

Les algues des lagunes côtières

Line Le Gall

Enseignant chercheur ISYEB

Responsable de la collection d'algues PC

Déléguée aux explorations scientifiques

1. Présentation du MNHN
2. Présentation des enjeux de connaissance sur la biodiversité
3. La diversité phylogénétique des algues
4. Les algues remarquables des lagunes
5. Echanges avec les étudiants



1. Présentation du MNHN

Le Muséum national d'Histoire naturelle est un établissement français de recherche et de diffusion de la culture scientifique naturaliste sous la tutelle conjointe des ministères de l'enseignement supérieur et de la recherche et de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.



Dans ses statuts le Muséum s'est vu attribué 5 grandes missions dans les spécialités propres à l'établissement :

- 1.-La recherche ;**
- 2.-L'enseignement et la formation à la recherche ;**
- 3.-Les collections ;**
- 4.-La diffusion de la culture scientifique ;**
- 5.-L'expertise.**

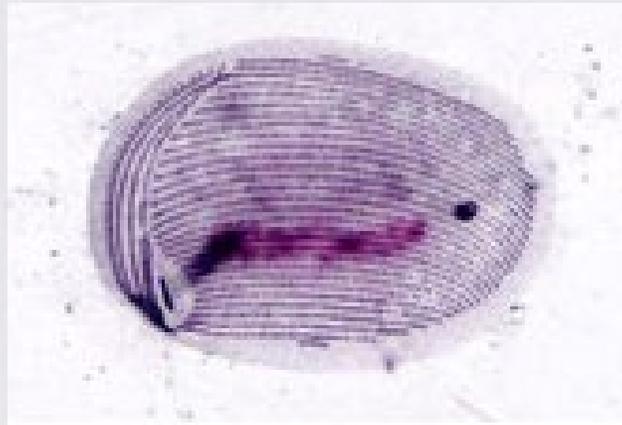


1. La recherche au Muséum

HOMME ET ENVIRONNEMENT



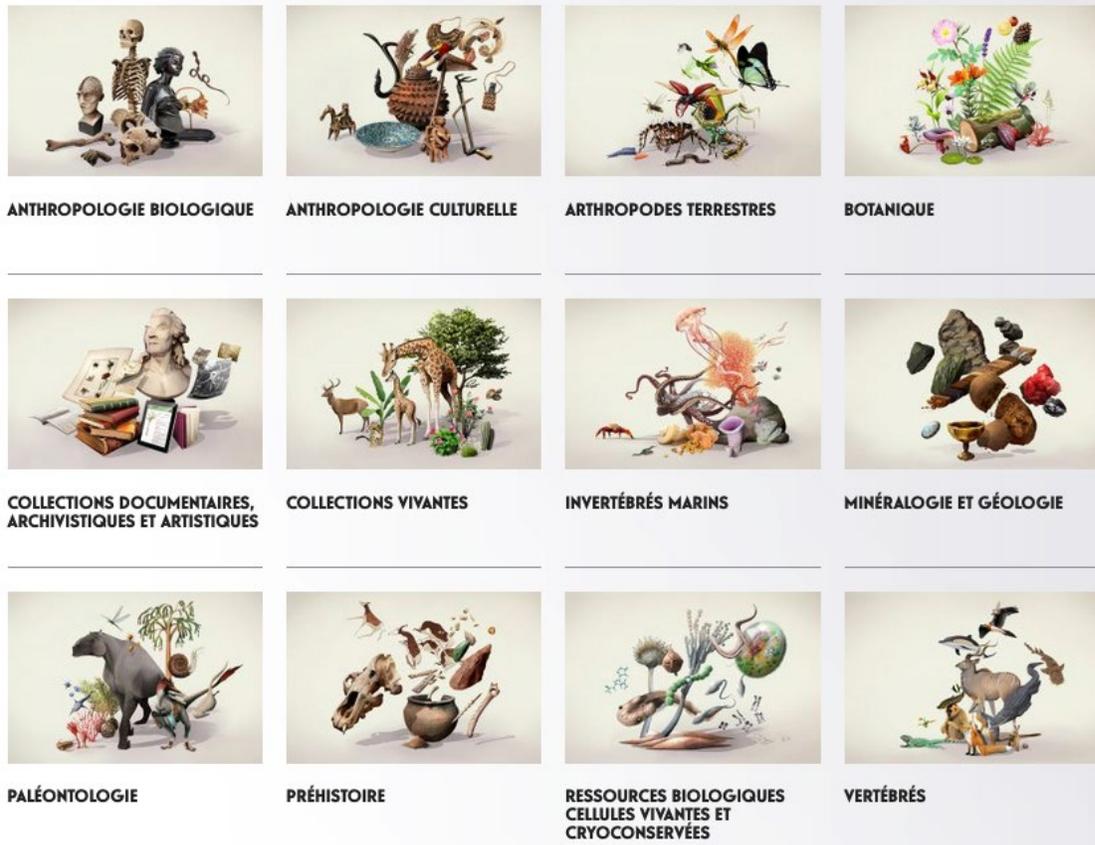
ADAPTATIONS DU VIVANT



ORIGINES ET ÉVOLUTION



1. Les collections du Muséum

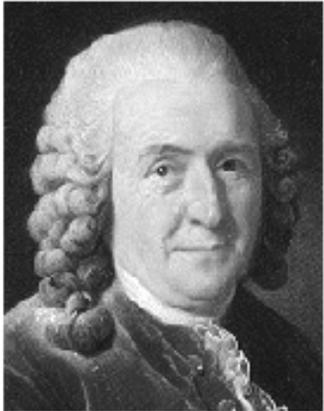


Avec plus de 60 millions de spécimens dont une très forte proportion de « types », parmi les plus importantes du monde avec celles du National Museum of Natural History de Washington et du musée d'histoire naturelle de Londres

Accès aux collections:

<https://science.mnhn.fr/institution/mnhn/collection/pc/item/search>

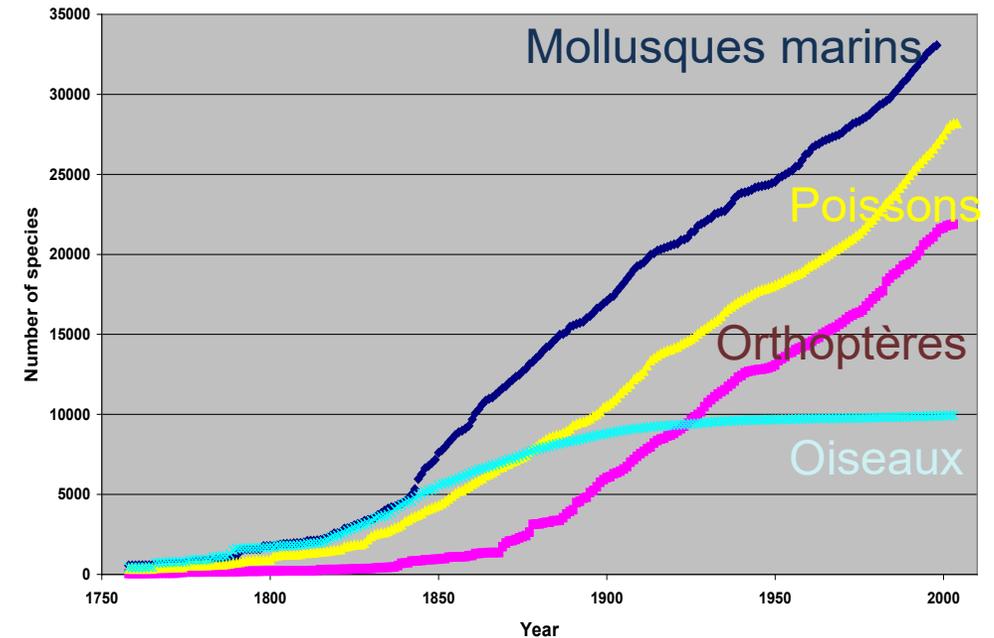
2. Enjeux de connaissance sur la biodiversité



Carl Linnaeus
1707-1778

- 1,8 million d'espèces ont été décrites, mais le nombre réel se situe entre 8 et 15 millions
- Au rythme actuel, il faudrait entre 500 et 1000 ans pour compléter l'inventaire de la planète.
- L'essentiel des ressources est actuellement dédié aux taxons charismatiques, au détriment des invertébrés et des plantes.

Species naming curves for various taxa



2. Enjeux de connaissance sur la biodiversité



La Convention sur la diversité biologique (CDB, ou Convention de Rio) est un traité international adopté lors du sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, avec trois buts principaux :

1. la conservation de la biodiversité ;
2. l'utilisation durable de ses éléments ;
3. le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques.

En 2010, la CDB a adopté un plan stratégique décennal pour lutter contre la perte de biodiversité dans le monde, ainsi que 20 objectifs concrets (les **objectifs d'Aichi**) afin d'atteindre cet objectif global.

En 2010, les parties à la CDB ont également adopté le **protocole de Nagoya** sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation (APA).

2. Enjeux de connaissance sur la biodiversité

Contexte réglementaire

Lutte contre l'érosion de la biodiversité

-> Nécessite une législation commune et ambitieuse

Une ambition écologique transfrontalière portée par directives EU dites « nature »

Directive Oiseaux (2019/147/CE)

Directive Habitat Faune Flore (92/43/EEC)

Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM, 2008/56/CE)

ambitionne l'amélioration/maintient de l'état de conservation/ état écologique

L'amélioration de la qualité des eaux UE y contribue également

Directive Cadre sur l'eau (2000/60/CE)

visé à prévenir et réduire la pollution de l'eau et promouvoir son utilisation durable, protéger les écosystèmes aquatiques

Au titre de la DCE, l'état écologique d'une lagune est défini par rapport à l'écart observé des communautés aquatiques et de la composition physico-chimique des eaux avec la situation de ces mêmes éléments dans des conditions non ou peu perturbées par l'homme.



2. L'expertise au Muséum



Présentation UMS PatriNat

« *Unité mixte de service PatriNat (Patrimoine Naturel),
centre de données et d'expertise sur la Nature* »



Mission = Expertise et Gestion des connaissances pour 3 tutelles :

- L'Office français de la biodiversité (**OFB**)
- le Muséum national d'Histoire naturelle (**MNHN**)
- Le Centre national de la recherche scientifique (**CNRS**)



... s'inscrit dans une logique d'appui scientifique et technique à la mise en œuvre de la Loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages à la mise en œuvre de la Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB) et aux suivis des engagements internationaux de la France (CDB, Directives européennes...).



2. L'expertise au Muséum



The screenshot shows the INPN website interface. At the top, there are navigation tabs: ACCUEIL, ACTUALITE, OUTILS, PROGRAMME, DONNEES & OUTILS, and PARTICIPER. Below the navigation, there is a search bar and a list of categories. The main content area displays the search results for 'Corallium rubrum (Linnaeus, 1758)'. It includes the scientific name, a common name 'Corail rouge (rouge)', and a distribution map of France. There are also buttons for 'Afficher les 1488 données sur la répartition' and 'Télécharger les 84 jours de données'.



The screenshot shows the INPN OpenData portal search interface. The header includes the INPN logo and the text 'Portail français d'accès aux données d'observation sur les espèces'. Below the header, there are navigation tabs: A PROPOS, RECHERCHE AVANCEE, FAQ, and API / DEVELOPPEUR. The main search area is titled 'RECHERCHER DES DONNEES' and includes a search bar, a dropdown menu for 'Espèces / Autres taxons', a text input for 'Régions / Départements / Communes', a dropdown for 'Groupes d'espèces', a text input for 'Fournisseurs de données', and a text input for 'Années d'observation'. There are 'rechercher' and 'effacer' buttons at the bottom right.

81 883 202 observations

5 572 lieux de données

152 330 espèces recensées

165 560 taxons recensés

The brochure content includes the INPN logo and the text 'Inventaire National du Patrimoine Naturel'. It features a photograph of a butterfly on a pink flower. Below the logo, there is a section titled 'TOUTE LA NATURE EN UN CLIC !' with a photograph of a mountain landscape. The brochure also includes a list of questions and answers, a section for 'TROUVER LA REGION SUR OUPHOURS', and a section for 'RESEAU NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE SERVICE DE PATRIMOINE NATUREL'. At the bottom, there are logos for the French Republic, the Ministry of Culture, and the Muséum National d'Histoire Naturelle.

