

LICENCE 3 - MASTER - CAPES - AGRÉGATION

PARCOURS
LMD



Nathalie BOURGOUGNON, Annette GERVOIS

Les algues marines

Biologie, écologie et utilisation



Chapitre 1. **Diversité des lignées et habitats**

Les macroalgues forment des groupes extrêmement diversifiés d'organismes aquatiques, eucaryotes, multicellulaires, photosynthétiques possédant de la chlorophylle *a*. Elles comprennent des espèces mesurant quelques millimètres à environ 30 m.

Dans les premiers essais de classification, les algues étaient regroupées sous l'appellation de thallophytes, par opposition aux cormophytes, groupe désignant les végétaux organisés avec un système de tige, de racines et de feuilles. Le terme thallophyte, devenu obsolète, n'a pas de réalité phylogénique. En effet, les algues sont disséminées en plusieurs lignées bien distinctes au sein du domaine eucaryote, avec des histoires évolutives bien différentes. Il n'est donc plus question d'un unique « taxon d'algue ».

Certaines macroalgues sont associées aux plantes terrestres ou en sont proches comme les macroalgues vertes et les macroalgues rouges. Les macroalgues brunes se situent parmi les Heteroconta ou Straménopiles sans lien de parenté avec les plantes. Les macroalgues sont donc fortement polyphylétiques. Les figures 1.1 et 1.2 revues et gracieusement cédées par l'Institut de Systématique, Évolution, Biodiversité du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) de Paris représentent les arbres consensus des relations phylogénétiques des grandes lignées des Eucaryotes. Dans la figure 1.1, les macroalgues rouges (Rhodophyta) et vertes (Viridiplantae ou Chloroplastidia) sont présentes au sein des Archeoplastidia, les macroalgues brunes (Phaeophyta) au sein des Straménopiles. La figure 1.2 illustre le lien des macroalgues vertes avec les grandes lignées eucaryotes et montre des histoires évolutives contrastées, indépendantes et très différentes.

