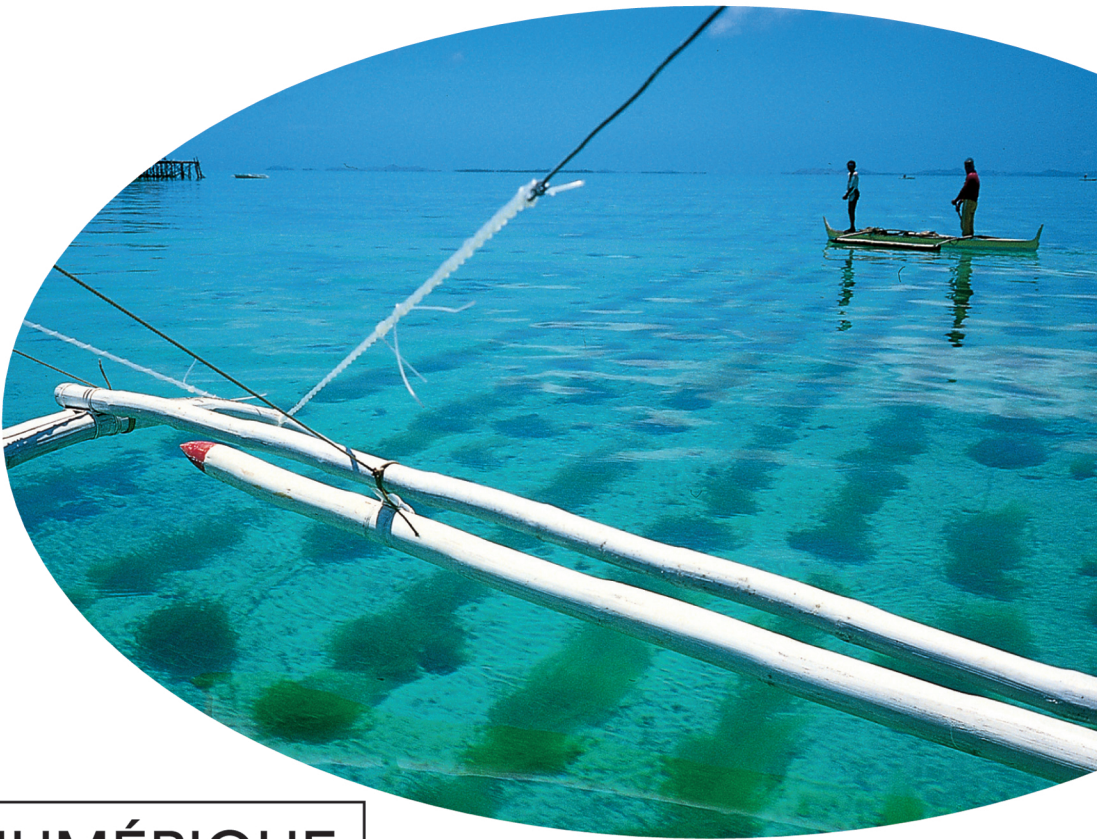


René Pérez

# Ces algues qui nous entourent

Conception actuelle, rôle dans la biosphère,  
utilisations, culture



NUMÉRIQUE  
LIVRE **LN**

*Aquaculture*





# Ces algues qui nous entourent

Conception actuelle, rôle dans la biosphère,  
utilisations, culture

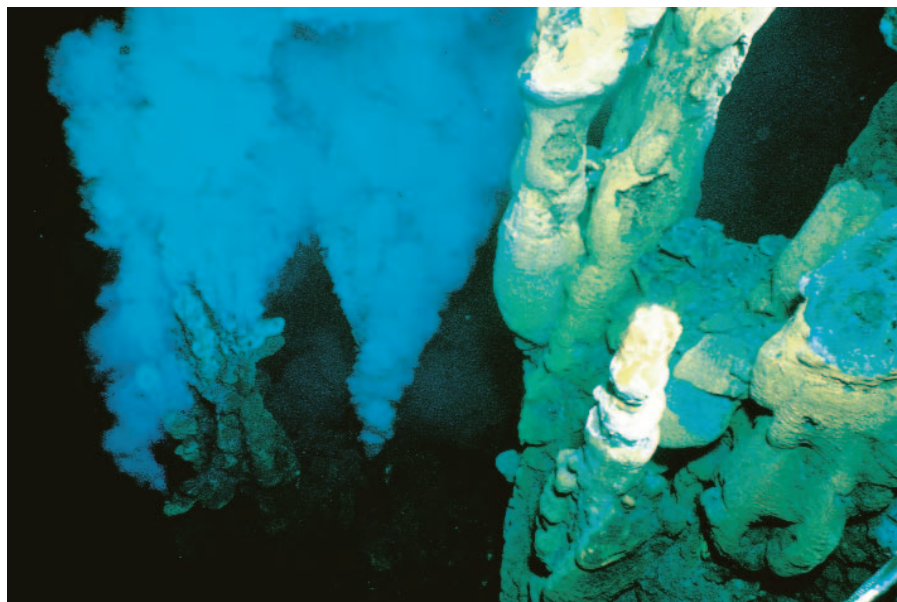
René Pérez

Schémas René Pérez  
Photographies Olivier Barbaroux



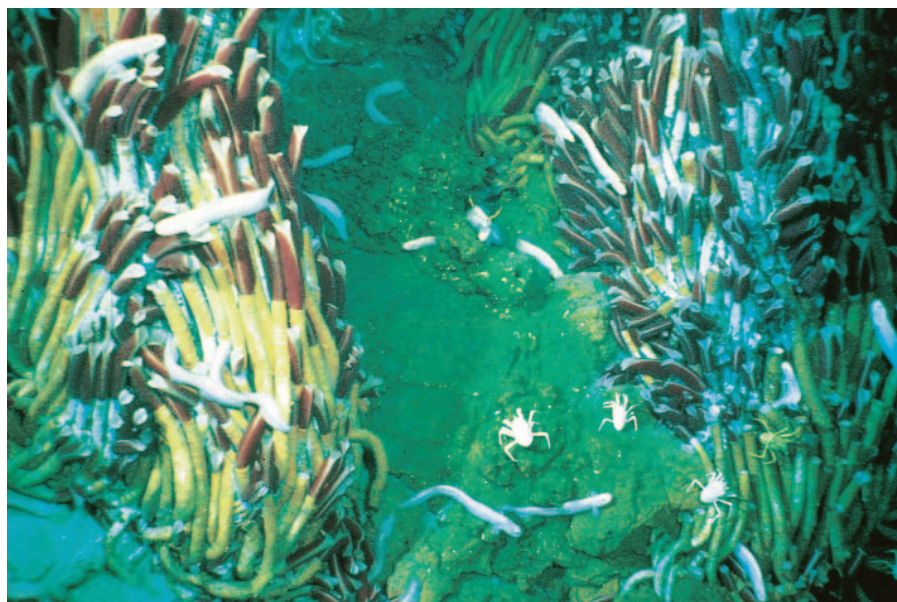
À monsieur le professeur Jean Motte  
dont les terribles colères me ravissaient...  
(lorsqu'elles n'étaient pas à mon rencontre)

Dès 1950, il proposait à ses étudiants  
et à ses collaborateurs, dont j'eus le bonheur d'être,  
des idées « révolutionnaires » sur le monde végétal,  
précisément ces idées qui sont reconnues aujourd'hui  
par la plupart des biologistes.



IFREMER

Figure 1 - « Fumeurs noirs », panaches d'eau chaude et turbide jaillissant par saccades des déchirures du fond océanique. Cette eau est riche en acides aminés et en sels métalliques. C'est autour de ces « fumeurs noirs » que serait apparue la Vie, loin des rayons ultraviolets biocides émis par l'astre solaire.



IFREMER

Figure 2 - Spectacle inattendu à proximité des « fumeurs noirs » par 2 600 m de fond. Dans l'obscurité totale, se développe toute une faune tirant directement ou indirectement son énergie de la décomposition par des bactéries des sulfures en soufre. Parmi cette faune « I. T. infraterrestre » de la nuit permanente, des mollusques, des crustacés, des poissons, de nombreux « vers » logeant chacun dans un long tube nacré.

## Avant-propos

La voie lointaine, nasillarde, presque inhumaine du haut-parleur vient d'annoncer : - 2 300 mètres. D'un coup d'œil expert, l'océanote vérifie instinctivement au profondimètre l'exactitude du chiffre. A en croire le sondeur, encore 200 mètres et le submersible frôlera la faille des Galapagos, véritable balafre volcanique zigzagant sur le fond de l'océan.

Il n'y a aucune raison d'être inquiet. La mission a été préparée avec le plus grand soin ; les sécurités ont été quadruplées ; les conditions météorologiques sont idéales. Mais la descente dure depuis plus de trois heures, et, depuis un bon moment déjà, l'homme connaît le sens de l'expression : « un noir d'encre ». C'est cette obscurité, sans limite, infinie, épaisse, presque palpable, qui réduit les faisceaux des puissants projecteurs frontaux à un ridicule halo lumineux. C'est cette nuit sans le moindre repère, désespérante, amplifiée par un silence pesant que le battement de l'hélice et le ronronnement rassurant du moteur ne peuvent faire oublier. C'est le noir immense et froid du Néant.

On approche du fond ; le haut-parleur égrène quelques conseils de prudence.