2. Les explorations scientifiques

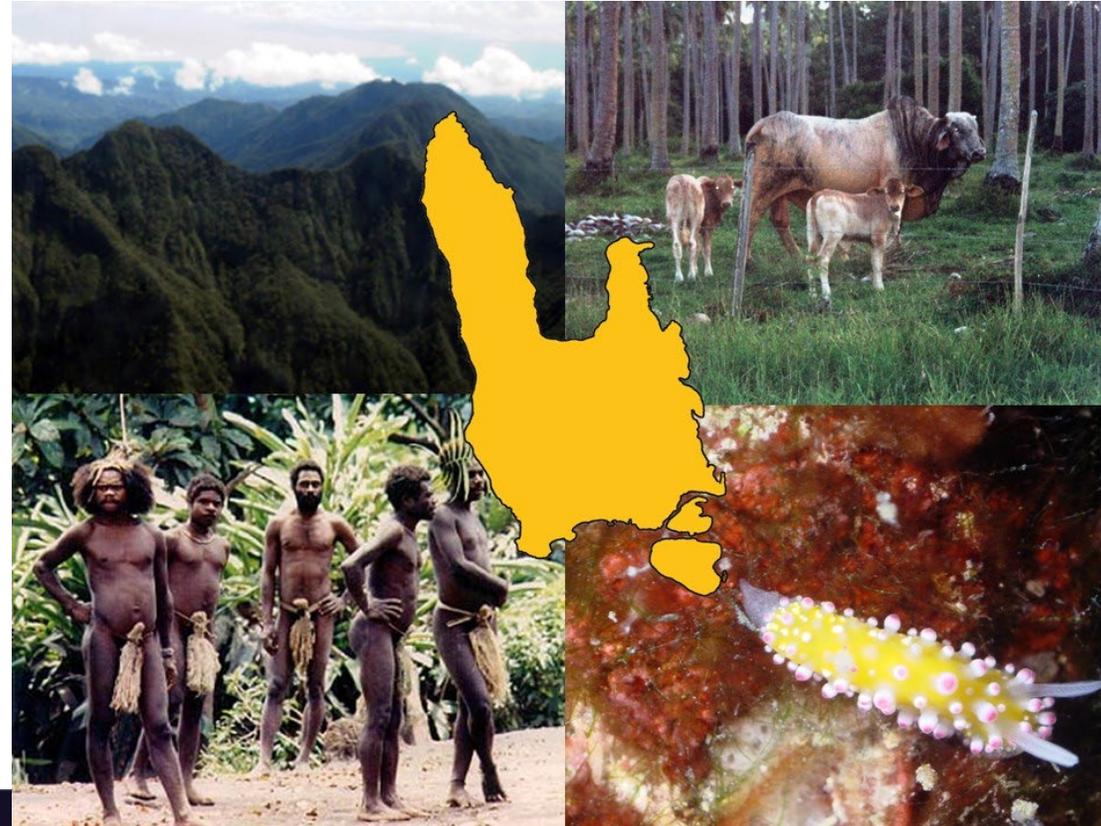


Pourquoi organiser des expéditions scientifiques au 21e siècle?

-> répondre aux enjeux de connaissances scientifiques en lien avec la biodiversité afin de documenter le patrimoine naturel , de sensibiliser à sa fragilité pour le protéger afin de le préserver pour les générations présentes et futures.

La Première Expédition

Vanuatu 2006



La dernière Expédition

Corse 2019-2022

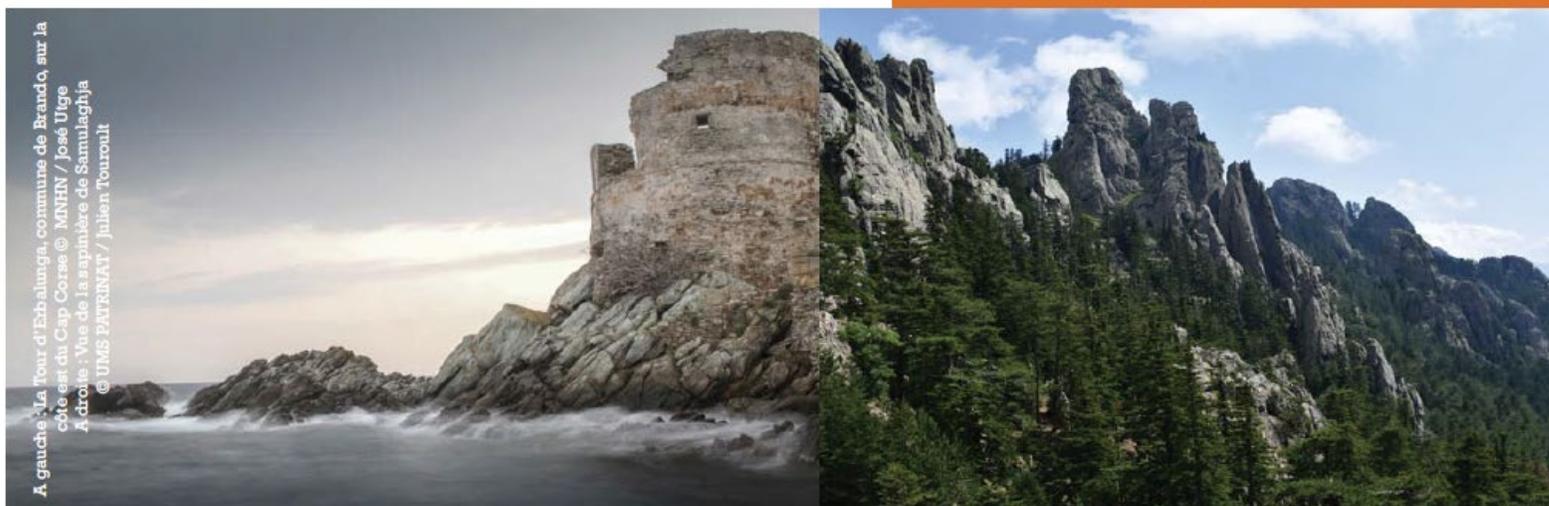


la planète
envisitée

Un Renouveau des Grandes Expéditions Naturalistes



Communiqué de presse - 2 mai 2019



A gauche : La Tour d'Eibralungu, commune de Brando, sur la côte est du Cap Corse © MNHN / José Utige
A droite : Vue de la sapinière de Samulaghja
© UMIS PAFENAT / Julien Touroult



La dernière Expédition

Corse 2019-2022



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Avec l'appui de :

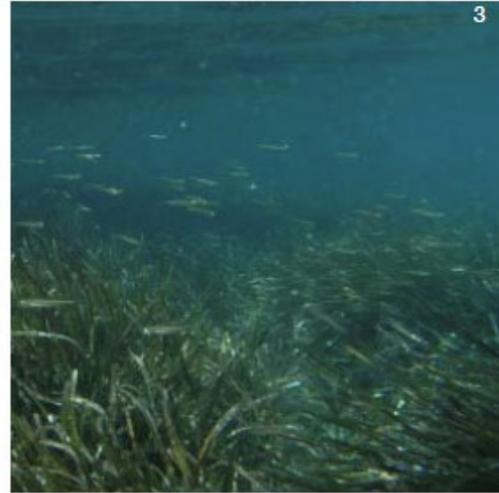
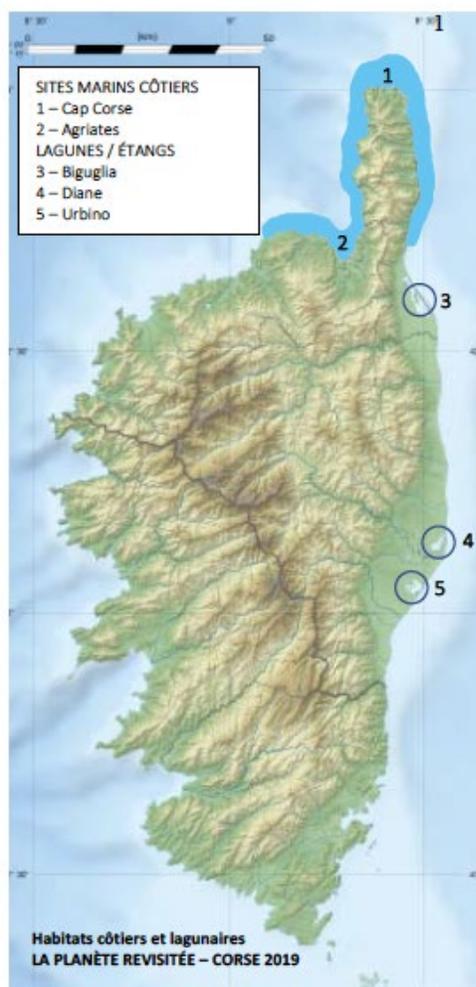




Volet terrestres

2021: côte orientale (étangs de Palo, Ovu Santu et Gradugine, forêt de Pinia), forêt de l'Ospédale, marais de Porto-Vecchio, défilé de Inzecca, lentilles calcaires de Conca, suberaies de Ceccia et Valavo

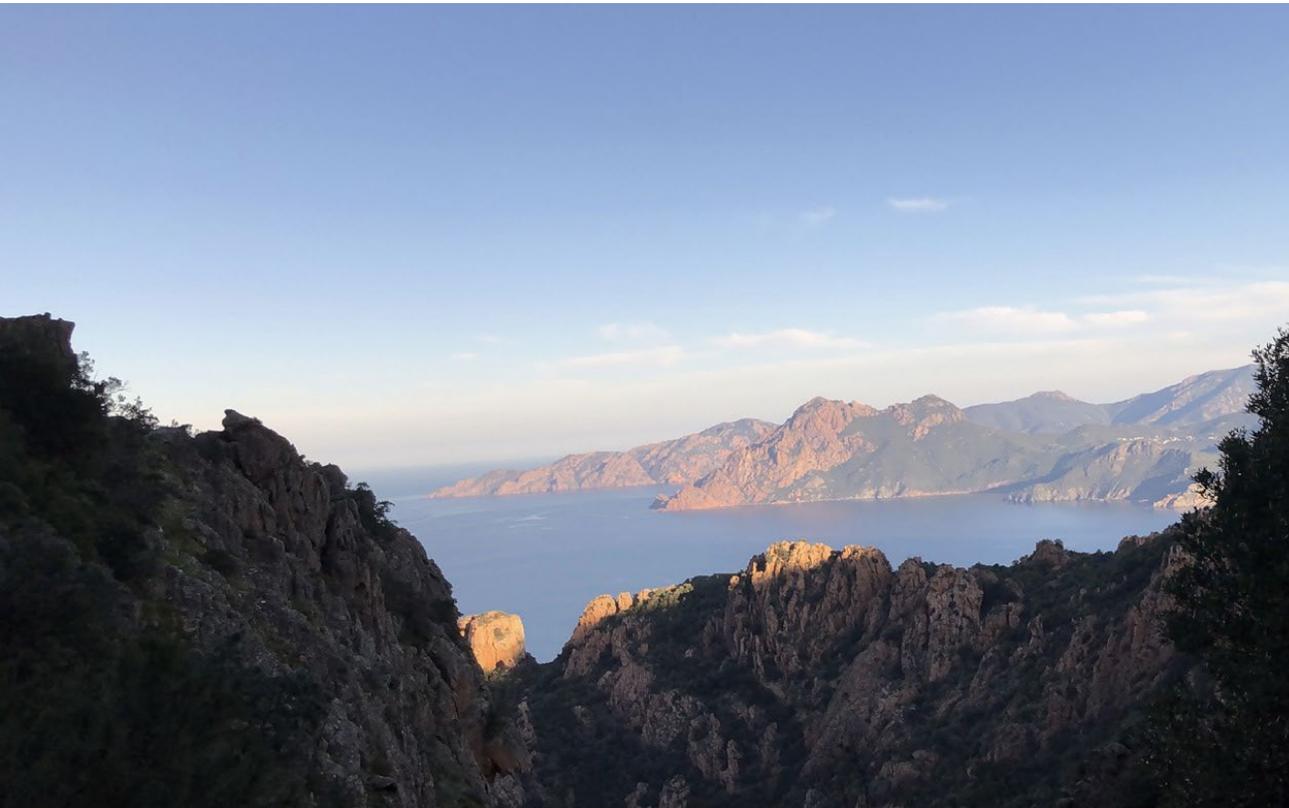
2019 : le Parc naturel marin (stelle mare)



