

Diversité et position systématique des macroalgues

*Université Pierre et Marie Curie
Station Biologique de Roscoff*

Juillet 2011

Christophe Destombe

Rappels

La systématique:

Méthode de classification biologique des êtres vivants fondée sur les **ressemblances** entre individus

Postulat: le monde vivant n'est pas un assemblage au hasard d'individus mais est constitué de **groupes** d'individus distincts, plus ou moins facilement reconnaissables, et qui peuvent être **hiérarchisés**.

Initialement basée sur des critères morphologiques [classification de Linné], elle prend en compte aujourd'hui l'évolution des espèces [systématique phylogénique].

La systématique

Définition :

*Science des êtres vivants ayant pour objet leur classification **rationnelle** et l'établissement d'une **nomenclature** aux règles **universelles** et fixes. Le rang d'un groupe dans la systématique se reconnaît à la désinence de son nom. Pour un groupe de même extension, cette désinence est trop souvent différente selon qu'il s'agit des animaux ou des plantes.*

Librairie Larousse (1980)

❖ Carl von Linné (1750)

↪ **nomenclature binominale**

↪ **notion de rangs**



Le code de nomenclature botanique

(Voss 1983)

<i>Rangs</i>	<i>désinences</i>
Division-Embranchement- Phylumphyta
Classephyceae
Sous classephycidae
Familleaceae
Ordreales
Genre, espèce	

Historique

Quelques précurseurs de la classification.....

❖ de Candolle (1813)

↪ taxonomie

(80 000 espèces)



❖ Aristote (- 355)

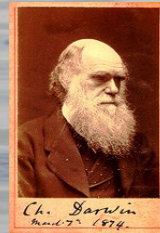
↪ classification



❖ Lamarck (1809)



❖ Darwin (1872)



↪ évolution (filiation)

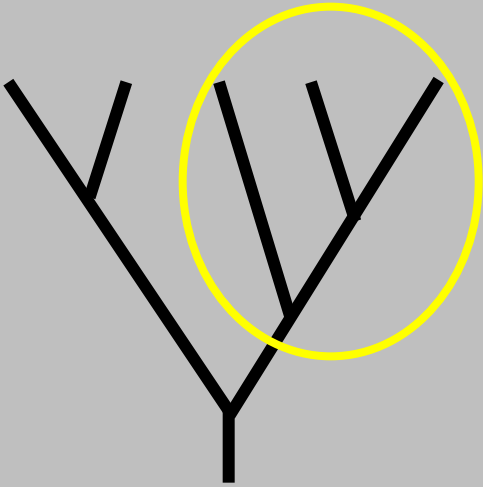
↪ systématique phylogénétique
(cladogrammes)

Les **classifications modernes** sont « phylogénétiques », c'est-à-dire qu'elles distinguent des groupes – dits **monophylétiques** – qui réunissent chacun un ancêtre commun et toute sa descendance. Cette méthode tente de retrouver le **scénario historique de l'évolution**.

Systematique phylogénétique

L'histoire du vivant est souvent représenté sous la forme d'arbres phylogénétiques, où des noeuds représentent des espèces ancestrales qui ont divergé en deux rameaux, portant chacun les espèces qui en sont issues.

groupe monophylétique



Les arbres sont par nature mouvants suivant le degré de connaissance du clade étudié

Cette vision rend compte de nombreux cas de spéciation, mais elle omet le rôle de phénomènes qui impliquent la fusion de matériels génétiques provenant d'espèces différentes.

.....

- classification arbitraire.....

↳ critères et caractères utilisés

↳les taxons de même rang n'ont rien en commun

exemple: le genre *Homo* (1 seule espèce vivante) et *Drosophila*
(plus de 1500 espèces)

↳ les bactéries: un critère moléculaire

Les algues?

- « *Algae: organismes fixés au substrat et vivant en milieu aquatique* » Linné (1758)
 - les algues... mais aussi les éponges, les coraux et les hépatiques...
 - Pas de classification à l'intérieur du groupe des algues !
- *Classification des algues d'après leur couleur* (Lamouroux 1813)
 - Idée reprise par (Harvey 1836)*
 - Melaospermae (**brun noir**)
 - Rhodospermae (**rouge**)
 - Chlorospermae (**vert**)
 - Diatomaceae (**doré**)



Cette classification sera utilisée jusque dans les années 1970

- ***Exemple: la classification de Pascher (1931)***

Algues rouges

Rhodophyta

Algues brun doré

Chromophyta

Cryptophyta

Algues vertes

Chlorophyta

Algues bleues

Cyanophyta

↳ procaryotes

Les algues dans les classifications du vivant d'après les critères morphologiques

Classification de Linné: 2 règnes

(basée principalement sur les mouvements):

Plantes **V**, **B**, **R**, **Bl**

Animaux

Classification de Copeland (1956): 4 règnes

(présence de noyau et complexité morphologique)

Monères **Bl**

Protoctistes **V**, **B**, **R**

Plantes

Animaux

Classification de Whittaker (1969): 5 règnes

(présence de noyau et complexité morphologique, mode de nutrition)

Monères **Bl**

Protistes **B**, **V**

Plantes **V**, **B**, **R**

Champignons

Animaux

Les algues dans les classifications du vivant d'après les critères morphologiques

Classification de Margulis (1988): 5 règnes

(présence de noyau et complexité morphologique, mode de nutrition)

Monères **BI**

Protistes **B, V**

Plantes **V, B, R**

Champignons

Animaux



Classification de Leedale (1974): 13 règnes

(Grand nombre de caractères morphologiques, cytologiques, biochimiques etc.)

Monères

Algues rouges

Plantes

Euglénoides

Myxomycetes

Champignons

Eustigmatophytes

Haptophytes

Cryptomonades

Hétérocontes

Dinoflagellés

Mesozoaires

Animaux

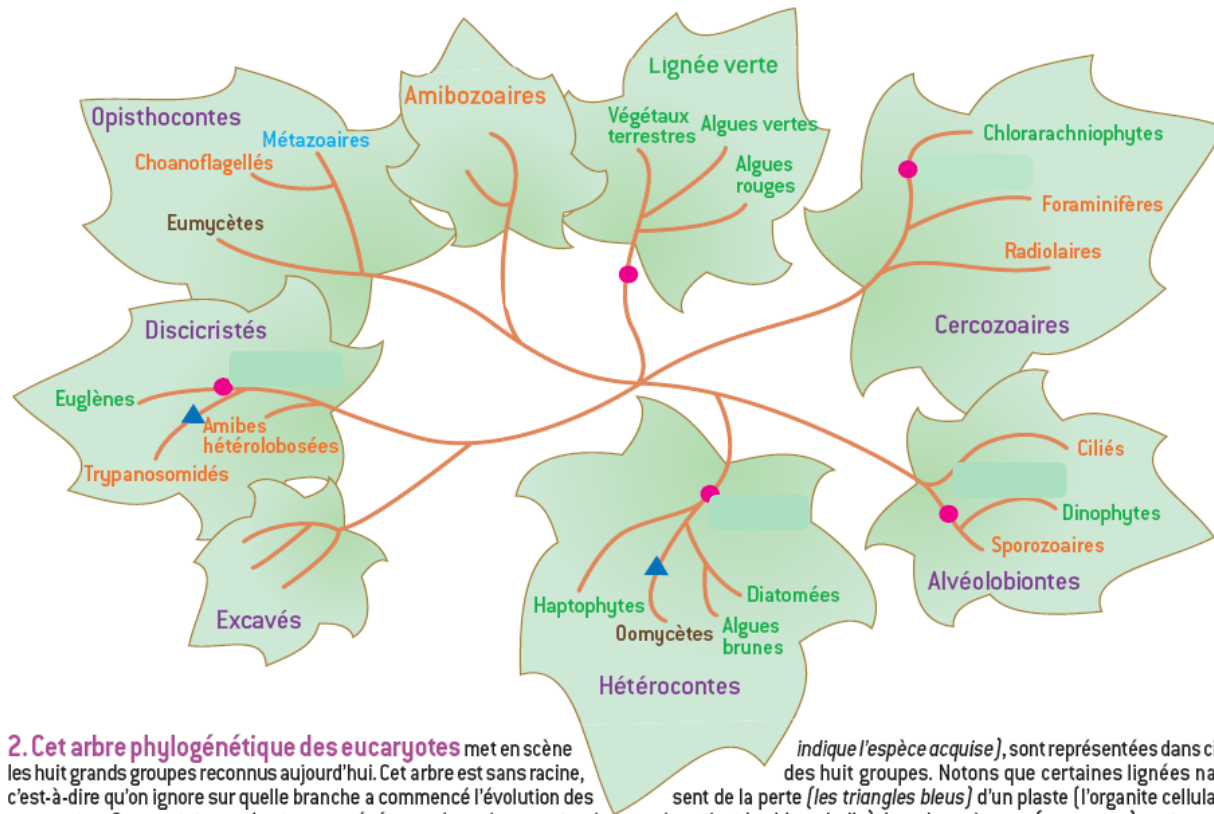
↪ Eucaryotes

8/12 (66%)

↪ **Reflet de la complexité des algues**

Les algues dans les classifications des eucaryotes d'après la systématique moléculaire

(ADN ribosomique: marqueur nucléaire)



8 grands groupes

5 groupes
photosynthétiques
(62.5%)

2. Cet arbre phylogénétique des eucaryotes met en scène les huit grands groupes reconnus aujourd'hui. Cet arbre est sans racine, c'est-à-dire qu'on ignore sur quelle branche a commencé l'évolution des eucaryotes. On constate que les termes végétaux, champignons et animaux ne correspondent pas à un groupe monophylétique (un ancêtre et tous ses descendants). Ainsi, les lignées qui ont « adopté » la photosynthèse (en vert), par suite d'endosymbiose (les ronds roses, le nom

indique l'espèce acquise), sont représentées dans cinq des huit groupes. Notons que certaines lignées naissent de la perte (les triangles bleus) d'un plaste (l'organite cellulaire qui contient la chlorophylle). Les champignons (en marron) sont constitués de deux lignées éloignées. Enfin, les animaux regroupent traditionnellement les métazoaires (en bleu) et les protozoaires (en orange), qui sont éparpillés dans l'arbre.

Selosse 2006 Pour la science

Les algues ne forment pas un groupe monophylétique

La théorie endosymbiotique



1905

Konstantin Mereschkowsky

Théorie de la « symbiogenèse » selon laquelle la fusion de deux organismes est le moteur de l'évolution.

Faute de preuves, cette théorie tombe ensuite en désuétude.



1970

Lynn Margulis

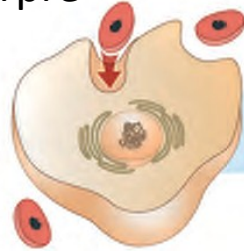
L'origine des cellules eucaryotes

Certaines parties des cellules eucaryotes sont des bactéries qui vivaient en symbiose dans les cellules (relation réciproquement bénéfique avec leur hôte) ; elles seraient transmises de génération en génération.

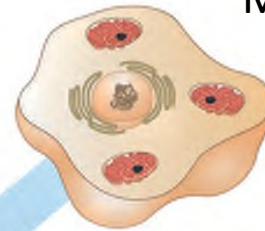
Cette théorie « endosymbiotique » est aujourd'hui largement acceptée.

La théorie endosymbiotique

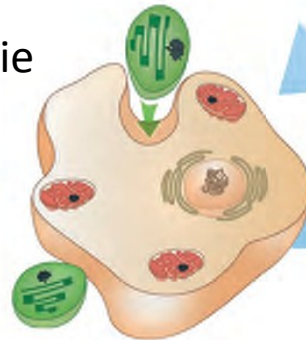
Bactérie *alpha* pourpre



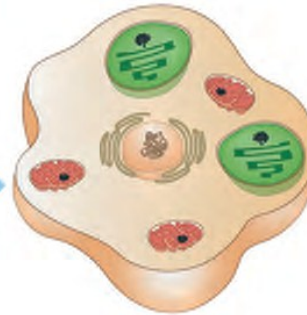
Mitochondrie



Cyanobactérie



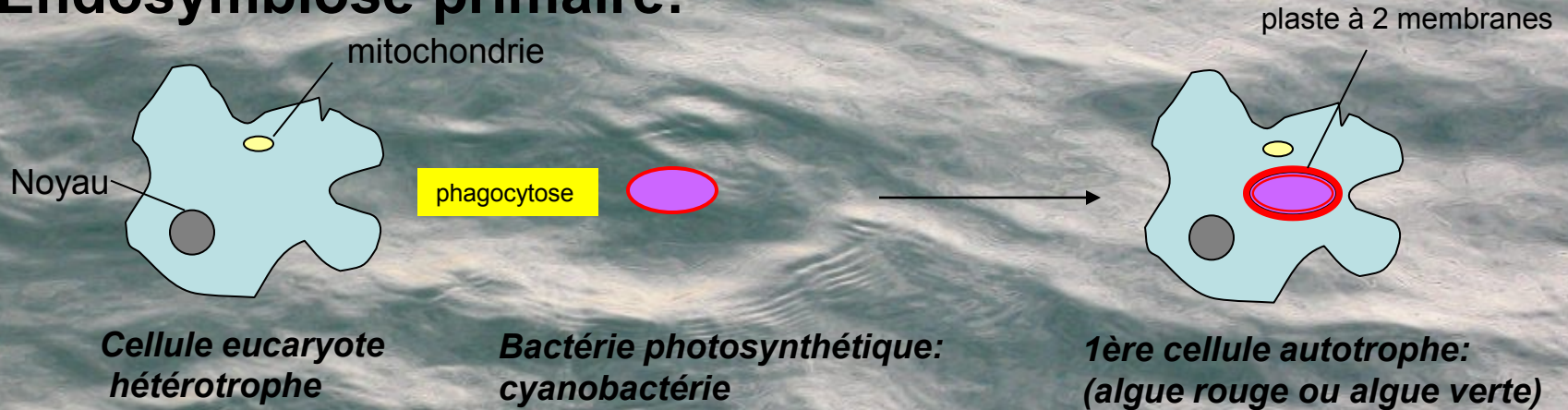
Chloroplaste



D'après Selosse 2011 Pour la Recherche

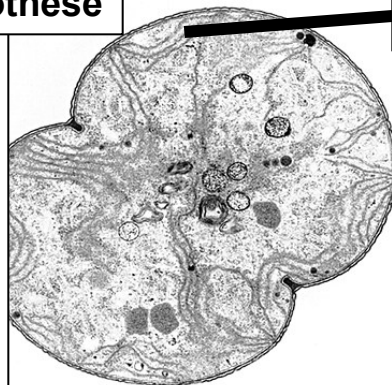
Les hypothèses endosymbiotiques

Endosymbiose primaire:



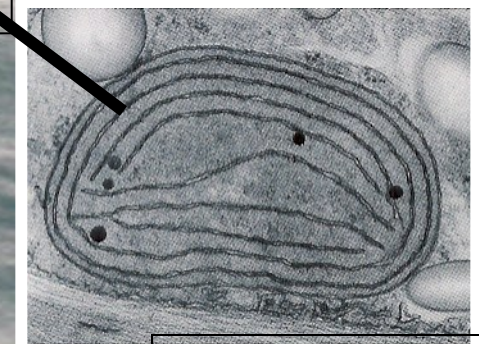
Arguments en faveur de cette hypothèse

- bipartition (Schimper 1883)
- membranes photosynthétiques: thylakoïdes avec phycobilisomes
- même photosynthèse
- ADN dans le plaste (1 à 100 fois moins que les cyano)
- double membrane entourant le plaste
- Biologie moléculaire (même zone promotrice)
- nombreuses symbioses



Cyanobactérie

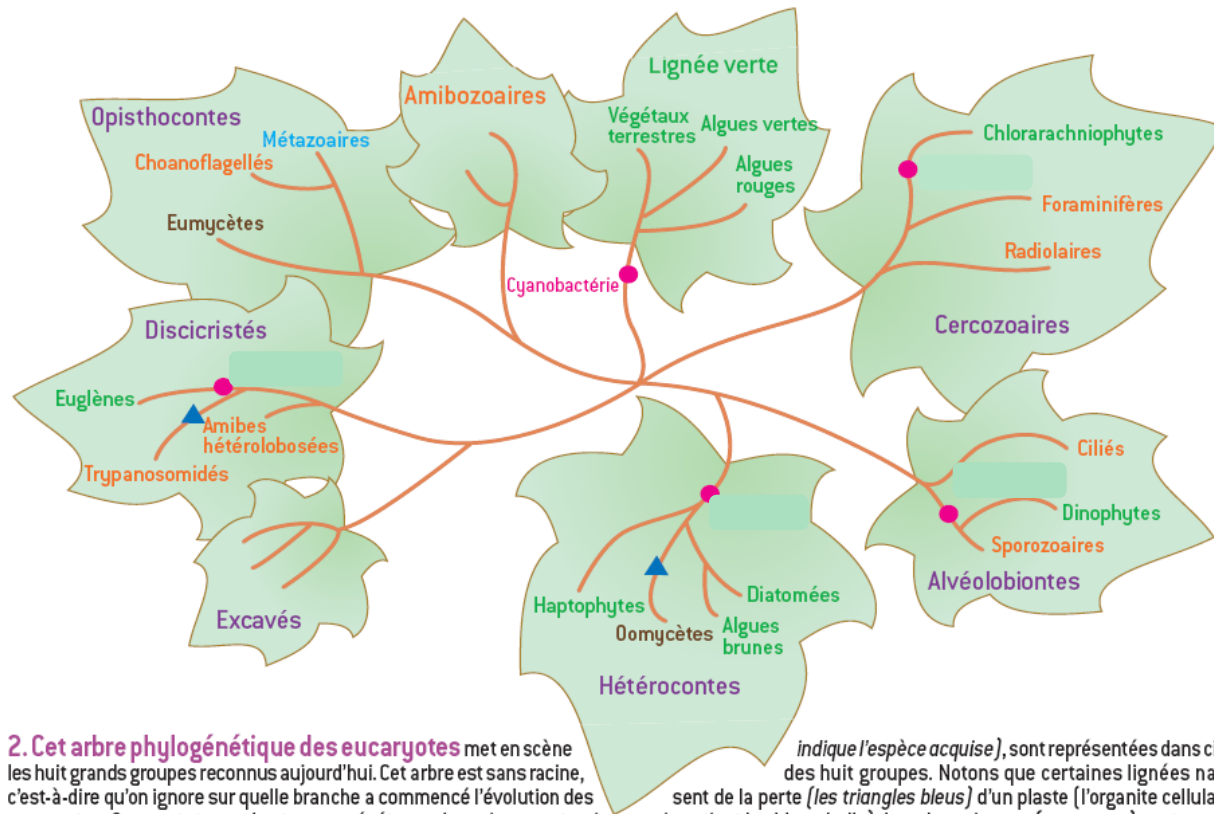
thylakoïde



Plaste d'algue rouge

Les algues dans les classifications des eucaryotes d'après la systématique moléculaire

(ADN ribosomique: marqueur nucléaire)



2. Cet arbre phylogénétique des eucaryotes met en scène les huit grands groupes reconnus aujourd'hui. Cet arbre est sans racine, c'est-à-dire qu'on ignore sur quelle branche a commencé l'évolution des eucaryotes. On constate que les termes végétaux, champignons et animaux ne correspondent pas à un groupe monophylétique (un ancêtre et tous ses descendants). Ainsi, les lignées qui ont « adopté » la photosynthèse (en vert), par suite d'endosymbiose (les ronds roses, le nom

indique l'espèce acquise), sont représentées dans cinq des huit groupes. Notons que certaines lignées naissent de la perte (les triangles bleus) d'un plaste (l'organite cellulaire qui contient la chlorophylle). Les champignons (en marron) sont constitués de deux lignées éloignées. Enfin, les animaux regroupent traditionnellement les métazoaires (en bleu) et les protozoaires (en orange), qui sont éparpillés dans l'arbre.

