

Master d'Océanographie

UE 106 'Diversité des organismes marins' (DOM) et UE 359
'Diversité des organismes marins : notions avancées' (DOMA)

Diversité des organismes marins. Première partie. L'arbre du vivant

2010

1

Charles F. Boudouresque
Centre d'Océanologie de Marseille



Charles F. Boudouresque

www.com.univ-mrs.fr/~boudouresque

Email : charles.boudouresque@univmed.fr

Citation :

Boudouresque C.F., 2010. Diversité des organismes marins. Première partie. L'arbre du vivant.

www.com.univ-mrs.fr/~boudouresque

Carole Borchiellini

Introduction générale (Charles F. Boudouresque)

Arbre du vivant (Charles F. Boudouresque)

Outils et méthodes phylogénétiques (Carole Borchiellini)

Grandes étapes de l'histoire de la Vie (Charles F. Boudouresque)

Procaryotes et Eucaryotes (Charles F. Boudouresque)

Les Procaryotes (Valérie Michotey)

Valérie Michotey



Virus et mégavirus (Jean-Michel Claverie)

L'origine des Eucaryotes (Charles F. Boudouresque)

Les Rhizaria (Emmanuelle Renard-Deniel)

Les Alvéolés (Charles F. Boudouresque)

Straménopiles, Haptobiontes et Cryptobiontes (Charles François Boudouresque)

Les Archaeplastidia : Viridiplantae, Rhodobiontes et Centrohelida (Charles F. Boudouresque)

Jean-Michel Claverie



Emmanuel le Renard-Deniel

Les amoebobiontes
(Charles F. Boudouresque)

**Les Opisthochontes (Métazoaires
et Choanoflagellés)**
(Emmanuelle Renard-Deniél)

Les Opisthochontes (Fungi)
(Charles François Boudouresque)



**Emmanuelle
Renard-Deniél**



**Exposés sur
publications**

1. Introduction



Certains d'entre vous seront peut-être surpris,
voire désorientés,

Dans le détail, cette présentation est basée
sur des données très récentes (2003-2010)

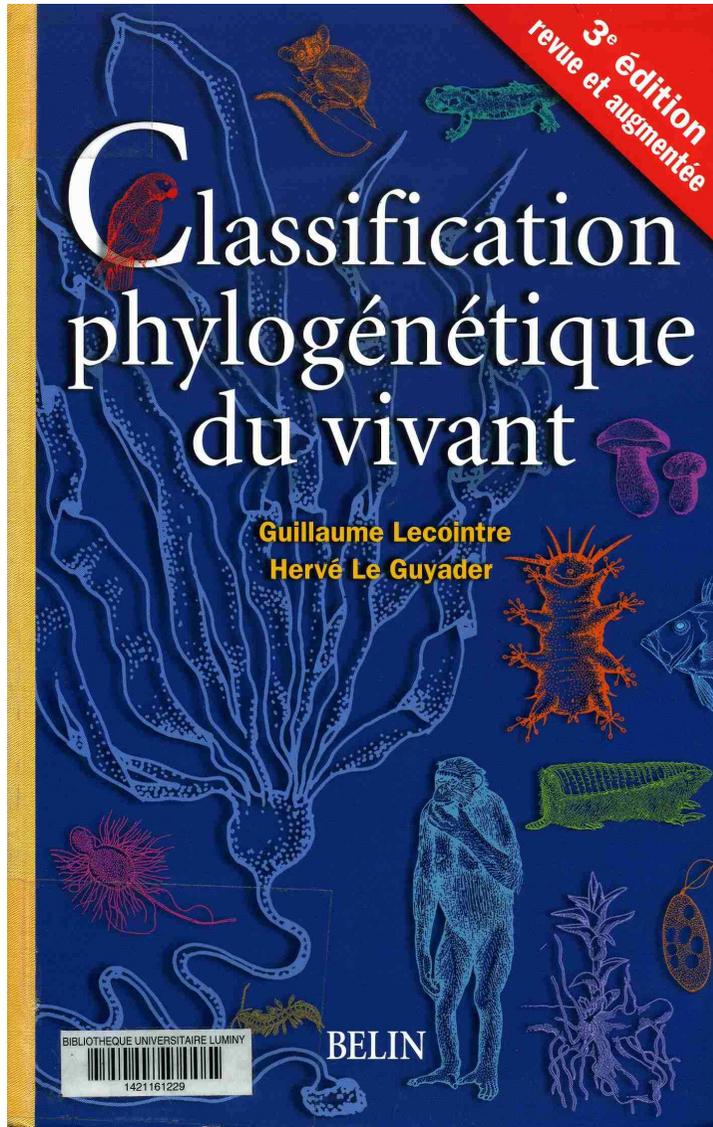
Mais sur le fond, elle date, selon le cas
de **120 ans à 35 ans ...**

Comment a-t-elle donc pu échapper à certains enseignants du
supérieur ?

1. Ils **reproduisent** le cours qu'ils ont reçu quand ils étaient
étudiants, qui était lui même le cours de la génération
précédente, etc.

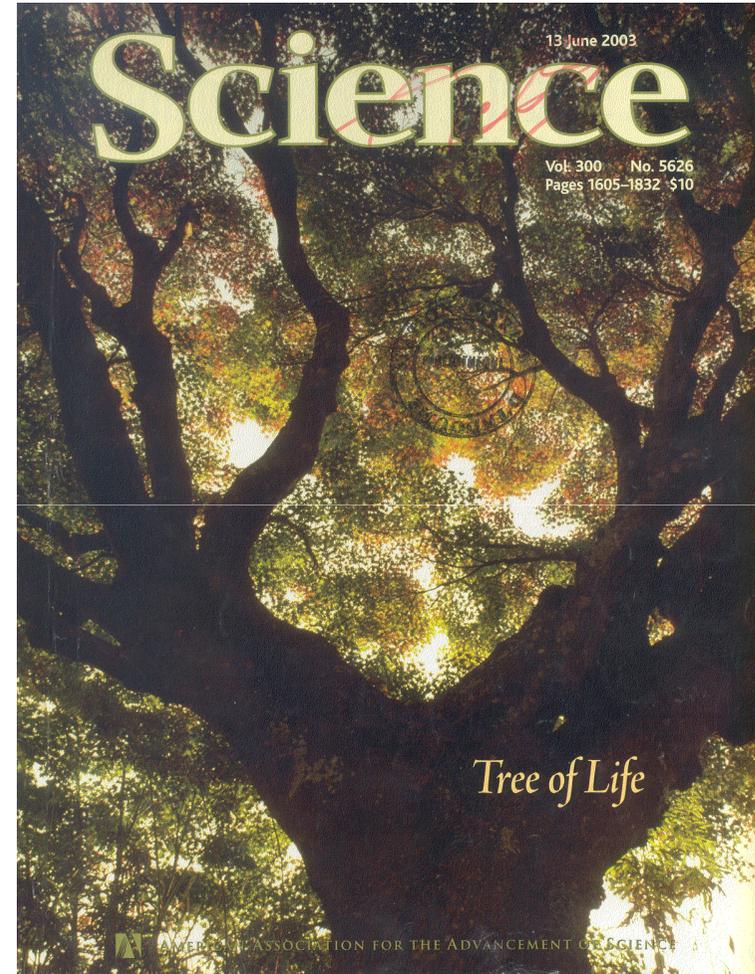
2. Ils plaquent des arbres phylogénétiques ou des données
récentes sur un schéma ancien

On vous a parlé de règne végétal, d'algues, de champignons,
de protozoaires, etc. ? **vous êtes concernés !**