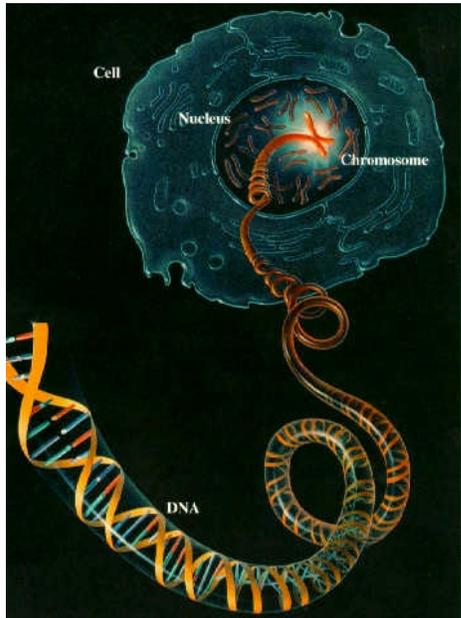
2020 : la RN des Bouches de Bonifacio



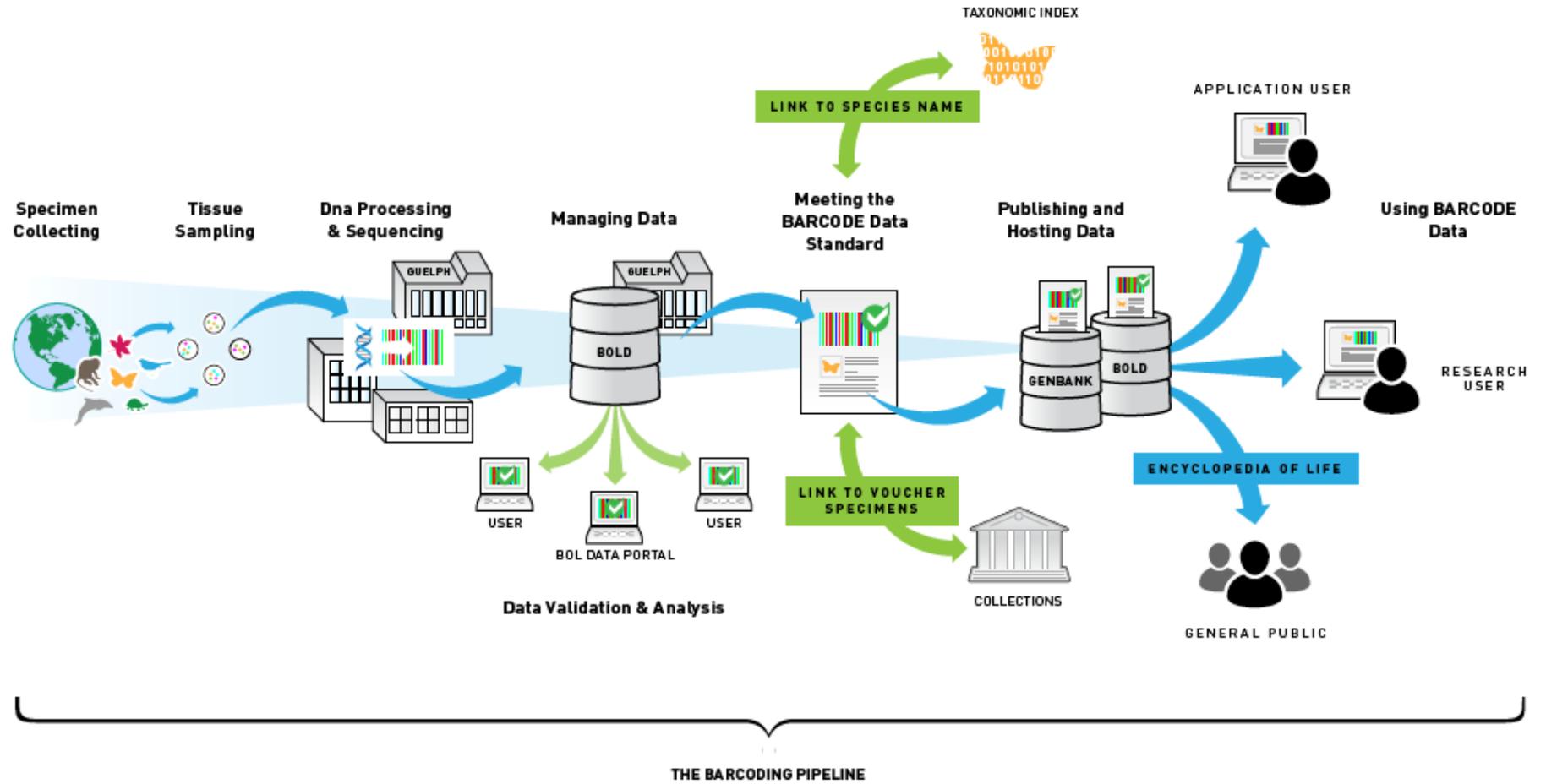
2021 : la façade occidentale (Porto)



2. Enjeux de connaissance sur la biodiversité

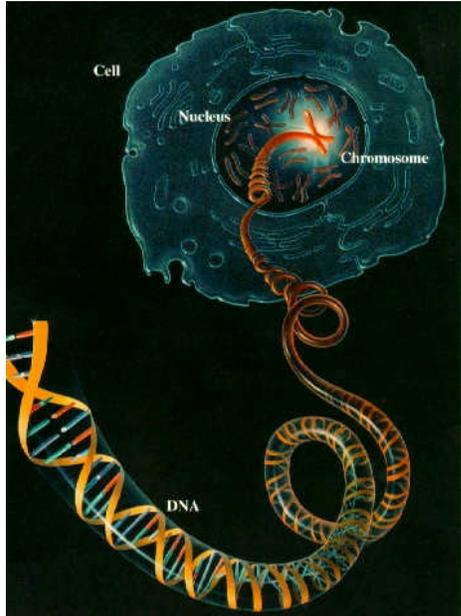


La révolution moléculaire



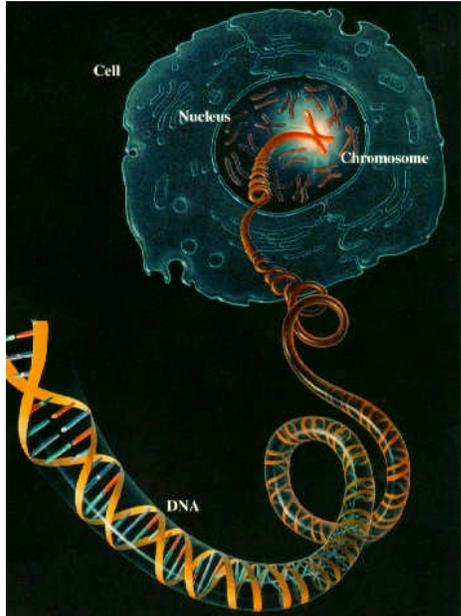
3. La diversité phylogénétique des algues

Les algues ne sont pas un taxon!



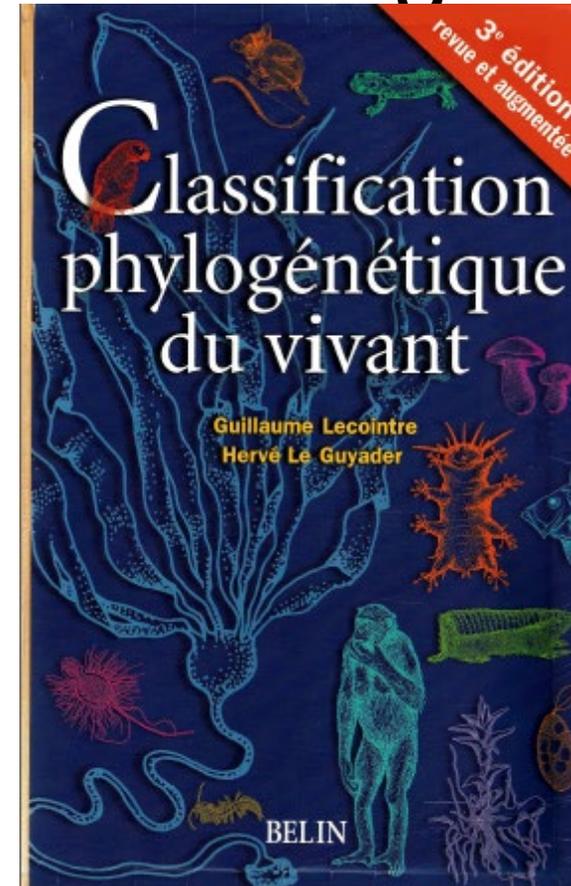
La révolution moléculaire

3. La diversité phylogénétique des algues



La révolution moléculaire

Les algues ne sont pas un taxon!

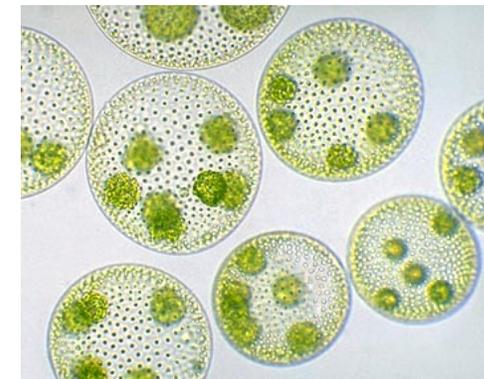
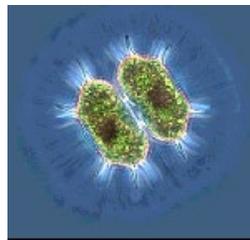
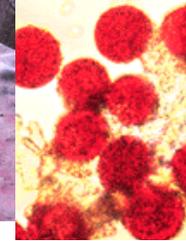
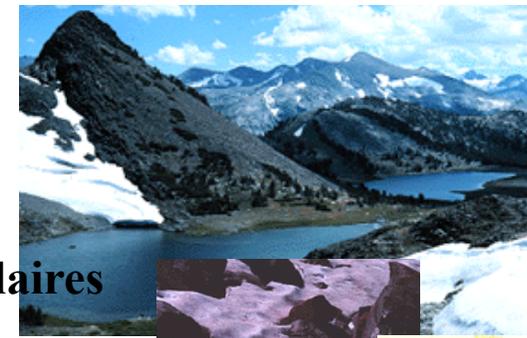


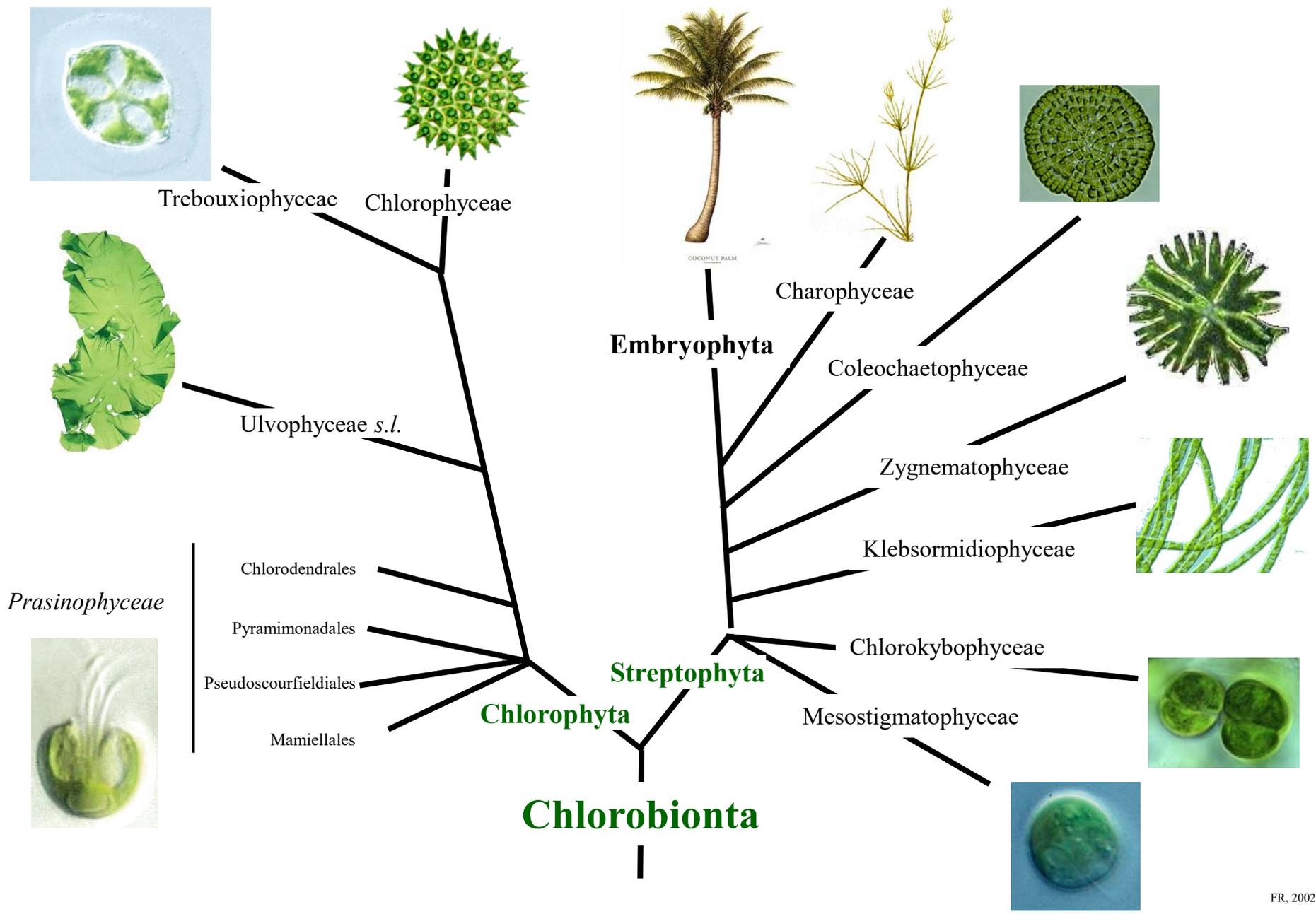
Les « algues vertes »