Il n'y aura pas de réponse.

Sous les yeux étonnés et émerveillés de l'océanote, les faisceaux des projecteurs viennent d'illuminer un spectacle incroyable et grandiose qui le laisse sans voix.

Jaillissant de la croûte océanique, des colonnes d'eau émaillées de milliers de bulles d'air se frayent un chemin à travers de hautes cheminées de pierres multicolores. Tout autour, des nuages jaunâtres enveloppent çà et là le relief dont ils gommant les contours hachés. Mais le plus impressionnant, ce sont ces milliers de vers géants mesurant de 70 à 100 cm de longueur, couronnés chacun d'une crête rouge tremblante qui se rétracte de temps à autre dans un tube nacré (fig. 1 et 2 p. 4).

Il est 14 h 37, ce 20 avril 1977 : l'homme vient de découvrir la VIE telle qu'elle serait restée, prisonnière des noires ténèbres dans quelques profondes crevasses océaniques, s'il n'y avait pas eu un jour... des petites cellules bleues.

# Sommaire

<b>Avant-propos</b>	5
<b>Introduction</b>	9
<b>Chapitre I : La définition conventionnelle des algues</b>	
<b>Une définition usitée</b>	11
<b>La grande aventure du monde végétal chlorophyllien</b>	16
L'apparition des Végétaux Bleus	17
L'apparition des Végétaux Rouges	24
L'apparition des Végétaux Verts	31
L'apparition des Végétaux Bruns	35
La montée en puissance d'un nouveau groupe : les Dinobiontes	40
<b>L'émergence des végétaux chlorophylliens à partir du bouillonnement bactérien</b>	43
L'hypothèse de l'endosymbiose	43
<i>L'origine des Végétaux Bleus</i>	45
<i>L'origine des Végétaux Rouges</i>	45
<i>L'origine des Végétaux Verts</i>	48
<i>L'origine des Végétaux Bruns</i>	50
<i>L'origine des Dinobiontes</i>	52
L'apparition du noyau	52
L'édification du monde végétal	57
La place des algues dans le monde végétal	59
<b>Chapitre II : L'utilisation des végétaux marins</b>	
<b>Les végétaux marins à vocation alimentaire</b>	66
La situation dans le monde	67
<i>En Occident</i>	67
<i>La valeur alimentaire des plantes marines</i>	72
Les principales espèces végétales marines consommées en Extrême-Orient	76
<i>La consommation des Porphyra</i>	76
<i>La consommation de Laminaria japonica</i>	84
<i>La consommation d'Undaria pinnatifida</i>	92
<i>Les autres végétaux aquatiques utilisés en alimentation</i>	98
<b>Les extraits des végétaux marins : les phycocolloïdes</b>	102
L'acide alginique	103
<i>L'exploitation des alginophytes</i>	103
<i>La composition de la molécule</i>	111
<i>Les propriétés de l'acide alginique</i>	112
<i>L'extraction de l'acide alginique</i>	113
<i>La production mondiale</i>	126
<i>Les différentes qualités d'alginate</i>	128
Les agars	129
<i>La composition chimique</i>	130
<i>Le mécanisme de gélification</i>	131
<i>Le marché des agars</i>	133