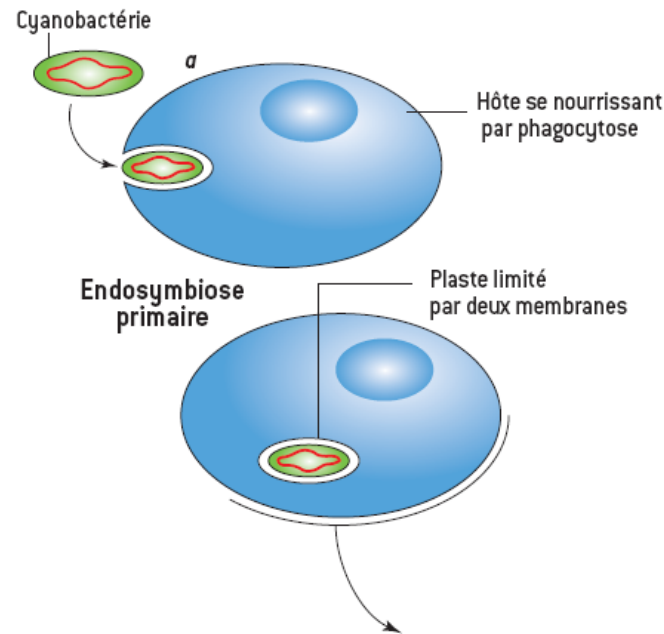
Selosse 2006 Pour la science

8 grands groupes

5 groupes
photosynthétiques
(62.5%)

Endosymbiose primaire à l'origine de la lignée verte

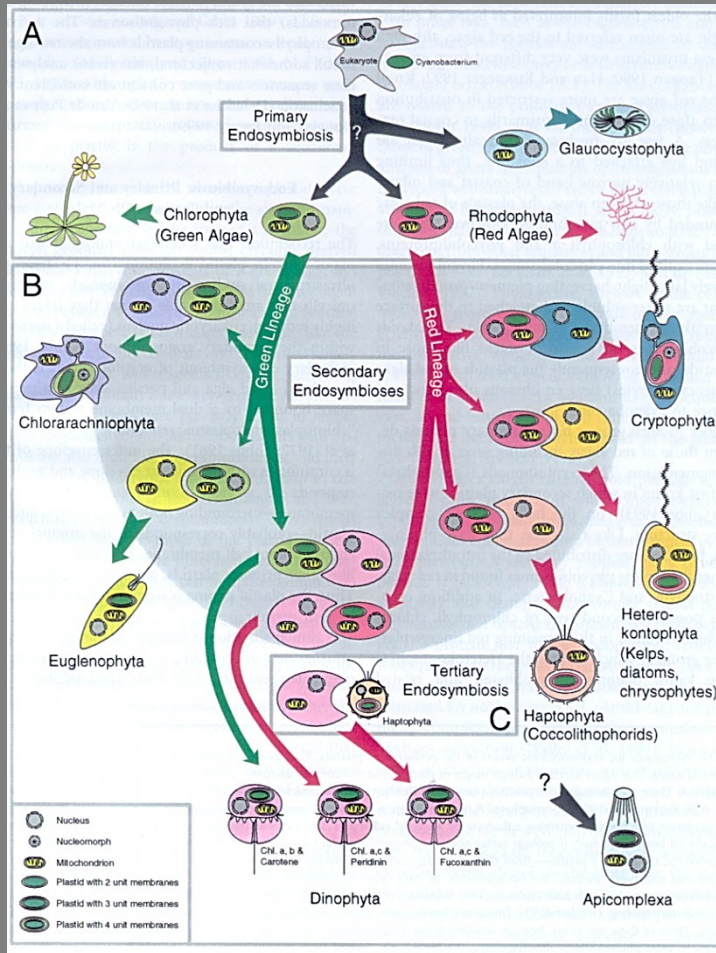
Les différentes endosymbioses



3. L'endosymbiose est le processus par lequel une cellule photosynthétique est incorporée à l'intérieur d'une autre et devient un plaste, c'est-à-dire un organe de celle-ci. Ce phénomène s'est produit à diverses reprises chez les eucaryotes, notamment par l'internalisation de cyanobactéries (*a*, en rouge son génome) : c'est l'endosymbiose primaire, à l'origine de la lignée verte (dont les végétaux terrestres). Cependant, d'autres ont pu phagocyter des cellules eucaryotes déjà pourvues

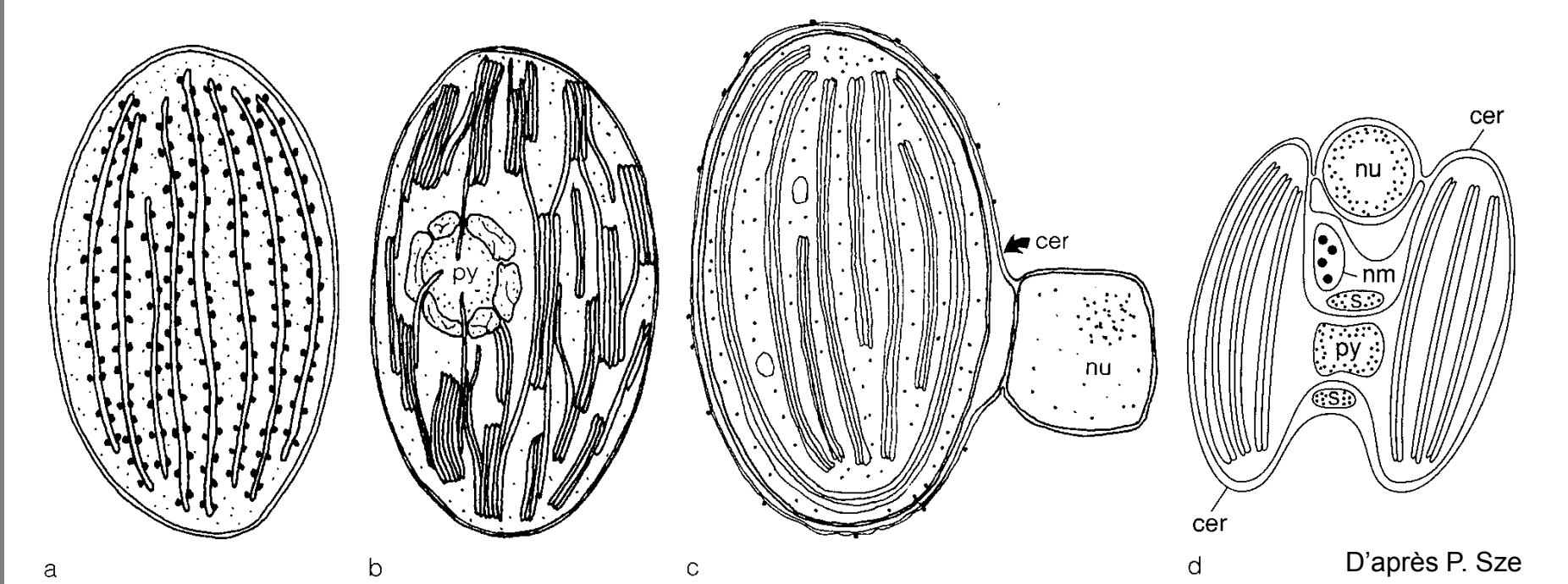
d'un plaste (*b*, on parle d'endosymbiose secondaire). Les hétérocontes et les euglénophytes sont apparus de cette façon. Enfin, dans le cas d'une endosymbiose tertiaire (chez certains dinophytes), un des eucaryotes précédents a été internalisé à son tour pour devenir le plaste d'une autre cellule. À chaque fois, le génome de la cyanobactérie d'origine est conservé, du moins en partie. Par ailleurs, certaines membranes des plastes sont parfois éliminées : trois ou quatre demeurent.

D'après Selosse 2011 Pour la Recherche



Delwiche (1999) *The American Naturalist* 154 suppl.: 164-177

Principaux types de plastides chez les algues



Rhodophyta
Algues rouges

Chlorophyta
Algues vertes

Algues brunes

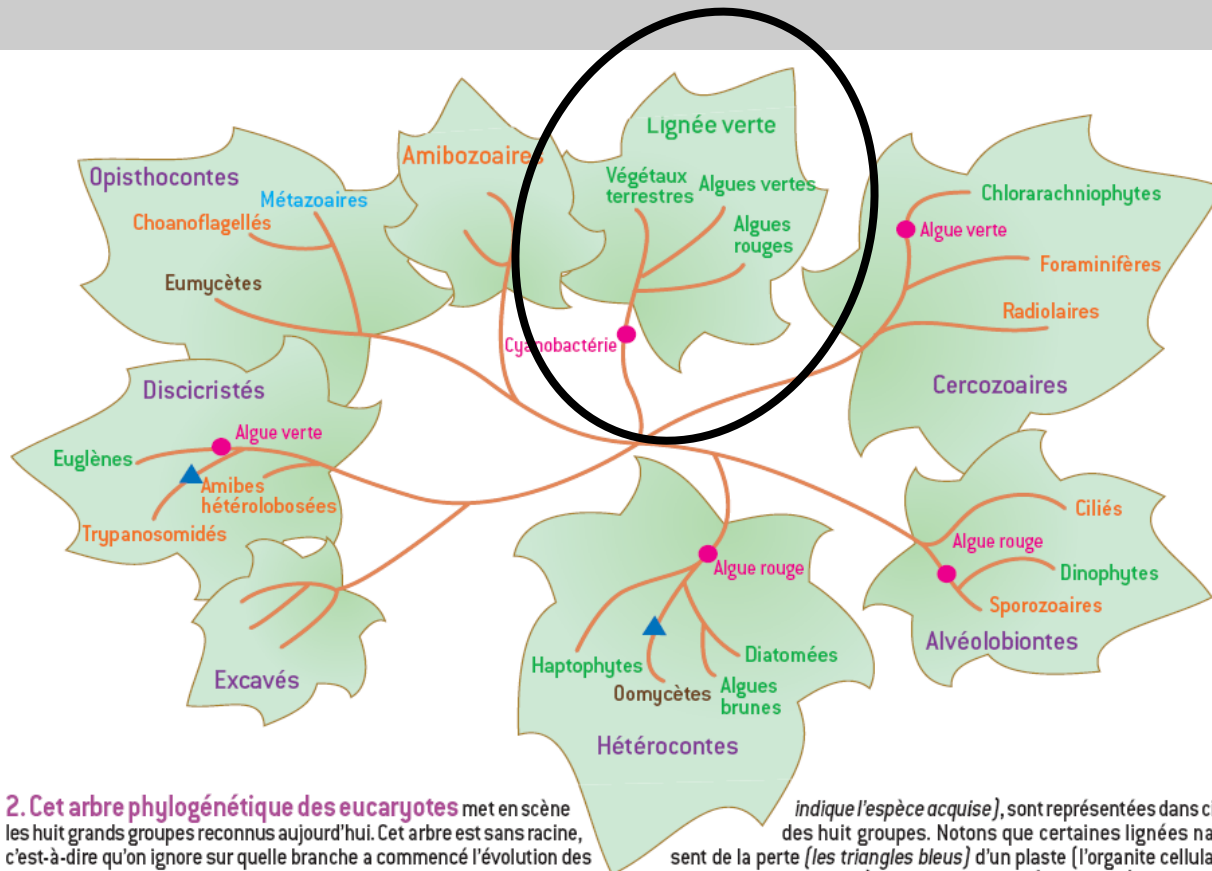
Cryptophytes

Endosymbiose I

Endosymbiose II

Les algues dans les classifications des eucaryotes d'après la systématique moléculaire

(ADN ribosomique: marqueur nucléaire)



8 grands groupes

5 groupes
photosynthétiques
(62.5%)

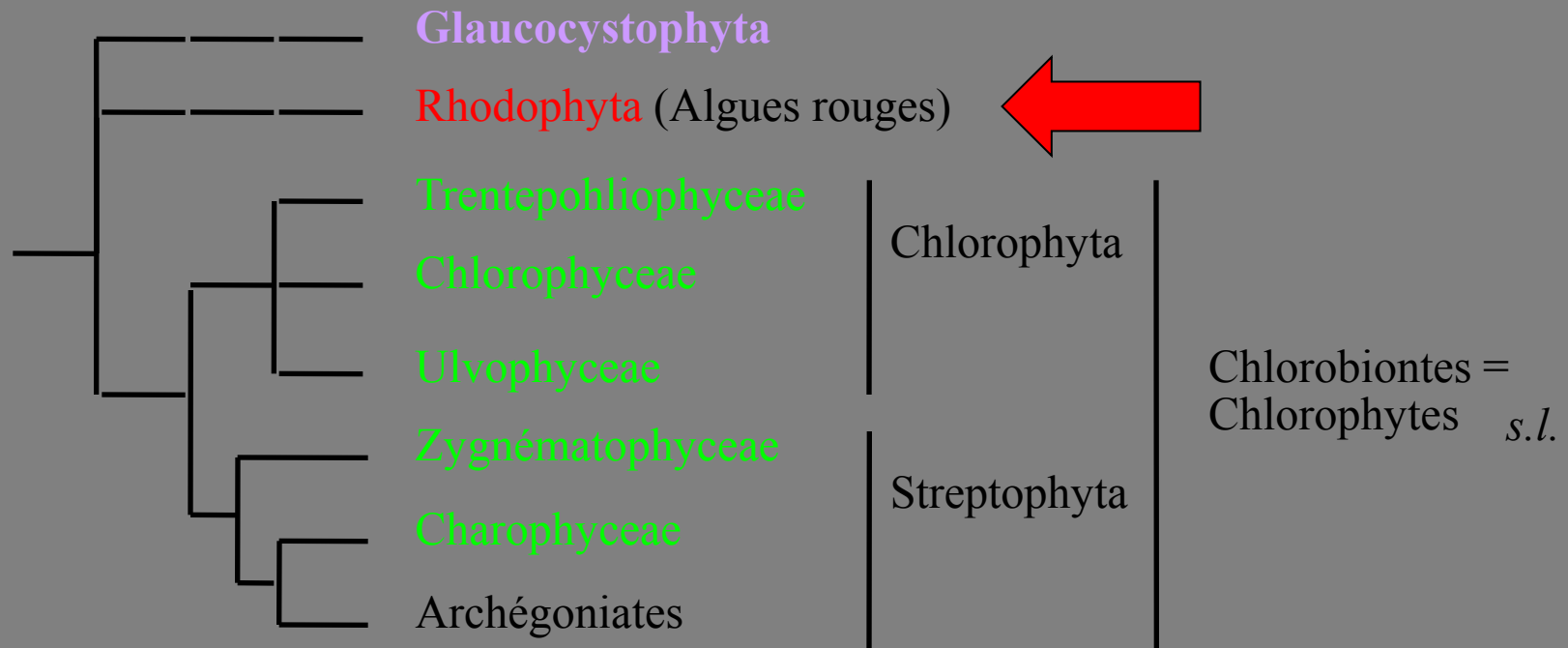
2. Cet arbre phylogénétique des eucaryotes met en scène les huit grands groupes reconnus aujourd'hui. Cet arbre est sans racine, c'est-à-dire qu'on ignore sur quelle branche a commencé l'évolution des eucaryotes. On constate que les termes végétaux, champignons et animaux ne correspondent pas à un groupe monophylétique (un ancêtre et tous ses descendants). Ainsi, les lignées qui ont « adopté » la photosynthèse (en vert), par suite d'endosymbiose (les ronds roses, le nom

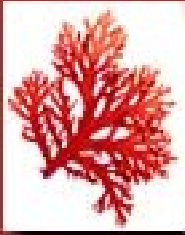
indique l'espèce acquise), sont représentées dans cinq des huit groupes. Notons que certaines lignées naissent de la perte (les triangles bleus) d'un plaste (l'organite cellulaire qui contient la chlorophylle). Les champignons (en marron) sont constitués de deux lignées éloignées. Enfin, les animaux regroupent traditionnellement les métazoaires (en bleu) et les protozoaires (en orange), qui sont éparpillés dans l'arbre.

Selosse 2006 Pour la science

Endosymbioses secondaires et tertiaires: grande diversité des algues

Chlorobiontes et Rhodobiontes





Division RHODOPHYTA

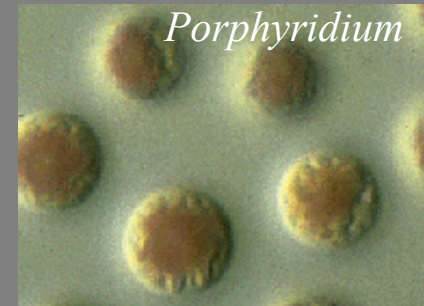
Rhodophytes

600 genres

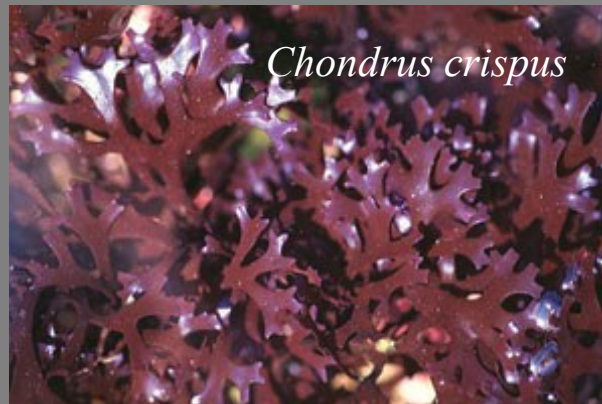
Bangiophyceae

Prophyridiales

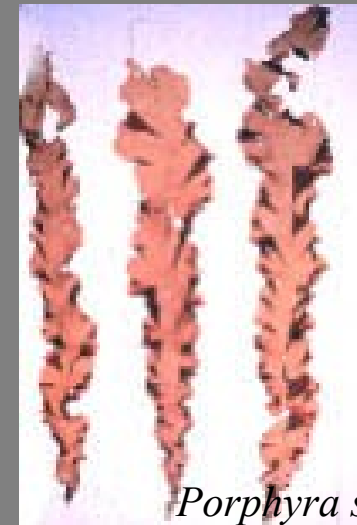
Bangiales



Florideophyceae

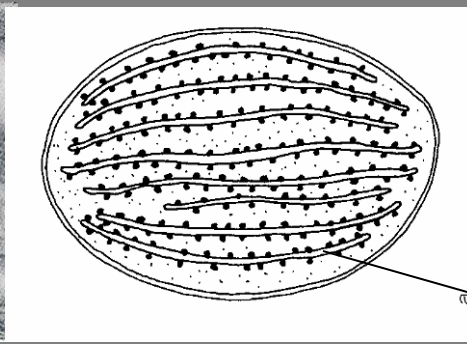
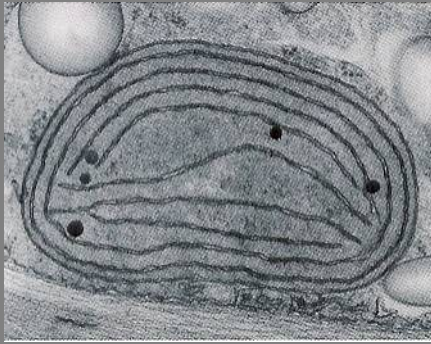


Chondrus crispus



Porphyra sp.

Plaste d'algue rouge



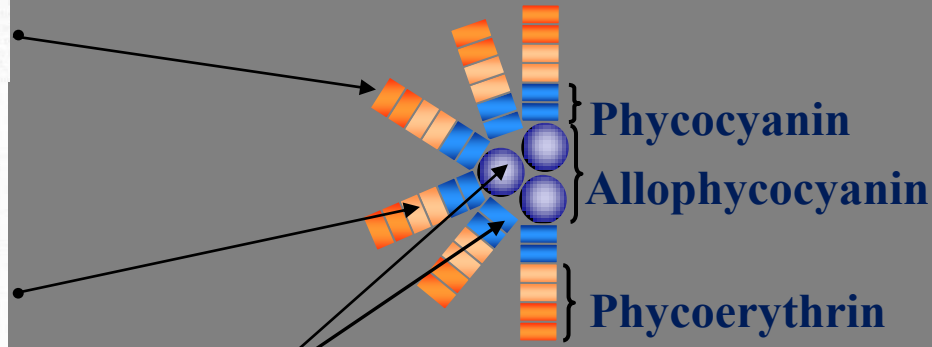
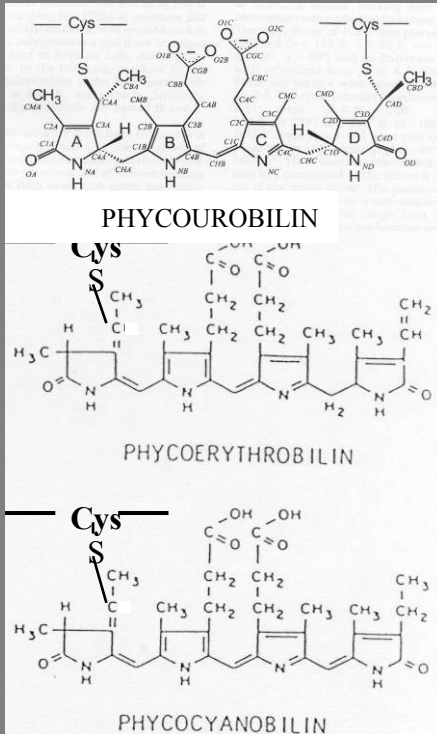
Phycobilisome

Pigments

- Chlorophylle a
- Carotènes α, β
- Lutéine
- Zeaxanthines
- Pigments hydrosolubles

Thylacoïdes: libres

Pigments liés aux Phycobilisomes (*Rhodophyta* et *Cyanophyta*)



Caractéristiques des algues rouges

Groupe très ancien

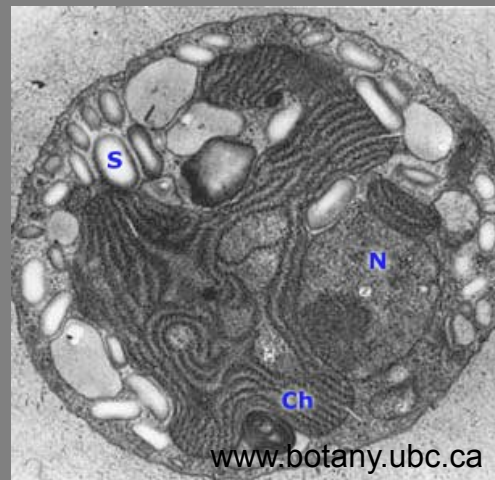
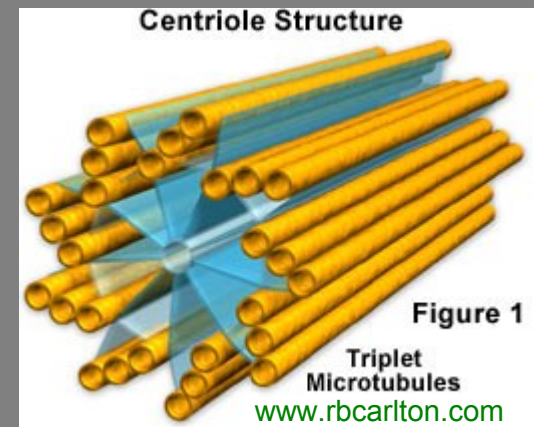
- très grande diversité

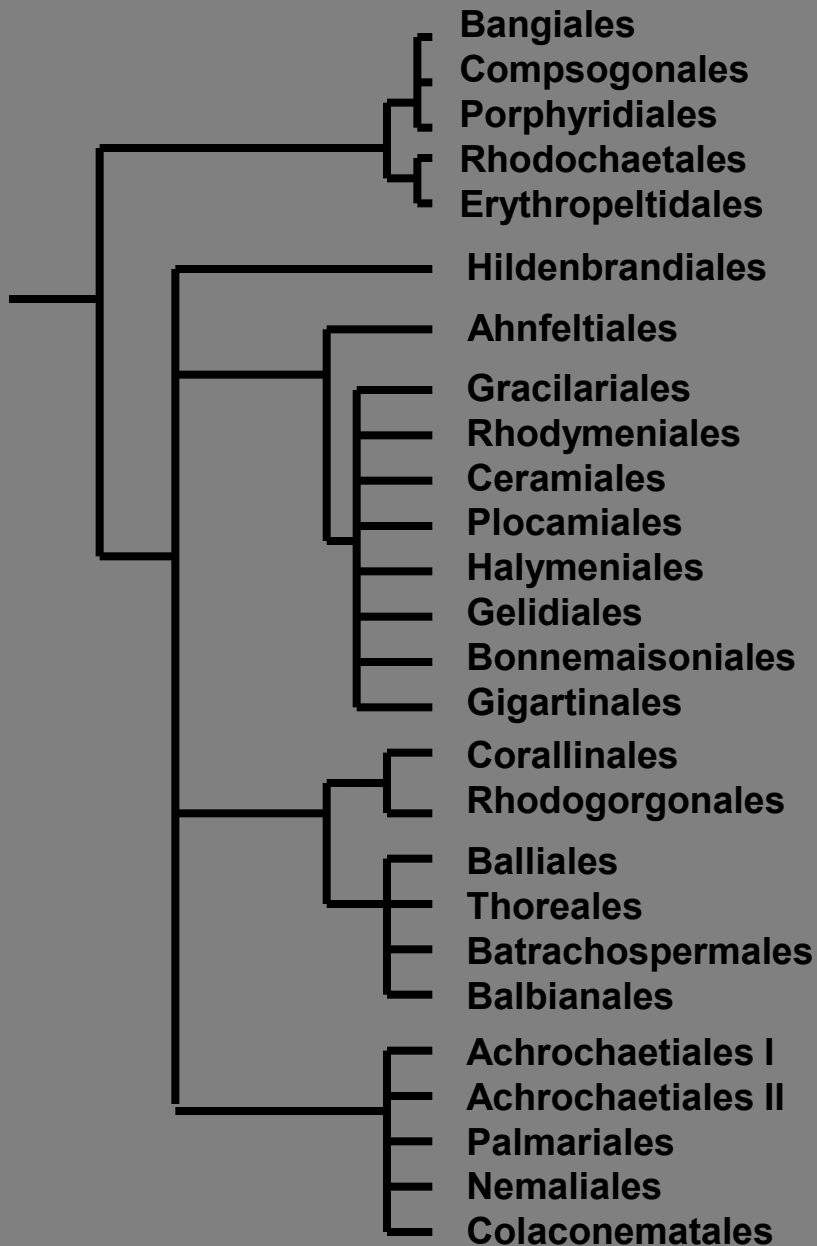
Absence de flagelle

- absence de centriole

Réserves

- amidon floridéen (semi liquide)
- dans le cytoplasme





Bangiophyceae

Florideophyceae

Phylogénie des Rhodophytes à
partir du gène du 18S rADN
(d'après de Reviers 2003)



Porphyra sp.