- 16500 espèces
- Organismes unicellulaires, coloniaux ou pluricellulaires
- Marines, dulçaquicoles ou terrestres
- Caractères généraux
 - Plastides à 2 membranes avec des thylacoïdes regroupés par 2 ou +
 - Pigments : Chl. a + b et caroténoïdes
 - Paroi : composition variable
 - Réserve : amidon intraplastidial
 - Cellules reproductrices : majoritairement flagellées de type isoconté
 - Cycle de vie : variable à 1 ou 2 générations

• **Problème phylogénétique** : les algues vertes ne forment pas un groupe monophylétique mais appartiennent à un vaste groupe incluant les Embryophytes





Nombre d'espèces d'algues vertes

Environ 16 500 espèces

10 000 Streptophyta / 6 500 Chlorophyta

Marines

1 500 Chlorophyta (dont 2/3 de macrophytes)
pas de Streptophyta

D'eau douce ou aériennes

Toutes les Streptophyta
environ 5 000 Chlorophyta

Surtout des microalgues mais aussi des algues de grande taille e.g.
Chara)



Les **Ulvophyceae**
Stewart *et* Mattox, 1978
(valid. 1984) contiennent la
très grande majorité
des algues vertes marines

Ulva clathrata
(Photothèque Reviers-Dumont)



Codium

Clichés B. de Reviers



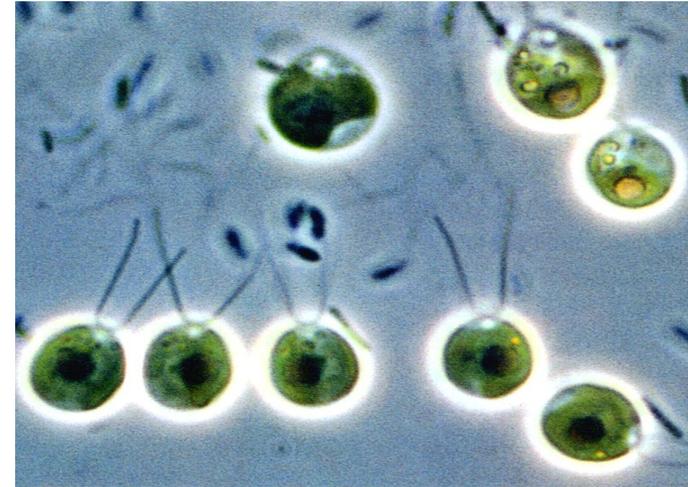
Les **Chlorophyceae *stricto sensu***
contiennent la très grande majorité
des micro-algues vertes d'eau douce
(hors ceux appartenant aux Streptophyta)



Oedogonium



Pediastrum



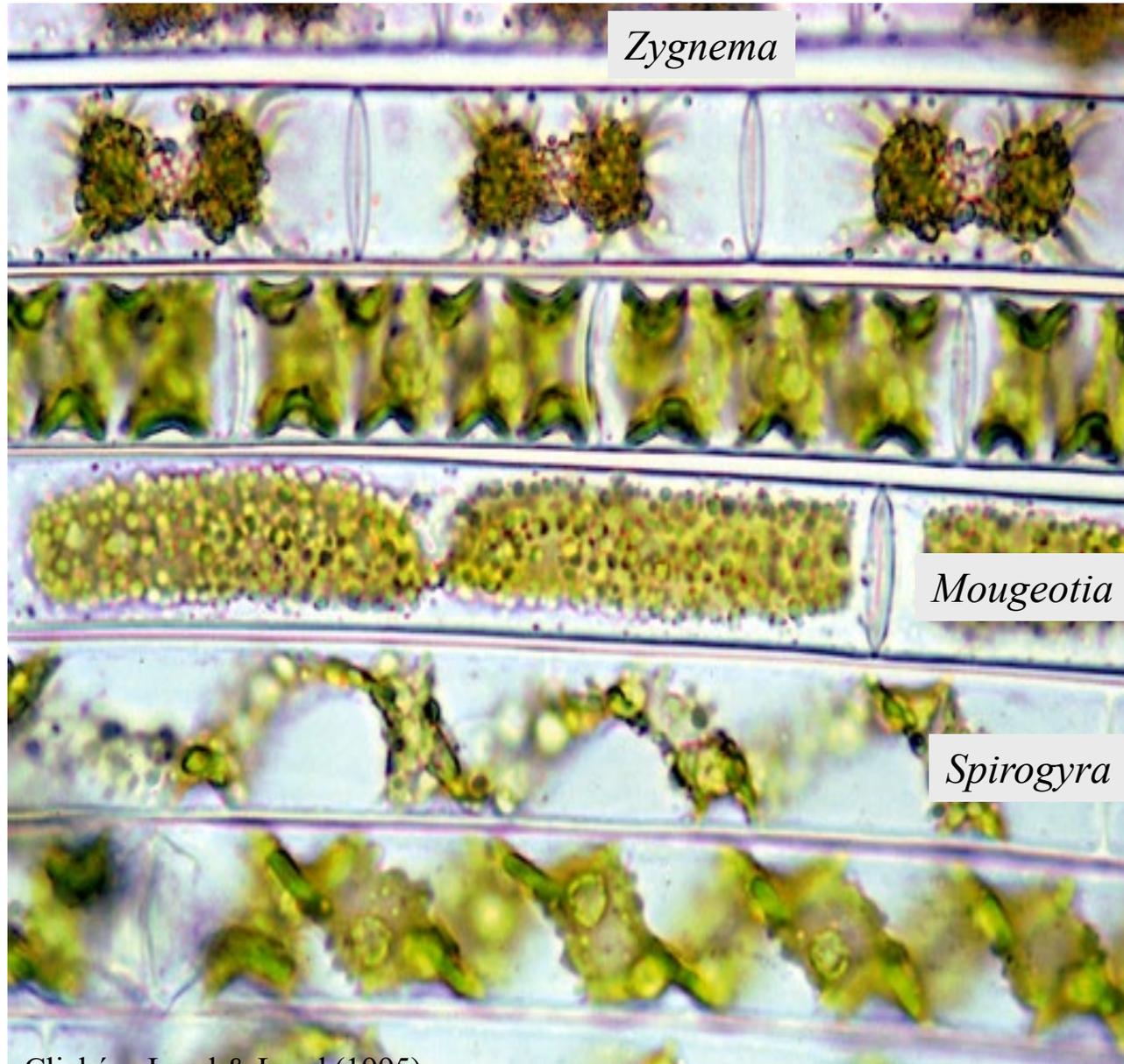
Chlamydomonas



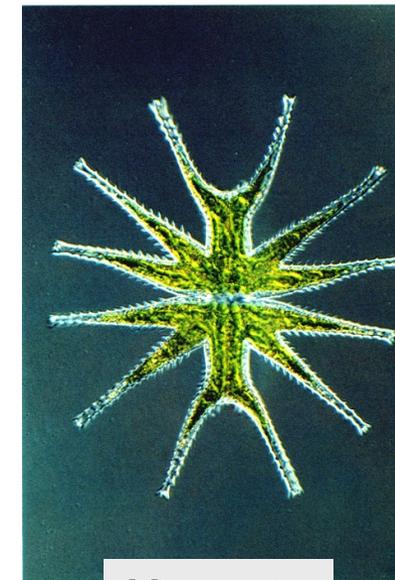
Clichés
Lund & Lund (1995)

Les Streptophyta :

environ 13 000 espèces, d'eau douce ou aériennes



Closterium



Micrasterias





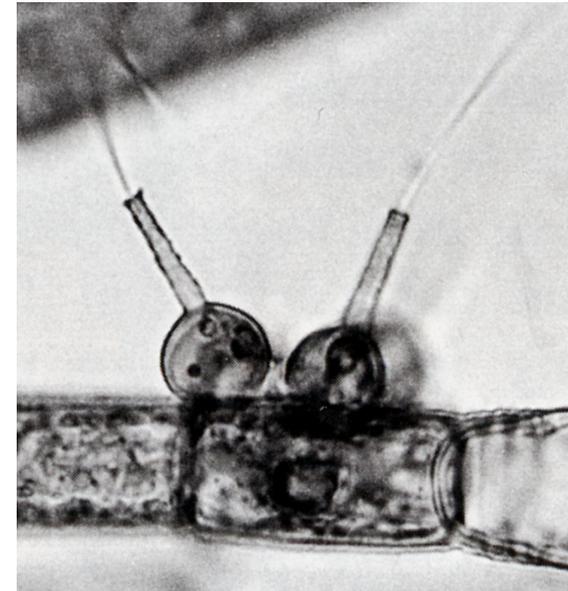
Nitella

Coleochaetophyceae
Bessey *ex* Woods, 1894



Clichés B. de Reviere

Charophyceae
stricto sensu
Rabenhorst, 1863

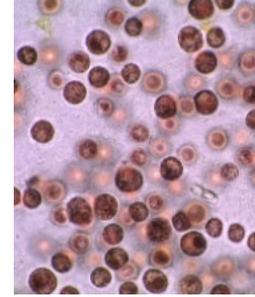


Les algues rouges ou Rhodophytes

- 600 genres et 7000 espèces
- Organismes essentiellement pluricellulaires
- Organismes essentiellement marins
- Quelques espèces sont hétérotrophes
- Caractères généraux



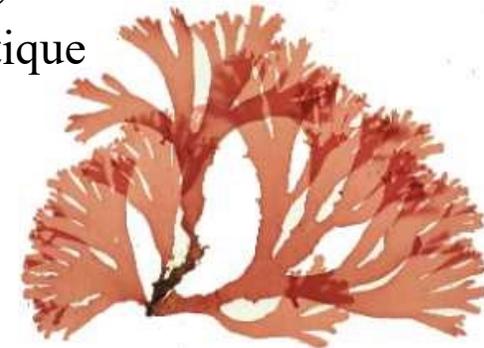
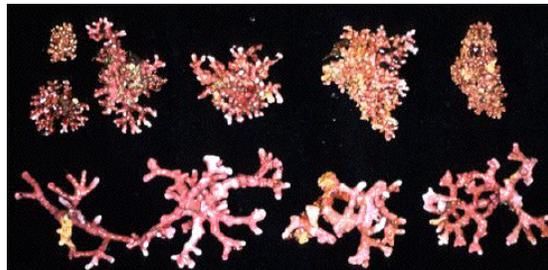
- Plastes à 2 membranes avec des thylacoïdes isolés
- Pigments : Chl. a + caroténoïdes + phycobilines
- Paroi : cellulose + galactanes sulfatés (agar ou carraghénanes)
- Structure particulière : la synapse
- Réserve : rhodamylon extraplastidial
- Cellules reproductrices : nues et dépourvues de flagelle
- Cycle de vie : en général trigénétique haplo-diplontique



Gracilariophila oryzoides

Sur

Gracilariopsis lemaneiformis





Porphyra sp.



Culture de *Porphyra* dans la baie de Tokyo



Tekka Maki
(Tuna Roll)



Utilisations des algues rouges

Alimentation humaine directe

Porphyra

Amendement des sols : Maerl

Utilisation des agars (E406) : pouvoir gélifiant thermoreversible

Extrait principalement de *Gelidium*, *Pterocladia*, *Gracilaria*

Utilisation dans l'Industrie agro-alimentaire (gélifiant et stabilisant),
bactériologie, biotechnologie (gel d'électrophorèse).

Utilisation des carraghénanes (E407) : pouvoir épaississant et gélifiant

Extrait principalement de *Chondrus crispus*, *Mastocarpus stellatus*,
Eucheuma, *Kappaphycus*, *Gigartina*

Utilisation dans l'Industrie agro-alimentaire (pour tous produits dérivés
du lait), diététique.



Bactéries

Chlorobiontes

Rhodobiontes

Métamonades

Discobés

Eumycètes

Choanoflagellés

Métazoaires

Amoébozoaires

Ochrophytes

Straménopiles

Oomycètes

Alvéolobiontes

Dinophytes

Archées

Haptophytes

Cryptophytes

Cercozoaires

Foraminifères

Radiolaires

Ciliés

Apicomplexés

Eucaryotes

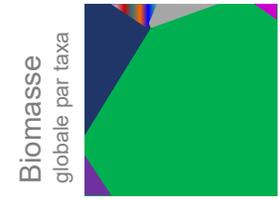
ARCHÉO PLASTIDÉS

AMORPHÉS

SAR

Rhizariens

Opisthocontes



LES SAR

SAR est un acronyme pour Stramenopiles, Alveolata et Rhizaria.