Les agarophytes	134
L'évolution du marché	136
Les consommateurs	136
La situation des agars dans la cellule des agarophytes	137
L'extraction	138
La force de gel	143
Les propriétés des agars	144
Les utilisations des agars	144
Les carraghénanes	148
L'origine	148
La composition chimique	148
Les carraghénophytes	149
Les sociétés d'extraction	154
Les types de carraghénanes	155
Les teneurs en carraghénanes	156
L'extraction des carraghénanes	158
Les propriétés des carraghénanes	162
Les utilisations des carraghénanes E 407	164
<b>Les végétaux aquatiques en agriculture, dans le traitement des eaux usées, en cosmétologie, en pharmacie</b>	169
Les végétaux marins en agriculture	169
Les végétaux marins et l'épuration des eaux	171
Les végétaux marins en cosmétologie	172
Les végétaux marins en pharmacie	173

### Chapitre III : La culture des végétaux marins

<b>La culture fondée sur la reproduction sexuée</b>	181
La culture du végétal brun (alimentaire et alginophyte) <i>Laminaria japonica</i>	181
Le cycle de reproduction sexuée	181
La culture « forcée »	183
La culture du végétal brun (alimentaire) <i>Undaria pinnatifida</i>	191
La culture traditionnelle	191
La nouvelle technique	194
La culture de <i>Macrocystis pyrifera</i> (alginophyte) sur les côtes californiennes	200
L'état des peuplements	200
La restauration des champs	201
La culture du rhodobionte (alimentaire) <i>Porphyra yezoensis</i>	207
Le cycle de reproduction	208
La préparation de la semence	210
L'ensemencement	210
L'installation en mer	214
La croissance et la récolte	219
Les rendements	219
La culture du chrysobionte (alimentaire) <i>Cladosiphon okamururus</i>	221
L'ensemencement	221
L'installation en mer	223
La récolte	225
Le marché	225

La culture du chlorobionte (alimentaire) <i>Monostroma nitidum</i>	225
<i>Le cycle de reproduction monogénétique</i>	225
<i>Le mode de culture</i>	227
<i>La production</i>	228
La culture d' <i>Ulva lactuca</i> et d' <i>Enteromorpha compressa</i> (chlorobiontes alimentaires)	228
<b>Les cultures à partir de boutures</b>	230
La culture des carraghénophytes <i>Eucheuma</i> et <i>Kappaphycus</i>	230
<i>L'évolution du marché des carraghénophytes</i>	230
<i>Les espèces cultivées</i>	232
<i>Le choix du lieu</i>	232
<i>Le champ de culture</i>	233
<i>Les boutures et l'ensemencement</i>	233
<i>Le développement des boutures</i>	234
<i>Le séchage et le nettoyage de la récolte</i>	236
<i>La culture indonésienne</i>	238
<i>L'impact de la culture</i>	239
La culture informatisée du carraghénophyte <i>Chondrus crispus</i>	240
La culture du chlorobionte (alimentaire) <i>Caulerpa lentillifera</i>	246
<i>L'aspect de l'espèce</i>	247
<i>L'ensemencement</i>	248
<i>L'entretien</i>	248
<i>La production</i>	250
La culture de l'agarophyte <i>Gracilaria verrucosa</i>	250
<i>La culture de Gracilaria à Taiwan et en Chine</i>	251
<i>La culture de Gracilaria en Thaïlande</i>	251
<i>La culture de Gracilaria au Chili</i>	252
La culture du chrysobionte (alimentaire) <i>Hizikia fusiforme</i>	255
<i>La description de l'espèce</i>	255
<i>L'ensemencement</i>	255
<i>La récolte</i>	256
<i>La production</i>	257
<b>Conclusion</b>	259
<b>Bibliographie</b>	266

## Introduction

Dans le souffle léger de la brise marine, la vie littorale semble soudain s'intensifier. Les mouettes adoptent un vol plus rasant ponctué de cris stridents qui dominent le ronflement apaisé du ressac. Les pêcheurs à pieds ajustent leurs cirés et accélèrent le pas. Des bruits furtifs dans les cavités et les flaques trahissent la présence de crabes ou de poissons effarouchés, qui, surpris par le reflux, cherchent en hâte une cache salvatrice. C'est le moment de la basse mer de vive eau.

Sur les rivages aux contours sans cesse redessinés par la succession immuable du flux et du reflux, cet instant constitue un épisode tout particulier pour le naturaliste. C'est en effet une période privilégiée où l'océan, dévoilant largement ses franges, livre un aperçu de sa richesse et de sa diversité biologique (fig. 3).



Figure 3 - Côte bretonne à marée basse. La mer découvre, en se retirant, l'« univers des Algues ». Ici, s'étendant en une bande étroite à la limite des plus basses eaux, un peuplement de *Laminaria digitata*.