Culture du Nori au Japon

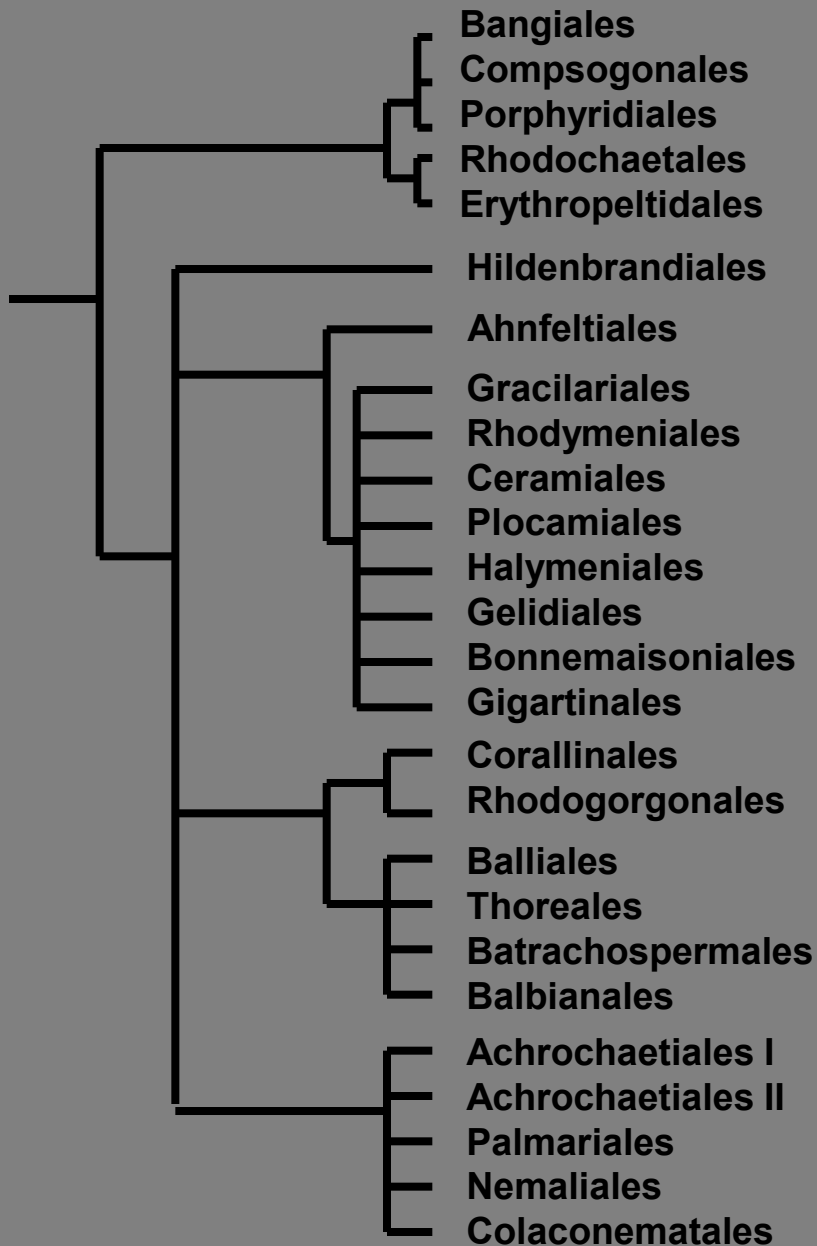


***Porphyra* sp.**



Le *makizushi* (巻き寿司), est obtenu en prenant une feuille d'algue séchée (*nori*) en étalant dessus une couche de riz et sur le tout du poisson et des légumes. Il suffit alors de rouler l'ensemble et de « coller » la feuille d'algue en l'humidifiant. Le rouleau est ensuite découpé en tranches. Le modèle de petit diamètre s'appelle *hoso-makizushi* (2 cm), des variantes de plus gros diamètres sont dénommées *naka-makizushi* (3 cm) et *futo-makizushi* (4 cm). (Wikipédia)





Bangiophyceae

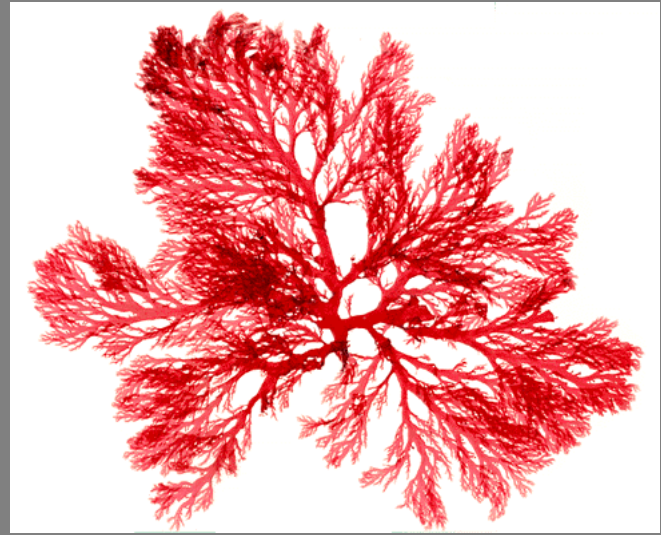
Florideophyceae

Phylogénie des Rhodophytes à partir du gène du 18S rADN (d'après de Reviers 2003)

Florideophyceae thalles complexes



Heterosiphonia sp.



Bonnemaisionia sp



*Lomentaria
sp*



Le maerl (Coralinales)
Lithotamnion corallioides (jaune)
Phymatolithon calcareus (bleu)
(Photo: Marlin)



Chondrus crispus (Pioka)
⇒ Carraghénanes





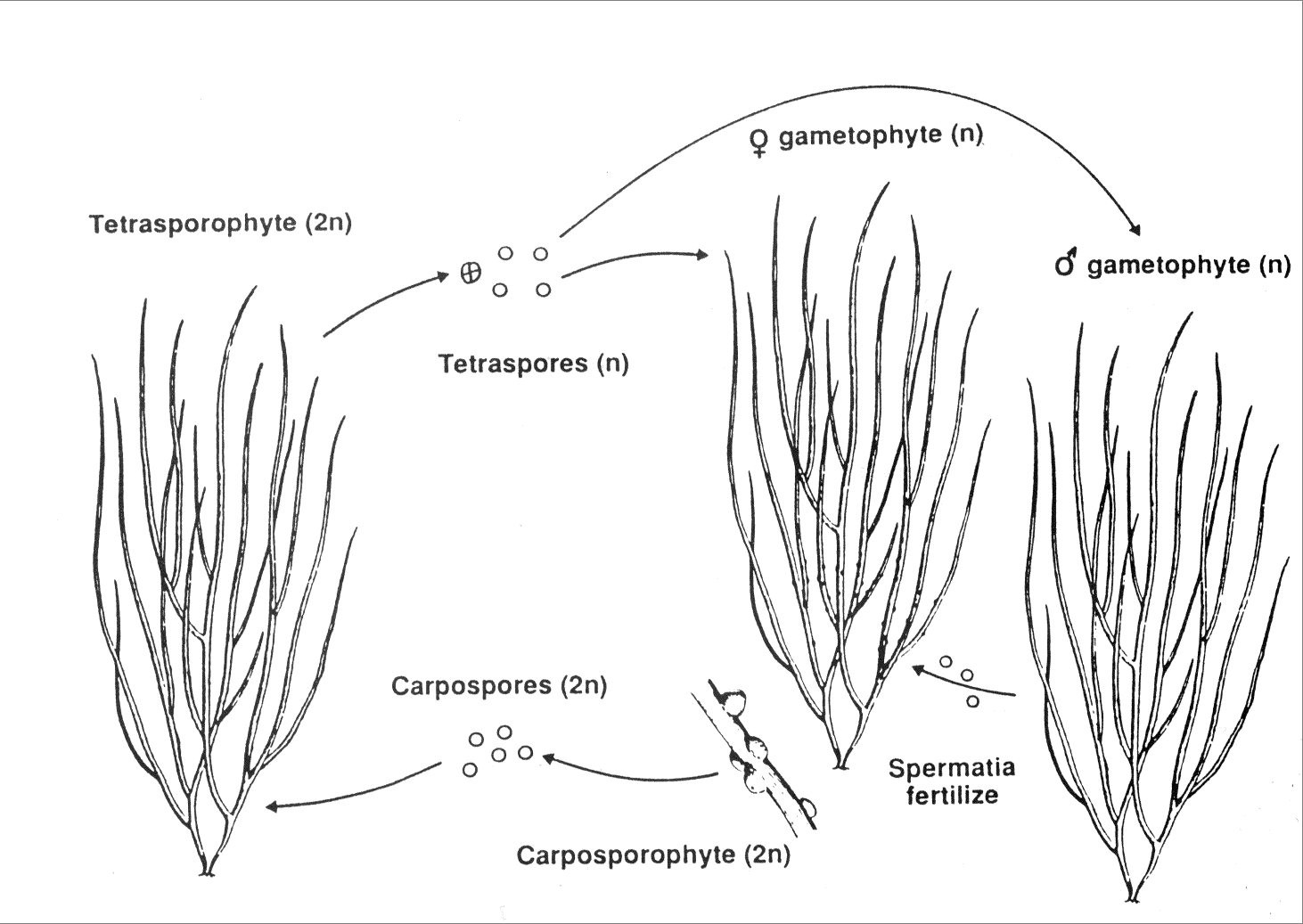
Une ferme de Gracilaria chilensis à Chiloe

Gracilaria gracilis

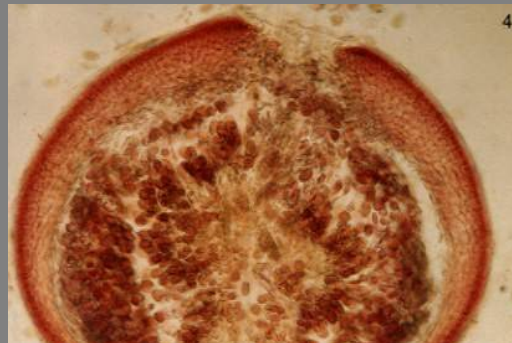
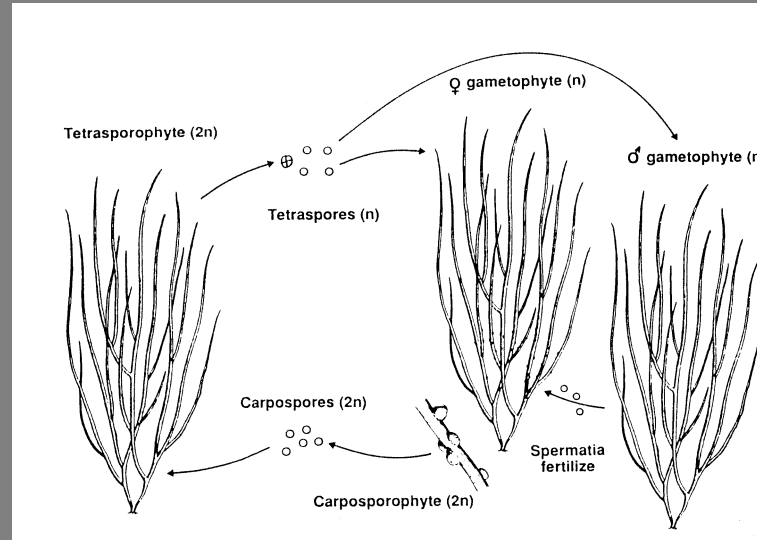
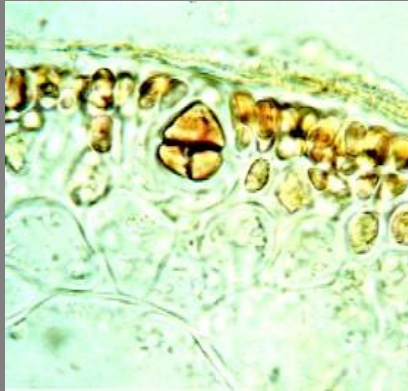
⇒ agar-agar