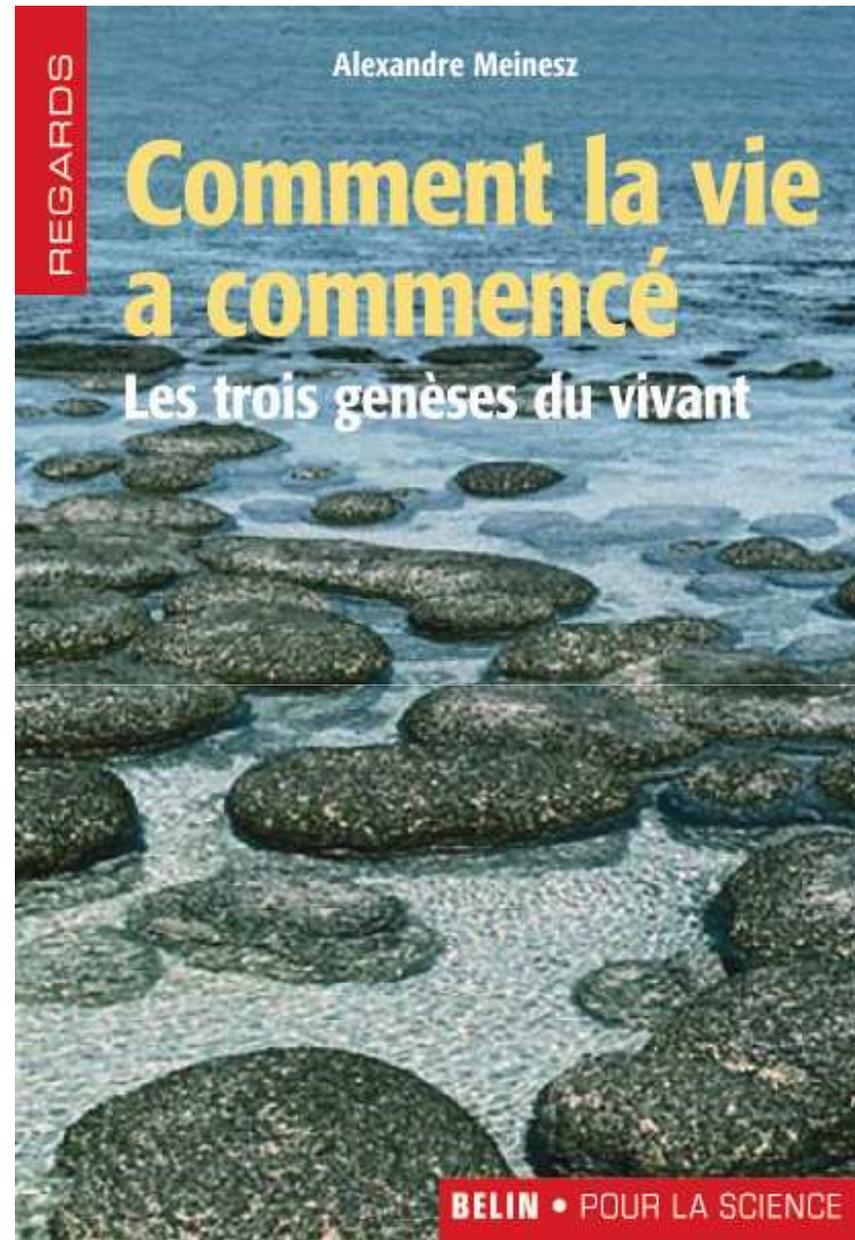
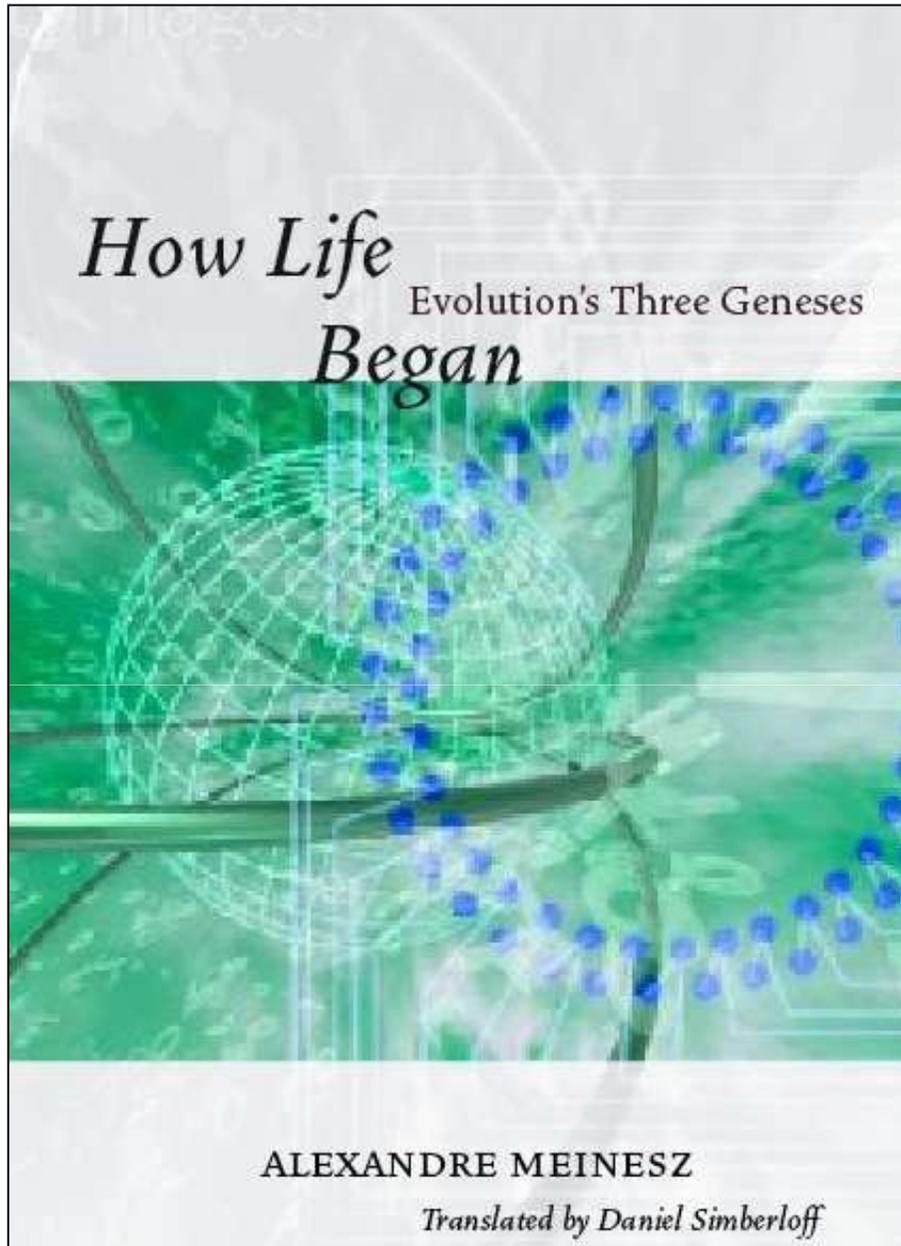


Lecointre et Le Guyader, 2006
Troisième édition. 39€

Pour en savoir plus



Science, vol. 300, 13 Juin
2003 : 1605-1632



How Life began ? Evolution's three geneses

Translated by Daniel Simberloff

296 pages, 15 color plates, 69 halftones 6 x 9 © 2008

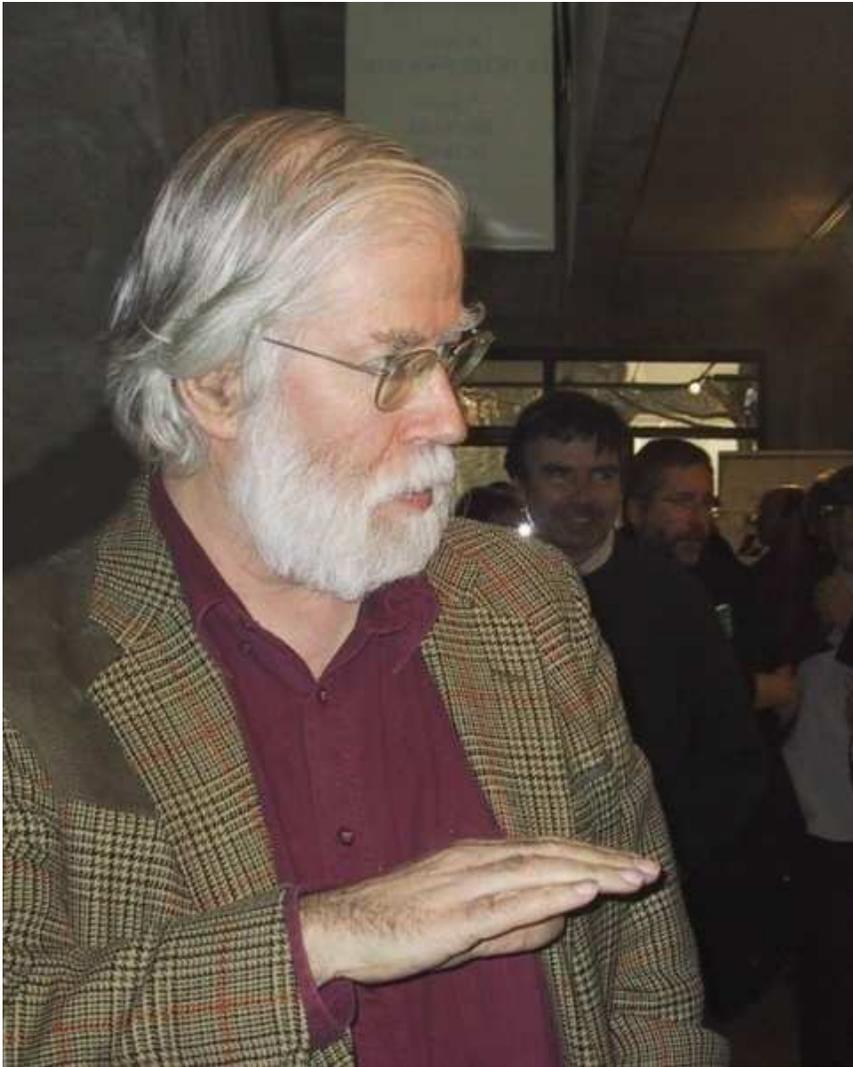
Cloth \$27.50. ISBN: 9780226519319 Published September 2008

The origin of life is a hotly debated topic. The Christian Bible states that God created the heavens and the Earth, all in about seven days roughly six thousand years ago. This episode in Genesis departs markedly from scientific theories developed over the last two centuries which hold that life appeared on Earth about 3.5 billion years ago in the form of bacteria, followed by unicellular organisms half a millennia later. It is this version of genesis that Alexandre Meinesz explores in this engaging tale of life's origins and evolution.

How Life Began elucidates three origins, or geneses, of life—bacteria, nucleated cells, and multicellular organisms—and shows how evolution has sculpted life to its current biodiversity through four main events—mutation, recombination, natural selection, and geologic cataclysm. As an ecologist who specializes in algae, the first organisms to colonize Earth, Meinesz brings a refreshingly novel voice to the history of biodiversity and emphasizes here the role of unions in organizing life. For example, the ingestion of some bacteria by other bacteria led to mitochondria that characterize animal and plant cells, and the chloroplasts of plant cells.

As Meinesz charmingly recounts, life's grandeur is a result of an evolutionary tendency toward sociality and solidarity. He suggests that it is our cohesion and collaboration that allows us to solve the environmental problems arising in the decades and centuries to come. Rooted in the science of evolution but enlivened with many illustrations from other disciplines and the arts, *How Life Began* intertwines the rise of bacteria and multicellular life with Vermeer's portrait of Antoni van Leeuwenhoek, the story of Genesis and Noah, Meinesz's son's early experiences with Legos, and his own encounters with other scientists. All of this brings a very human and humanistic tone to Meinesz's charismatic narrative of the three origins of life.

Deux des principaux acteurs : depuis le début des années 1970s, ils ont jeté les bases de la "**révolution**", puis animé le débat sur la diversité du vivant et son évolution



Thomas Cavalier-Smith



Lynn Margulis

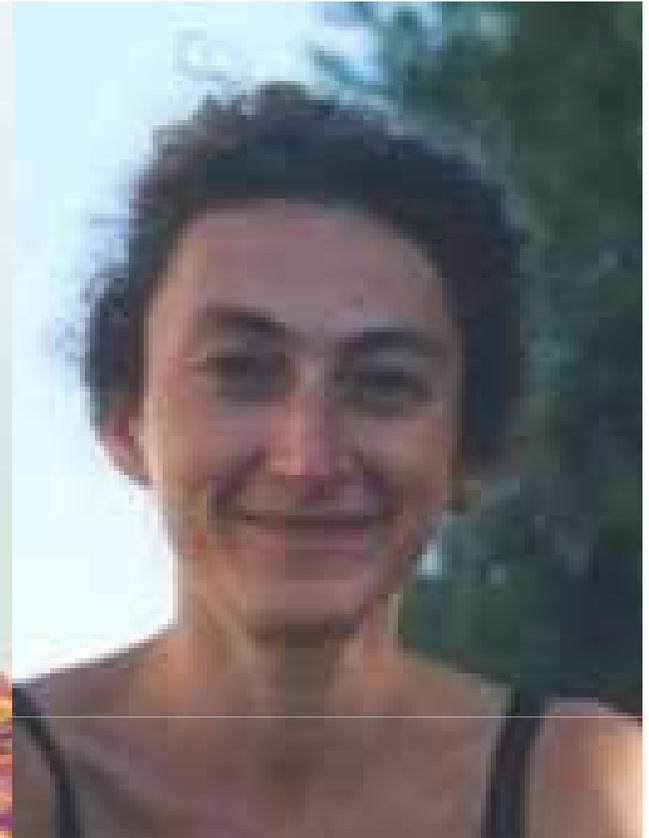
Et bien sûr, ils se détestent cordialement



Carl Woese (*in* Whitman, 2004. *Nature*, 427 : 674-676).