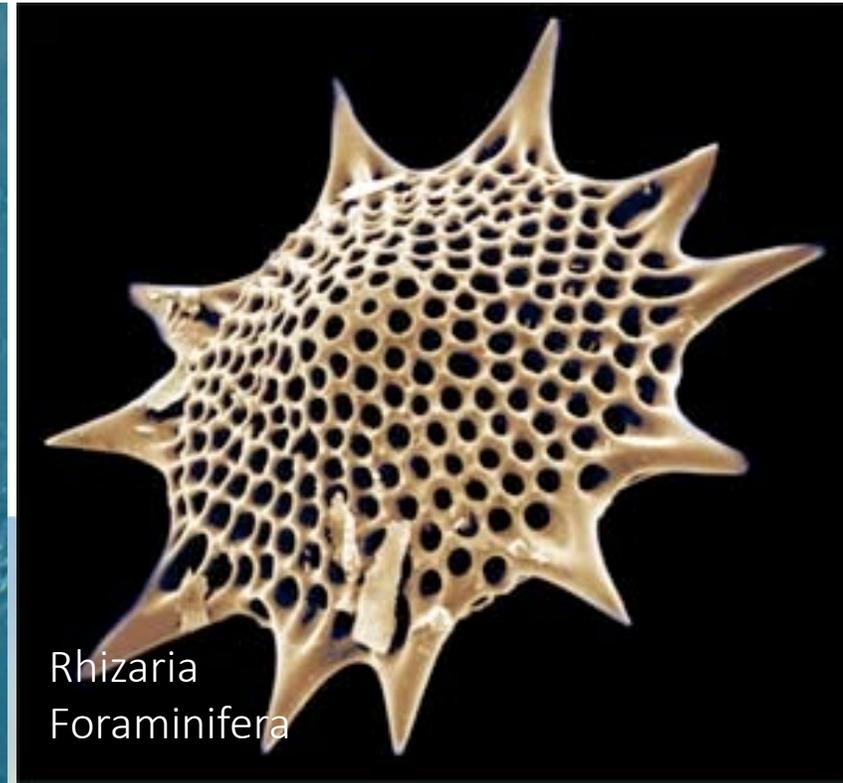
La relation de parenté a été mise en évidence par la phylogénie de Burki & al. en 2008.

Unicellulaire et multicellulaire vrai

Reproduction asexuée et sexuée

Habitat: marin, dulcaquicole, etc..

Pas de synapomorphie connue a ce jour...

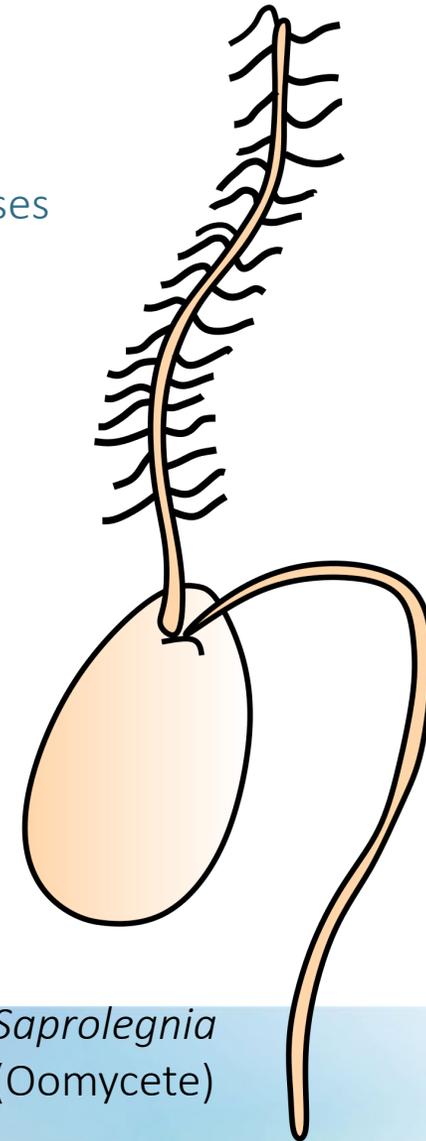


LES Stramenopiles (=Hétérokontes)

Les straménopiles des cellules bi ciliées, typique heterokontée
Cil antérieur avec mastigonème tripartites en deux rangs opposés
Cil postérieur lisse
Crête mitochondriale tubulaire
Racine du kinétosome avec 4 microtubules
Unicellulaire et multicellulaire vrai
Reproduction asexuée et sexuée
Habitat: marin, dulcaquicole, etc..
Tubular mitochondria cristae
Hétérotrophe et autotrophe



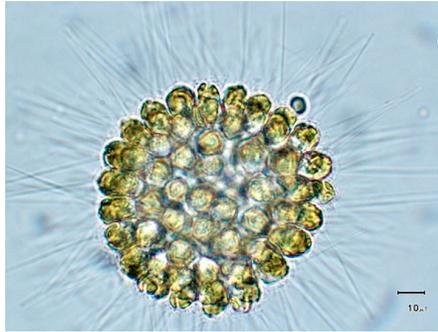
Opalina



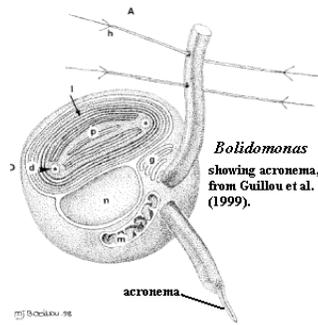
Saprolegnia
(Oomycete)

LES Stramenopiles (=Hétérokontes)

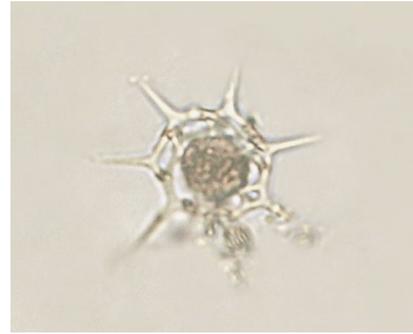
Chrysophyceae



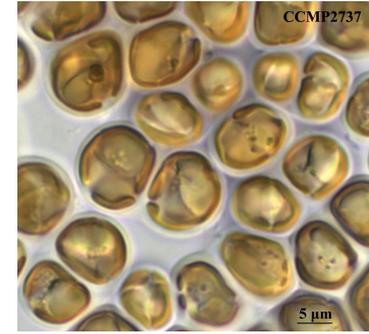
Bolidomonas



Dictyochophyceae



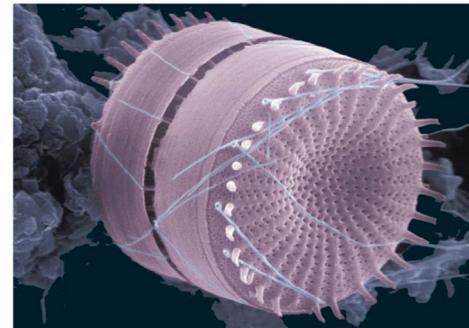
Pinguiochrysidales



Xanthophyceae



Phaeophyceae



Diatomophyceae



Raphidophyceae

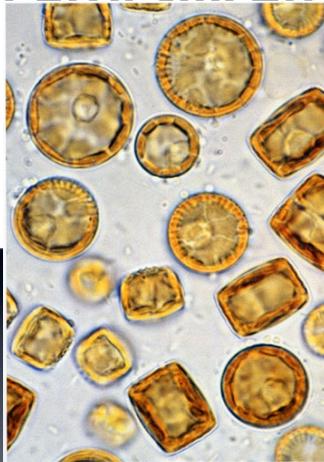
Diatomophyceae Rabenhorst, 1864 [= Bacillariophyceae Haeckel, 1878]



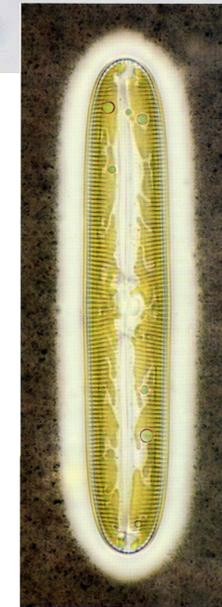
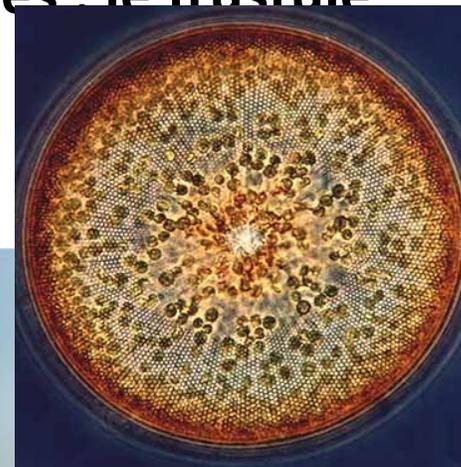
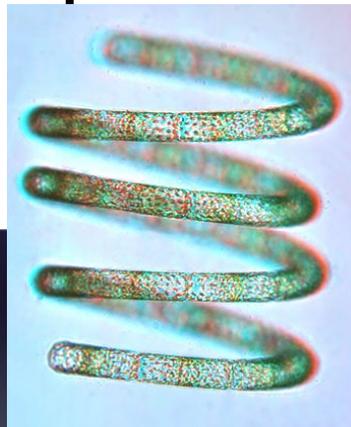
10 à 12 000 espèces

unicellulaires, marines ou d'eau douce

Daroi siliceuse composée de 2 valves : le frustule



Cyclotella

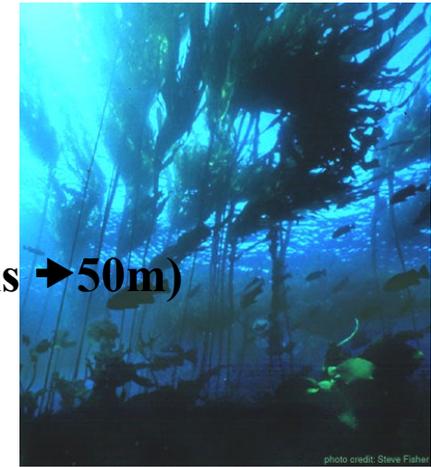


Pinnularia

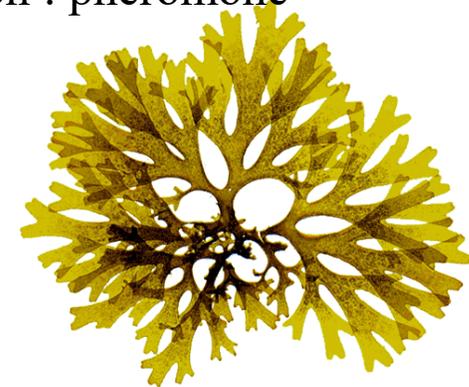
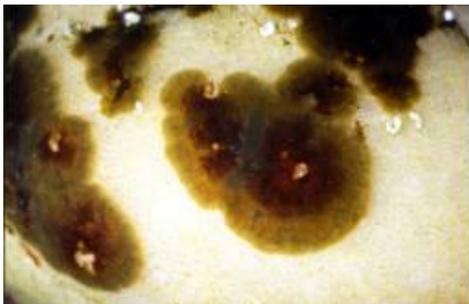


Les algues brunes ou Phaeophyceae

- ☀ ~ 265 genres et 1500-2000 espèces
- ☀ Organismes pluricellulaires (record de taille avec *Macrocystis* → 50m)
- ☀ Organismes presque tous marins
- ☀ Caractères généraux



- ☀ Plastides à 4 membranes avec des thylacoïdes regroupés par 3
- ☀ Pigments : Chl. a + c et caroténoïdes (xanthophylle dominante = fucoxantine)
- ☀ Paroi : cellulose + Acide alginique + Fucanes ; présence de plasmodesmes
- ☀ Réserve : laminarane (pas coloré au lugol, glucoses liés en β 1-3)
- ☀ Autres composants cellulaires : Mannitol + Physodes (polyphénol)
- ☀ Cellules reproductrices : flagellées de type hétéroconté avec insertion latérale
- ☀ Cycle de vie : digénétique haplo-diplontique ; Fécondation : phéromone





Poisson grenouille
(*Histrio histrio*) endémique
strict des amas de sargasses
pélagiques