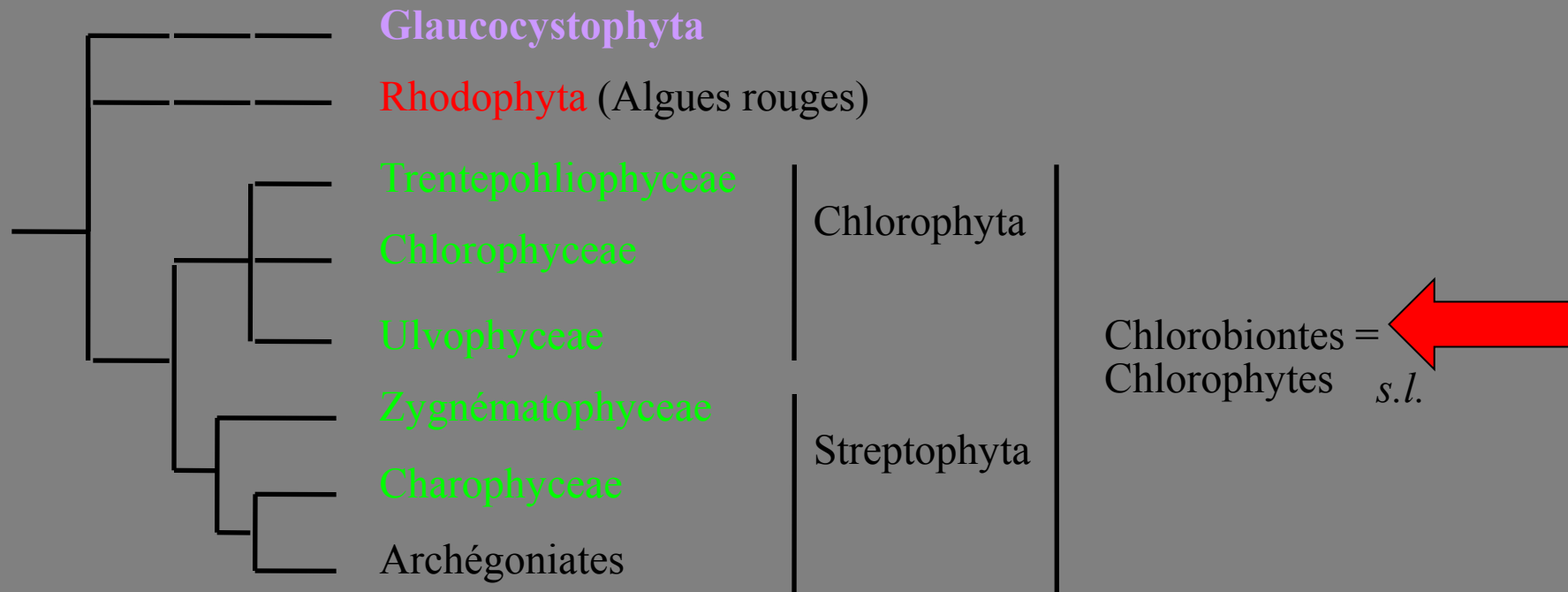
Cycle de *Gracilaria gracilis*



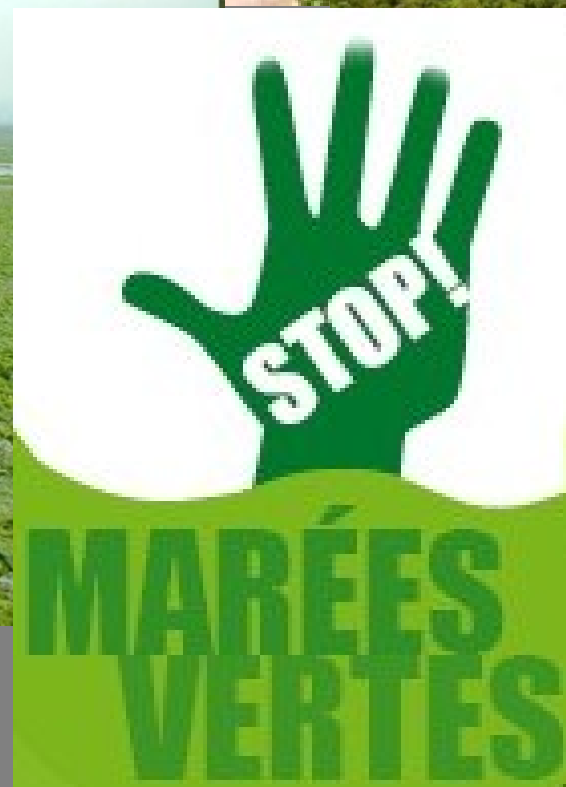
Cycle de *Gracilaria gracilis*



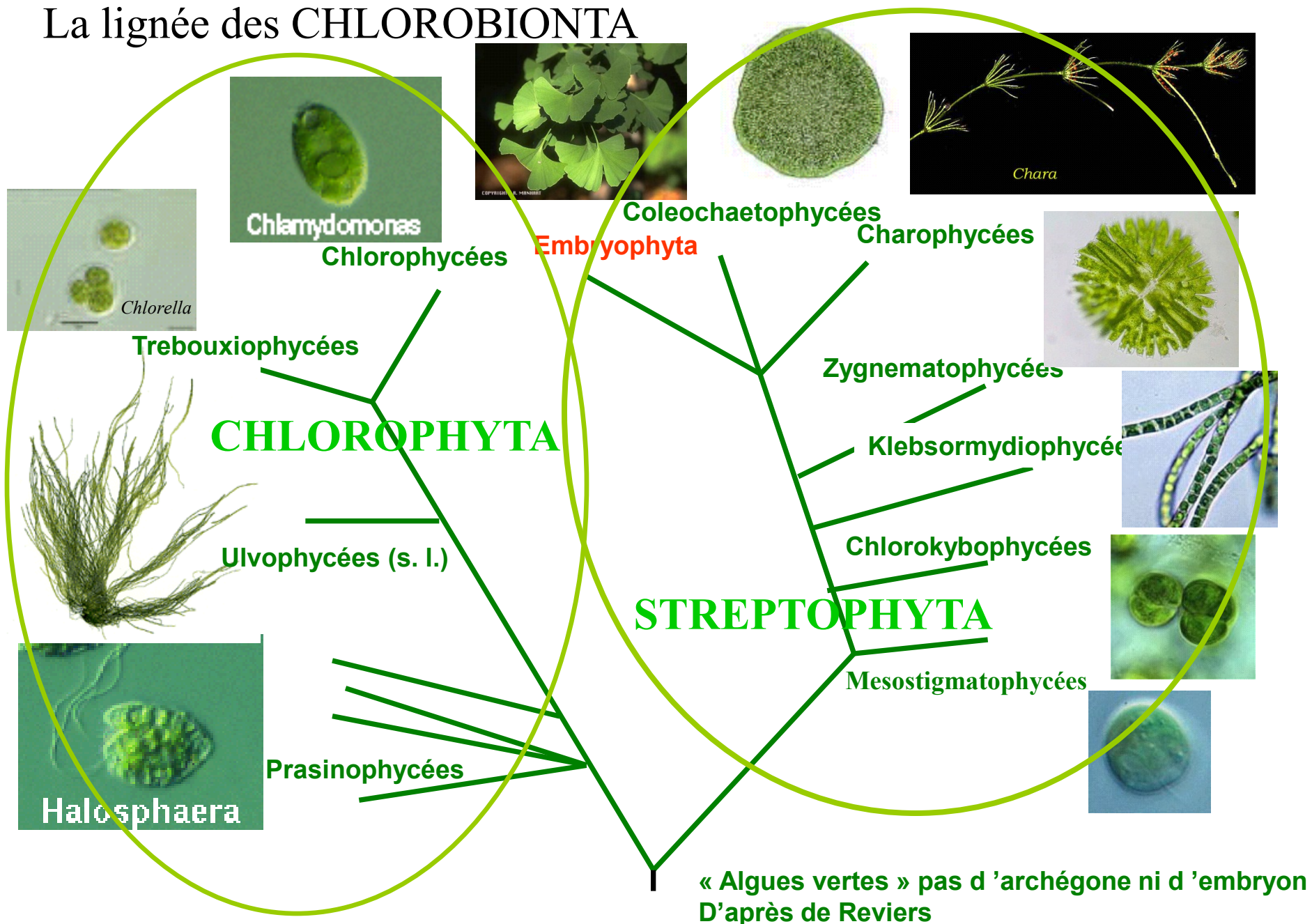
Chlorobiontes et Rhodobiontes







La lignée des CHLOROBIONTA

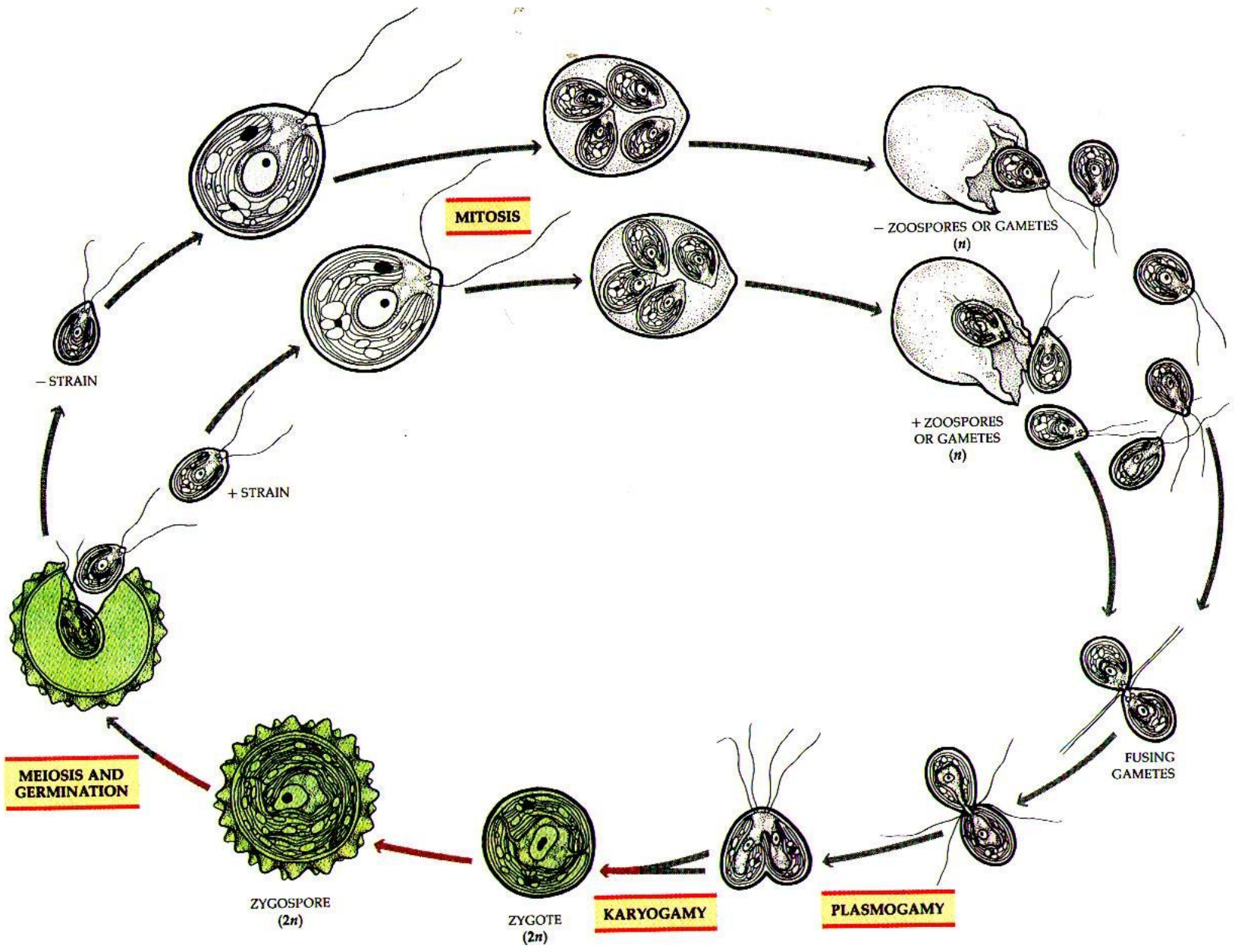


Class Chlorophyceae

(Ulvobiontes)



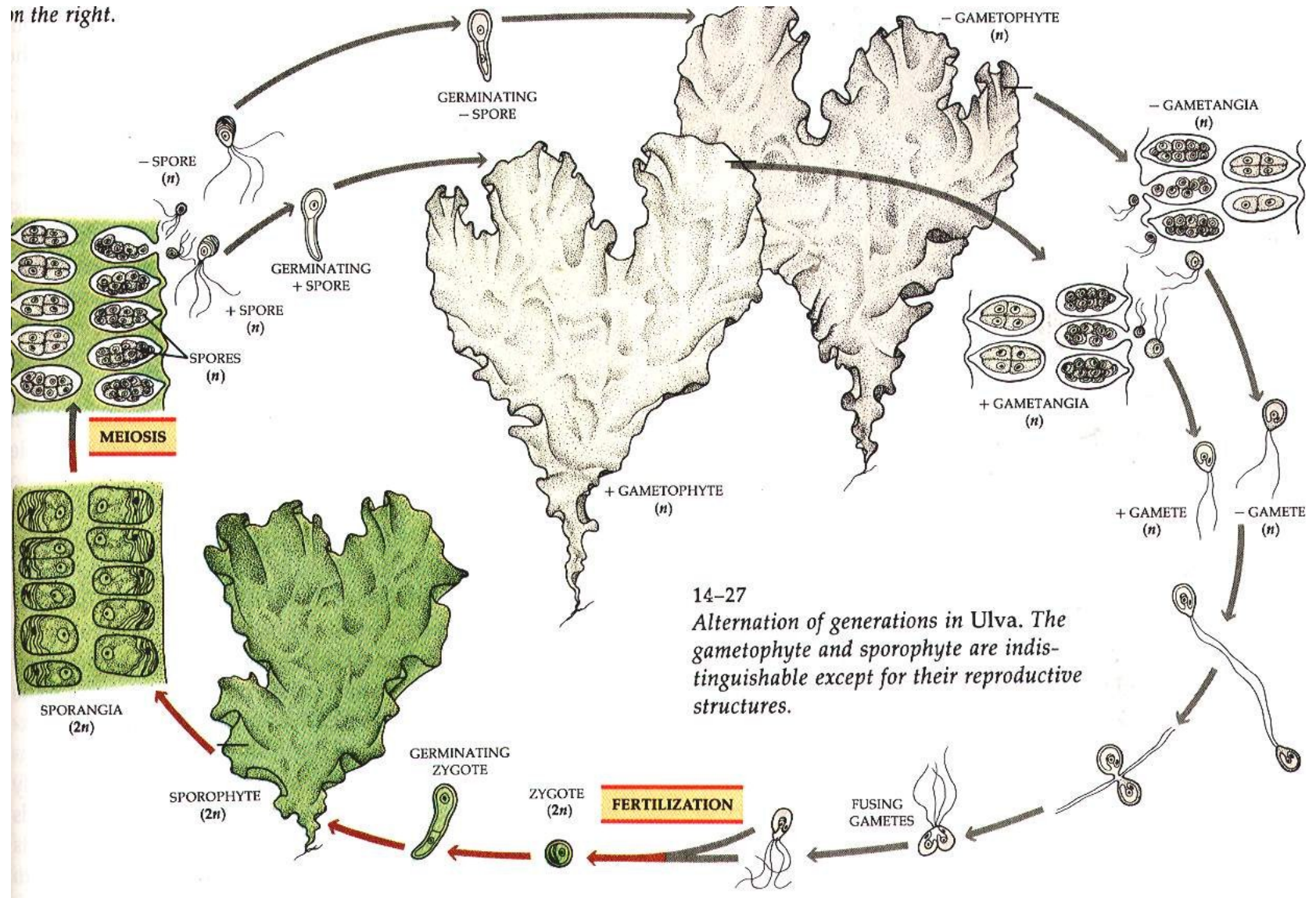
Chlamydomonas





Ulva sp. au Chili

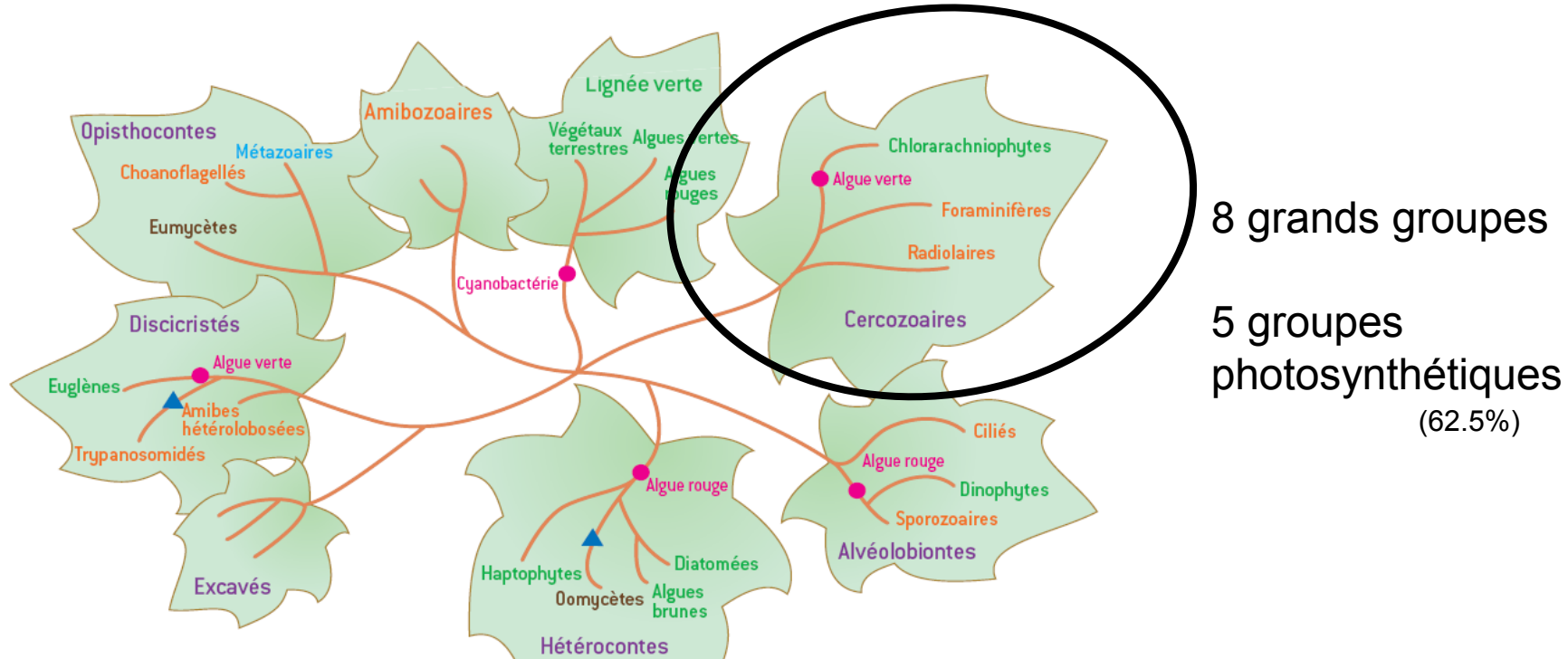
in the right.



14-27

Alternation of generations in *Ulva*. The gametophyte and sporophyte are indistinguishable except for their reproductive structures.

Les algues dans les classifications des eucaryotes d'après la systématique moléculaire (ADN ribosomique: marqueur nucléaire)



2. Cet arbre phylogénétique des eucaryotes met en scène les huit grands groupes reconnus aujourd'hui. Cet arbre est sans racine, c'est-à-dire qu'on ignore sur quelle branche a commencé l'évolution des eucaryotes. On constate que les termes végétaux, champignons et animaux ne correspondent pas à un groupe monophylétique (un ancêtre et tous ses descendants). Ainsi, les lignées qui ont « adopté » la photosynthèse (en vert), par suite d'endosymbiose (les ronds roses, le nom

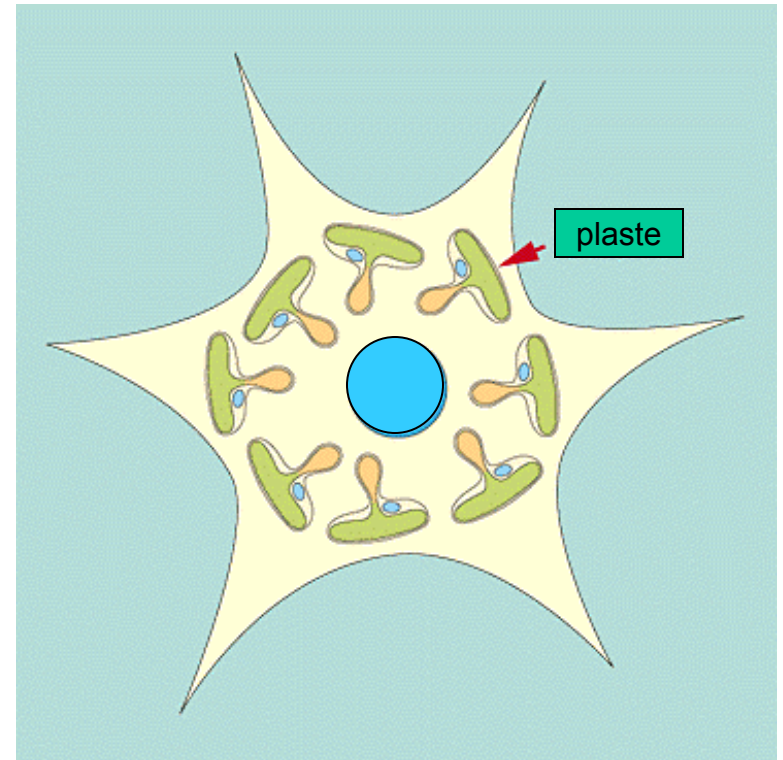
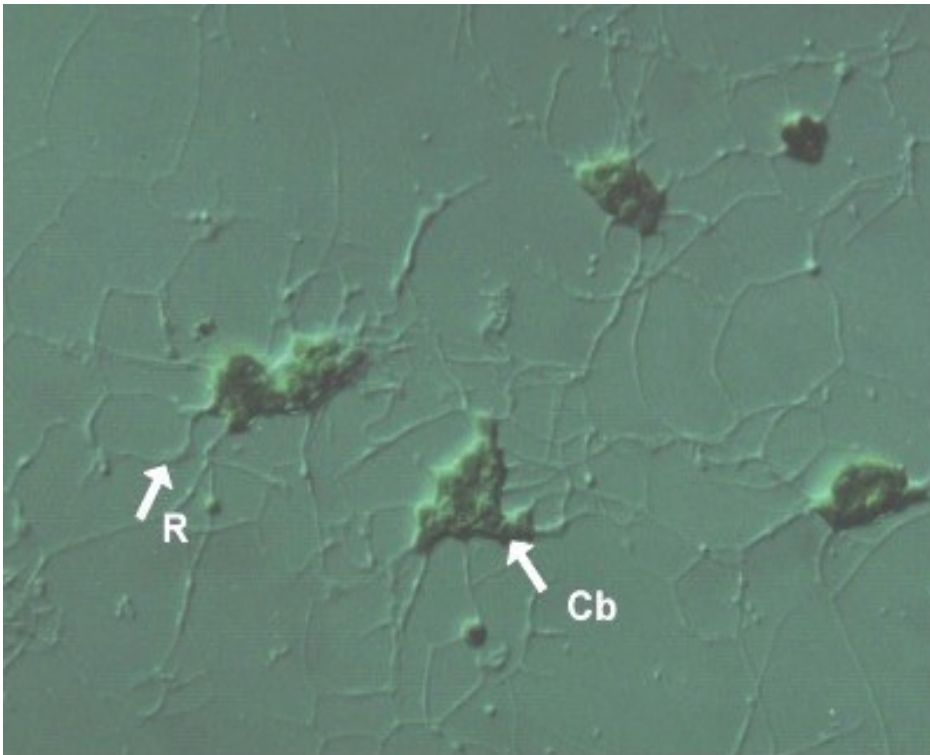
indique l'espèce acquise), sont représentées dans cinq des huit groupes. Notons que certaines lignées naissent de la perte (les triangles bleus) d'un plaste (l'organite cellulaire qui contient la chlorophylle). Les champignons (en marron) sont constitués de deux lignées éloignées. Enfin, les animaux regroupent traditionnellement les métazoaires (en bleu) et les protozoaires (en orange), qui sont éparpillés dans l'arbre.

Selosse 2006 Pour la science

Endosymbioses secondaires et tertiaires: grande diversité des algues

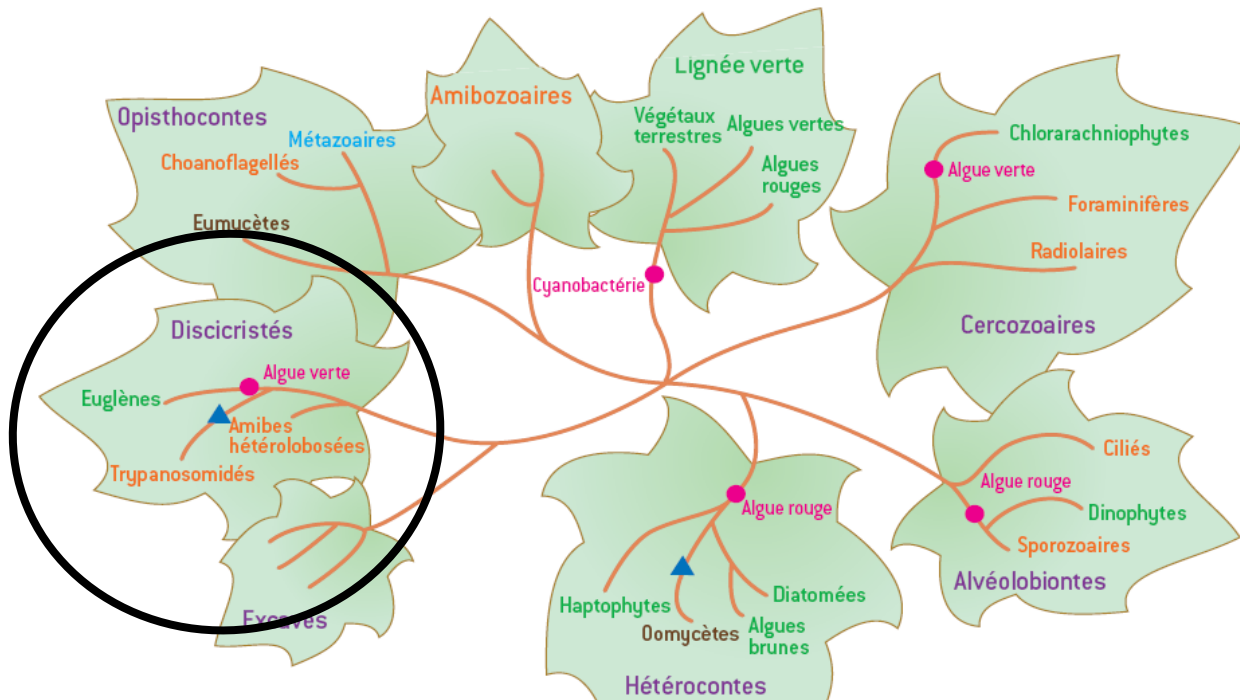
Chlorarachniphyta

2 genres



Peut-être proches d'amibes à filopodes de la couronne terminale, les Euglyphina, dont *Euglyphina* et *Paulinella* avec lesquelles ils forment les Cercozoaires. Le plaste des Chlorarachniphytes est une algue verte régressée.

Les algues dans les classifications des eucaryotes d'après la systématique moléculaire (ADN ribosomique: marqueur nucléaire)



8 grands groupes

5 groupes photosynthétiques (62.5%)

2. Cet arbre phylogénétique des eucaryotes met en scène les huit grands groupes reconnus aujourd'hui. Cet arbre est sans racine, c'est-à-dire qu'on ignore sur quelle branche a commencé l'évolution des eucaryotes. On constate que les termes végétaux, champignons et animaux ne correspondent pas à un groupe monophylétique (un ancêtre et tous ses descendants). Ainsi, les lignées qui ont « adopté » la photosynthèse (en vert), par suite d'endosymbiose (les ronds roses, le nom

indique l'espèce acquise), sont représentées dans cinq des huit groupes. Notons que certaines lignées naissent de la perte (les triangles bleus) d'un plaste (l'organite cellulaire qui contient la chlorophylle). Les champignons (en marron) sont constitués de deux lignées éloignées. Enfin, les animaux regroupent traditionnellement les métazoaires (en bleu) et les protozoaires (en orange), qui sont éparpillés dans l'arbre.