**Sandra Baldauf,
Université de York,
United Kingdom**



**Purificación López-
García Université
Pierre et Marie Curie
(Paris VI)**



**Debashish
Bhattacharya
Université de
l'Iowa**

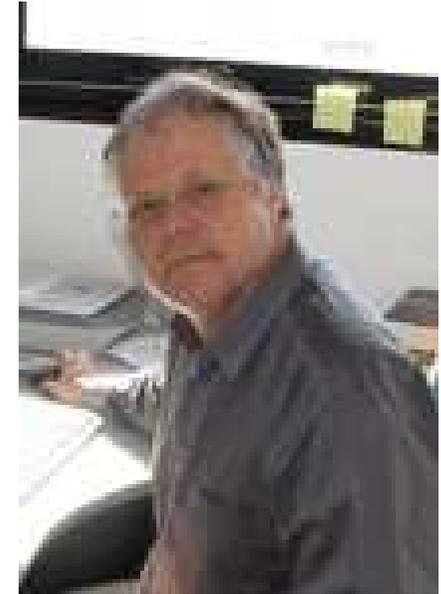
D'autres acteurs



Nicole Boury-Esnault (Centre d'Océanologie de Marseille) la paraphylie des Porifera



Didier Raoult, Université de la Méditerranée : les mimivirus



**Jean-Michel Claverie
CNRS Luminy : les mégavirus**



**Carole Borchiellini
(Centre d'Océanologie de Marseille) : la paraphylie des Porifera**

**Céline Brochier
CNRS Université de Provence : les Archées**



1. Introduction

2. L'arbre du vivant

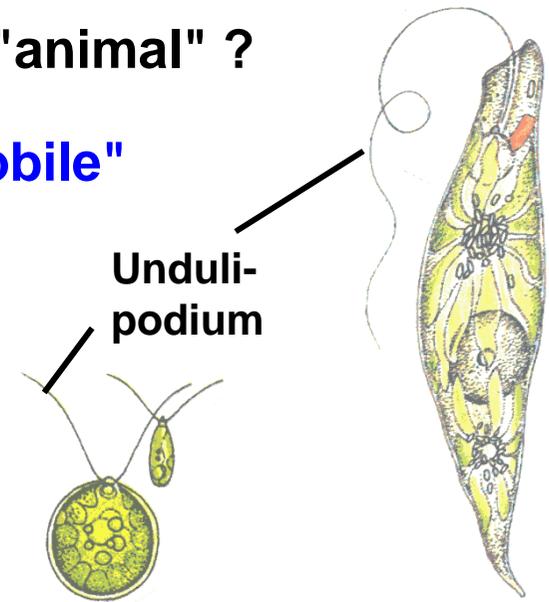
2.1. La notion de végétal

Peut-on définir un "végétal", par rapport à un "animal" ?

(1) "Un végétal est immobile, un animal est mobile"

De nombreux "végétaux" unicellulaires sont mobiles, grâce à des **undulipodiums**

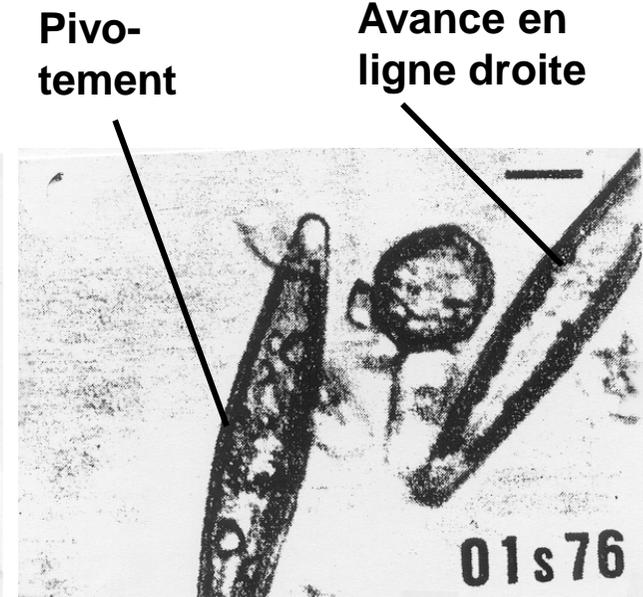
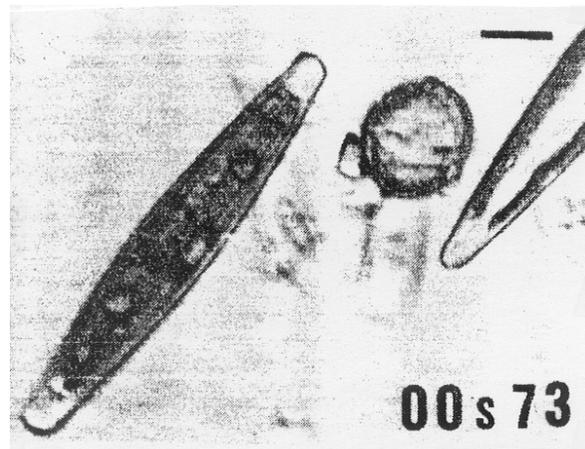
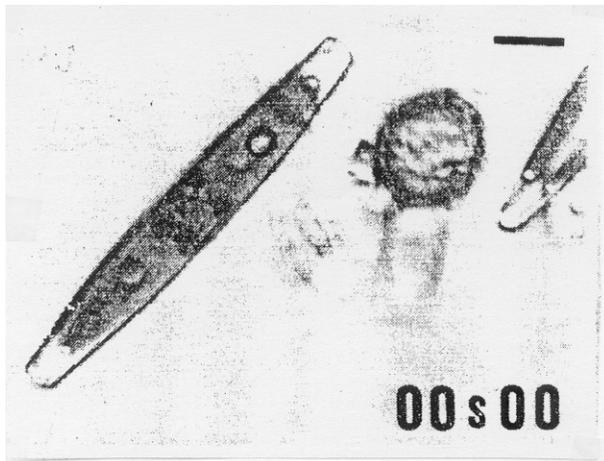
D'autres "végétaux" (Cyanobactéries, diatomées, etc.) rampent, se vissent, etc.



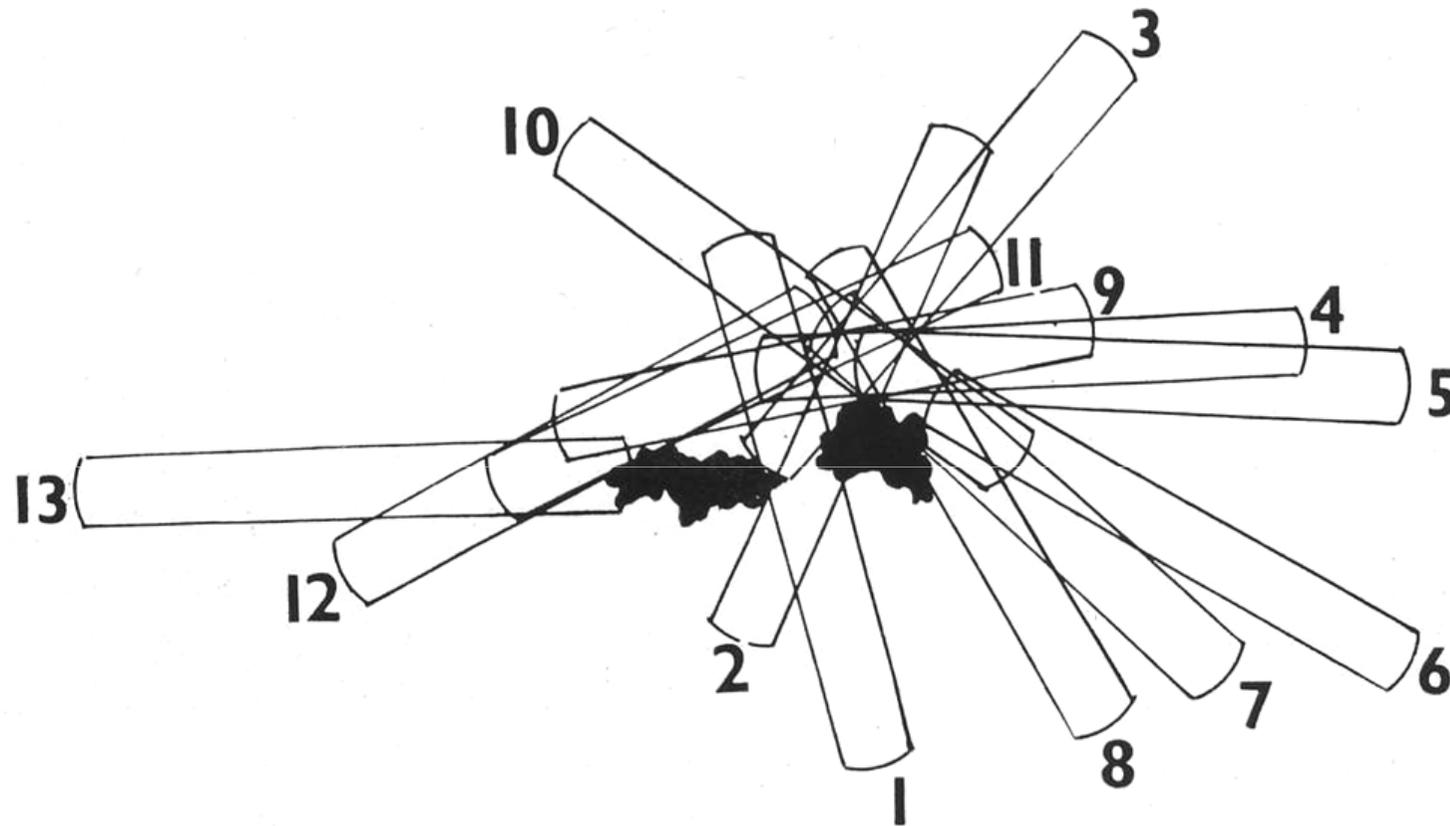
Chlamydomonas

Euglena

La diatomée *Navicula radiosa* (d'après Bertrand, 1992)