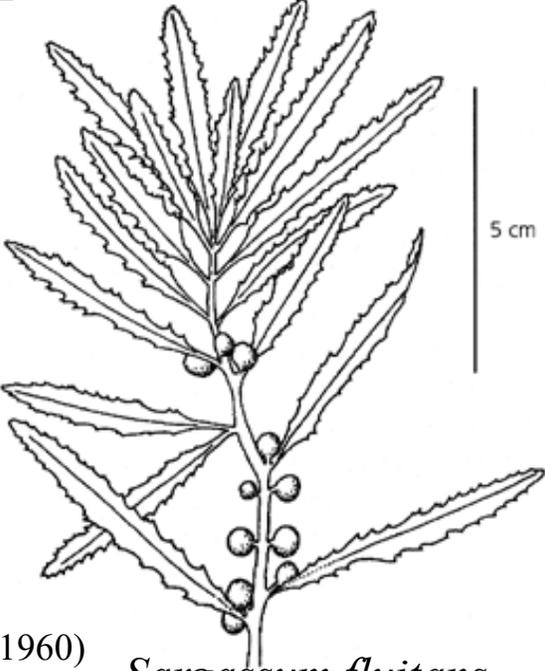


Sargassum vulgare



Sargassum natans

Taylor (1960)



Sargassum fluitans



Cliché B. de Reviers

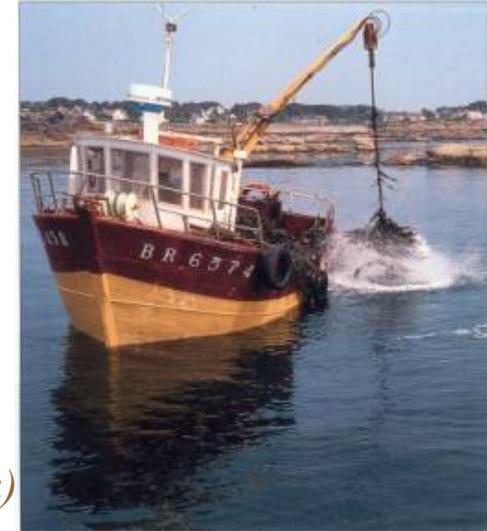
Turbinaria

**Des sargasses flottantes réparties en amas isolés dans
une zone de l'océan Atlantique nord située entre les
Antilles et les côtes de Floride constituent la mer des
Sargasses (4 millions de km²)**





Utilisations des algues brunes



Alimentation humaine directe

Undaria pinnatifida (Wakame), Laminaria japonica (Kombu)

Agriculture : fertilisants

Pulvérisation d'extraits *d'Ascophyllum*

Utilisation des alginates : pouvoir épaississant (E401-E404)

Industrie agro-alimentaire (sauces et aliments reconstitués), papiers, colles et enduits, textile, cosmétiques, pharmaceutique, en Médecine (empreintes dentaires, fabrication de pansements), fabrication des électrodes pour soudure

Production mondiale : 30 000 tonnes/an





Nereocystis luetkeana (K.Mertens) Postels & Ruprecht
British Columbia, Canada;
(Photographs, Web)



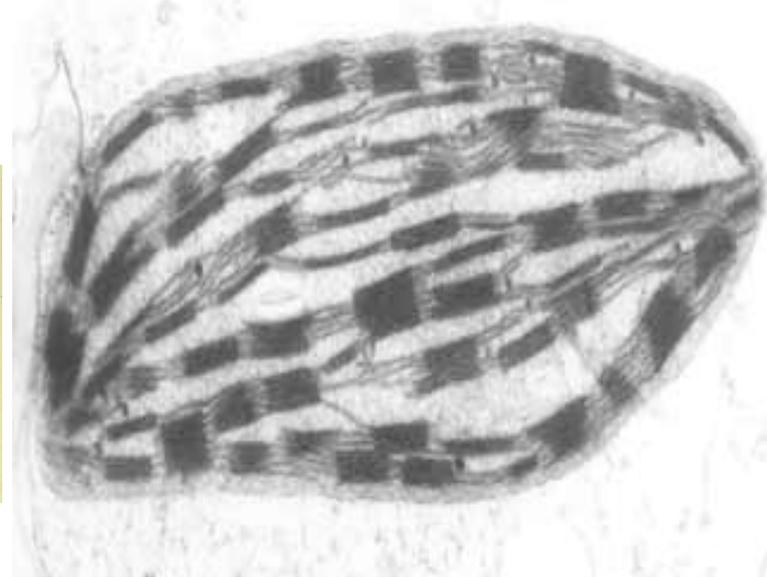
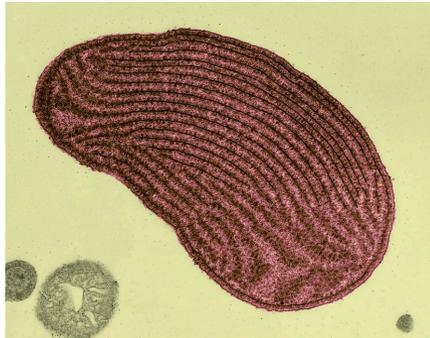
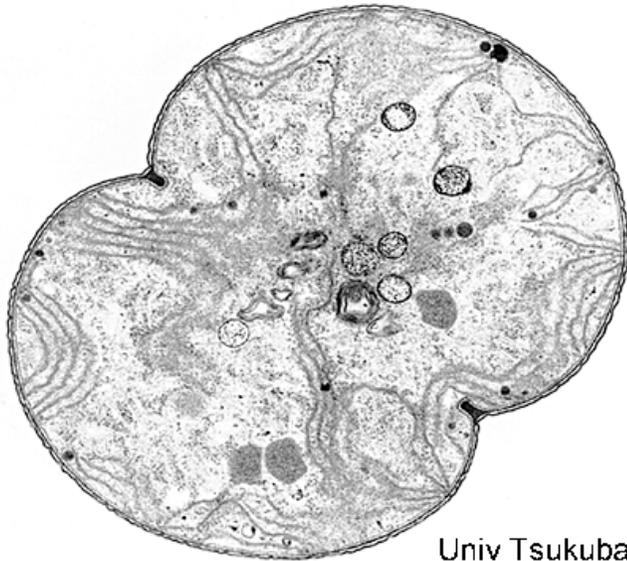
Hypothèse du Kelp
Une des voies de colonisation de l'Amérique par les hommes aurait été de longer la glace lors du dernier maximum glaciaire, entre 16 500 et 13 000 ans, en se nourrissant notamment des grandes algues brunes faciles à récolter en surface et qui amortissent le mouvement des vagues et en suivant leurs forêts



LA MEMBRANE DES PLASTES

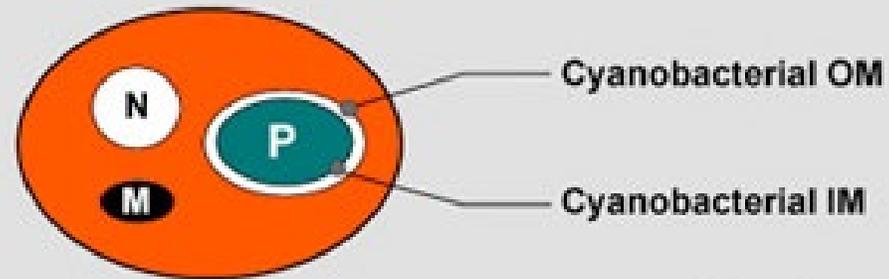
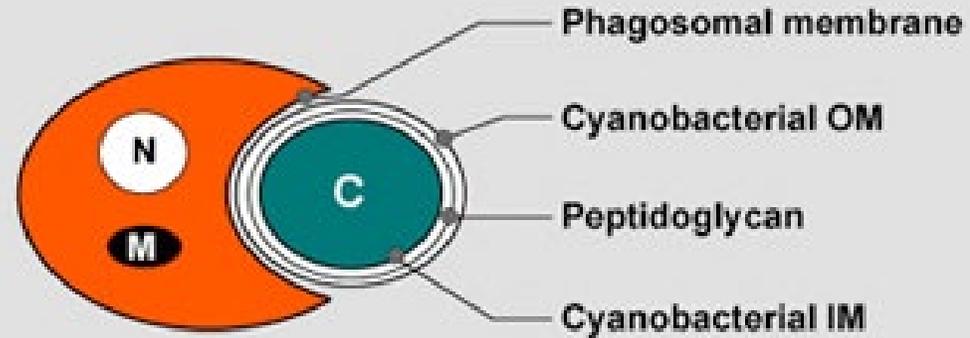
Les plastes des végétaux (algues + embryophytes) présentent la particularité d'être entourés de deux membranes ou plus

En microscopie électronique, les plastes ressemblent étrangement à des cyanobactéries, avec des thylacoïdes (système membranaire interne connu seulement chez les cyanobactéries et les plastes)



ENDOSYMBIOSE PRIMAIRE

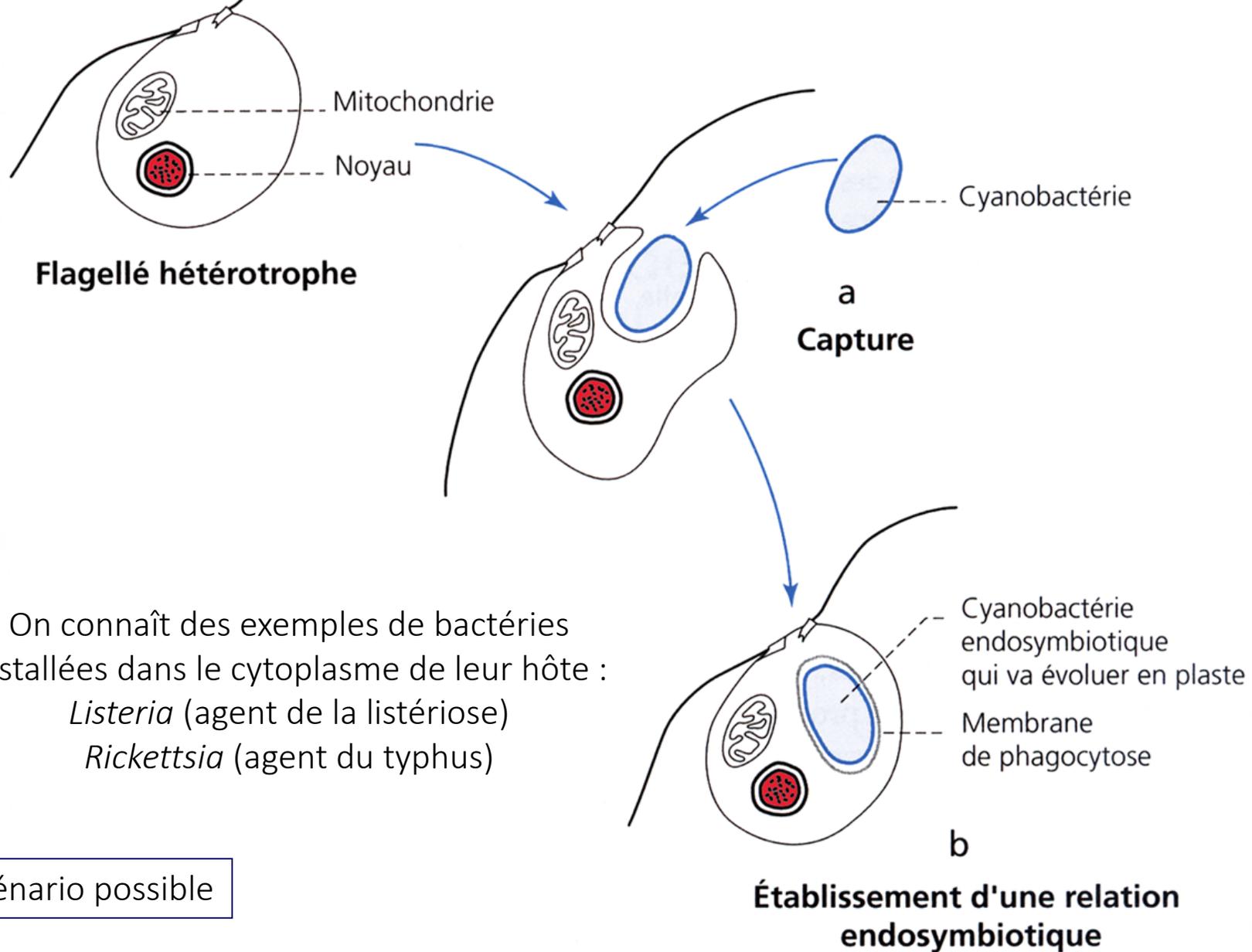
Primary Endosymbiosis—



N=nucleus
M=mitochondrion
C=cyanobacterium
P=plastid
OM=outer membrane
IM=inner membrane

Archibald & Keeling, 2003.