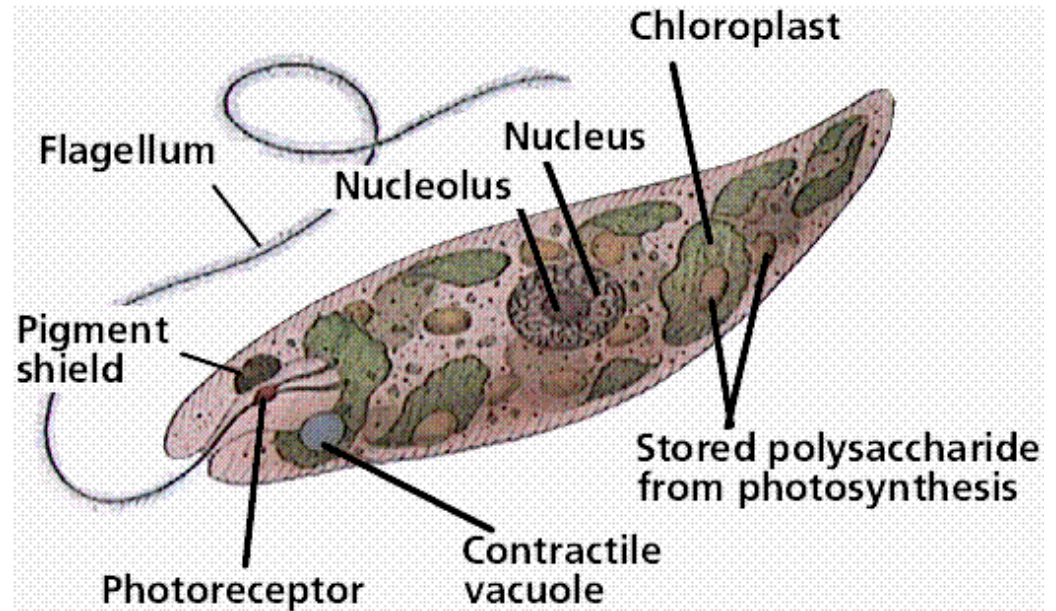
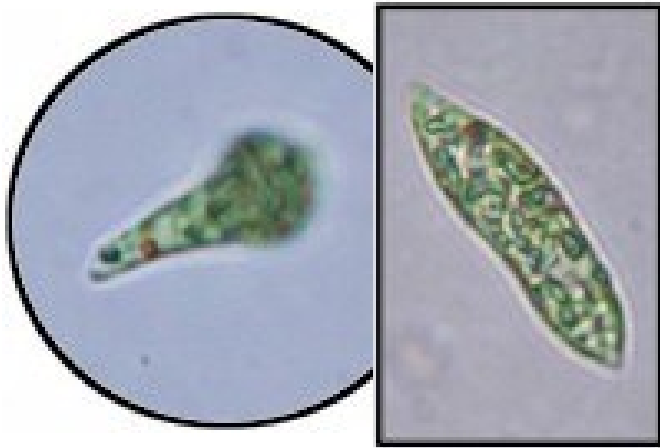
Selosse 2006 Pour la science

Endosymbioses secondaires et tertiaires: grande diversité des algues

Discicristes: Euglenophytes

40 genres

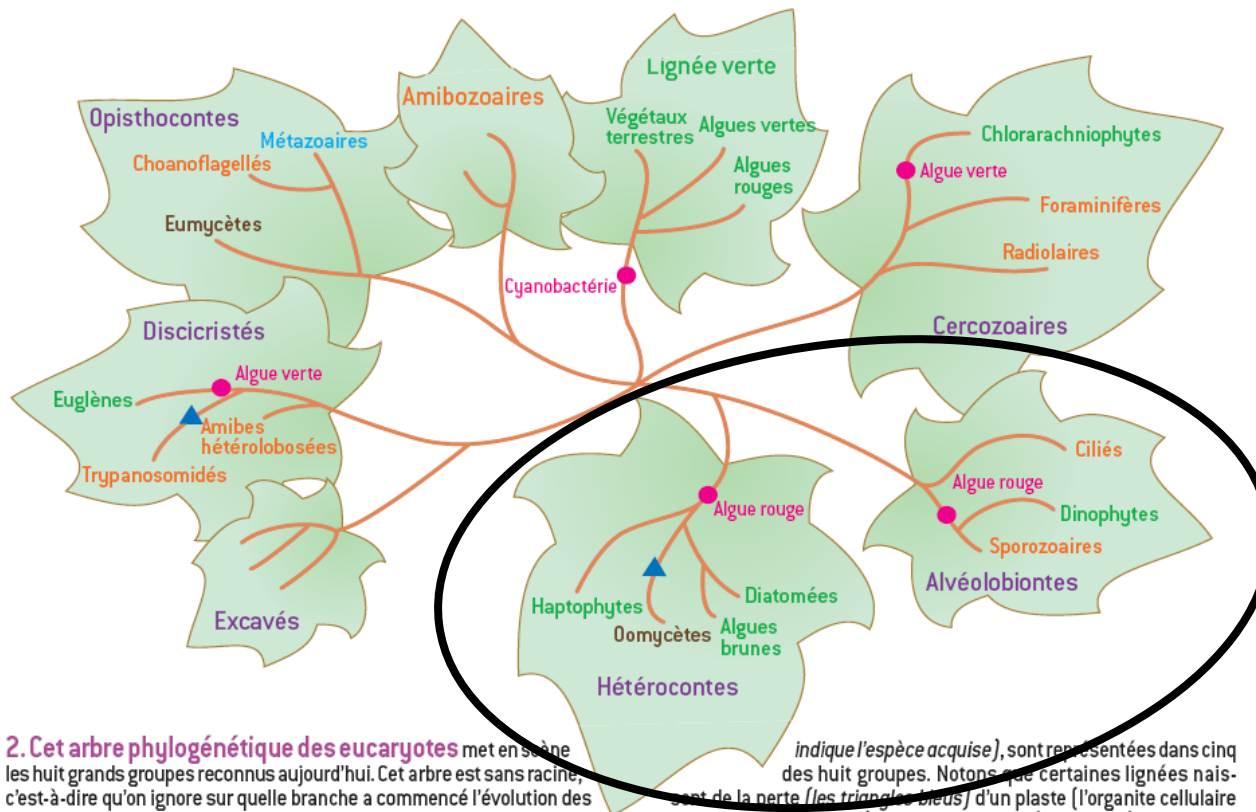
Euglena



Le plaste dérive d'une algue verte régressée.

Les algues dans les classifications des eucaryotes d'après la systématique moléculaire

(ADN ribosomique: marqueur nucléaire)



8 grands groupes

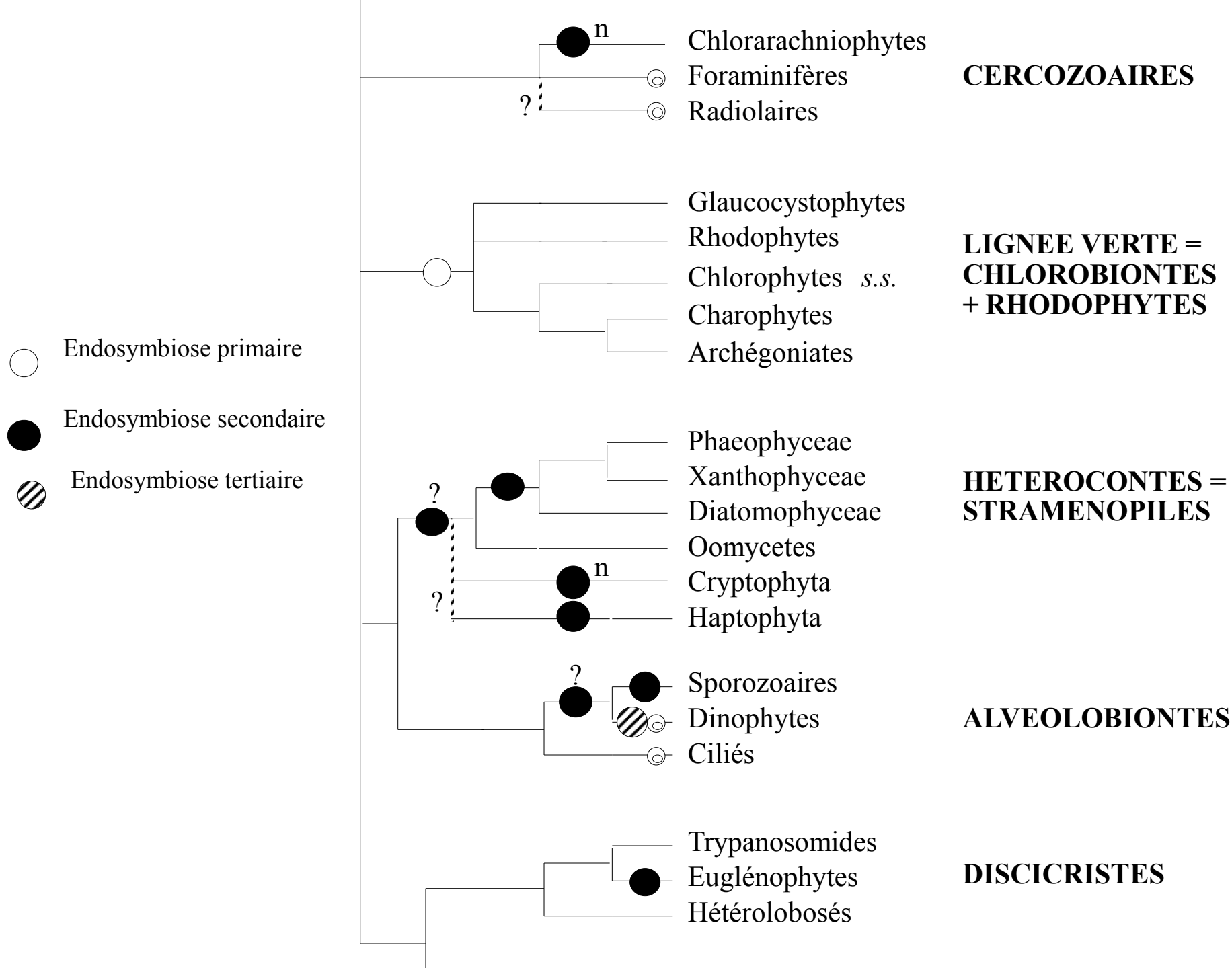
5 groupes
photosynthétiques
(62.5%)

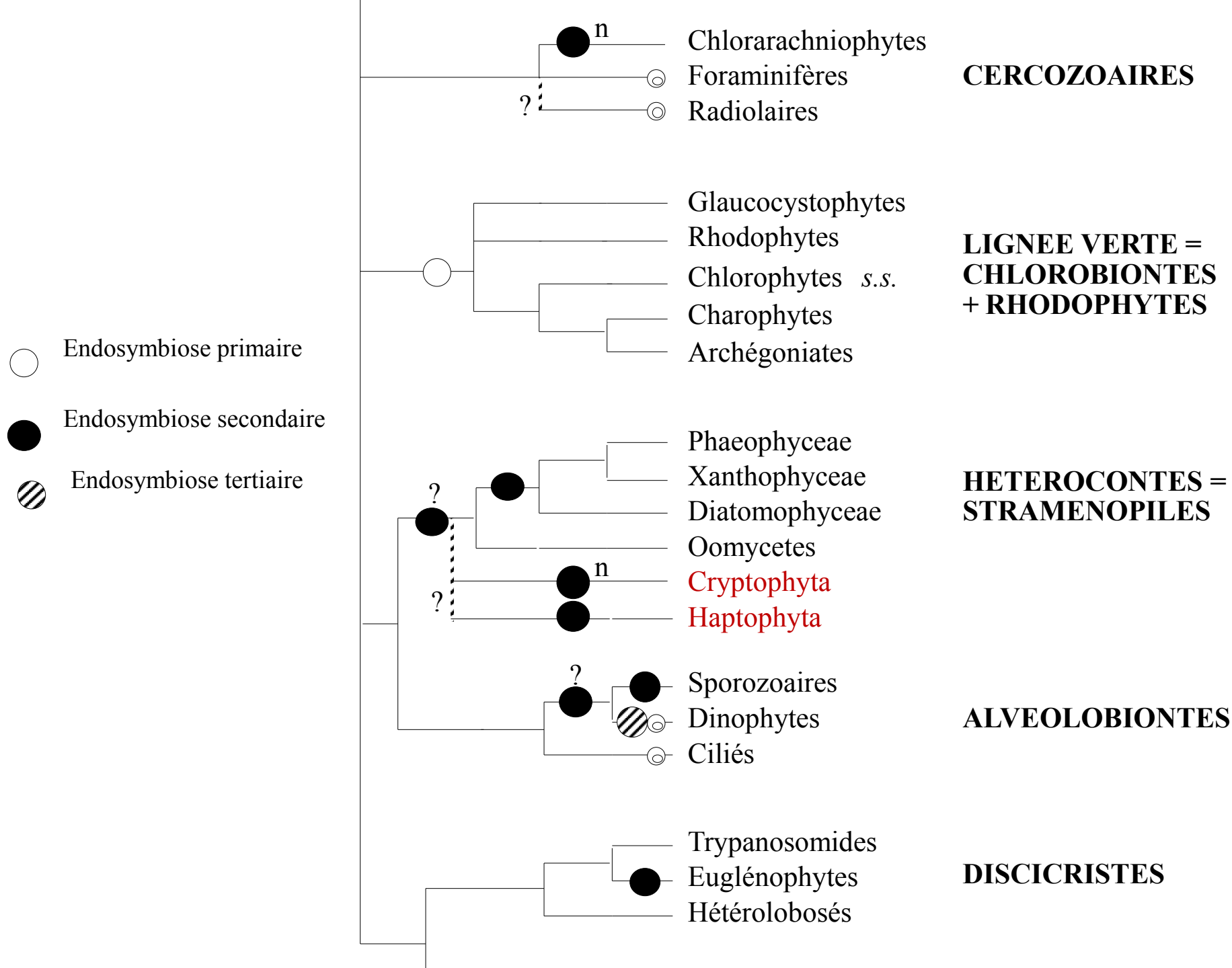
2. Cet arbre phylogénétique des eucaryotes met en scène les huit grands groupes reconnus aujourd'hui. Cet arbre est sans racine, c'est-à-dire qu'on ignore sur quelle branche a commencé l'évolution des eucaryotes. On constate que les termes végétaux, champignons et animaux ne correspondent pas à un groupe monophylétique (un ancêtre et tous ses descendants). Ainsi, les lignées qui ont « adopté » la photosynthèse (en vert), par suite d'endosymbiose (les ronds roses, le nom

indique l'espèce acquise), sont représentées dans cinq des huit groupes. Notons que certaines lignées naissent de la verte (les triangles bleus) d'un plaste (l'organite cellulaire qui contient la chlorophylle). Les champignons (en marron) sont constitués de deux lignées éloignées. Enfin, les animaux regroupent traditionnellement les métazoaires (en bleu) et les protozoaires (en orange), qui sont éparpillés dans l'arbre.

Selosse 2006 Pour la science

Endosymbioses secondaires et tertiaires: grande diversité des algues

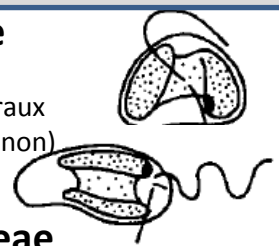




HAPTOPHYTA

Pavlovophyceae

- 1 plaste doré
- 2 flagelles inégaux latéraux
- **Haptonème** (visible ou non)
- Taille < 7 µm



Prymnesiophyceae

- 2 plastes dorés
- 2 flagelles lisses égaux
- **Haptonème** (visible ou non)
- Ecailles organiques parfois calcifiées (coccolithophorales) sur corps cellulaire

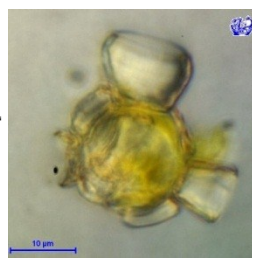
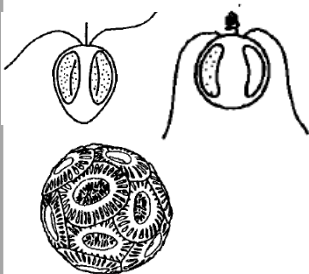
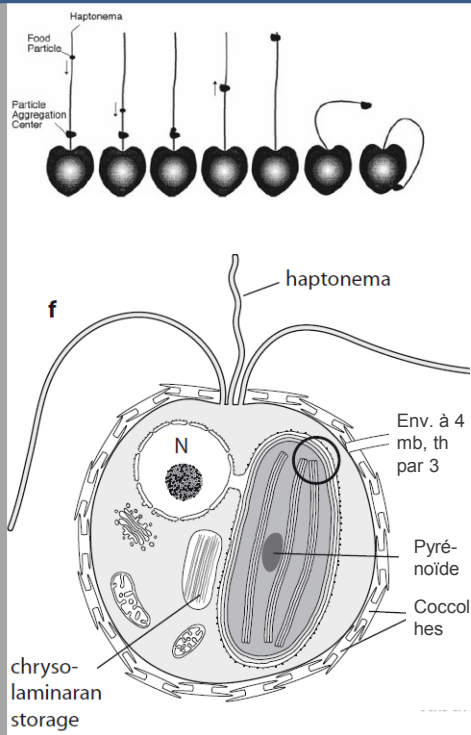


Photo : F. Jouenne



PLASTE

- Chl a, c2
- Fucoxanthine, hexanoyloxyfucoxanthine
- Enveloppe à 4 membrane
- Thylacoïdes par 3

RESERVES

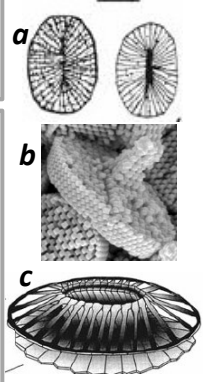
Chrysolaminarie dans cytoplasme

FLAGELLES/HAPTONEME

- Haptonème de longueur variable (absent chez certaines espèces)
- **Pavlovophyceae** : 2 inégaux avec écailles en forme de clous et poils
- **Prymnesiophyceae** : 2 lisses et égaux

PAROI

- **Pavlov.** : écailles creuses
- **Prymnesio.** : écailles organiques non calcifiées (a) et calcifiées (chez les coccolithophorales : holo- (b) ou hétérococcolithes (c))





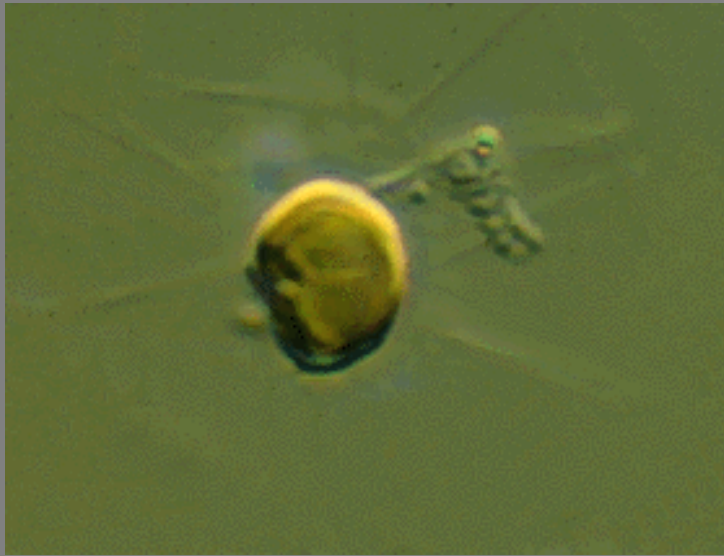
Division HAPTOPHYTA

Prymnesiophyceae

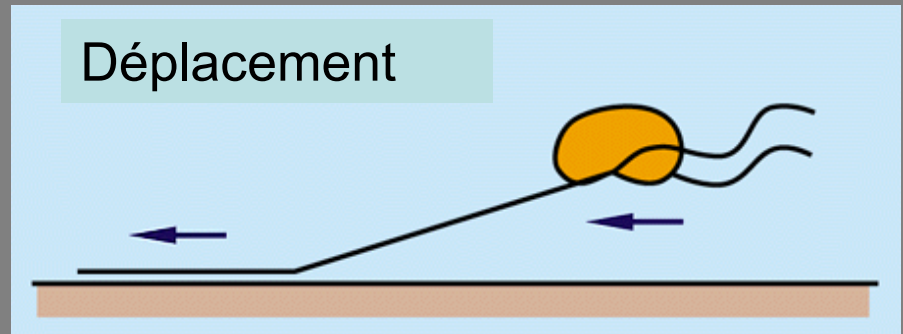
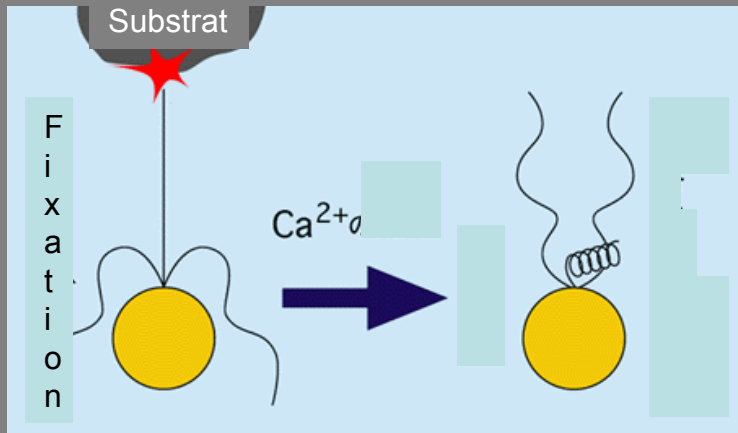
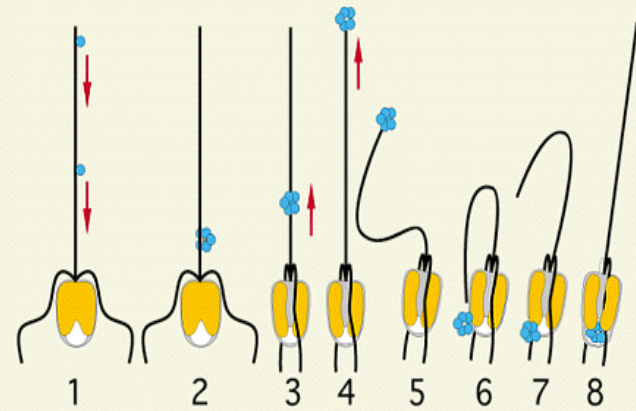
15 genres