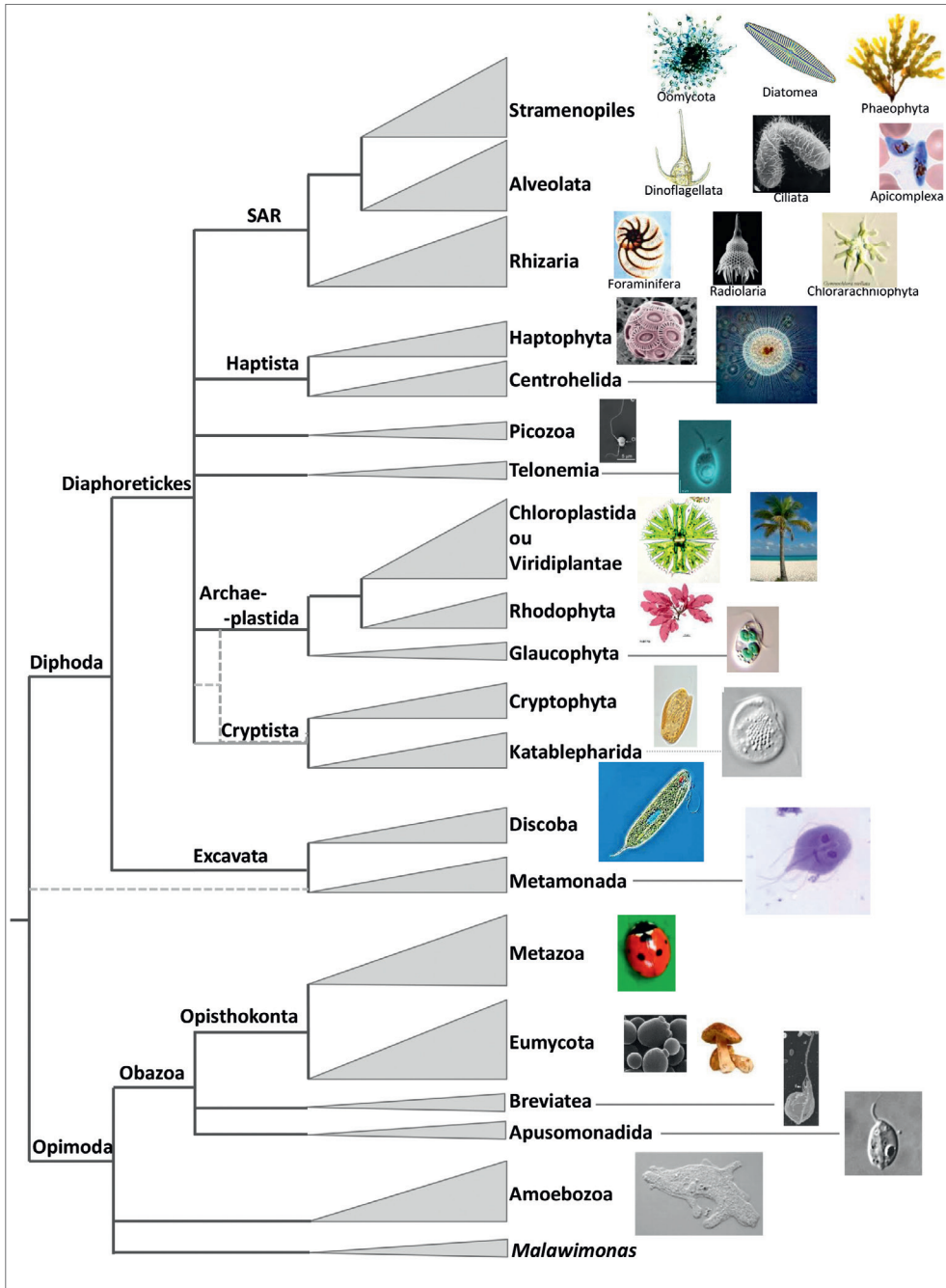


Figure 1.1. Arbre consensus des relations phylogénétiques des grandes lignées des Eucaryotes
 Sources : arbre revu par F. Rousseau (MNHN) d'après Adl *et al.* (2012), Brown *et al.* (2013), Burki *et al.* (2016), Speijer *et al.* (2015).