Le mouvement chez la diatomée *Pinnularia major*

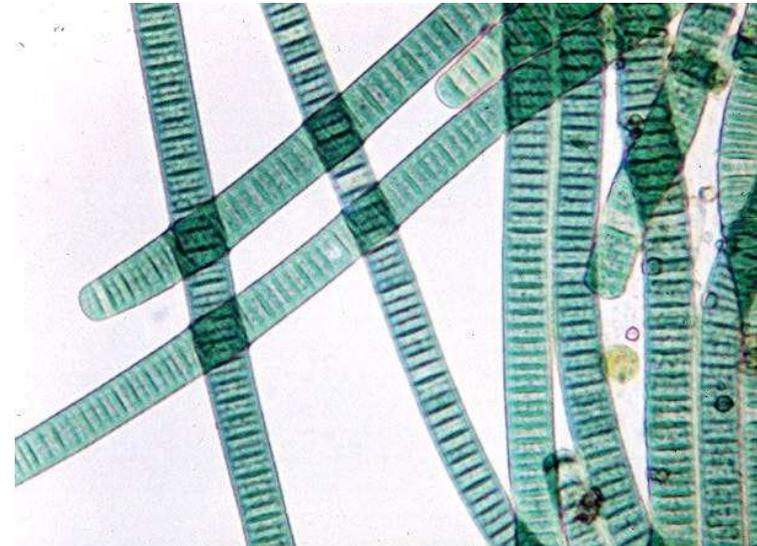


**Positions successives
(temps 1 à 13)**

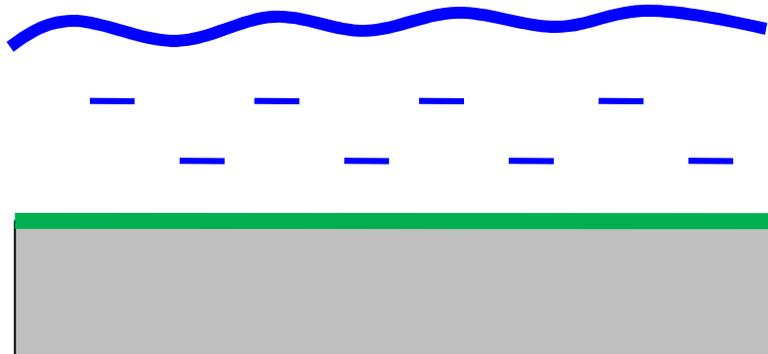
D'après Harper et Harper, 1967.
Br. Phycol. Bull., 3 (2) : 213-218

Mobilité des *Oscillatoria* (Cyanobactéries)

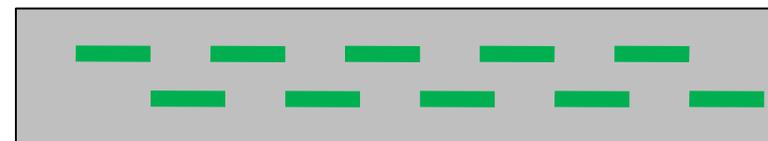
D'après Meinesz, 2008. Comment la vie a commencé. Les trois genèses du vivant. Belin publ. : 336 pp.



Oscillatoria (photo Michael Clayton)



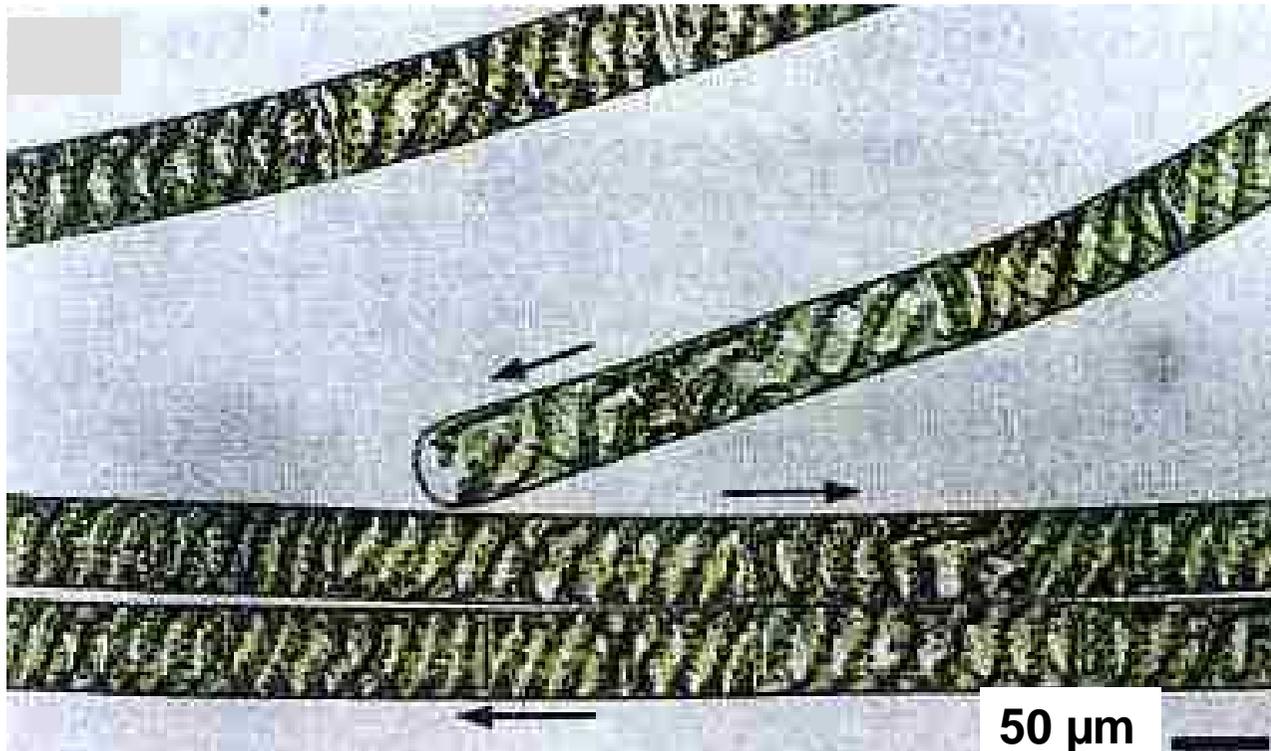
Marée haute : la vase est verte (les *Oscillatoria* sont à la surface)



Marée basse : la vase est grise (les *Oscillatoria* on rampé, migré en profondeur)



**Déplacement des filaments
de *Spirogyra*
(Chlorobiontes,
Archaeplastidia)**

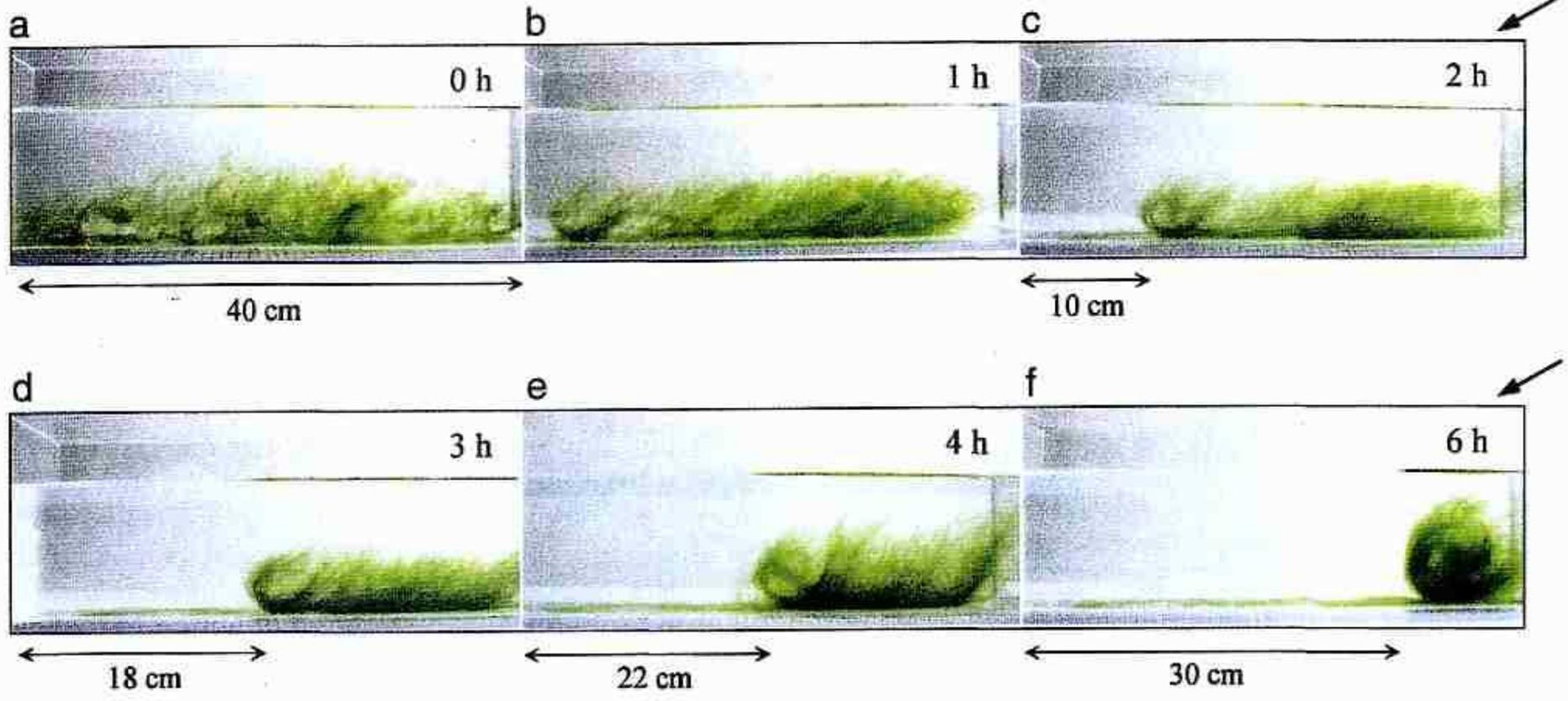


**Les flèches
indiquent le
sens du
glissement
des
filaments**

D'après Kim *et al.*,
2005. *J. Phycol.*, 41 :
232-237

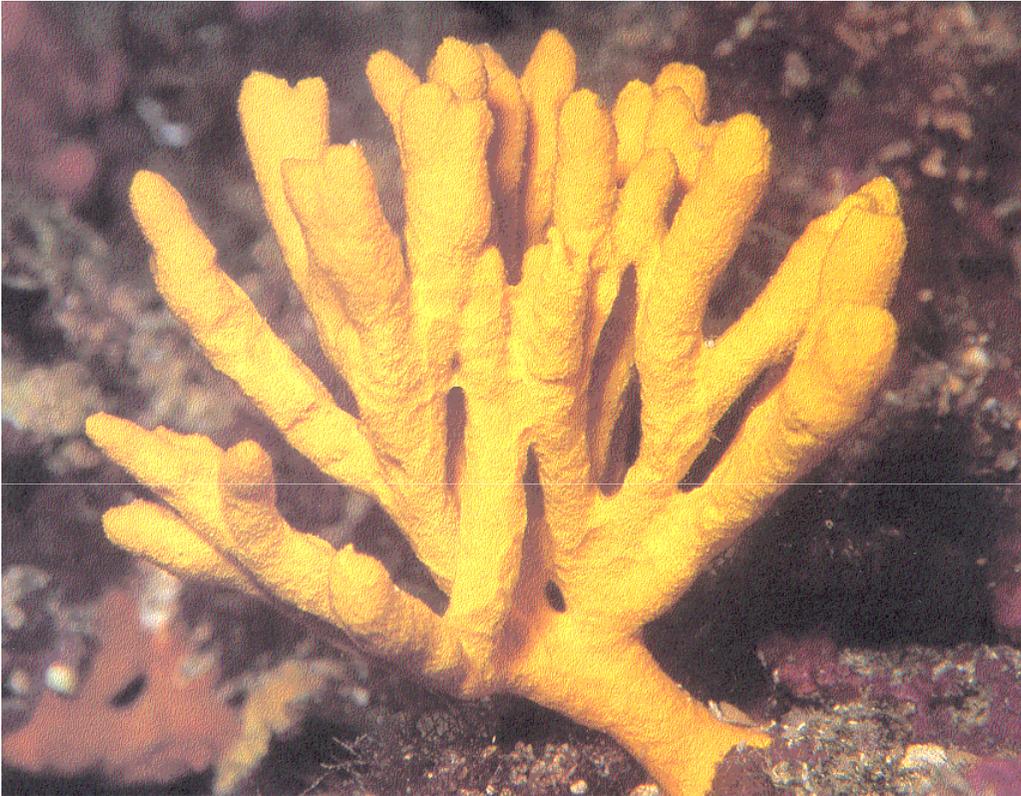
Déplacement de filaments de *Spirogyra* dans un aquarium