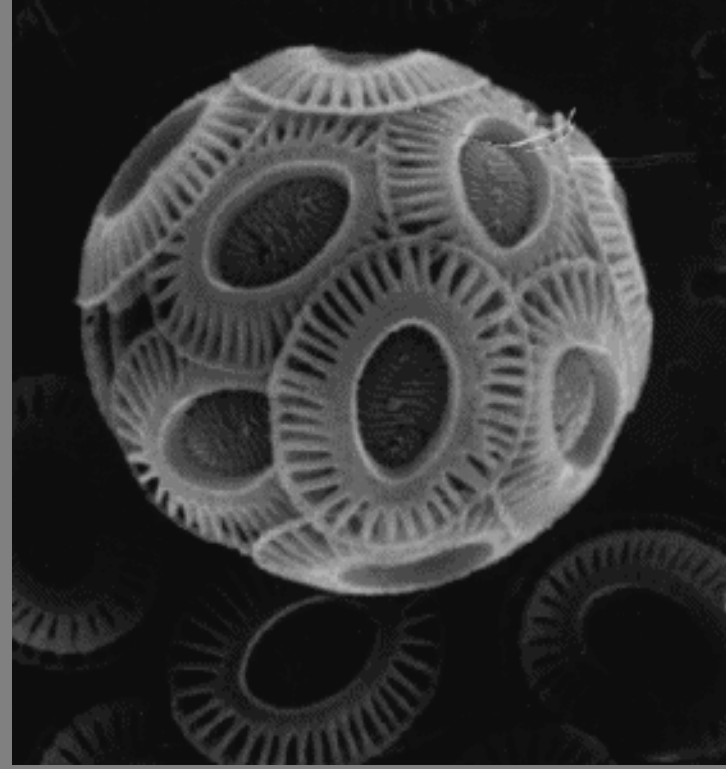
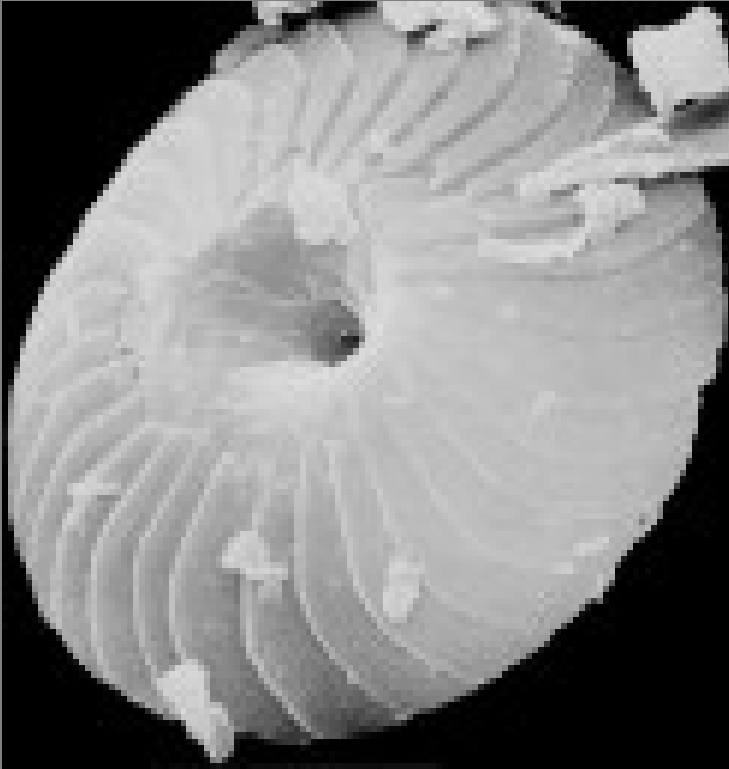
Chlorophylles *a* et *c*, pas d'amidon, haptonème entre les flagelles



Rôle dans la nutrition



Haptonème : diverticule cellulaire filamenteux (contenant des microtubules entourés de réticulum), placé entre les flagelles. Selon les espèces, il sert à éviter les obstacles, adhérer au substrat ou même capturer des proies pour les espèces facultativement phagotrophes.



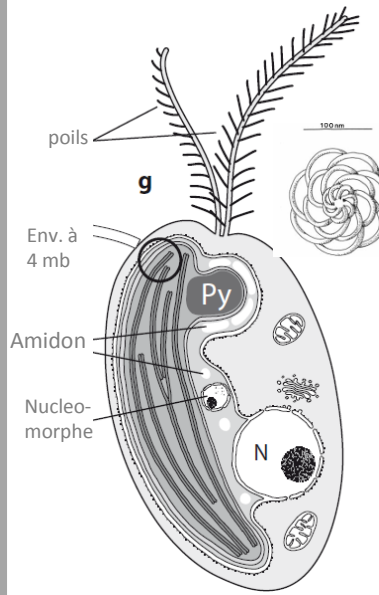
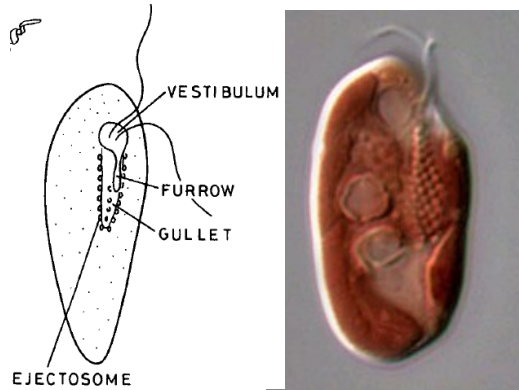
Coccolites (Prymnesiophyceae)

Emiliana huxleyi Blooms



CRYPTOPHYTA

- Cellule asymétrique
- 2 flagelles presque égaux, raides, insertion latérale
- 1 ou 2 plastes jaunes, rouges ou bleu/vert
- Vestibule avec rangées d'éjectosomes



PLASTE

- Chl a, c2
- Phycoérythrine ou phycocyanine dans lumière des thylacoïdes
- Enveloppe à 4 membranes
- Thylacoïdes par 2
- Présence d'un nucléomorphe

RESERVES

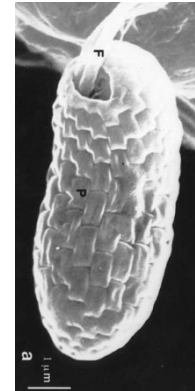
amidon dans l'espace périplastidial

FLAGELLES

- Poils flagellaires tubulaires en 2 parties (1 ou 2 rangée)
- Ecailles présentes ou non

PAROI = Pellicule

1 ou plusieurs plaques sous le plasmalemme)

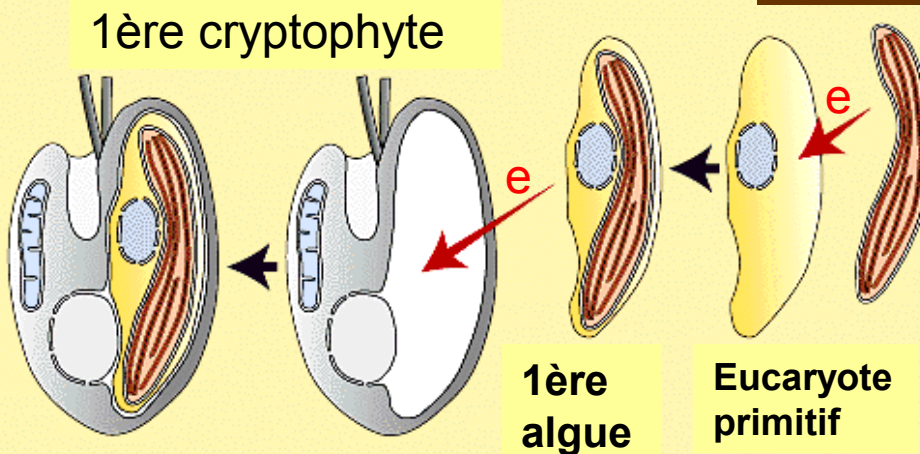




Division CRYPTOPHYTA

20 genres

Scénario endosymbiotique



Les plastes des Cryptophytes, limités par 4 membranes, dérivent d'algues rouges endosymbiotiques régressées (dont le noyau persiste à l'état vestigial).

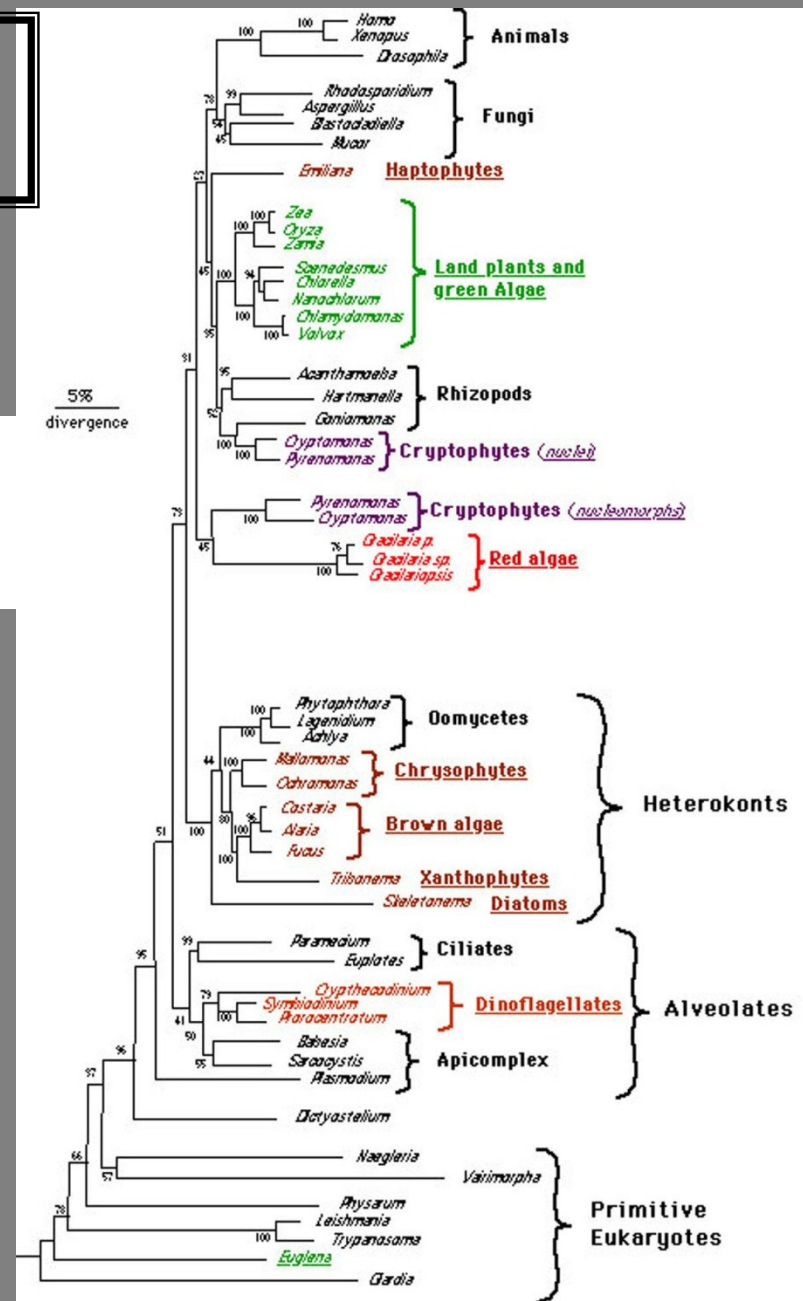
Arguments phylogénétiques en faveur de l'endosymbiose II

Nucléomorphe = noyau vestigial

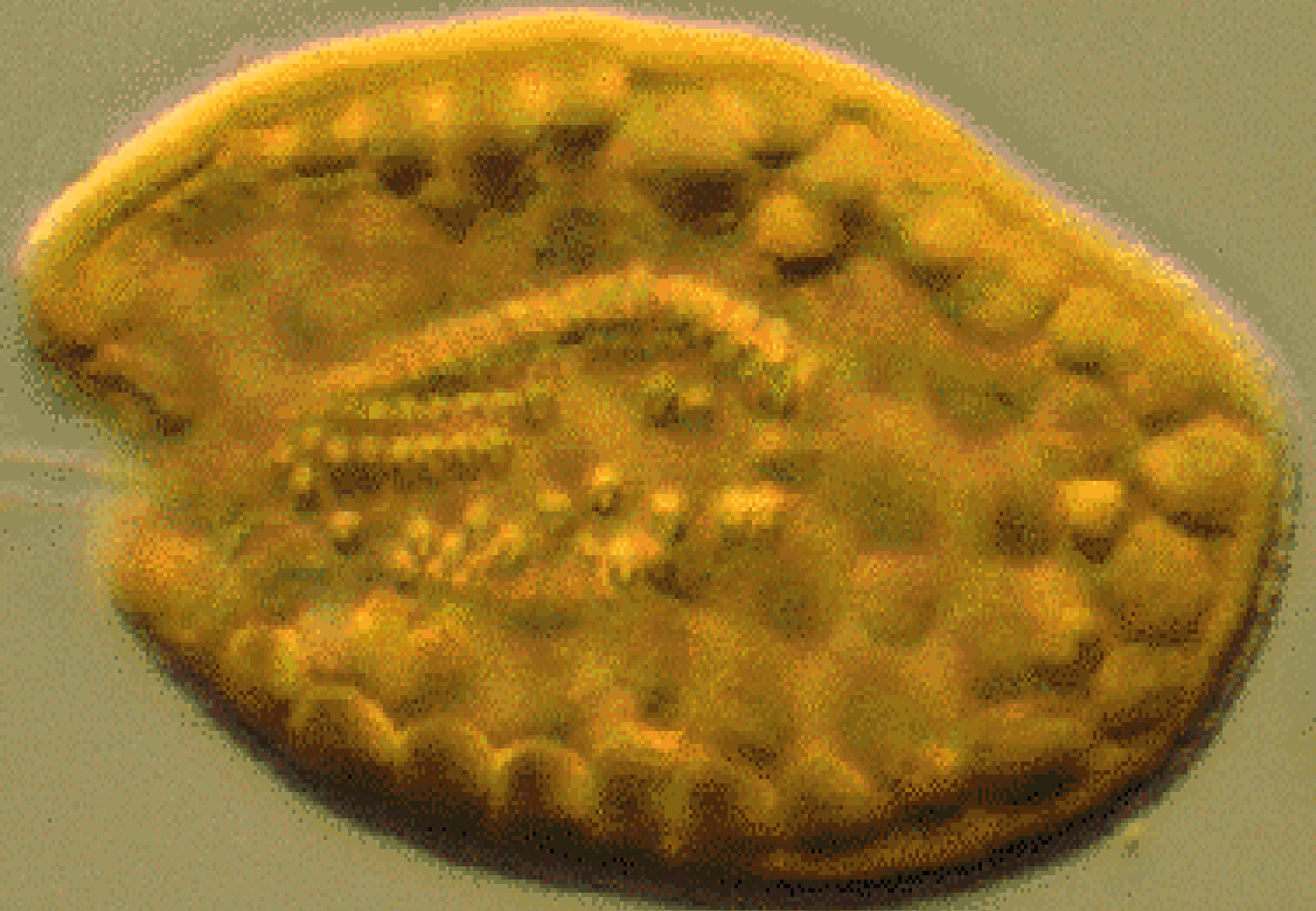
Hypothèse: nucléomorphe phylogénétiquement proche du noyau d'une cellule hôte d'une endosymbiose I

Pour vérifier: Étude des gènes homologues: exemple l'ARN r 18 S

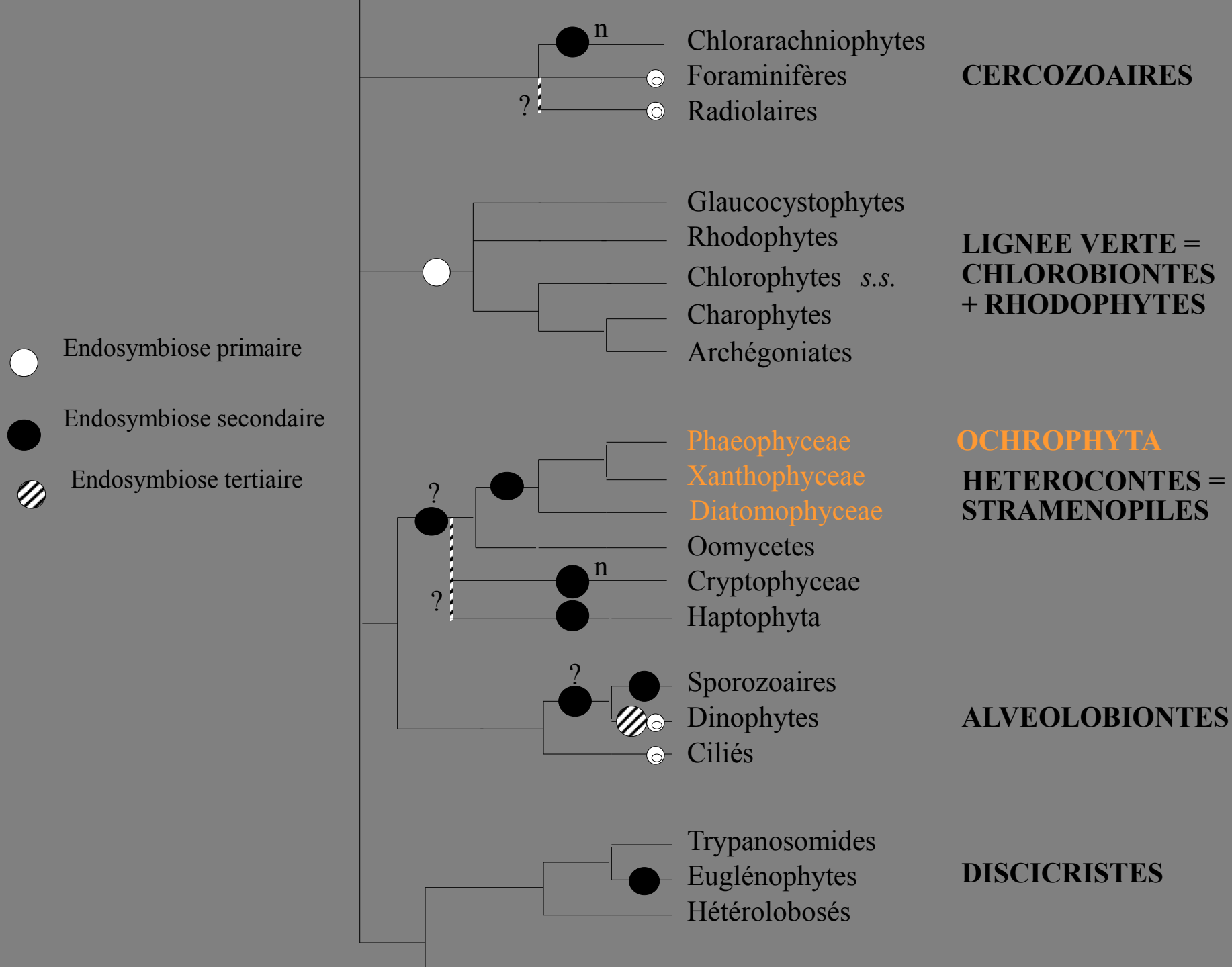
Résultats: les nucleomorphes des cryptophytes et les algues rouges sont monophylétiques (Douglas 1985)



Phylogeny of eukaryotes based on small-subunit rRNA sequence comparisons. The tree was inferred by neighbour-joining from a Jukes-Cantor distance matrix and has the same topology as the consensus of 100 bootstrap replicates. It has been redrawn from: Mc Fadden *et al.* 1994, *Eur. J. Phycol.*, 29: 29-32.



Cryptomonas



600 genres

Ochrophyta

= Chromophyta

= Heterocontophyta

Groupe monophylétique comprenant les autotrophes unicellulaires et filamenteux avec des plaste à 4 membranes probablement dérivé d'une algue rouge endosymbiotique.

