... C'est dans ces milieux d'eau douce aux conditions si variées que l'on rencontre le plus grand nombre d'espèces d'algues. D'autres algues, qualifiées de terrestres ou aériennes, se développent dans des milieux non aquatiques. Elles prospèrent sur la surface des sols, des troncs d'arbres, des murs, des toitures, des statues, des vitraux, des rochers...

Il leur faut un minimum d'humidité. Elles font partie de ces organismes pionniers capables de croître sur des supports les plus divers, qu'ils soient naturels ou artificiels (ciment, béton, toitures). Souvent, les bactéries colonisent en premier le site, puis viennent les algues, les champignons, les lichens et enfin les mousses.

On peut aussi trouver des algues dans des endroits encore plus insolites. Certaines vont s'installer sur des plantes, sur d'autres algues ou encore sur la carapace d'animaux. Quelques-unes colonisent même le pelage de certains animaux comme les paresseux. Il abrite des algues bleues mais aussi des algues vertes qui changent la couleur de son pelage durant la saison des pluies ou la saison sèche. Cela lui permet de mieux se camoufler dans son environnement. D'autres encore vont squatter les écailles du museau de lézards tropicaux.

Les conditions de vie les plus extrêmes n'empêchent pas certaines algues de vivre là où beaucoup d'autres ne survivent pas : dans les marais salants, les déserts, les lacs acides, les sources chaudes, sur les glaciers, les icebergs et le pergélisol (*permafrost* en anglais) en Arctique et en Antarctique.

Des algues bleues sont capables de se développer dans les milieux les plus hostiles. Mais les algues ont aussi mis au point une autre façon de supporter des conditions difficiles ou de conquérir de nouveaux territoires : elles collaborent avec d'autres organismes, végétaux ou animaux.



Dans les rivières rapides à faible profondeur, les algues filamenteuses prolifèrent en été.



De l'humidité et de la lumière : voilà les deux ingrédients de base pour que des algues puissent prospérer. On peut alors en trouver sur des supports les plus divers, comme sur des troncs d'arbre où elles pourront même persister en été.



Un moyen efficace d'occupation du territoire et de l'espace : la colonisation multicouche ! Ici, des algues épiphytes poussent sur des mousses installées sur le tronc d'un arbre.



Un biofilm formé d'algues et de bactéries a « cimenté » le sable de cette taupinière, préservant le sable fin de l'érosion par l'eau et le vent.

On parle alors de symbioses. Les algues sont expertes en ce domaine et s'associent avec des champignons (pour former des lichens), des protozoaires, des éponges, des vers, des cnidaires (dans le cas des coraux)...

■ Les algues sont-elles des plantes ?

À première vue, une algue ressemble bien à une plante. Les deux possèdent le fameux pigment vert que l'on appelle chlorophylle. Il donne au monde végétal dans son ensemble sa

couleur verte dominante. La chlorophylle procure un avantage extraordinaire : l'autonomie pour se nourrir. Il leur suffit d'un peu d'eau, de lumière et du dioxyde de carbone. Ce processus est étudié depuis plus de 200 ans par les scientifiques : c'est la photosynthèse.

Voici un premier point commun important. Pourtant, si on mène un peu plus loin la comparaison algue-plante, les différences s'affichent et embrouillent les premières certitudes. Comparons une algue macroscopique avec une plante toute simple. Déjà, premier constat, l'algue ne possède pas de racine, mais une sorte de crampon. Il ne lui sert qu'à s'accrocher. L'algue n'a pas besoin de racines pour s'alimenter. Elle absorbe les nutriments par toute sa surface en contact avec l'eau. L'algue ne possède pas non plus de vaisseaux conducteurs sauf quelques ébauches rudimentaires chez certaines algues brunes comme les laminaires et les fucus. Il n'y a pas de tige. Ce qui pourrait y ressembler et

Au fin fond de l'Antarctique

L'Antarctique. Les conditions les plus extrêmes y règnent. Les températures oscillent de -70 à -15°C . La nuit est permanente en hiver et le jour continu l'été. Des vents violents soufflent et il ne pleut presque jamais (à peine 5 centimètres par an). Peu d'organismes peuvent supporter un tel environnement. Certains, comme les sternes, les phoques et les manchots, y résident momentanément. Mais peu parviennent à y vivre toute l'année. Ces « durs à glacer » font tous partie du monde des microbes. Ce sont des champignons, des lichens et des algues microscopiques. Il leur suffit d'une fine pellicule d'eau sur la glace ou d'une microfracture entre des cristaux de quartz pour que de vastes tapis roses de cyanobactéries se développent. Il s'agit bien d'algues bleues même si elles sont roses. Leur couleur provient des nombreux pigments rouges qu'elles contiennent en plus des bleus. Ils leur permettent de se protéger de l'excès de lumière. Comme des lunettes de soleil...



qui constitue le corps de l'algue s'appelle stipe. Point de feuilles non plus et l'on préfère alors le terme de frondes. Les algues ne possèdent pas non plus de fleurs ni de graines pour se reproduire.