L'œil découvre presque simultanément, tapissant le moindre rocher, peuplant la moindre cuvette, soulignant le moindre filet d'eau, mille formes végétales qui se mêlent en mille couleurs et mille teintes comme dans un immense tableau de Monet.

C'est l'orée d'un monde longtemps ignoré auquel a été donné le nom d'« univers des algues ».

On a pris la (mauvaise) habitude de grouper sous le nom d'« algues » environ 110 000 à 130 000 espèces végétales vivant dans le milieu aquatique. En raison de cet habitat, inhabituel pour l'homme, elles ont longtemps échappé à son attention. Elles sont, de ce fait, bien moins connues que les végétaux continentaux.

Aussi, chacun tend-il, selon les espèces qu'il rencontre, à leur affecter une image personnelle. Le vacancier assimile uniquement les algues à ces longues lanières inquiétantes qui le frôlent désagréablement durant les baignades. Pour le pêcheur de crabes, elles sont ces filaments couvrant les rochers d'un tapis glissant responsables de tant de chutes. Le poète n'y voit que *des lignes tournantes* (J. Brel), *des corolles éclatées* (J. Cocteau) ou *des chœurs dansants de jeunes filles* (V. Hugo).

L'industriel ne considère les algues qu'en fonction du produit qu'il peut en extraire. Lorsque les journaux évoquent ces végétaux, c'est le plus souvent dans la rubrique des nuisances, pour les accuser de perturbations spectaculaires du milieu ; ici, on titre sur l'« algue tueuse » ; là, sur l'« algue tentaculaire », là encore sur « l'algue toxique » ou l'« algue envahissante ».

Rares sont les revues qui mettent de manière objective l'accent sur le rôle fondamental de ces végétaux dans l'équilibre de l'écosystème aquatique et, au-delà, de la biosphère toute entière. Quant aux botanistes, ils en viennent à se demander si le mot « algue » a vraiment un sens, étant donné la difficulté à le circonscrire dans une définition stricte.

Que représentent exactement les « algues » ? Quelle est leur place dans le monde vivant ? Quelle est leur influence ? A quoi les utilise-t-on ? Quel est leur avenir ?

Les conceptions ont à tel point évolué au cours de ces vingt dernières années qu'elles remettent en cause à la fois l'identité de l'univers végétal et la signification du monde vivant. Il nous a donc paru bon de faire le point au risque de bousculer certaines hypothèses trop bien ancrées et de mettre à mal quelques idées reçues.

Nous avons cependant pris la précaution de nous appuyer sur les acquis les plus récents de la science dans les domaines de la biologie moléculaire, de la cytologie, de la physiologie et de la génétique. Pour être encore plus concrets, nous avons également utilisé, particulièrement dans la première partie, de nombreux schémas explicatifs. Enfin, nous avons fait appel à de nombreux documents photographiques qui transporteront le lecteur à travers la planète, dans des lieux, souvent peu connus du touriste, où les végétaux marins, outre leur influence sur la biosphère, jouent un rôle important dans l'économie.

## CHAPITRE I

# LA DÉFINITION CONVENTIONNELLE DES ALGUES

## Une définition usitée

Il y a vingt ans à peine, l'algologue n'avait pas d'hésitation pour caractériser les algues. Il les qualifiait de végétaux peuplant le milieu aquatique ou les lieux humides. On les rencontre en effet aussi bien en eaux de mer qu'en eaux douces, sur les sols mouillés, sur la face nord des troncs d'arbres et sous leur écorce, dans les lichens où elles sont associées avec des champignons, dans les coraux où elles vivent en symbiose<sup>1</sup>. On a pu même en observer dans la moelle épinière et dans les poumons de l'homme.

Mais les « champignons »<sup>2</sup> et les bactéries se développent également en de tels lieux.

Les algues diffèrent de ces derniers par la présence constante d'un pigment vert, la chlorophylle, dont la coloration est parfois masquée par un autre pigment bleu, rouge, brun-jaune ou roux. Grâce à cet équipement pigmentaire, ces végétaux peuvent capter l'énergie lumineuse de nombreuses longueurs d'onde, ce qui leur permet de fabriquer de la matière vivante par photosynthèse à partir d'éléments simples, gaz carbonique, eau, sels minéraux. Ils sont dits autotrophes (du grec *trophein*, nourrir et *autos*, soi-même).

Cette capacité les distingue donc des champignons qui sont hétérotrophes (du grec *hétéros*, autre), car ils ne peuvent vivre qu'à partir de la matière organique élaborée par d'autres organismes. Mais les deux qualificatifs aquatique et chlorophyllien ne suffisent pas à identifier l'ensemble « algues » ; en effet, certaines bactéries, les mousses, les fougères, les posidonies et les zostères (graminées adaptées à la vie aquatique), les palétuviers (arbres des zones intertropicales) vivent aussi dans l'eau et possèdent également de la chlorophylle.

À l'inverse, on a pu démontrer que certaines algues microscopiques telles que les diatomées (*Navicula*), les *Chlorella*, les *Ulva* peuvent se comporter en hétérotrophes. Les algues rouges comme *Chondrus*, *Porphyra*, *Gracilaria* sont capables d'assimiler directement des composés organiques (l'urée, l'acide glycolique, le mannitol, l'acide acétique) : *Gracilaria verrucosa* par exemple, peut continuer à

1. Symbiose : association acceptée par deux organismes dans laquelle chacun trouve intérêt.

2. Comme le mot algue, le mot champignon correspond à une dénomination conventionnelle mais non scientifique. Il est employé ici pour ne pas compliquer l'exposé.

vivre et à croître pendant plusieurs mois sous 50 cm de sable. Des végétaux unicellulaires appartenant aux Euglènes et aux Dinobiontes<sup>3</sup>, bien que possédant de la chlorophylle, sont capables de phagocyter des proies et de les digérer.