Caractéristiques:

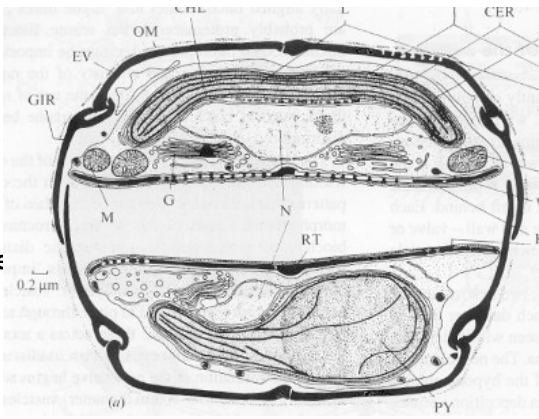
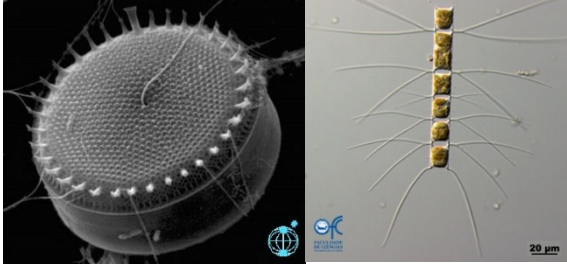
- fucoxanthine : "Lignée Brune"
- une paroi cellulosique,
- des réserves sous forme de β -1-3 glucanes solubles (laminarines stockées dans les vacuoles),
- des mitochondries à crêtes tubulaires
- un appareil cinétique à deux flagelles dissemblables.

De nombreux picoeucaryotes (= de taille micrométrique) appartiennent à ce groupe, soit dans des clades connus, soit dans des clades inconnus à ce jour (notamment un clade-frère des oomycètes). Des travaux récents suggèrent que ce groupe pourrait être un groupe-frère des Alvéolobiontes (qui ont comme eux des mitochondries à crêtes tubulaires).

OCHROPHYTA – DIATOMOPHYCEAE (Diatomées)

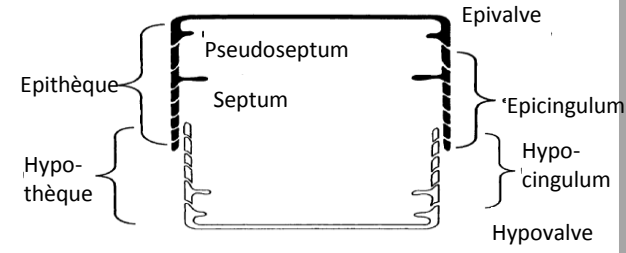
Caractères généraux / classification

- Unicellulaires ou colonnies
- Plastés dorés
- **Pas de flagelles** (1 chez certains gamètes)
- Paroi en silice hydratée: **le frustule**
- **Formes variées du frustule : critère taxinomique**

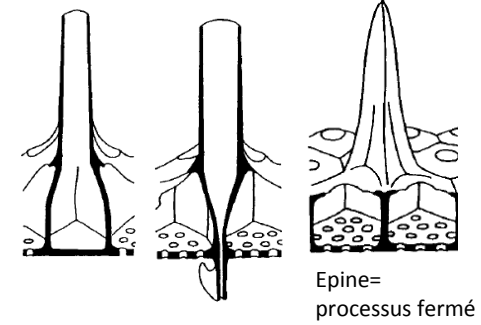


PAROI : LE FRUSTULE

Terminologie des composants du frustule



Les processus : projections à parois silicifiées



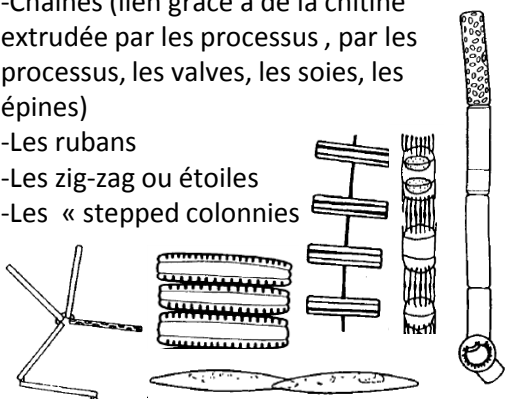
PLASTE

- Chl a, c2
- Fucoxanthine, hexanoyloxyfucoxanthine
- Enveloppe à 4 membrane
- Thylacoïdes par 3

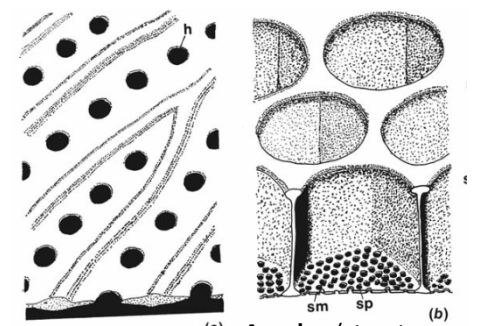
RESERVES
Chrysolaminarie dans cytoplasme

LES COLONNIES

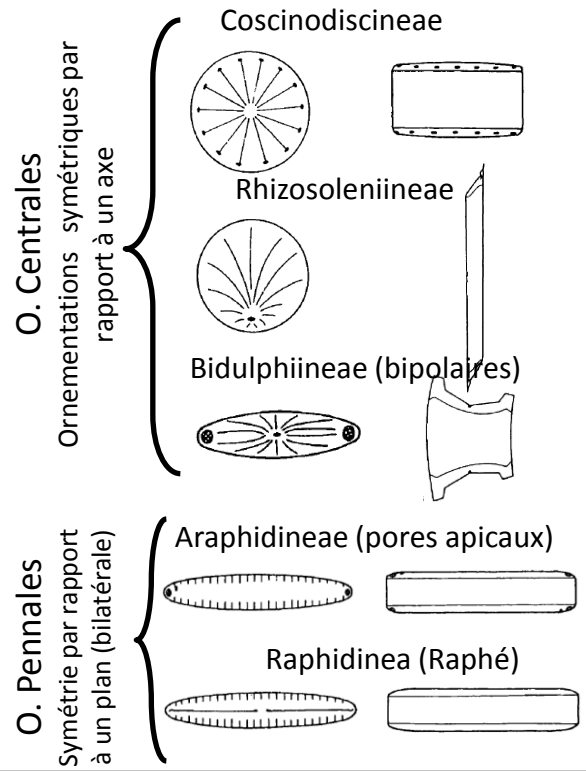
- Chaines (lien grâce à de la chitine extrudée par les processus, par les processus, les valves, les soies, les épines)
- Les rubans
- Les zig-zag ou étoiles
- Les « stepped colonnies »



Différents types de perforation du frustule



Simples « pores » (a)
Areolae (structure polygonale complexe) avec ici loculus vers l'extérieur et crible vers l'intérieur (b)





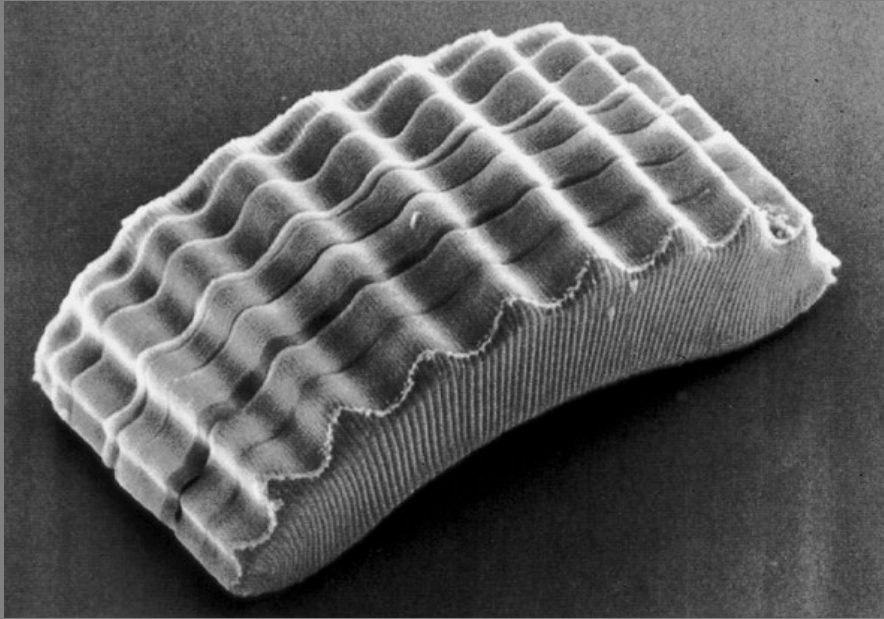
Diatomophyceae

Bacillariophyta = Diatomées

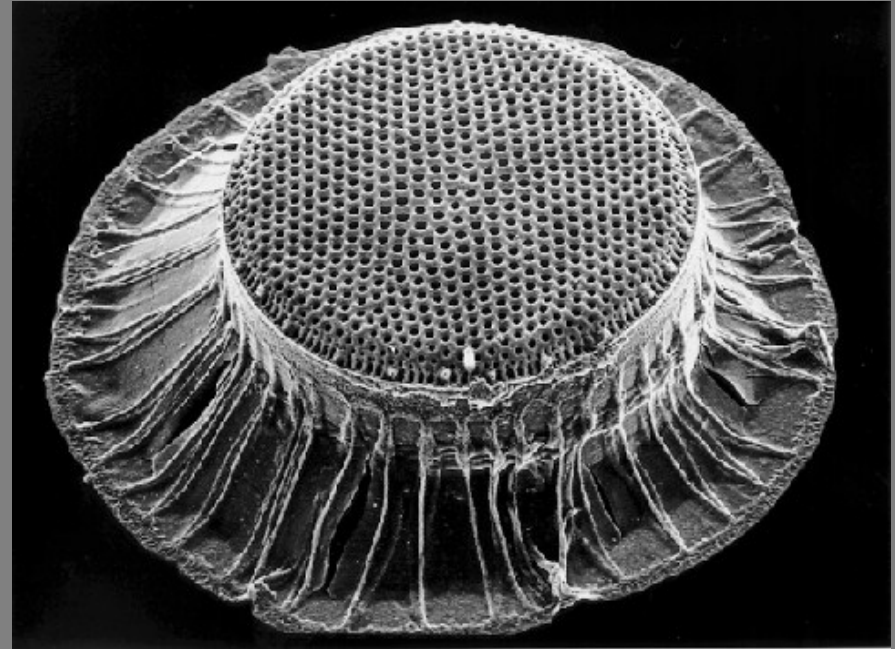
Unicellulaires à frustules
siliceux



Frustules (thèques):



- symétrie bilatérale:
Ordre des Pennales

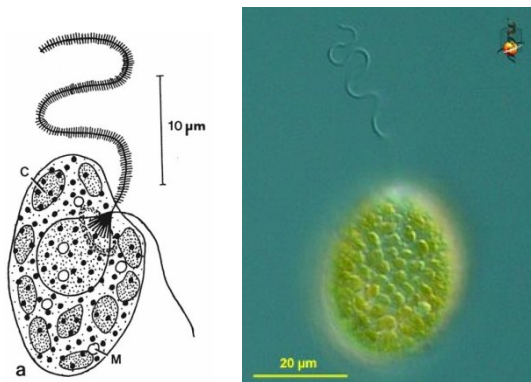


- symétrie radiale :
Ordre des Centrales

Ochrophyta - Autres classes

RAPHIDOPHYCEAE

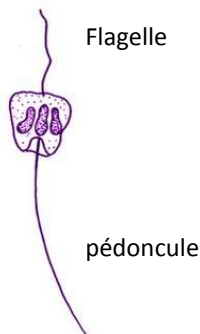
- Cellule souvent « verrucose »
- 2 flagelles insérés latéralement, l'un tractant la cellule
- 1 ou 2 plusieurs plastes jaunes/dorés
- Présence de mucocystes



DICTYOCOPHYCEAE

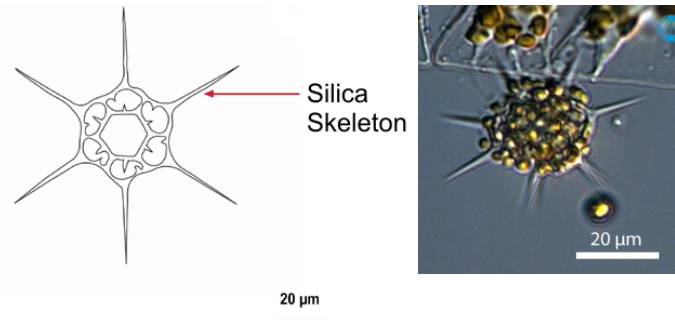
Pedinellales :

- 1 long flagelle et 1 flagelle vestigial (pas visible)
- 3 ou 6 plastes jaunes/dorés
- Parfois des tentacules ou pédoncules



Dictyochales (genre *Dictyocha*)

- 1 long flagelle et 1 flagelle vestigial (pas visible)
- 3 ou 6 plastes jaunes/dorés
- Noyau central et chloroplastes dans des expansions périphériques
- Squelette siliceux en 2 parties

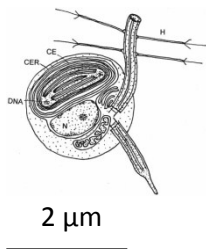


Les classes moins bien connues dans le phytoplancton (petite taille, fragiles)

EUSTIGMATOPHYCEAE



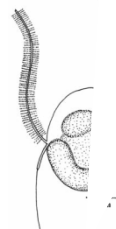
BOLIDOPHYCEAE



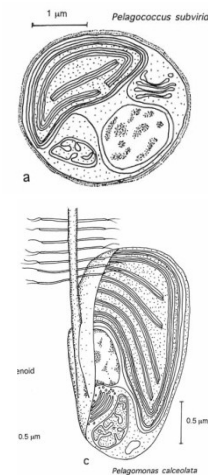
CHRYSOPHYCEAE



PINGUIPHYCEAE



PELAGOPHYCEAE



Ochrophyta - Xanthophyceae

Xanthophyceae ou Tribophyceae

Caractères généraux / classification

- 90 genres et 600 espèces (classification mal résolue)

Coccoïdes, monadoïdes, amiboïdes, palmelloïdes, siphonées ou filaments pluricellulaires.

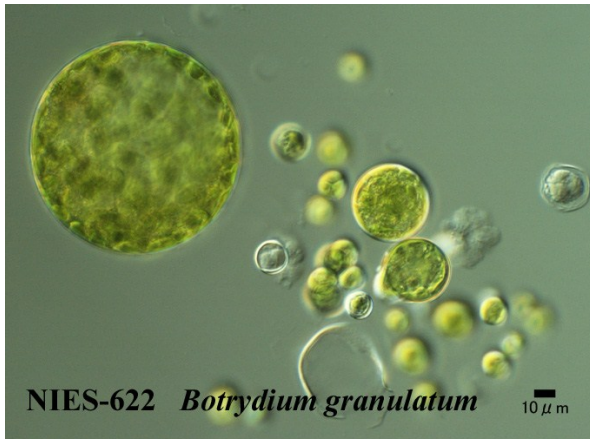
Absence d'amidon dans le plaste

Parois cellulose mucilagineuse

Dulçaquicole, eaux saumâtres et marines

Planctoniques ou bethiques

Association (lichen)



PLASTE

- Chl a, c
- Plaste nombreux
- Enveloppe à 4 membranes
- Thylacoïdes par 3

RESERVES

Chrysolaminarine

REPRODUCTION

Asexué

Sexué (cycle probablement diploïde)

Oogame chez les *Vaucheria*

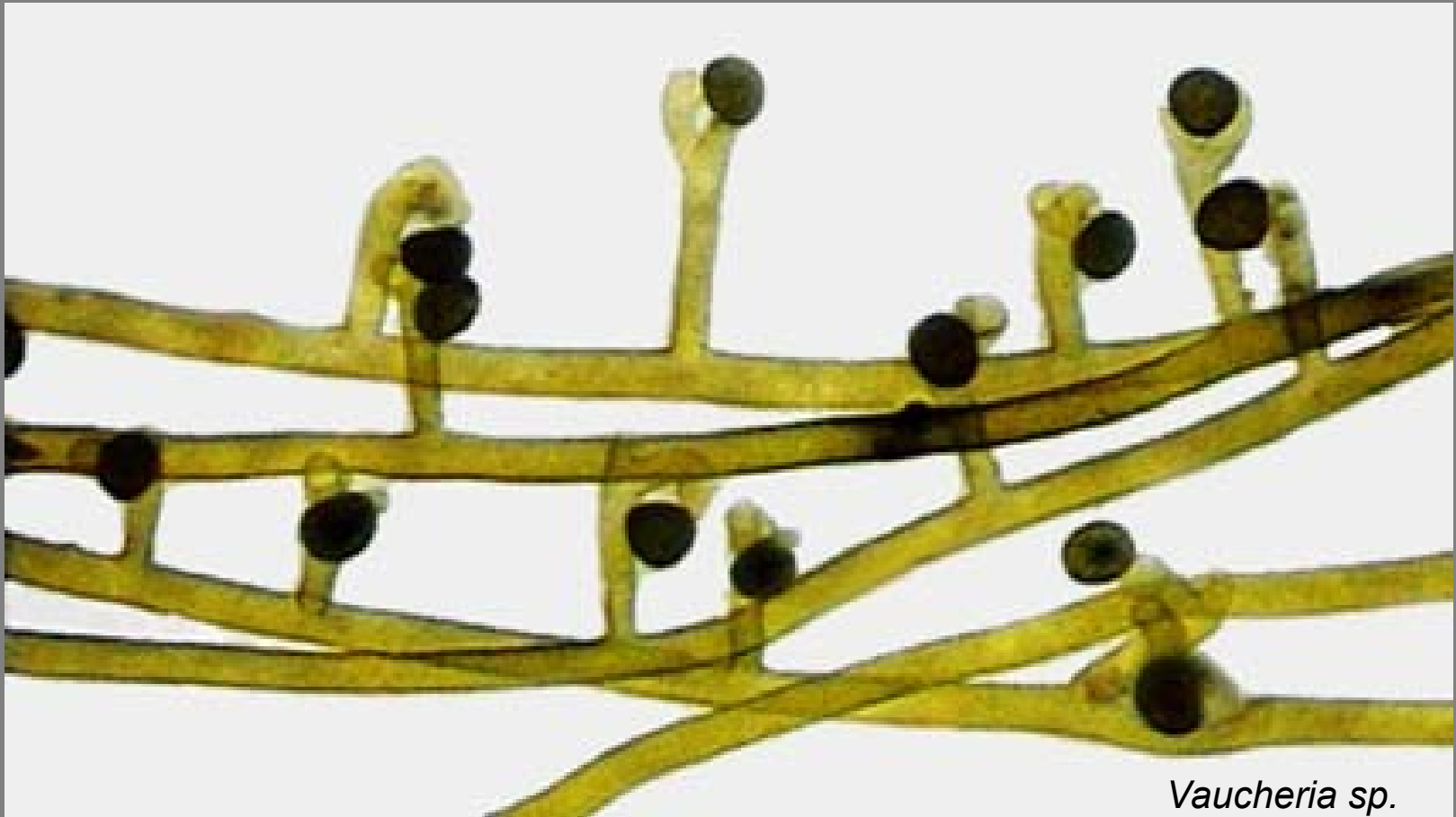
Isogame ou anisogame chez les *Botrydium*

Zoospores de grande taille pourvues de multiples paires de flagelles





Class Xanthophyceae

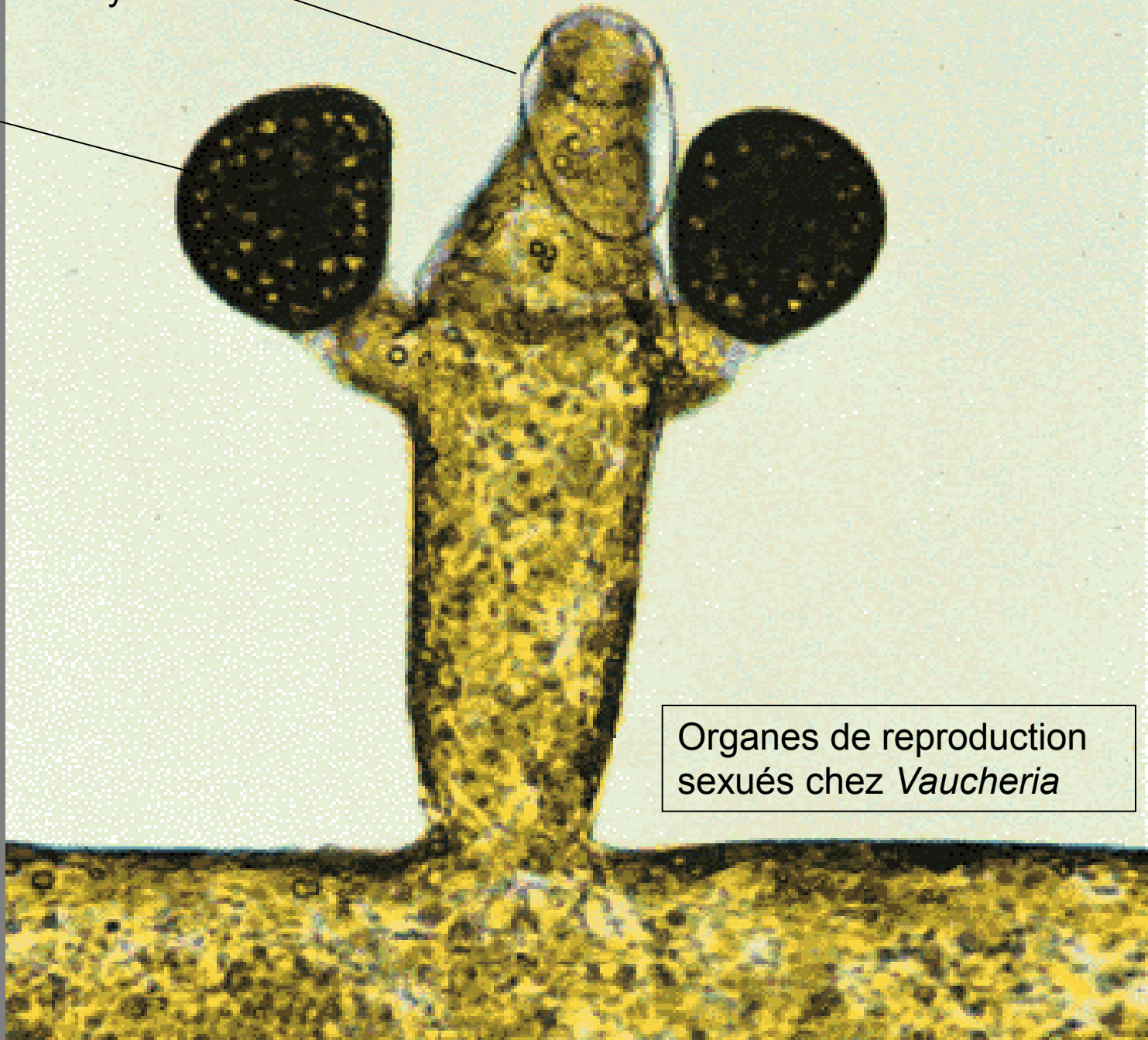


Vaucheria sp.