Source de lumière



D'après Kim *et al.*,
2005. *J. Phycol.*, 41 :
232-237

Inversement, de nombreux taxons "animaux" sont immobiles



Axinella polypoides (Porifera)

Coraux (Scléactiniaires, Cnidaires) dans un récif corallien



(2) "Un végétal est autotrophe, un animal hétérotrophe"

Autotrophie :

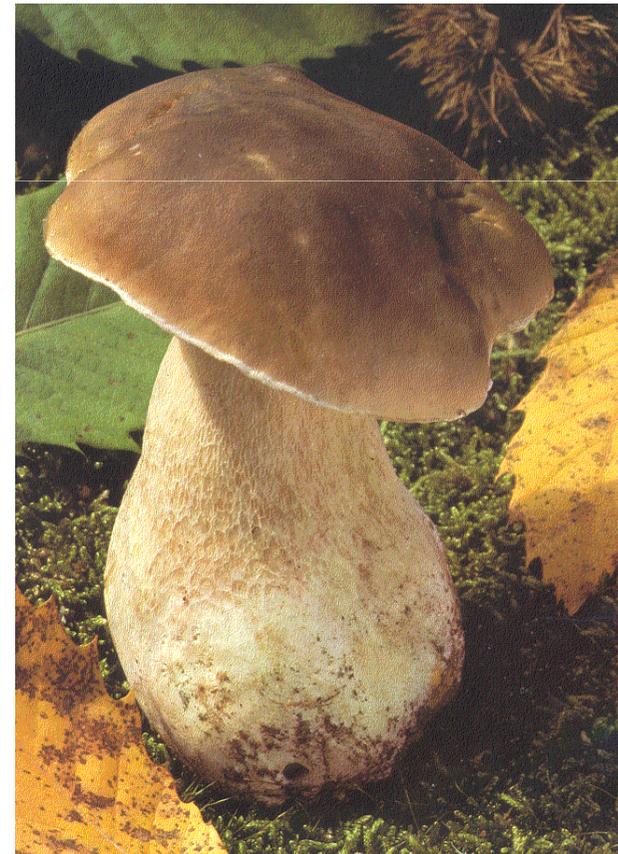
Carbone minéral (CO_2 , CO_3^{--} , ou HCO_3^-) + nutriments (azote minéral NO_3 ou phosphore minéral PO_4) + énergie (lumineuse ou chimique) → carbone organique : - C – C – C -

Hétérotrophie :

Carbone organique – C – C – C – (à la fois source de carbone et d'énergie) → carbone organique – C – C – C –

Toutefois, de nombreux "végétaux" sont hétérotrophes : les Fungi, les Oobiontes, certains Dinobiontes, certaines Cyanobactéries, etc.

Boletus edule (Basidiobiontes,
Fungi, Opisthochontes)

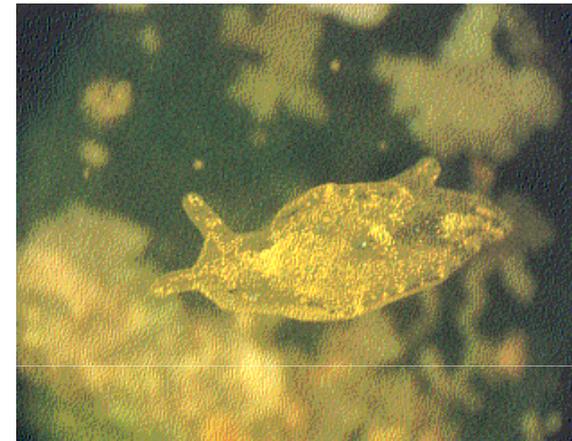


Par ailleurs, un certain nombre d'espèces de Métazoaires, de Foraminifères, de Ciliés, etc. pratiquent la **kleptoplastie** : lorsqu'ils broutent des végétaux photosynthétiques, au lieu de digérer leurs chloroplastes, ils les récupèrent et les incluent dans le cytoplasme de leurs propres cellules

Par exemple, le Mollusque Nudibranche ***Elysia***, qui broute des ***Codium*** (Chlorobiontes, Viridiplantae, Archaeplastida)



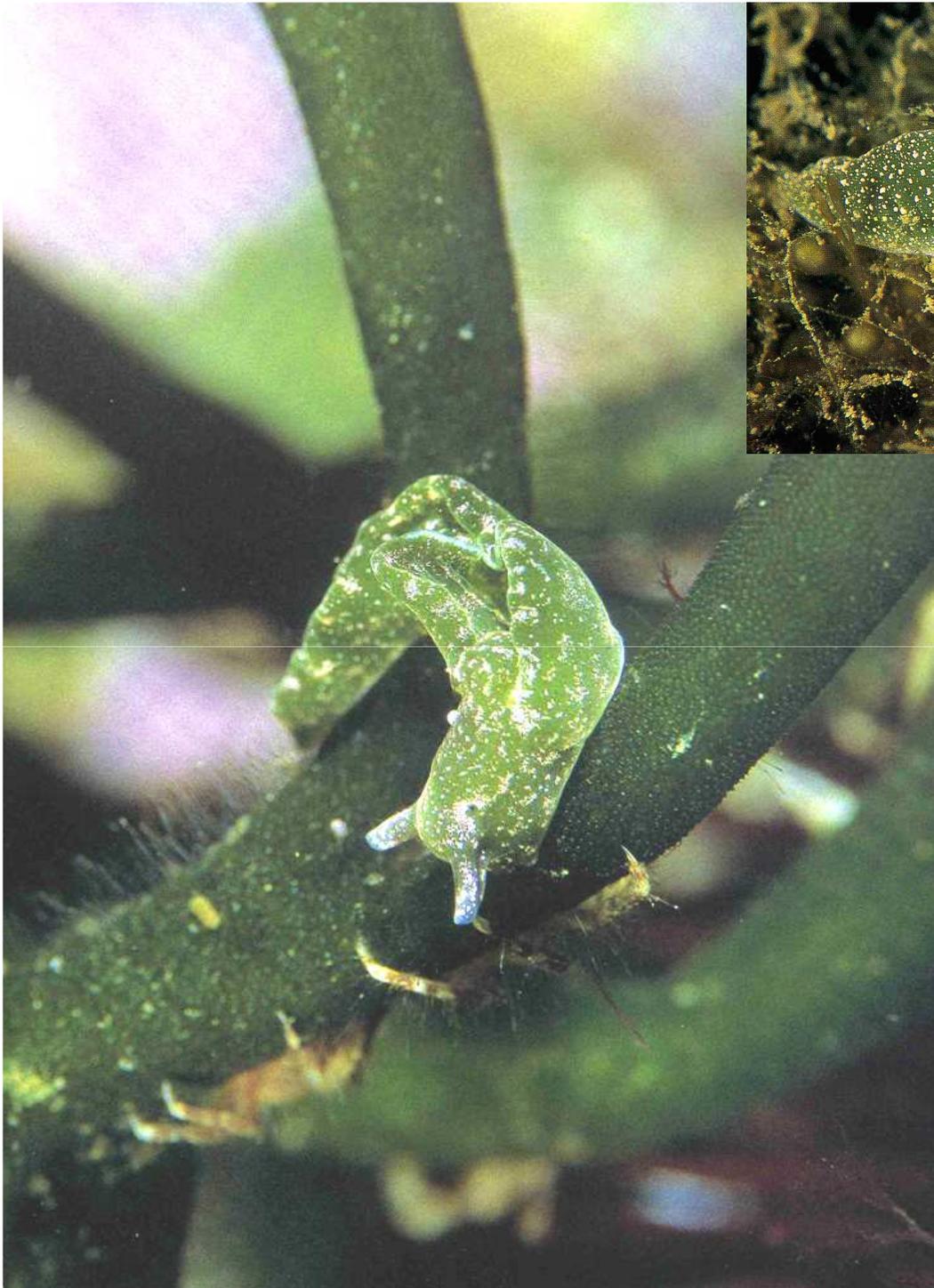
Codium fragile



Elysia viridis

Les chloroplastes ne s'y reproduisent pas, mais peuvent survivre. Ils fournissent les polysaccharides photosynthétisés à *Elysia*

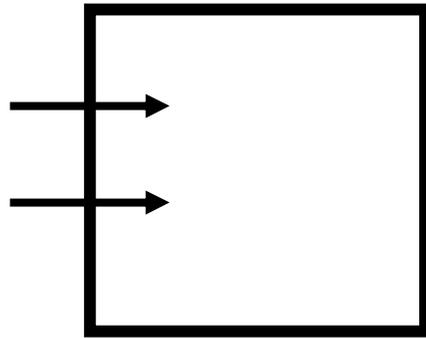
Williams et Walker, 1999.
Oceanogr. Mar. Biol.
Annu. Rev., 37 : 87-128.