Un autre élément considéré autrefois comme propre aux algues réside dans l'absence de différenciation tissulaire. On n'y distingue pas à première vue d'organe ayant un rôle bien défini : tout l'appareil végétatif a été considéré comme une seule masse appelée « thalle ». Les algues ont été nommées Thallophytes, par opposition aux Cormophytes, c'est-à-dire aux végétaux continentaux pourvus de racines, feuilles, tiges et autres organes à fonction précise (du latin *cormus*, tige). Il est vrai que, pour certaines d'entre elles, chaque cellule effectue directement ses échanges avec le milieu extérieur.

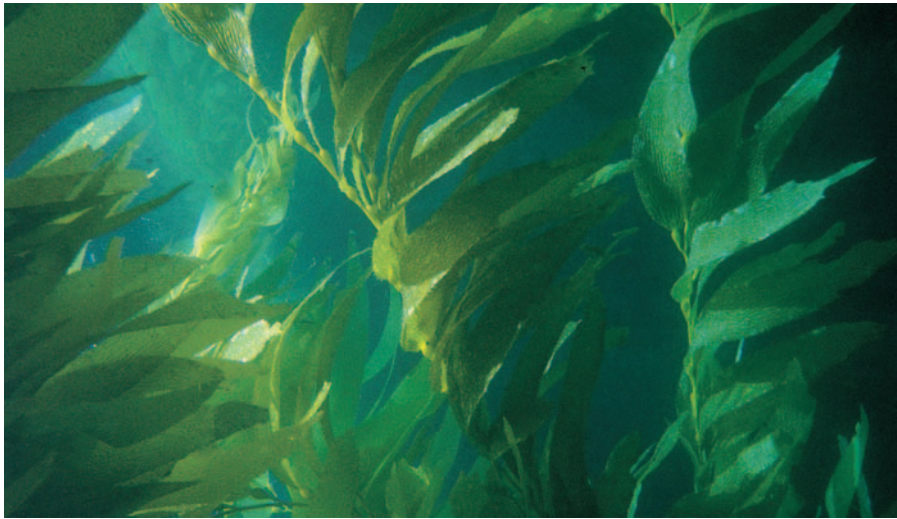


Figure 4 - Fronde de *Macrocystis pyrifera* (végétal brun) s'élançant vers la surface. Fixées par 7 à 40 m de profondeur, elles sont portées par les flotteurs des folioles. Certaines peuvent atteindre 100 m de long.

Cependant, en observant les algues géantes que sont les *Macrocystis* (fig. 4), on ne peut s'empêcher d'assimiler leurs crampons à des racines même s'ils ne servent qu'à la fixation. Leurs folioles, à forme lancéolée, portées par un « pédicelle », ressemblent à s'y méprendre à des feuilles, et les axes verticaux à des tiges dressées (fig. 5 p. 13).

Il est à peu près certain que chez les *Polysiphonia*, les *Bonnemaisonia* et les *Ceramium* (algues rouges), les poils hyalins qui entourent les parties apicales assurant la croissance ont un rôle dans l'absorption des sels minéraux : leurs caractères cytologiques sont en effet identiques à ceux des poils absorbants des racines (absence de noyau, absence de cuticule, énorme vacuole, large ouverture basale).

Mieux, les éléments spécialisés dans l'absorption sont situés ici à proximité des zones d'utilisation : les pertes dans le transfert se trouvent ainsi limitées au minimum.

3. Nous reviendrons sur la définition de ce groupe un peu plus loin.

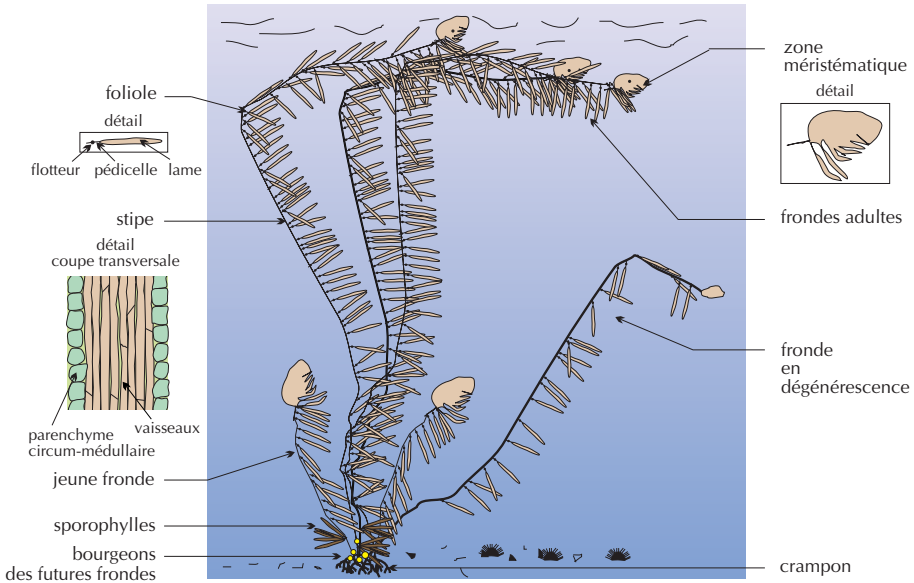


Figure 5 - Schéma de la plante marine *Macrocyctis pyrifera* surnommée « le séquoia des mers ». Chez cette espèce, les tiges sont pourvues d'une vascularisation. En outre, le végétal présente des « organes » précis ayant une activité bien définie. Peut-on lui refuser l'appellation de « cormophyte » ?