ENDOSYMBIOSE PRIMAIRE



Scénario possible

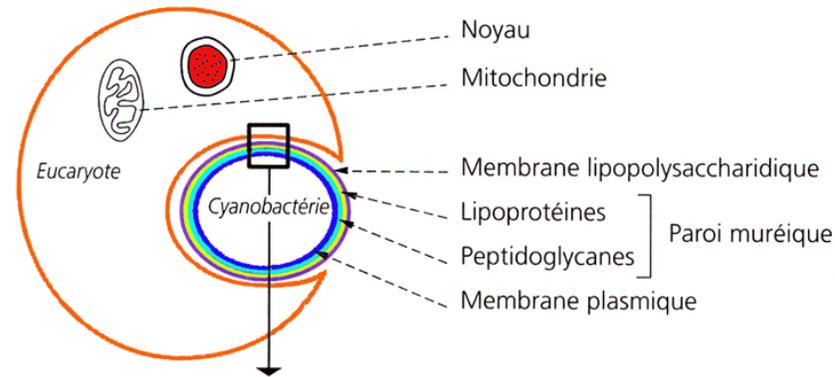
VERS UNE PREUVE DU CONCEPT

Les cyanobactéries sont des bactéries
elles possèdent une paroi muréique (peptidoglycane)

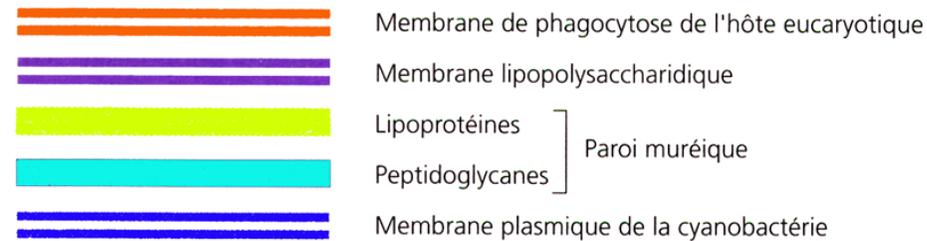
Apport de la biochimie :
En 1994, Löffelhardt et Bohnert montrent que ces peptidoglycane
sont identifiables dans l'enveloppe du plaste des Glaucophyta
entre les deux membranes.



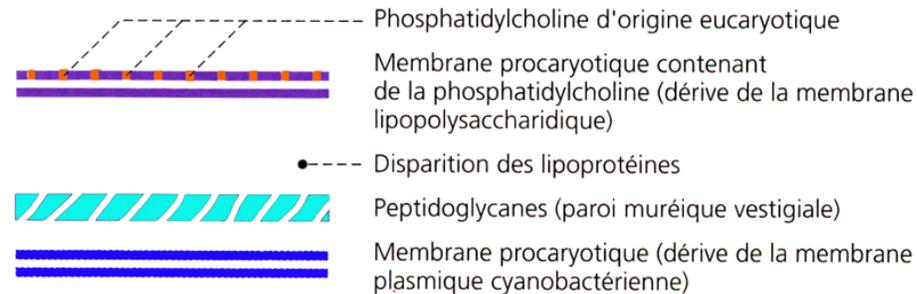
a Capture d'une cyanobactérie (bactérie Gram⁻) par un eucaryote



b Configuration théorique des feuillettes après capture d'une cyanobactérie



c Configuration des feuillettes observée chez les glaucophytes



Les plastes forment un groupe monophylétique

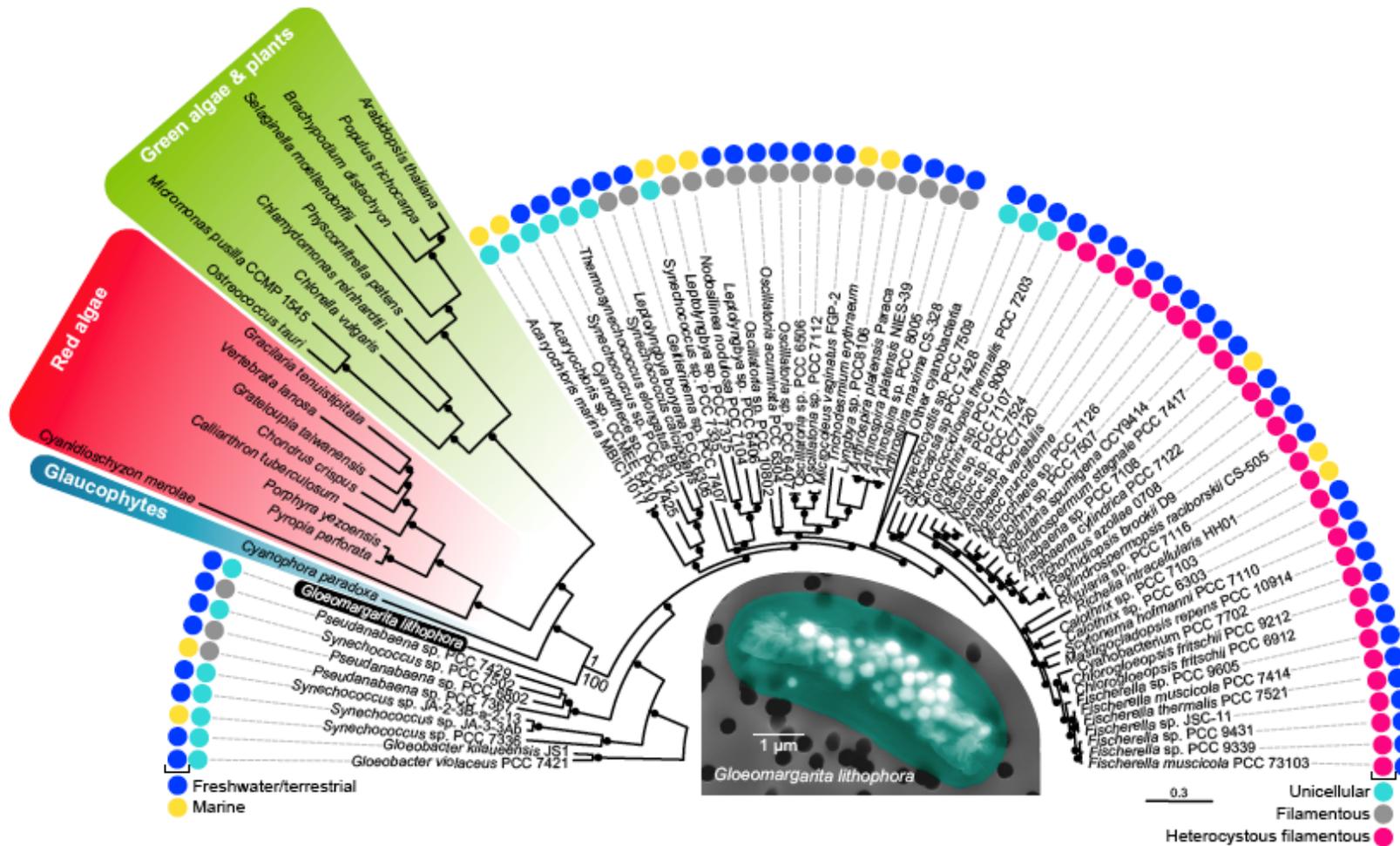
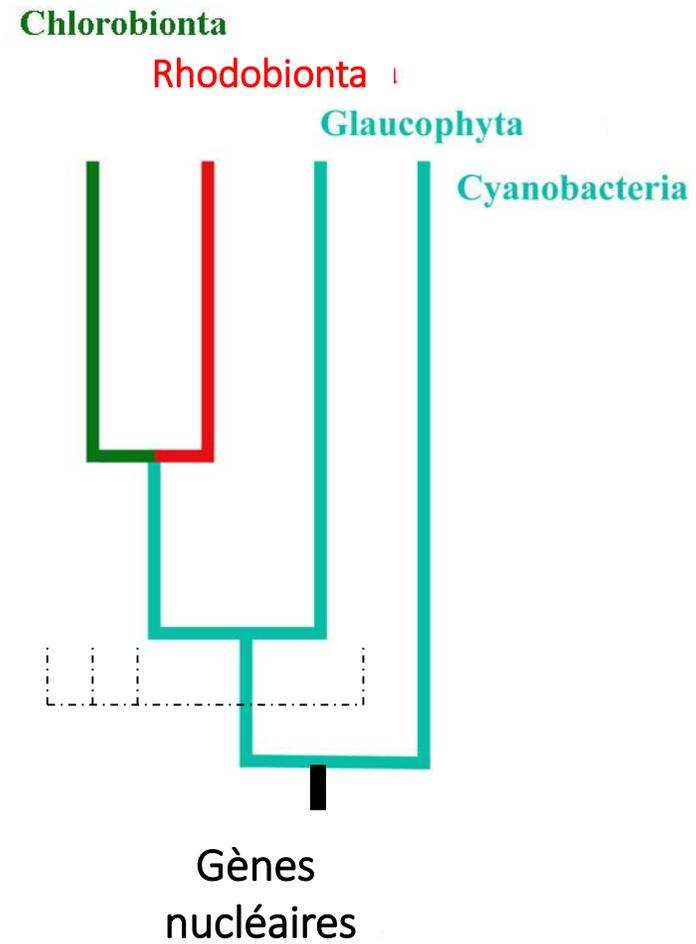
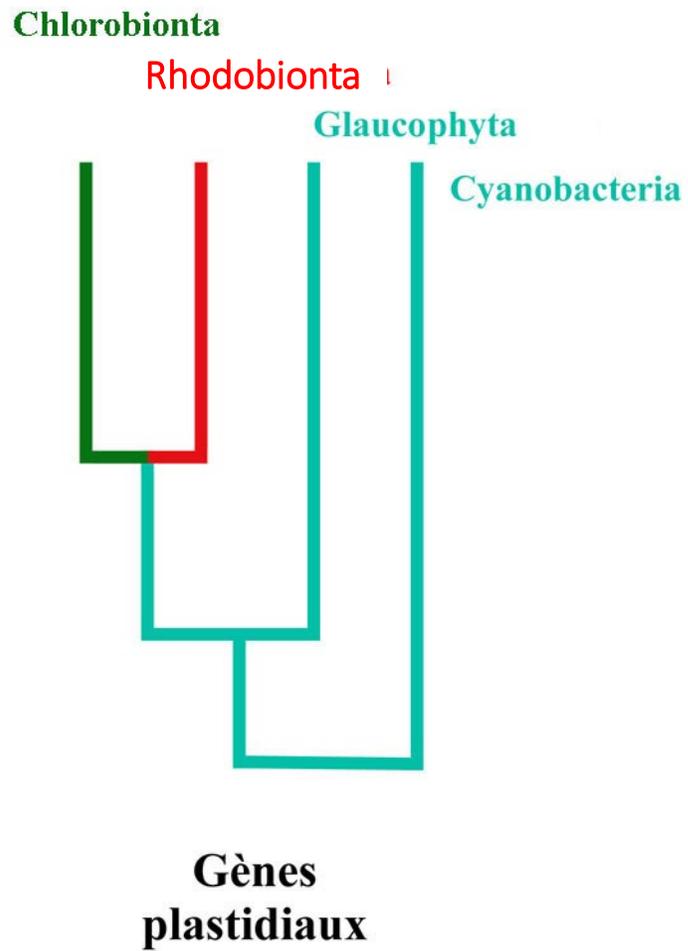


Figure 1. The Position of Plastids in the Cyanobacterial Phylogeny





La phylogénie des plaste se superpose à celle des hôtes

TRANSFERT DE GÈNES DES SYMBIONTES VERS L'HÔTE

**Au cours d'un événement d'endosymbiose
le génome du symbionte est réduit
(généralement à plus de 90%) ;**

il est soit transféré en grande partie
dans le noyau de l'hôte qui possède ainsi des centaines de gènes
d'origine plastidiale, soit en partie perdu

Génome de cyanobactérie : 2000 à 4000 kb

Génome de plaste : généralement inférieur à 200 kb

(et moins de 200 gènes ; les gènes conservés sont
principalement ceux impliqués dans la photosynthèse
et les mécanismes de transcription et de traduction de l'ADN)

Alors que plus de 1 000 protéines (500 à 5000)
sont impliquées dans le fonctionnement du plaste

UN ÉVÉNEMENT UNIQUE D'ENDOSYMBIOSE À L'ORIGINE DES PLANTAE ?

Plutôt un consensus en ce sens mais....