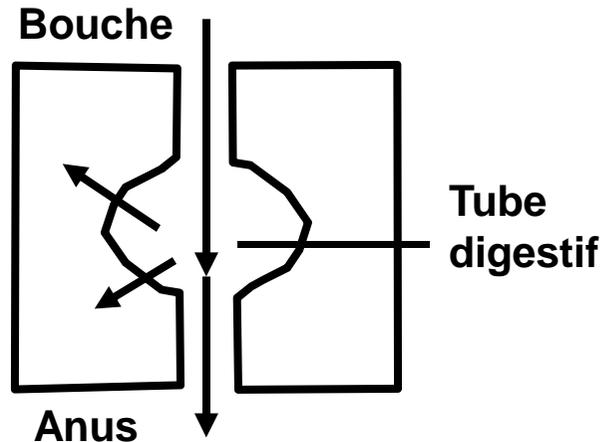
← *Elysia viridis*
(Mollusque Gastropode)
sur *Codium*
(Chlorobionte,
Archaeplastidia)

D'après Maxant
et al. (2004)

(3) "Les végétaux sont osmotrophes, les animaux phagotrophes"

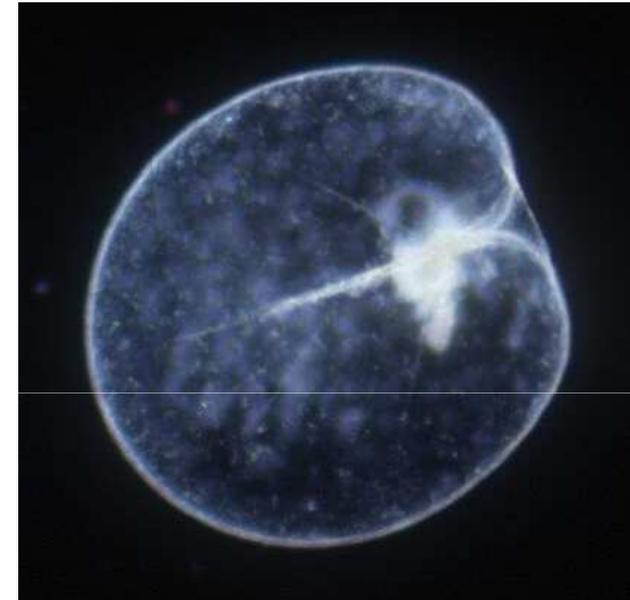


Végétal : les échanges avec le milieu extérieur se font par osmose



Animal : Les échanges se font par prédation et transit via un tube digestif

Pyrocystis noctiluca
(Dinobiontes, Alvéolés)



Asterias rubens (Echinodermes)

Mais des "végétaux" sont phagotrophes (ex. : Dinobiontes)

... et des animaux osmotrophes. Par exemple *Asterias rubens* : elle assimile une partie de la matière organique dont elle a besoin à travers ses téguments

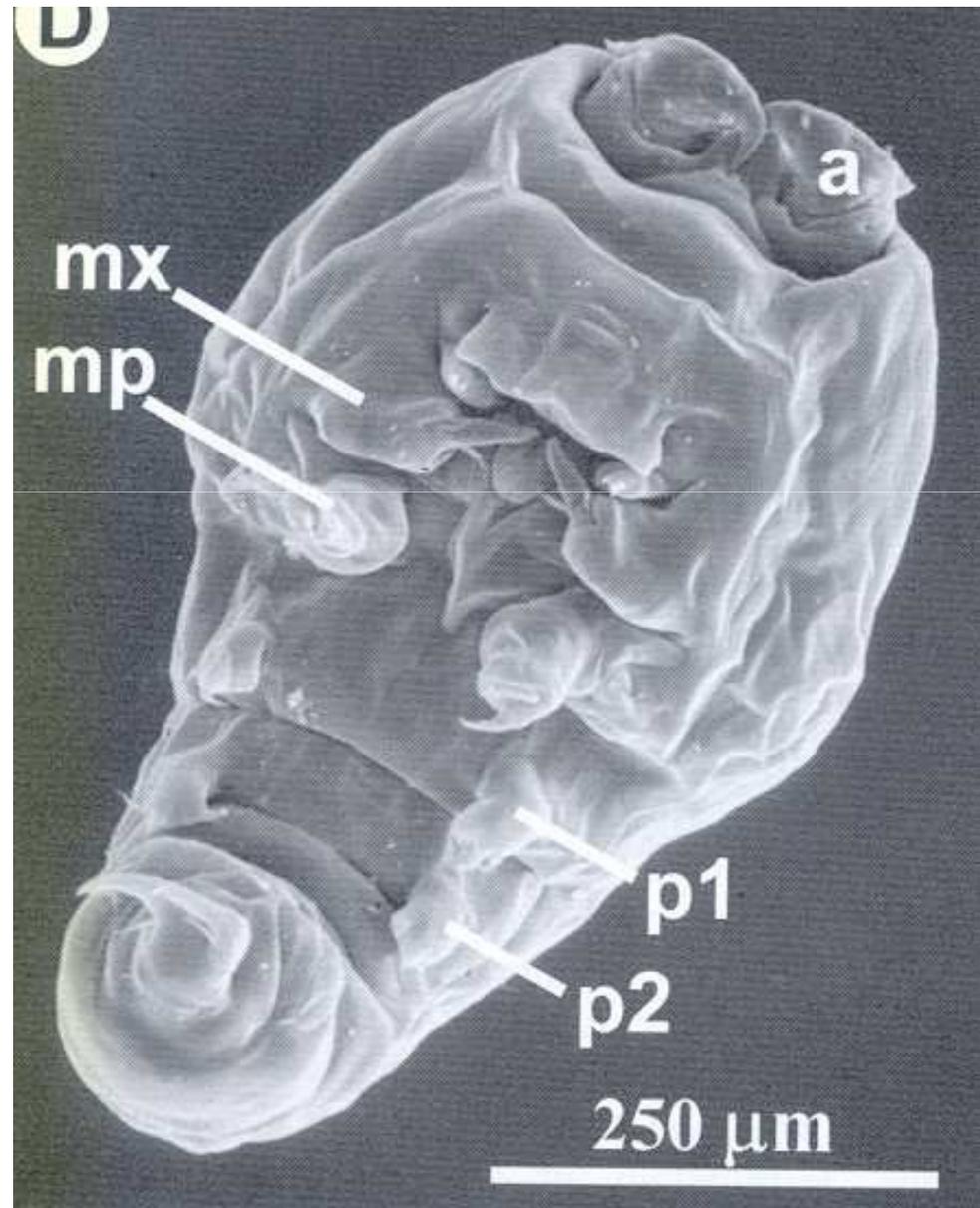
Le tube digestif est incomplet chez certains métazoaires (Opisthochontes) :

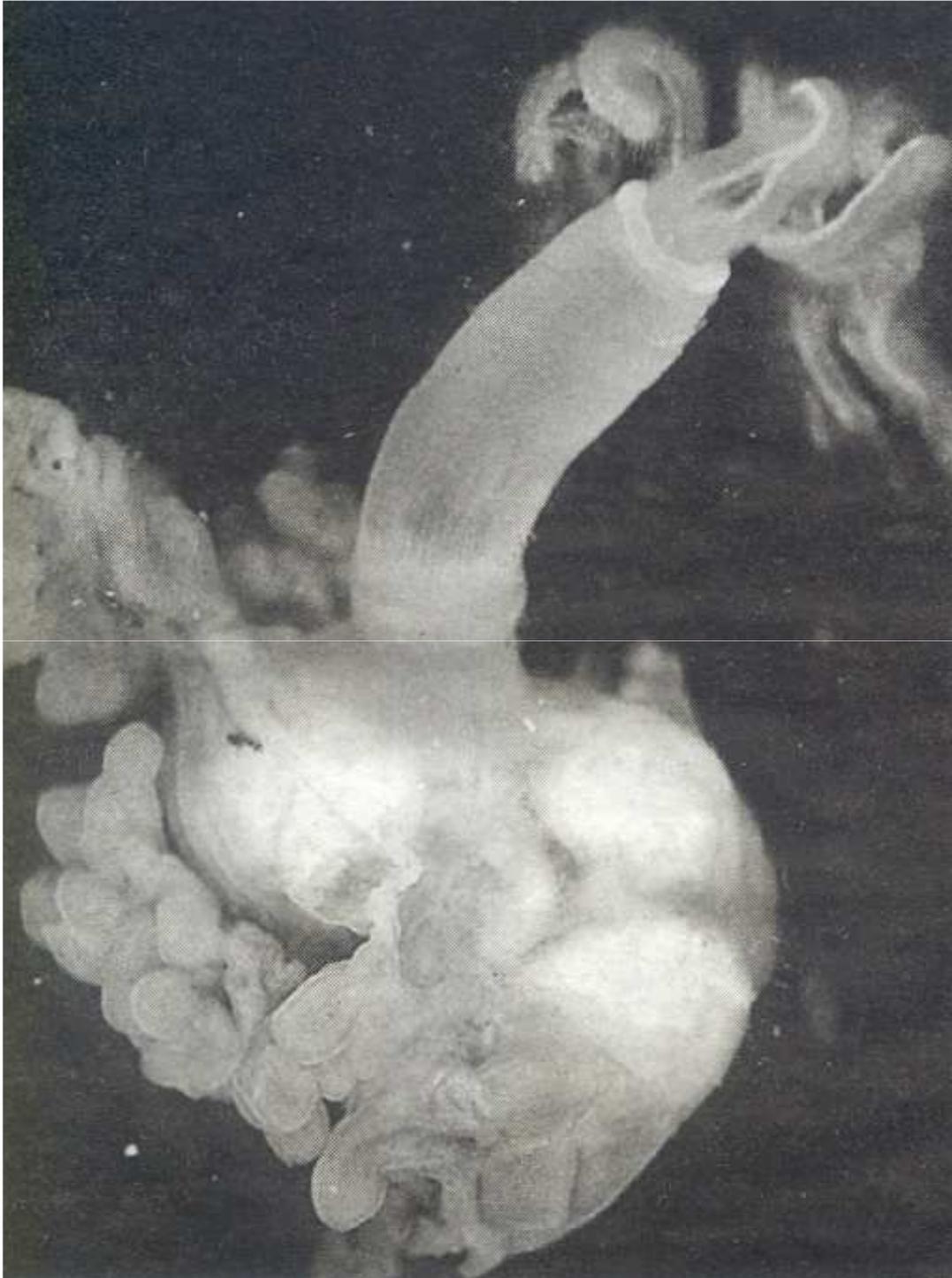
absence d'anus

Exemple des Digènes (Trématodes). Tube digestif non fonctionnel : osmotrophie par le tégument externe

Exemple des mâles de *Chondracanthus lophii* (Copépodes, Crustacés)

**Mâle nain de
Chondracanthus lophii.
D'après Ostergaard (2004)**





Des "animaux" peuvent même être dépourvus de tube digestif

Les vers *Osedax rubiplumus* et *O. frankpressi* ne possèdent ni bouche, ni tube digestif

Ils vivent dans les os des baleines mortes et utilisent les matières grasses qu'ils contiennent, grâce à des bactéries mutualistes

Baie de Monterrey, Californie

Science, Juillet 2004

***Trichoplax adhaerens* (Placozoa, Métazoaires) : un Métazoaire à thalle**



0.5 mm

- Rampe comme une amibe
- Pas de tissus ni d'organes
- 4 types de cellules seulement
- Secrète des enzymes qui digèrent les proies, puis absorption par osmose

D'après Pennisi, 2008.
Science, 321 : 1028-1029

(4) "Les végétaux possèdent de la cellulose"

En fait la cellulose est surtout présente dans les parois cellulaires des Embryobiontes (Viridiplantae, Archaeplastida)

Chez la plupart des autres "végétaux", elle est rare ou même absente : **agar** et **carraghen** chez les Rhodobiontes, **acide alginique** chez les Chromobiontes, etc.