On remarquera d'ailleurs que, comme les poils radiculaires, les poils hyalins des algues tombent lorsque le développement de l'axe les éloigne des zones de croissance. Les expériences réalisées en cultivant les laminaires (algues brunes) dans une solution de sels nutritifs marqués par du phosphore radioactif (dont il est possible de suivre le déplacement), montrent que l'absorption s'effectue au niveau de surfaces précises (le haut de la lame), et qu'il y a acheminement par des voies préférentielles vers l'aire de production cellulaire (fig. 6).

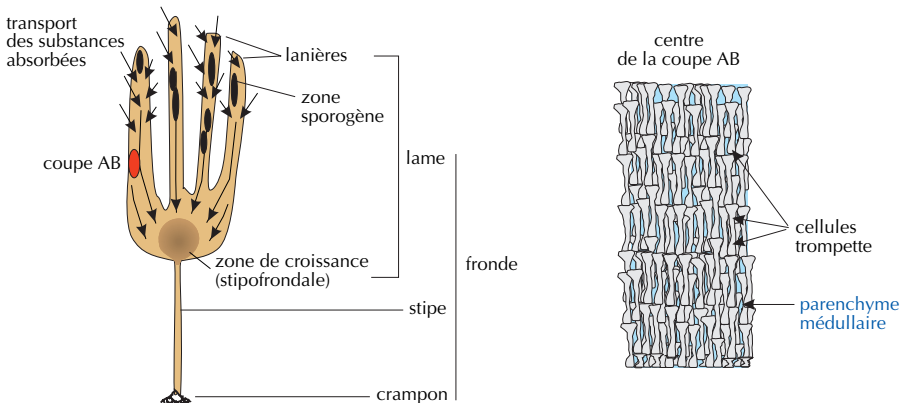


Figure 6 - Migration des substances dans le végétal brun *Laminaria digitata*. Avec une zone de reproduction, une zone méristématique et une zone de fixation bien différenciées, peut-on encore parler de « thalle » ?

L'étude anatomique révèle d'ailleurs, dans la partie médiane de la lame, des files de cellules allongées, renflées aux extrémités et étroites au centre, appelées « cellules trompettes », communicant entre elles par de larges ouvertures. La présence d'un système circulatoire servant au transfert des substances élaborées (sève) est encore plus évidente dans les *Macrocystis* où de véritables tubes centraux conduisent, de la surface vers les parties sous-jacentes et les bourgeons basaux, les produits synthétisés au niveau des folioles flottantes : la fronde adulte alimente ainsi ses propres rejetons.

Certaines espèces d'algues rouges comme les Cérambiales ou les Bonnemaïsoniales disposent d'un système conducteur.

Les aires de production cellulaire, situées chez les Laminariales au sommet des axes ou dans la partie médiane, sont bien localisées et leur rôle parfaitement défini. Il en est de même pour les zones de reproduction, les aires de stockage et les couches photosynthétiques.

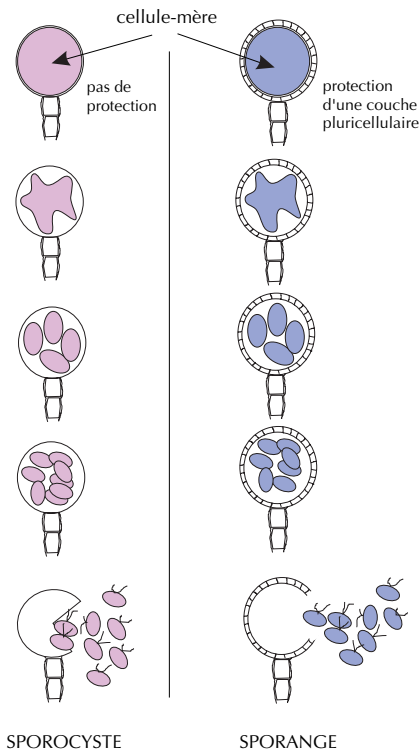


Figure 7 - Comparaison entre la structure de l'appareil reproducteur produisant des spores (sporocystes pour les « algues », sporanges pour les végétaux continentaux). Chez les « algues », il n'y a pas d'enveloppe protectrice pluricellulaire. Cette dernière est toujours présente chez les végétaux continentaux.

La séparation entre la notion de thalle et celle de tige, racine ou feuille, basée sur la présence ou l'absence d'un dispositif de transfert, ainsi que sur l'existence ou non de zones spécialisées, ne peut donc plus être retenue.

Ainsi, la convention définissant les algues comme des végétaux aquatiques, chlorophylliens, thallophytes, avasculaires, valable certes pour quelques espèces, devient totalement caduque lorsqu'on prend en compte l'ensemble du groupe et à mesure qu'augmentent nos connaissances. Il y a en effet des végétaux aquatiques, chlorophylliens (bryophytes, zostères, posidonies) qui ne sont pas considérés comme des algues ; il y a des algues capables de vivre sans chlorophylle ou sans lumière et d'assimiler des substances organiques ; il existe des algues avec vascularisation.

Chez les végétaux continentaux, les éléments de reproduction, gamètes et spores, sont enfermés à l'intérieur d'une paroi pluricellulaire (fig. 7) ; ces « sacs » sont désignés respectivement sous les noms de gamétanges ou de sporanges. Feldmann remarqua que, chez toutes les algues, les gamètes et les spores sont



produits dans des cystes (gamétocystes et sporocystes), c'est-à-dire dans une cellule mère dont la paroi devient la seule enveloppe protégeant les spores ou les gamètes. Il proposa de considérer ce caractère pour identifier le groupe « algues ». Nous verrons plus loin que cette définition ne peut pas être retenue.

L'ensemble végétal aux mille facettes étonne par sa très grande diversité.