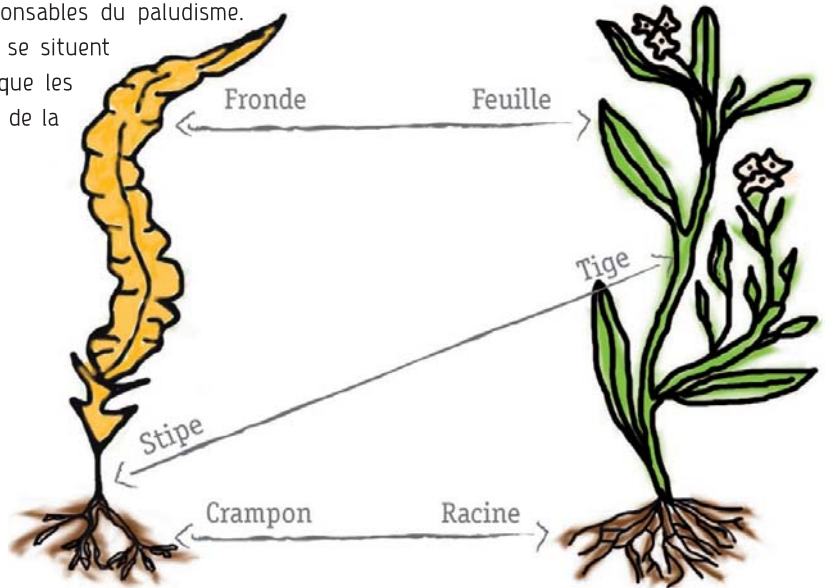
À l'échelle de la cellule, d'autres différences apparaissent. Déjà, de nombreuses algues microscopiques comme les algues bleues possèdent une structure de cellule procaryote (sans noyau). Ce sont des bactéries. Les autres algues, uni- ou pluricellulaires, sont bien formées de cellules eucaryotes (avec noyau) comme toutes les cellules végétales. Mais elles regroupent encore une telle variété d'organismes qu'on ne peut toujours

pas répondre de façon unanime à la question. Les algues vertes (comme les ulves) présentent bien certaines caractéristiques biochimiques d'une plante, comme par exemple celle de synthétiser de l'amidon vrai. D'autres pourtant, ressemblent plutôt à des cellules animales ayant capturé un plaste. Ainsi, les dinoflagellés sont plus proches des sporozoaires que d'une plante, comme certains parasites responsables du paludisme.

De même, les euglènes se situent dans le même groupe que les trypanosomes, vecteurs de la maladie du sommeil.

Combien de sortes d'algues existe-t-il ?

Les systématiciens ont réparti les algues en 11 groupes distincts : 1 procaryote et 10 eucaryotes. Pour les classer, il a fallu comparer les pigments, les formes de réserve des cellules, les flagelles, les parois cellulaires et les organites intracellulaires. Les groupes les plus connus sont les algues bleues (les cyanobactéries), les algues vertes (uni- et pluricellulaires d'eau douce, salée et terrestres), les algues rouges (la plupart sont pluricellulaires marines), les dinoflagellés (plancton quelquefois luminescent grâce aux bactéries qu'ils contiennent), les glaucophytes (unicellulaires d'eau douce, bleu-vert), les euglènes (unicellulaires d'eau douce surtout), les cryptophytes (unicellulaires flagellés d'eau douce ou marine), les algues brun-doré dont les plus connues sont les algues brunes (pluricellulaires marines) et les diatomées (unicellulaires avec coque de silice, dans tous les milieux).



Morphologie comparée entre une algue et une plante.

■ Qu'y a-t-il dans une algue ?

Surtout de l'eau

Elle représente 90 % de son poids. Il y en a 10 à 15 % de plus que chez les autres végétaux. L'eau est surtout contenue dans la vacuole des cellules, un compartiment uniquement présent dans les végétaux et les bactéries, mais absent des cellules animales. On trouve aussi de l'eau dans le cytoplasme et dans la paroi cellulaire où son rôle est très important.

Et des sucres

La paroi des algues forme une barrière étonnante, très efficace pour retenir l'eau et l'empêcher de fuir. Elle comporte de nombreux polysaccharides, des sucres complexes, qui maintiennent l'eau dans leur structure. Les algues restent hydratées. Elles peuvent supporter sans dommage les allées et venues des marées. Les algues marines peuvent contenir de grandes quantités de polysaccharides. Ils sont exploités comme gélifiant et épaississant dans l'industrie agroalimentaire et textile. Dans les algues brunes, on trouve des alginates. Dans les rouges, des carraghénanes ou des agars et, dans les vertes enfin, d'autres polysaccharides sulfatés. Souvent, ces sucres représentent plus de la moitié de la matière sèche des algues : entre 40 et 70 %, selon les espèces. Ils forment de longues fibres entremêlées où de nombreux composés se trouvent piégés.

Mais aussi des minéraux

Ainsi, en plus de l'eau, des minéraux provenant de l'extérieur sont capturés dans la paroi. Ils ne pénètrent pas, ou peu, dans les cellules et l'équilibre osmotique est préservé. Plus le milieu environnant est riche en minéraux, plus il y en a dans les parois. Jusqu'à 25 % de la matière sèche chez certaines espèces. Naturellement, comme l'eau de mer foisonne de minéraux, les algues marines en contiennent plus. Elles ont la particularité d'être constituées de minéraux rares et assimilables par l'organisme. L'eau de mer contient tous les minéraux existants sur Terre. Les algues aussi, mais en proportions variables : iode, magnésium, potassium, sodium, calcium, fer, aluminium, manganèse, phosphore, soufre, chlore, cuivre, nickel, silicium, étain, argent, plomb, bismuth, arsenic (sous une forme heureusement non toxique), antimoine, lithium, bore, zinc, or, baryum, cobalt, strontium, titane, vanadium... Ils sont extraits du milieu extérieur grâce à des pompes spéciales. Par exemple, l'iode peut être 60 000 fois plus concentré dans les algues que dans la mer.

Avec de telles capacités, il est essentiel que les algues alimentaires puissent se développer dans des milieux exempts de pollutions pour éviter tout risque d'intoxication de leurs consommateurs.