Peyssonnelia squamaria
(Rhodobiontes,
Archaeplastida)



Acacia dealbata (Embryobiontes)



Cystoseira amentacea
(Chromobiontes,
Straménopiles)

De plus, de la cellulose peut être présente chez les **Ascidies** (Métazoaires, Opisthochontes), un taxon "animal"

On peut continuer à examiner les caractères traditionnellement associés à l'idée de végétal ; aucun n'est discriminant

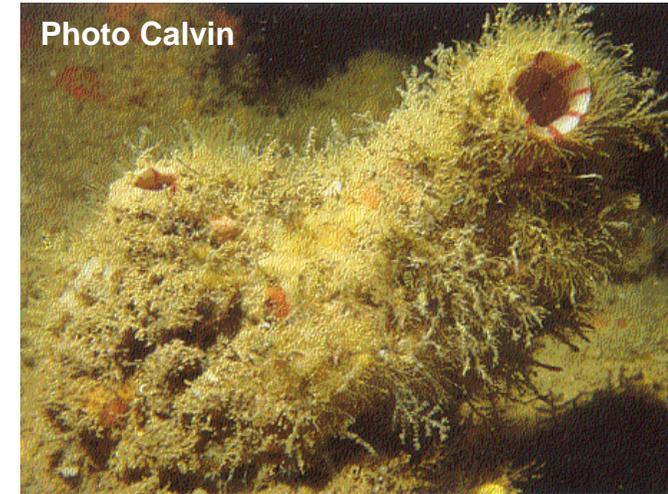


Photo Calvin

Microcosmus sabatieri (Ascidies)

Au total, on ne peut pas donner une définition de "végétal"

Seule définition possible :

→ Un ensemble hétérogène d'organismes que la tradition a réunis sous le nom de "**végétaux**", et qui sont étudiés par un ensemble de chercheurs qui s'autoproclament "**botanistes**"



Pour définir un individu (un taxon)

Soit des caractères univoques

Un seul individu (ou taxon) les possède

Soit des caractères multivoques

Aucun n'est caractéristique, mais la combinaison est unique →



Végétal ?

→ **Aucun caractère univoque**

→ **Aucun ensemble de caractères multivoque**

Si quelqu'un vous dit :

Chez les végétaux ...



C'est O-BLI-GA-TOI-RE-MENT faux !

En fait, il voulait parler

- de l'épinard**
- ou des Magnoliophytes**
- ou des organismes photosynthétiques pluricellulaires (MPOs)**
- ou des organismes photosynthétiques eucaryotes**
- ou des organismes photosynthétiques**
- ou bien, ou bien ...**

Le sait-il lui-même ?

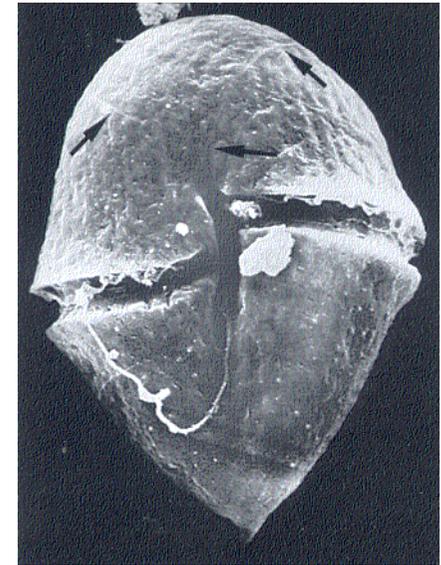
Le règne des **Alvéolés** illustre bien la relativité de la notion de végétal

Certains **Dinobiontes** ont acquis la photosynthèse

Les **Ciliés** sont généralement **hétérotrophes** (*Paramecium*), mais beaucoup d'espèces **mixotrophes** grâce à la kleptoplastie (chloroplastes de Chromobiontes) (ex. : *Tontonia*).

Myrionecta est **autotrophe** obligatoire (endosymbiose avec un Cryptobionte)

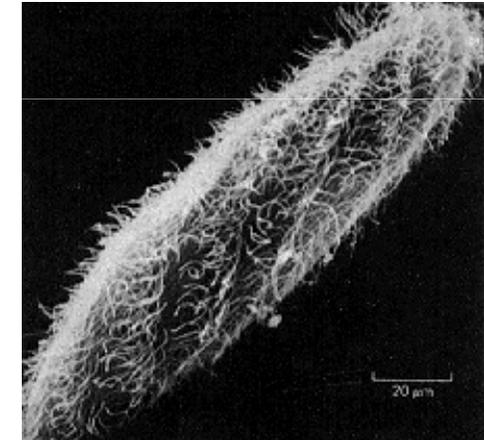
Gymnodinium fuscum
(Dinobionte)



Myrionecta rubra (Cilié)



Tontonia (Cilié)



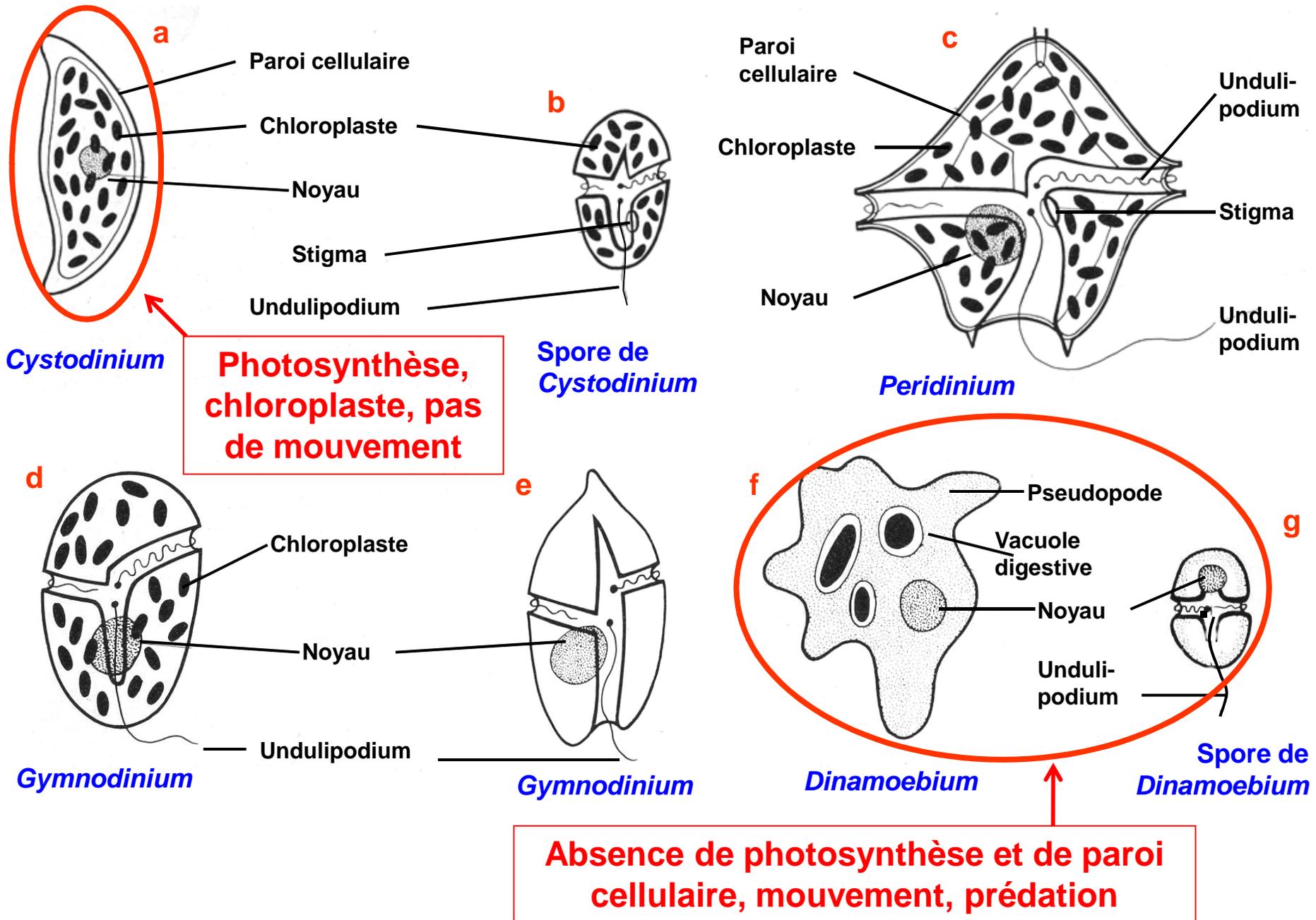
Paramecium (Cilié)

Plasmodium falciparum
(Apicomplexe)



Les **Apicomplexes** sont hétérotrophes (sauf un). Mais leurs ancêtres étaient photosynthétiques : le génome de l'apicoplaste est chloroplastien

Les Dinobiontes (Alvéolés) illustrent bien le continuum "végétal"- "animal"



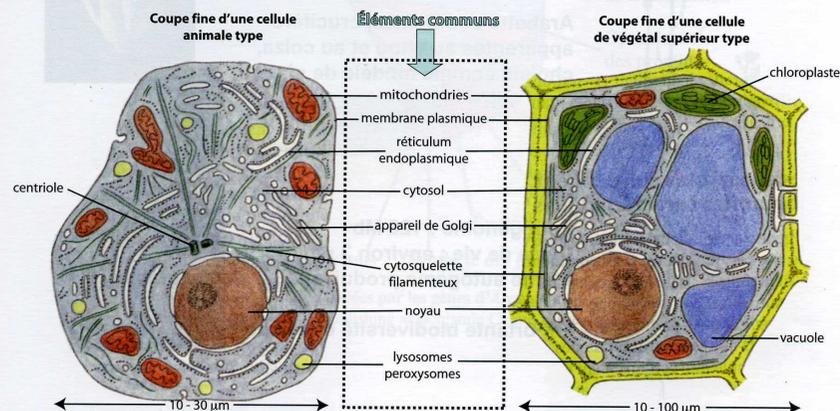
Comment les plantes sont-elles finalement si différentes des animaux, alors que les cellules des deux règnes sont constituées d'éléments similaires?