**Diversité des formes :** thalles rampants ou dressés, filaments plus ou moins épais et branchus comme les *Ectocarpus*, les *Polysiphonia* ou les *Ceramium*, tubes plus ou moins boudinés comme les *Enteromorpha*, cordons cylindriques des *Solieria* ou aplatis des *Chondrus* (fig. 8), feuilles minces des *Ulva*, des *Monostroma* ou des *Porphyra*, touffes plus ou moins denses d'*Ascophyllum* ou de *Sargassum*, lanières plus ou moins charnues et divisées d'*Himanthalia*, lames entières, godronnées, frangées ou digitées des *Laminaria*.



Figure 8 - Peuplement de *Chondrus crispus* émergeant à marée basse. Cette espèce est récoltée pour la qualité des colloïdes qu'elle fournit. Les différences de teinte sont dues à l'action de l'éclairement solaire ou à une carence en sels azotés, peut-être des deux à la fois.

**Diversité des couleurs :** du jaune olive au jaune paille, du rose clair au rouge cerise, du bleu ciel au bleu marine, du doré au brun ou au marron, vert de toutes nuances. Quelques espèces comme *Cystoseira* ou *Laurencia* s'égayent même de teintes irisées variant avec les mouvements de la plante.

**Diversité des biologes :** certaines algues vivent par 150 m de fond, d'autres près de la laisse de haute mer ; quelques-unes ont besoin d'un fort éclairement ; d'autres ne se développent que dans la pénombre des grottes sous-marines. Telle espèce exige un milieu battu par le ressac alors que telle autre préfère le fond calme des baies abritées. Celle-ci accepte les variations de température, de salinité ou de turbidité alors que celle-là n'y survit pas.

Il est possible de rencontrer toutes sortes de cas en ce qui concerne les structures anatomiques, les processus de croissance, les types de reproduction, les mécanismes métaboliques, les pigments, les substances synthétisées, les stratégies de propagation, les moyens de défense, les processus de résistance.

Devant ce chaos apparent, la question qui vient à l'esprit est la suivante : au moyen de quels critères scientifiques peut-on définir le groupe « algues » ? Ou bien, ce qui revient au même, existe-t-il vraiment un groupe « algues » ?

La meilleure façon pour y voir plus clair consiste à remonter loin, très loin dans le passé, juste après que la vie ait jailli dans la noire obscurité d'une fosse océanique, puis de revenir jusqu'à nos jours, au travers d'une série chronologique de dessins schématisant les principales étapes de l'évolution du monde végétal. Nous pourrions ainsi mieux comprendre comment chaque élément de ce dernier s'est progressivement mis en place.

## La grande aventure du monde végétal chlorophyllien

Il y a quinze milliards d'années, notre univers naissait dans une gigantesque explosion : le Big Bang.

À la suite de cet événement et par une série de hasards, se formait, il y a environ 5 milliards d'années, la planète Terre, assez éloignée du Soleil pour ne pas être soumise à des températures aussi élevées que celles régnant sur Mercure, assez proche cependant pour ne pas subir un froid aussi intense que celui affectant Pluton, assez petite pour que les forces de gravité ne soient pas écrasantes, assez grande cependant pour que l'attraction puisse retenir l'atmosphère initiale composée de gaz carbonique, d'ammoniac, de méthane et de vapeur d'eau. La croûte solide s'établit il y a 4,3 milliards d'années.

Lorsque la température originelle (fig. 9 p. 17) s'abaissa au dessous de 100 °C, la vapeur d'eau se condensa au cours d'un gigantesque déluge (- 4 milliards d'années) en un unique océan profond<sup>4</sup> de 1 à 2 km qui recouvrit la planète. La plaque continentale initiale (ou Pangée) émergea, il y a 3,9 milliards d'années.

C'est sans doute peu après qu'est née la Vie, dans l'obscurité de l'océan, au voisinage de sources thermales sulfureuses où elle put se perpétuer en tirant l'énergie de la transformation des sulfures en soufre, comme continuent à le faire de nos jours les bactéries métallogènes proliférant dans les grands fonds. Des organismes vivants n'auraient pas pu se développer dans les deux cents premiers mètres d'eau.

4. Sur ce point, les avis sont discordants ; selon certains, l'océan initial n'aurait eu que 300 m de profondeur.

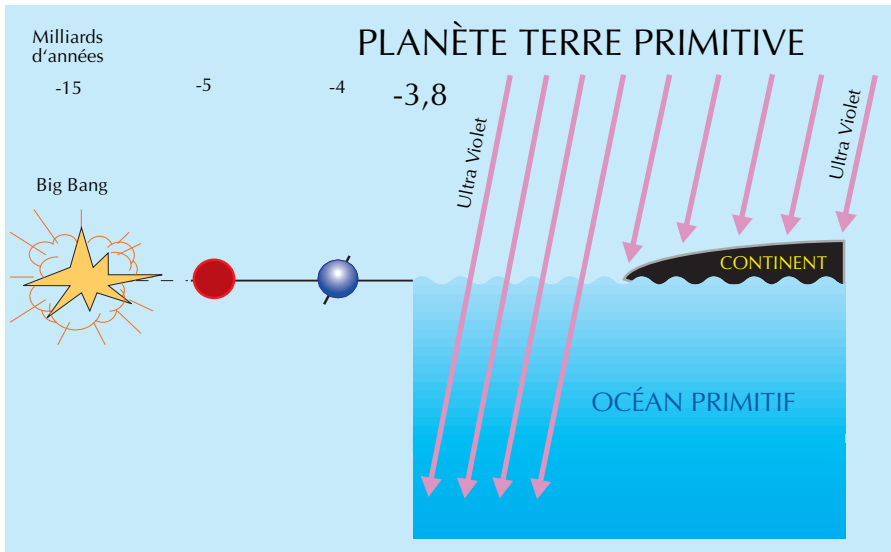


Figure 9 - La planète TERRE près de 10 milliards d'années après le « Big Bang », juste au moment où se sont manifestés les premiers germes de VIE.