Arguments en faveur d'un événement unique

Les plastes sont monophylétiques et la phylogénie des plastes se superpose à celle des Plantae

Plusieurs acquisitions séparées du mécanismes d'importation des protéines peu probables

Certains arrangements de gènes dans les plastes sont communs aux plastes des Plantae mais différents de ce qui est observé chez les cyanobactéries

Les peptides de transit des Glaucophyta et des Rhodoplantae fonctionnent chez les Viridiplantae [mais pas l'inverse car ces dernières n'ont pas le récepteur Toc 34 (peut-être perdu au cours de l'évolution) mais un autre (Toc 159)]

Arguments opposables

Nécessaire mais pas suffisant

Possible remplacement du plaste après acquisition de la machinerie

Possible évolution convergente résultant de la réduction drastique du génome

Possible remplacement du plaste où Toc 159 aurait remplacé Toc 34



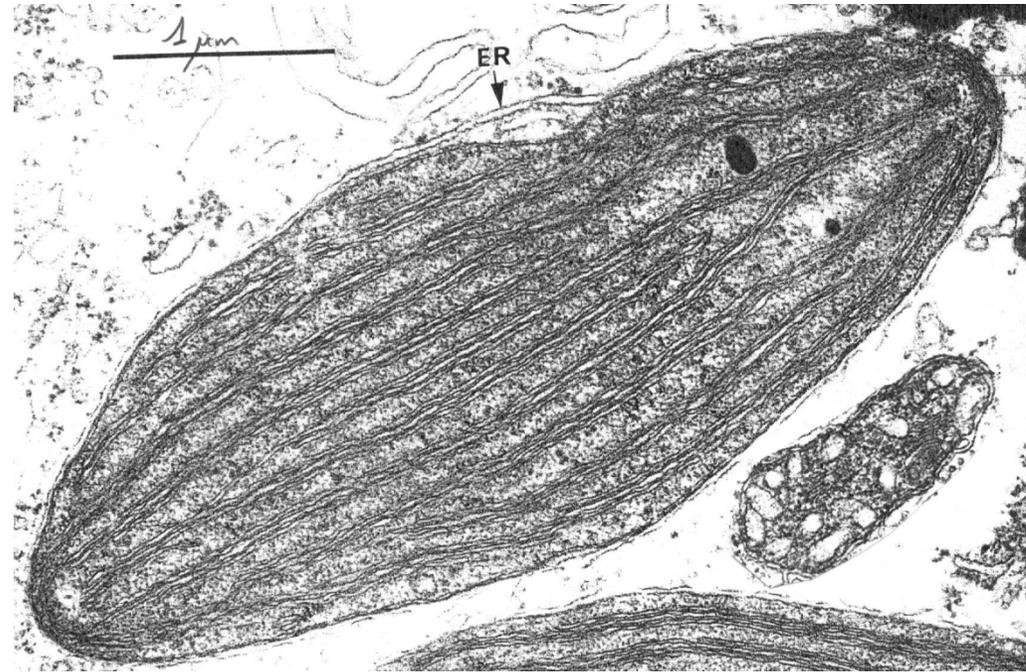
RECAPITULONS

**un ensemble d'arguments
est plutôt en faveur d'un événement unique**
et aucun résultat expérimental ne vient contredire cette possibilité
si ce n'est, peut-être, la place des Glaucophyta dans l'arbre des Plantae
car certains travaux les trouvent frères des Rhodoplantae

Il n'est cependant pas possible d'exclure l'hypothèse alternative
et une telle hypothèse,
(des cyanobactéries étroitement apparentées réalisant plusieurs endosymbioses
séparées avec des hôtes différents mais eux-mêmes étroitement apparentés,
dans une période de temps très courte) est absolument impossible à démontrer
si les cyanobactéries plus proches de ces différents plastes
que les plastes ne le sont entre eux ont disparu ou nous sont inconnues.

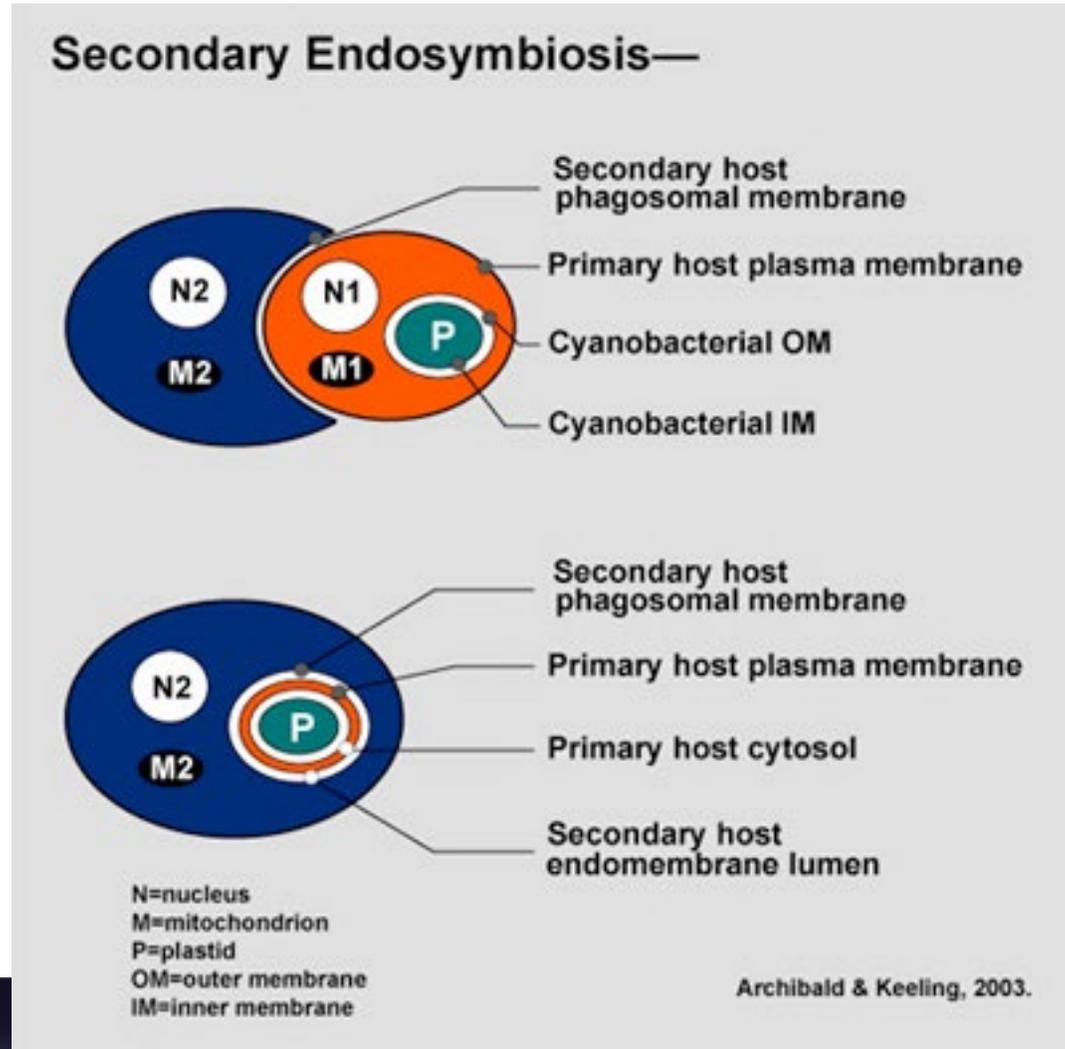


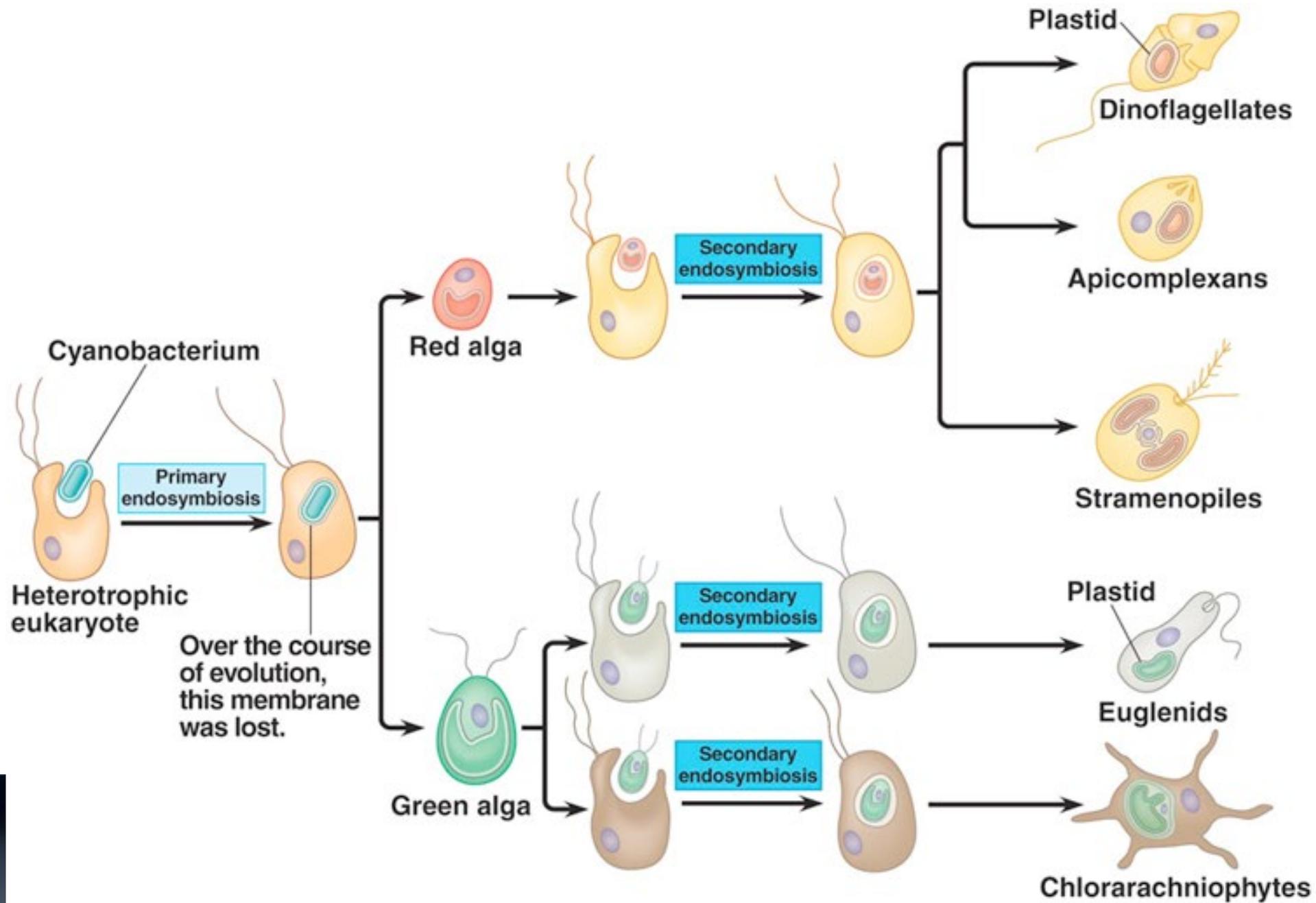
ET LES PLASTES A PLUS DE DEUX MEMBRANES



Plaste de *Fucus*

ET LES PLASTES A PLUS DE DEUX MEMBRANES





4. Les algues remarquables des lagunes

Les lagunes côtières constituent généralement des milieux riches en biodiversité mais aussi sensibles aux fluctuations environnementales naturelles et anthropiques

Les macrophytes représentent un ensemble d'espèces végétales clés dans les lagunes et sont intégrateurs des conditions environnementales naturelles (profondeur, exposition aux vagues...) et anthropiques (notamment des conditions d'eutrophisation).

Certaines espèces de macrophytes fonctionnent comme des ingénieures de l'écosystème en structurant les communautés benthiques, en régulant en grande partie les flux à l'interface eau-sédiments et en participant au maintien des substrats.

4. Les algues remarquables des lagunes

1. Les algues vertes

Acetabularia acetabulum

Bryopsis hypnoides

Bryopsis plumosa

Lamprothamnium papulosum

Valonia aegagropila

Valonia utricularis

4. Les algues remarquables des lagunes

1. Les algues vertes

Ulva



4. Les algues remarquables des lagunes

1. Les algues rouges

Antithamnion cruciatum

Centroceras clavulatum

Ceramium ciliatum

Ceramium diaphanum

Ceramium tenerrimum

Chondracanthus acicularis

Chondria dasyphylla

Chylocladia verticillata

Gelidium crinale

Gymnogongrus griffithsiae

Hypnea valentiae

Laurencia microcladia

Laurencia obtusa

Lomentaria clavellosa

Nitophyllum punctatum

Osmundea pinnatifida

Carradoriella elongata

Polysiphonia mottei

Polysiphonia opaca

Polysiphonia sertularioides

Pterosiphonia parasitica

Xiphosiphonia pennata

Pterothamnion plumula

Spyridia filamentosa

4. Les algues remarquables des lagunes

1. Les algues rouges

Ceramiales



4. Les algues remarquables des lagunes

1. Les algues rouges

Ceramiales



4. Les algues remarquables des lagunes

1. Les algues brunes

Cladostephus spongiosus

Cystoseira compressa

Dictyota dichotoma

Treptacantha barbata

4. Les algues remarquables des lagunes

1. Les algues brunes

Ectocarpales



Échanges avec les étudiants