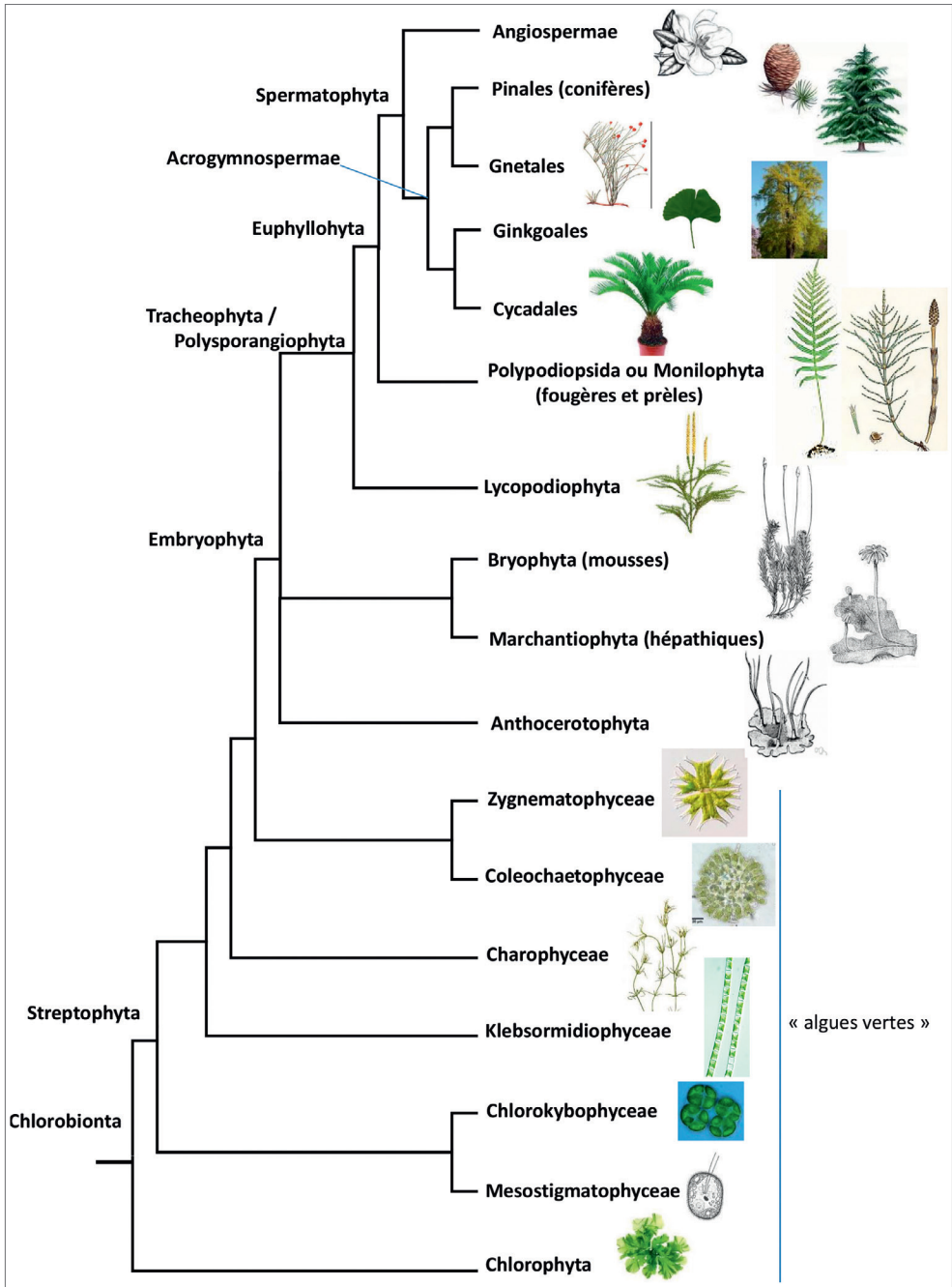


Figure 1.2. Consensus des relations phylogénétiques au sein des Chlorobiontes actuelles
 Sources : Arbre revu par F. Rousseau (MNHN) d'après Angiosperm Phylogeny Website (2017), www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/.

Les algues pluricellulaires rencontrées dans l'océan ou sur l'estran et évoquées dans cet ouvrage appartiennent aux macroalgues brunes (phylum Ochrophyta – Chromobiontes, classe Phaeophyceae), aux macroalgues rouges (phylum Rhodophyta ou Rhodoplantae) et aux macroalgues vertes (phylum Chlorophyta).

Environ 9 000 espèces de macroalgues ont été décrites à travers le monde. De nombreux critères cellulaires permettent de faire la différence entre les différentes lignées : nature des pigments photosynthétiques et des métabolites de stockage d'énergie, constituants de la paroi, construction et orientation d'éventuels flagelles, métabolites secondaires.

1. Endosymbioses et évolution

Les Archaeplastidiées – c'est-à-dire les algues rouges, vertes et les plantes terrestres ont en commun un événement qui leur a permis de réaliser la photosynthèse oxygénique par le phénomène de l'endosymbiose primaire au cours duquel une cyanobactérie proche des *Gloeomargarita* a été endocytée par une cellule eucaryote non photosynthétique (figure 1.3). À l'issue de cette endosymbiose primaire ont donc émergé les algues rouges, les Glaucophytes et les algues vertes. Les Embryophyta auraient évolué probablement à partir d'un ancêtre commun aux algues vertes entre 400 et 500 Ma. Les Chlorobionta et les Streptobiontes (Embryophytes, Charophyceae, Zygnematophyceae et Coleochaetophyceae) constituent aujourd'hui le groupe des Viridiplantae ou Chlorobionta.

Les algues brunes ont une histoire évolutive différente, car elles ont acquis la capacité à réaliser la photosynthèse par un événement d'endosymbiose secondaire. Les autres lignées comme les cryptophytes, les haptophytes, les algues brun-dorées et les Dinophytes, sont des eucaryotes mais elles ne présentent pas de liens de parenté directs avec les plantes terrestres. Les lignées issues d'endosymbioses secondaires voire tertiaires proviennent de la rencontre d'un eucaryote primitif non photosynthétique et d'une algue unicellulaire rouge, elles comprennent les lignées Alvéolés, Ochrophytes au sein des Straménopiles, Cryptophytes et Haptophytes. Issues d'une endosymbiose avec une algue unicellulaire verte, les lignées sont regroupées au sein des Euglenophyceae et des Rhizaria (figure 1.3).

Les macroalgues brunes, comme les Oomycètes et les Diatomophyceae appartiennent au phylum des Straménopiles. L'émergence du groupe des Eucaryotes Straménopiles daterait de plus d'un milliard d'années. Les macroalgues brunes se présentent comme la seule lignée du groupe ayant acquis la multicellularité complexe. Elles ont évolué indépendamment des Archaeplastida incluant les plantes terrestres, les algues vertes et rouges.