Unicellulaires ou filamenteux (coenocytique)

vestige du gamétocyste mâle

oosphère



Organes de reproduction
sexués chez *Vaucheria*

Ochrophyta - Phaeophyceae

PHAEOPHYCEAE

285 genres et 2000 espèces

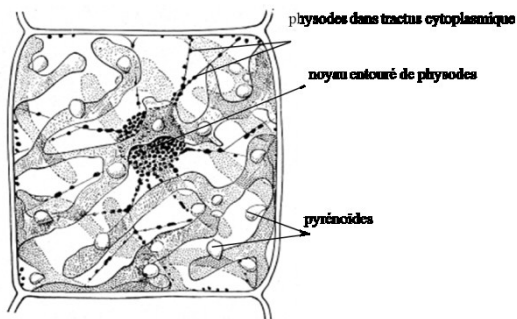
Pluricellulaires Filaments microscopiques, thalle pseudoparenchymateux laminarine (β 1,3 glucane) et mannitol

PLASTE

- Chl a, 2 formes de Chl c
- β carotènes
- Fucoxanthine, violaxanthines
- Enveloppe à 4 membrane (CER)
- Chloroplastic Endoplasmic Reticulum: vestige de l'endosymbiose secondaire en continuité avec l'enveloppe nucléaire
- Thylacoïdes par 3
- 1 à plusieurs plastes par cellules

RESERVES

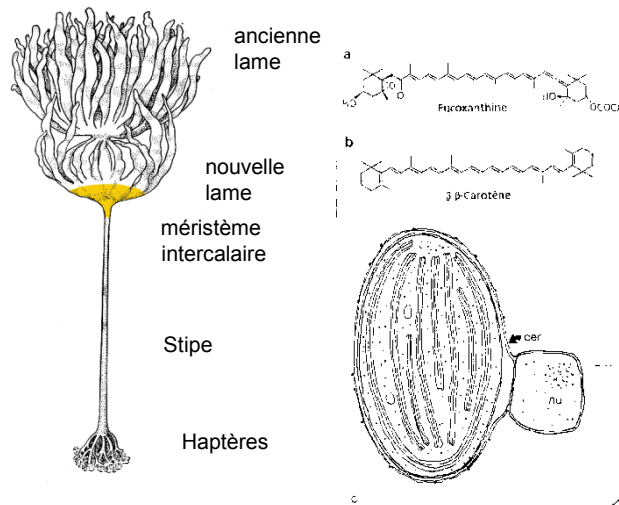
laminarine (β 1,3 glucane) et mannitol



plusieurs plastes ribasés pariétaux, chacun avec plusieurs pyrénoïdes casqués (cellule de Phaeophyceae)

PHYSODES

Vésicules réfringentes dans la vacuole qui contiennent des tannins (phlorotannins = phénol) similaires aux terpènes.



PAROI

- Cellulose (support structural, 1 à 10% du poids sec)
- Acide alginique (polymère de mannuronique et guluronique (35 à 50% du poids sec) sels (alginates) de Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+} (E 401...))
- Polysaccharides sulfatés (Fucanes)

2 Caractères autapomorphiques

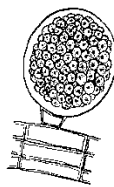
- Plasmadesmata



Graham & Wilcox (2000) Prentice Hall

- Sporocystes uni et pluriloculaires

meïoses
(a)



mitoses
(b)



FIG. 27. (a) unilocular and (b) plurilocular sporangia of *Sphaelaria* sp.

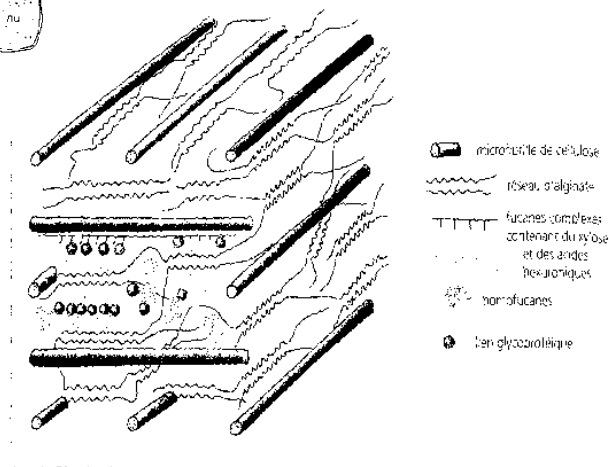


Fig. 3.41. Structure schématique de la paroi des algues brunes. (D'après Kloreg et Quatrano, 1988.)

REPRODUCTION

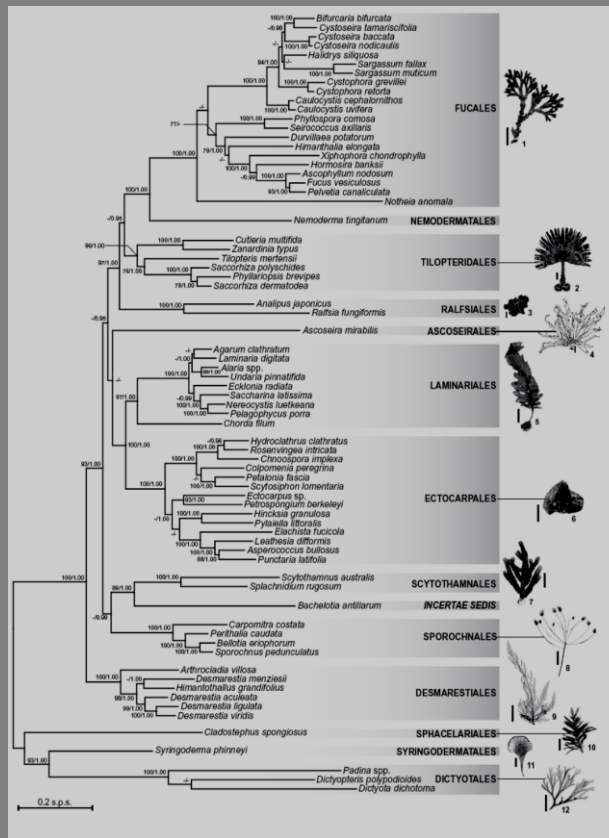
Sexuée

- isogamie, oogamie (oosphère et spermatozoïde)
- Chimiotactisme: attraction du gamète mâle par le gamète femelle par
- émission d'ectocarpènes

Sporocyste: uniloculaire ou pluriloculaire

Cycle de reproduction:

- alternance de phase haploïde et diploïde individualisée (isomorphe ou
- hétéromorphe)

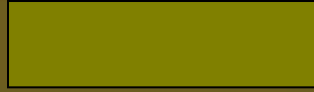


ML phylogram resulting from the combined global data set (72 taxa, 10 genes, 10325 nt).





Class Phaeophyceae



Fucus spiralis et vesiculosus

Les Fucales

Ascophyllum nodosum



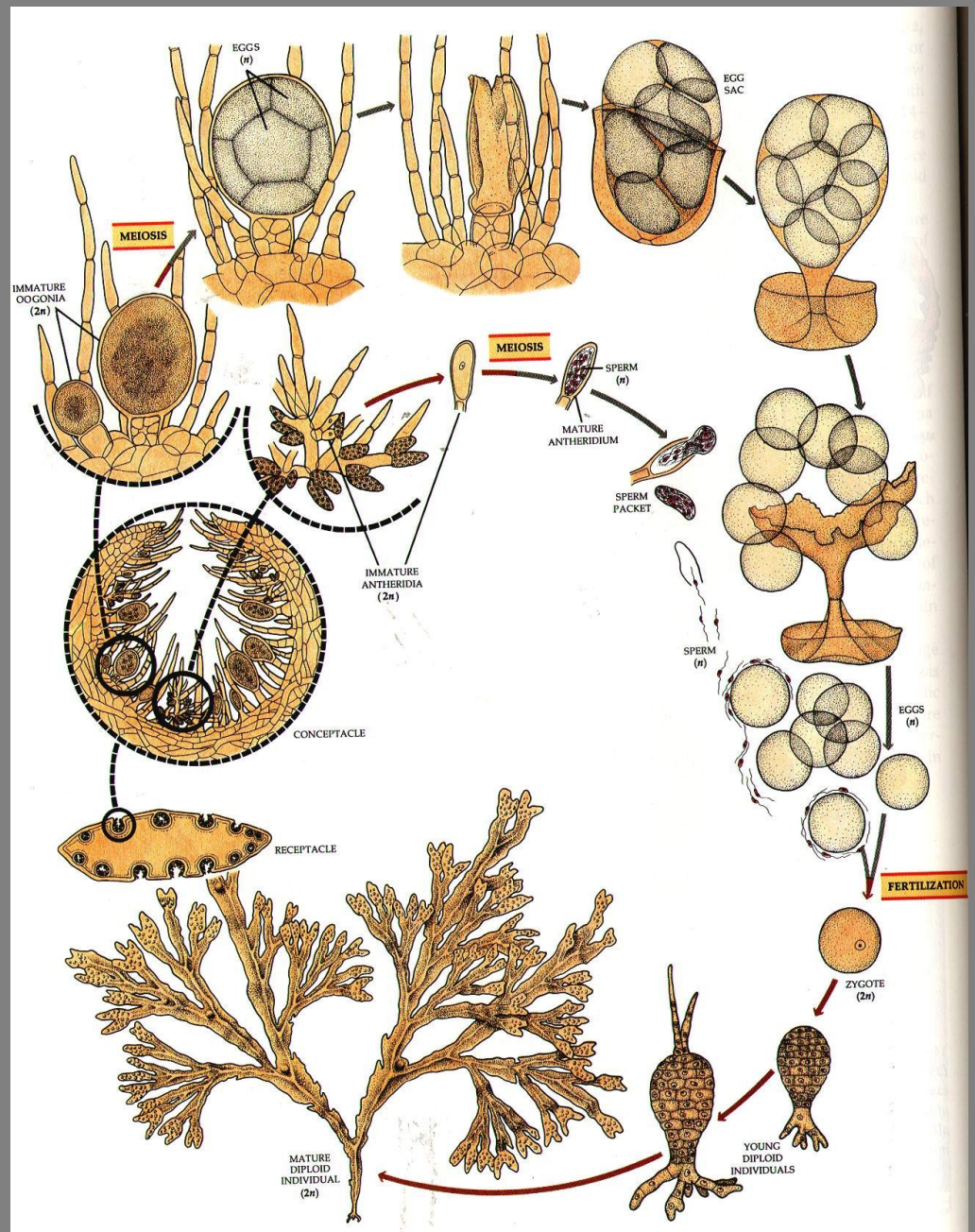
Fucus spiralis



Fucus vesiculosus



Cycle du *Fucus spiralis*



Laminaria hyperborea



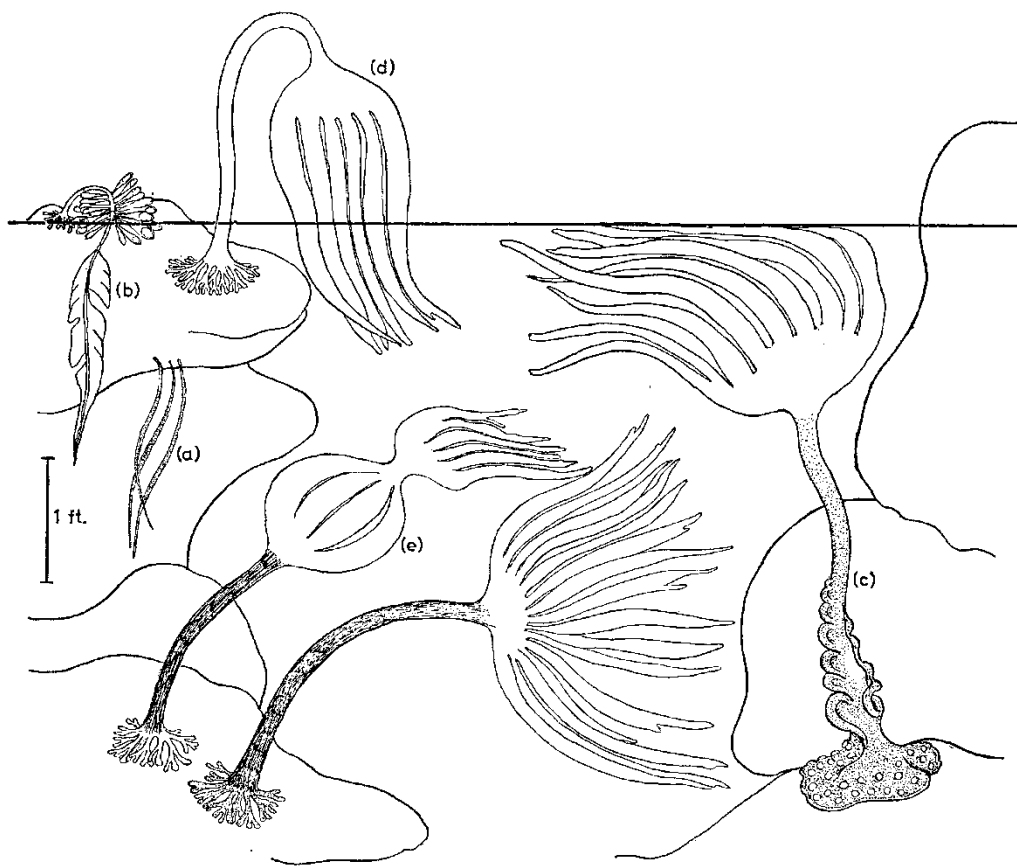
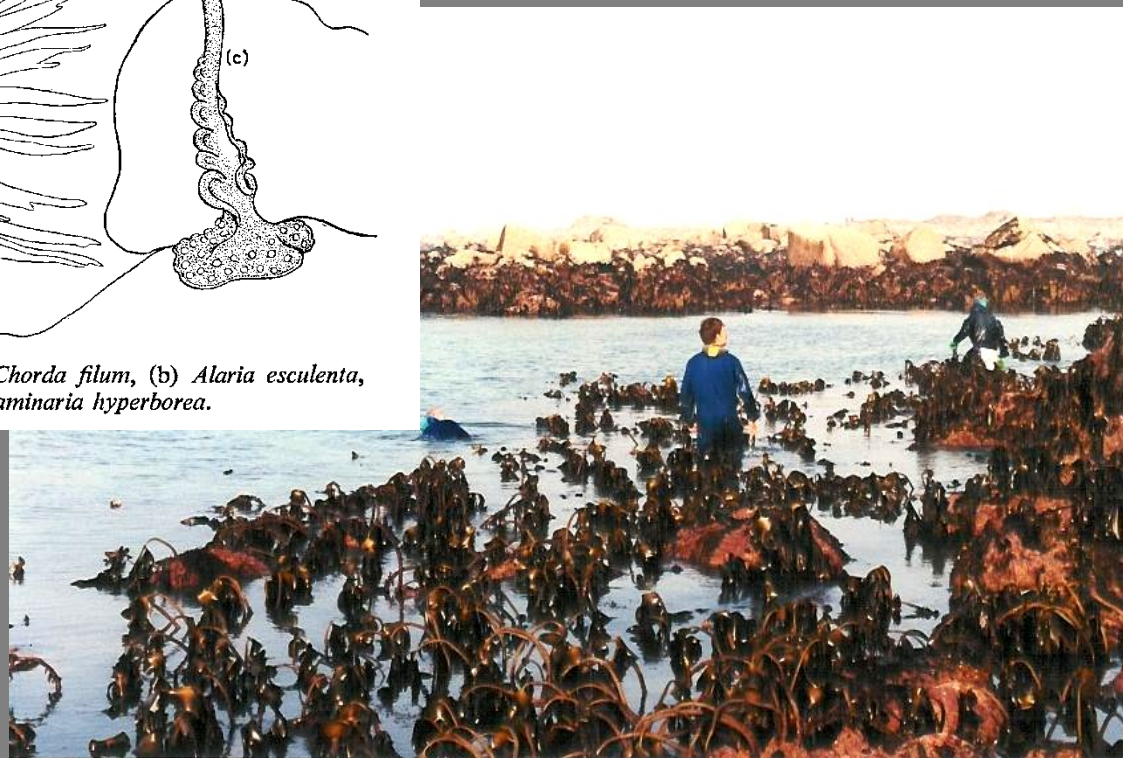
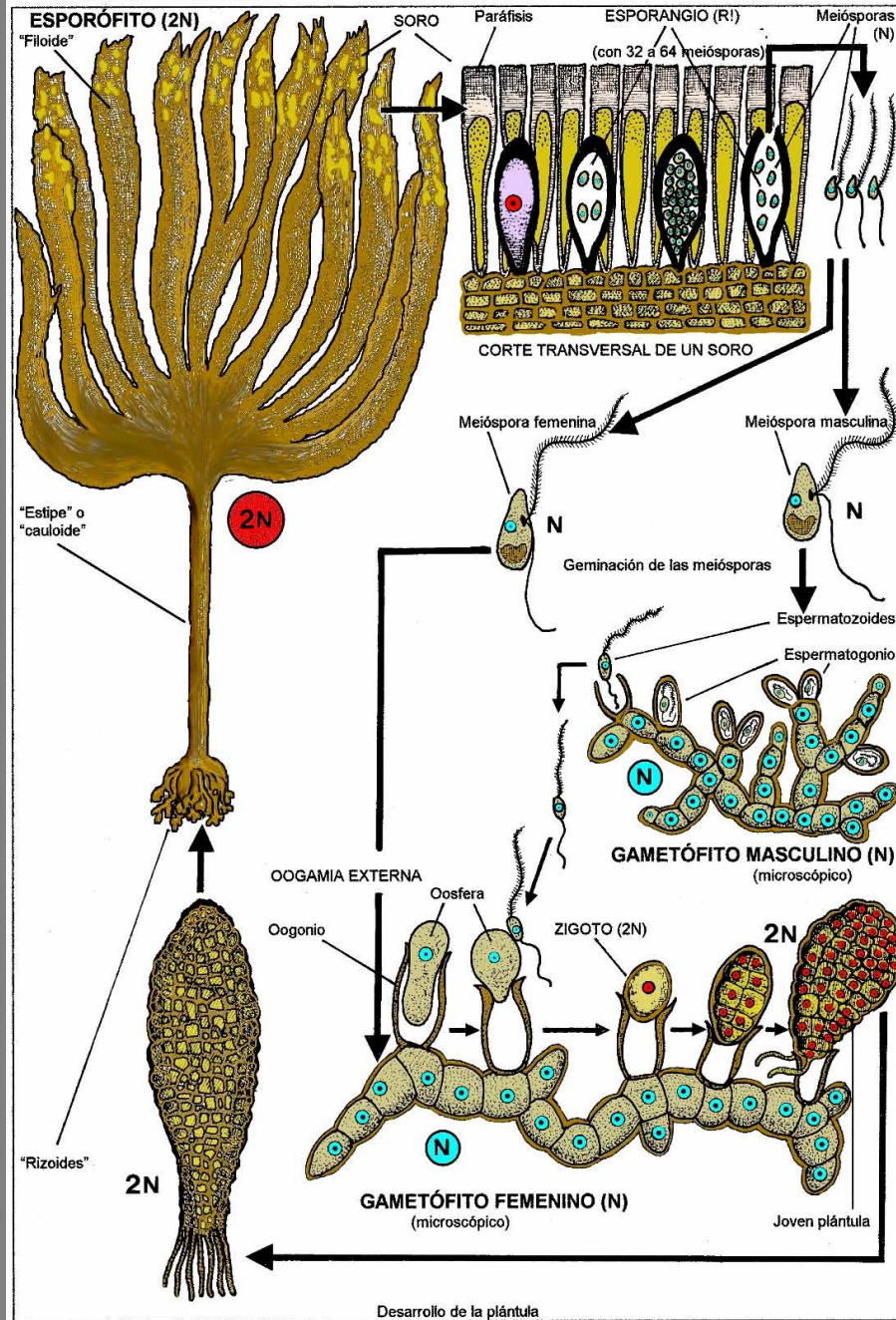


FIG. 30. Laminariales found in the British Isles. (a) *Chorda filum*, (b) *Alaria esculenta*, (c) *Saccorhiza polyschides*, (d) *Laminaria digitata*, (e) *Laminaria hyperborea*.



CICLO DE LAMINARIA FLEXICAULIS (Feofíceas, algas pardas)
DIGENÉTICO HETEROMÓRFICO CON ESPORÓFITO DOMINANTE, DIPLOHAPLOFÁSICO.
ORGANISMO DIPLOBIÓNTICO





Laminariales

A sunset over a large body of water, likely a lake or bay. The sun is low on the horizon, creating a bright, shimmering path of light across the water's surface. The sky is filled with soft, golden light and some light clouds. In the distance, a small boat is visible on the water, and the horizon line is marked by some landmasses.

- **Références:**

- **de Reviers B, 2002 « Biologie et phylogénie des algues »
Edition Belin Tome 1 et 2**
- **Lee, R.E. 1989. « Phycology » Cambridge University Press**
- **Sze, P. « A biology of the algae » WCB, McGraw-Hill**