Cette zone était maintenue stérile par de puissants rayons ultraviolets de courte longueur d'onde issus de l'astre solaire. À cette période, il n'y avait pas d'oxygène et la couche d'ozone (dérivé de l'oxygène), qui aujourd'hui atténue l'effet de ces radiations, n'existait pas encore.

## L'apparition des Végétaux Bleus

Nous ne savons pas comment a brillé et sous quelle forme s'est manifestée la première étincelle de vie. Mais nous sommes sûrs que les premiers végétaux chlorophylliens étaient déjà présents (fig. 10 p. 18), il y a 3,7 milliards d'années.

Les traces de filaments pétrifiés découvertes dans des formations calcaires dénommées « stromatolithes » (du grec stroma, filament et lithos, pierre (fig. 11 p. 19), en Amérique du Nord, en Australie occidentale (baie de Shark), en Russie, au Sahara, en Chine, en mer Rouge et, plus récemment, en Afrique du Sud, ne laissent subsister aucun doute. C'est dans ce dernier pays qu'elles sont les plus remarquables, particulièrement celles mises à jour par la rivière Umsoli, creusant son lit dans des terrains antécambriens<sup>5</sup> non métamorphiques.

Ces formations se présentent sous forme de monticules ou de dômes. Elles sont le résultat de la précipitation du carbonate de sodium en calcaire (carbonate de calcium) provoquée par des végétaux qui s'y sont englués, laissant ainsi leurs traces

5. Les paléontologues nomment « archéen » le temps qui s'est écoulé entre la formation de la Terre et le Cambrien. Ils y distinguent trois périodes, le préhardéen entre 4,7 et 4 milliards d'années avant notre ère, l'hardéen *stricto sensu* (-4 à -2,5) et le protérozoïque (-2,5 à -0,650).

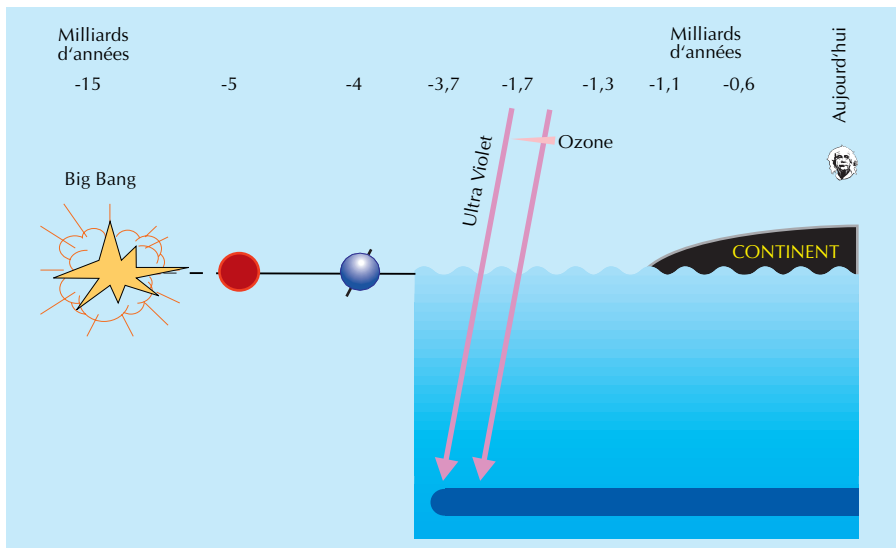
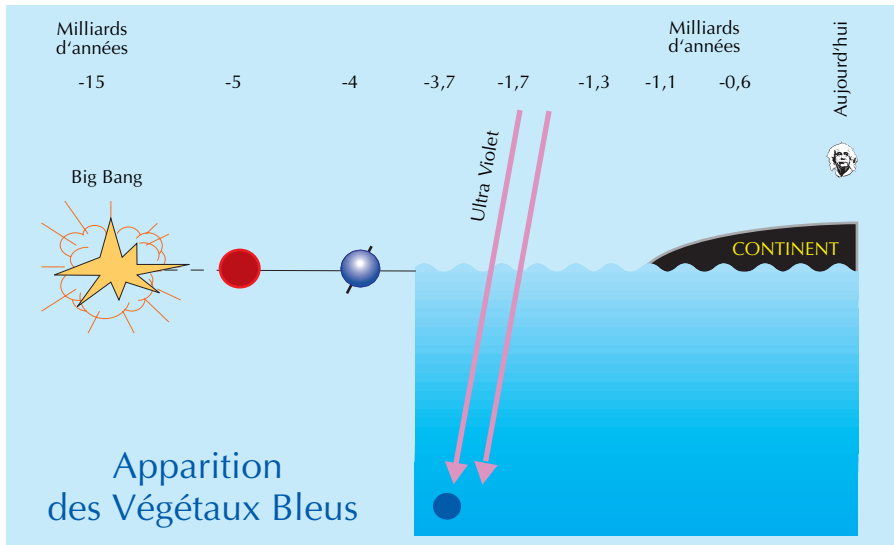


Figure 10 - Apparition, il y a 3,7 milliards d'années (ou 3,7 gyrs: un gyr correspond à  $10^9$  années) du premier groupe végétal chlorophyllien qui va proliférer dans tous les milieux aquatiques de la planète Terre, en dehors de la zone balayée par les rayons ultraviolets hautement biocides provenant du Soleil. Ils furent les premiers organismes à produire de l'oxygène.

pétrifiées. La coupe macroscopique (fig. 11 p. 19) montre des stries qui correspondent au développement plus ou moins rapide de la colonie végétale soumise aux caprices du biotope. Certains de ces stromatolithes ont commencé à s'édifier dès l'apparition des premiers végétaux chlorophylliens. Les plus anciens (Afrique du