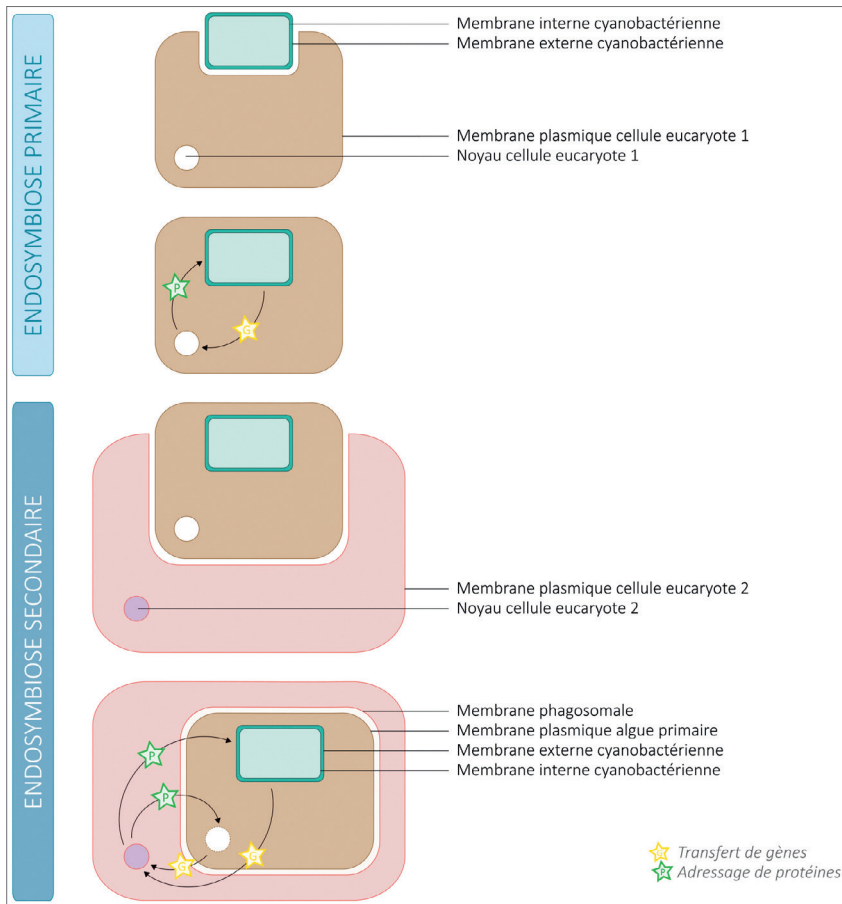


Figure 1.3. Mécanismes simplifiés des endosymbioses

L'endosymbiose primaire correspond à l'incorporation d'une Cyanobactérie par un organisme eucaryote hétérotrophe. Elle a conduit à l'apparition des algues rouges, des Chlorobiontes correspondant aux algues vertes et aux plantes terrestres, et des Glaucophytes. Les plastes présentent ainsi deux membranes en lien avec les membranes interne et externe de la cyanobactérie. Au cours de cette étape, on peut observer des pertes importantes d'information génomique et le transfert massif de gènes du génome cyanobactérien vers le noyau de l'hôte. L'endosymbiose secondaire correspond à l'incorporation d'une algue rouge ou verte par des eucaryotes hétérotrophes mais différents de ceux impliqués dans l'endosymbiose primaire. L'endosymbiose secondaire d'une algue verte a entraîné l'apparition de trois types d'organismes : les Euglénophyceae, les Chlorarachniophyceae (Rhizaria), et certains dinoflagellés. L'endosymbiose impliquant une algue rouge a conduit à l'apparition des cryptophytes, des haptophytes, de dinoflagellés et des straménopiles. On parle des algues brun-dorées. Ces organismes contiennent des plastes à quatre membranes. Les deux membranes internes correspondent aux deux membranes du plaste primaire (la cyanobactérie de l'endosymbiose primaire), la troisième membrane correspond à celle de l'algue endosymbiotique et enfin la quatrième dérive de la vacuole phagocytaire de l'hôte. Chez les straménopiles comme chez les haptophytes, la membrane la plus externe est continue au réticulum endoplasmique et à l'enveloppe nucléaire. Lors des endosymbioses, le noyau de l'algue incorporée est souvent réduit.

Les Straménopiles représentent un groupe très diversifié en taille, ils sont caractérisés notamment par la présence de deux flagelles, l'un plumeux avec des mastigonèmes tubulaires et l'autre lisse. De plus, ils comportent des organismes hétérotrophes (Oomycètes) et photosynthétiques. Les organismes photosynthétiques correspondent aux Ochrophytes incluant des algues unicellulaires comme les Diatomophyceae, les Eustigmatophyceae, les Chrysophyceae, les Chrysomerophyceae, ou les Xanthophyceae mais également des grandes algues brunes ou Phaeophyceae présentes sur nos estrans.

De nombreux travaux de recherche bousculent régulièrement la taxonomie des algues grâce aux outils moléculaires et aux études génétiques. Il est prudent de s'informer régulièrement.

2. Présentation des principaux phyla de macroalgues

2.1. Les macroalgues vertes

Les Embryophytes et les macroalgues vertes appartiennent à un même taxon monophylétique : les Chlorobionta. Les macroalgues vertes sont regroupées dans le phylum Chlorophyta, avec plus de 6 000 espèces décrites. Les Chlorophyta datent d'au moins 600 Ma. Les Bryopsidales (y compris les genres *Bryopsis*, *Codium* et *Derbesia*) et les Dasycladales (y compris *Dasycladus*, *Acetabularia*) existeraient depuis au moins 400-500 Ma.

Elles sont distribuées à l'échelle mondiale dans les eaux douces ou salines. On peut les rencontrer également dans les sols des vasières ou sur les murs d'habitations des régions tempérées. Elles se développent, pour 90 %, principalement en eaux douces. Les genres appartenant aux Caulerpales, Dasycladales, et Siphonocladales et aux Ulvales (avec plus de 1 000 espèces) dominent dans les écosystèmes marins au niveau des zones côtières peu profondes. Elles sont fréquentes dans les écosystèmes eutrophisés en raison de leur forte tolérance à un niveau élevé de nutriments.

Les algues vertes pluricellulaires présentent des appareils végétatifs d'aspects variés : en filaments cellulaires simples ou ramifiés (*Cladophora*), en lames uni- ou bi-stratifiées (*Ulva*), en filaments formés d'articles plurinucléés ou siphonnés fréquemment associés entre eux (*Codium*, *Halimeda* ou *Udotea*). *Halimeda* (figure 1.4) et *Udotea* présentent un appareil végétatif calcifié (encart 1.1 et 1.2).

Les flagelles sont au nombre de 2, 4 et organisés par paire. Ils sont de même taille (disposition isocontée). On peut également observer des flagelles en couronne (disposition stéphanocotée). Selon les genres, les cellules présentent un ou plusieurs plastes pariétaux à deux membranes riches en chlorophylle *a* et *b*, de la lutéine et de la néoxanthine. La paroi des algues vertes est caractérisée par un ensemble complexe de polysaccharides fibrillaires et matriciels qui sera abordé dans le chapitre suivant.



Figure 1.4. *Halimeda macroloba*, Chlorophyta, Halimedaceae
Cliché Rexie Magdugo, Indonésie, 2017.

Les algues calcaires

Les macroalgues vertes *Halimeda* (figure 1.4), *Udotea*, et *Rhipidosiphon* ont la particularité d'incorporer du carbonate de calcium. Par cimentation progressive, l'incorporation de calcium entraîne l'édification d'édifices coralliens. Chez les algues rouges de la famille *Corallinaceae*, on rencontre aussi des formes entièrement calcifiées encroûtantes (*Mesophyllum*, *Lithophyllum*), semblables à de petites pierres, en anglais de *Crustose Coralline Algae*, ou plus dressées non-articulées (*Hildenbrandia rubra*, *Lithothamnion*) et articulées (*Corallina*, figure 1.5). Chez ces dernières, la calcification a été interrompue plus ou moins régulièrement le long de l'appareil végétatif laissant apparaître des zones souples appelées articulations. Les *Corallinaceae* stockent ainsi du carbone au cours de la photosynthèse et de la calcification de l'appareil végétatif. Les espèces *Jania* spp., *Amphiroa* spp., *Halimeda* spp. relativement friables participent à la formation de sable. À l'échelle de l'océan, on peut dire aujourd'hui que les algues calcaires constituent une des grandes formes de stockage de carbone dans la biosphère.

Ces algues calcaires sont à l'origine d'habitats où de nombreux organismes vont se fixer et se développer comme dans le cas des coraux. Les algues calcaires offrent un support nutritif à un ensemble d'organismes brouteurs (poissons, oursins, patelles...), elles créent des refuges en abritant au sein de micro-anfractuosités une microflore et une microfaune diversifiées. Le mode et l'étendue de la calcification varient considérablement chez les macroalgues calcaires.