Michel Caboche

Directeur adjoint du laboratoire de biologie des semences, INRA-INA Versailles
 Directeur de l'Unité de Recherche en Génomique végétale INRA-CNRS, Université d'Evry
 Correspondant à l'Académie Royale de Belgique
 Membre du comité stratégique de Génoplante

Les plantes, à l'évidence, diffèrent des animaux par de nombreux points : ainsi, elles sont capables d'utiliser l'énergie de la lumière et de se nourrir du gaz carbonique de l'air. Contrairement aux animaux, elles ne sont pas capables de bouger, elles ont aussi des caractéristiques de développement qui sont à l'évidence différentes de celles des animaux, leur forme pouvant différer considérablement selon l'environnement où elles se trouvent. Cependant, tout comme les animaux, elles sont constituées de cellules,

et lorsqu'on observe ces cellules végétales on s'aperçoit qu'elles sont très voisines des cellules animales en termes de structures et d'organisation. (fig. 1). Elles ont en commun par exemple un noyau qui renferme l'essentiel de l'information génétique de la cellule, mais aussi un cytosquelette, un appareil de Golgi, un réticulum endoplasmique, une membrane plasmique, des lysosomes, des peroxysomes etc. Il y a donc énormément de structures communes entre une cellule animale et une cellule végétale.



1. La majorité des fonctions cellulaires sont communes aux cellules animales et végétales.

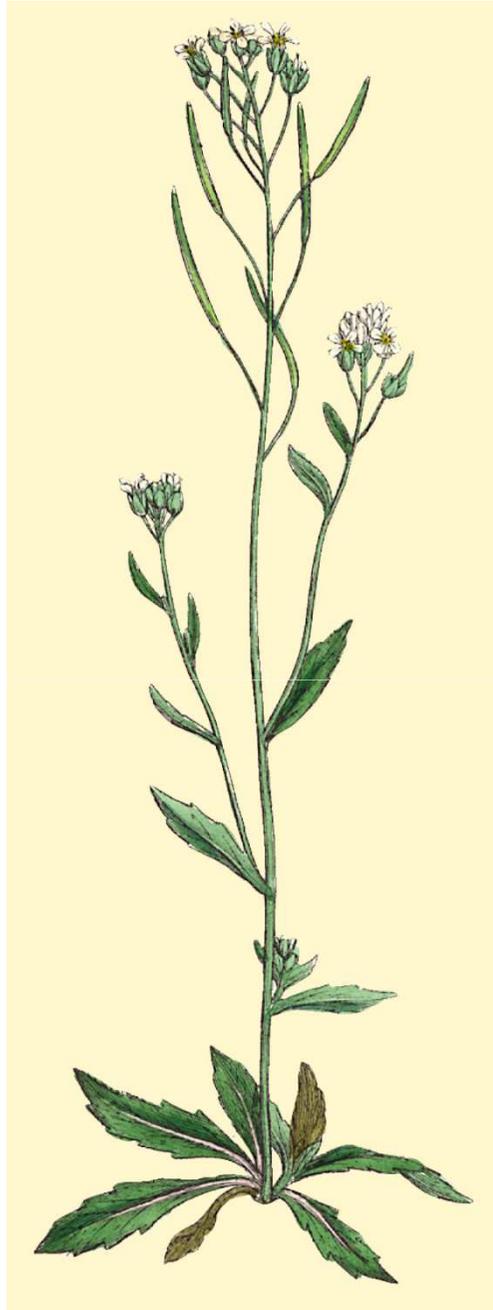
Le 19^{ème} siècle est encore parmi nous !

Règne animal, règne végétal !

En mélange avec les tout derniers acquis de la génétique : dans un article de synthèse destiné aux professeurs des lycées et collèges

'Contrairement aux animaux, [les plantes] ne sont pas capables de bouger'

Caboche, 2006. *Biologie Géologie*, Revue de l'APBG, 3 (numéro spécial) : 131-150



Comment les plantes sont-elles finalement si différentes des animaux, alors que les cellules des deux règnes sont constituées d'éléments similaires?

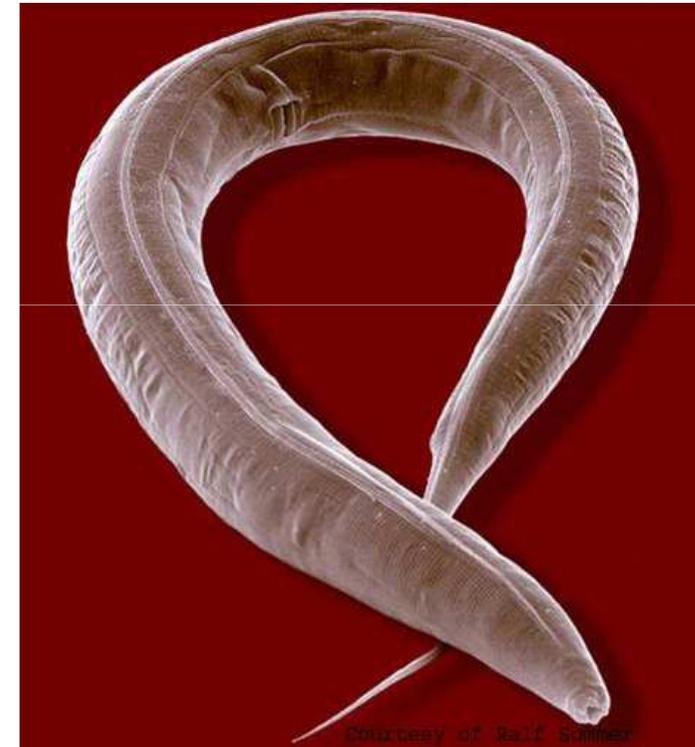
Michel Caboche
 Directeur adjoint du laboratoire de biologie des semences, INRA-INRA Versailles
 Directeur de l'Unité de Recherche en Génétique végétale INRA-CNRS, Université d'Evry
 Correspondant à l'Académie Royale de Belgique
 Membre du comité stratégique de Génoplante

Les plantes, à l'évidence, diffèrent des animaux par de nombreux points : ainsi, elles sont capables d'utiliser l'énergie de la lumière et de se nourrir du gaz carbonique de l'air. Contrairement aux animaux, elles ne sont pas capables de bouger, elles ont aussi des caractéristiques de développement qui sont à l'évidence différentes de celles des animaux, leur forme pouvant différer considérablement selon l'environnement où elles se trouvent. Cependant, tout comme les animaux, elles sont constituées de cellules, et lorsqu'on observe ces cellules végétales on s'aperçoit qu'elles sont très voisines des cellules animales en termes de structures et d'organisation. (Fig. 1). Elles ont en commun par exemple un noyau qui renferme l'essentiel de l'information génétique de la cellule, mais aussi un cytosquelette, un appareil de Golgi, un réticulum endoplasmique, une membrane plasmique, des lysosomes, des péroxysomes etc. Il y a donc énormément de structures communes entre une cellule animale et une cellule végétale.

1. La majorité des fonctions cellulaires sont communes aux cellules animales et végétales.

129

Le 19^{ème} siècle est encore parmi nous !



Pour Caboche, →
 animal =
Caenorhabditis elegans (Nématode)

← végétal, plante
 = *Arabidopsis thaliana*
 (Magnoliophyte)

Caboche, 2006. *Biologie Géologie*, Revue de l'APBG, 3 (numéro spécial) : 131-150

A quand remonte cette tradition ?

XX REGNUM VEGETABILE.

CLAVIS SYSTEMATIS SEXUALIS.

NUPTIÆ PLANTARUM.
Actus generationis incolarum regni vegetabilis.
Florescentia.

PUBLICÆ.
Nuptiæ, omnibus manifestæ, aperte celebrantur
Flores unicuique visibiles.

DIFFINITAS.
Mariti inter se non cognati.
Stamina nulla sui parte connata inter se sunt.

INDIFFERENTISMUS.
Mariti nullam subordinationem inter se invicem servant.
Stamina nullam determinatam proportionem longitudinis inter se invicem habent.

1. MONANDRIA.	7. HEPTANDRIA.
2. DIANDRIA.	8. OCTANDRIA.
3. TRIANDRIA.	9. ENNEANDRIA.
4. TETRANDRIA.	10. DECANDRIA.
5. PENTANDRIA.	11. DODECANDRIA.
6. HEXANDRIA.	12. POLYANDRIA.

SUBORDINATIO.
Mariti certi reliquis præferuntur.
Stamina duo reliquis semper breviora sunt.

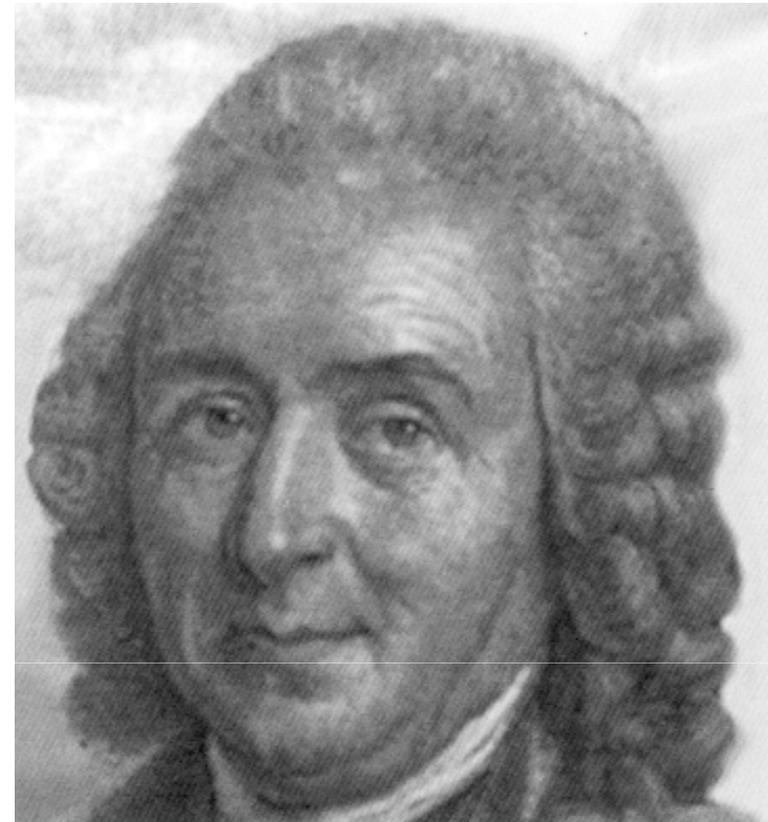
13. DIDYNAMIA.	14. TETRADYNAMIA.
----------------	-------------------

AFFINITAS.
Mariti propinqui & cognati sunt.
Stamina cohærent inter se invicem aliqua sui parte.

15. MONADELPHIA.	17. POLYADELPHIA.
16. DIADELPHIA.	18. SYNGENESIA.

CLANDESTINÆ.
Nuptiæ clam instituuntur.
Flores oculis nudis difficiliter usurpandi.

19. CRYPTOGAMIA.

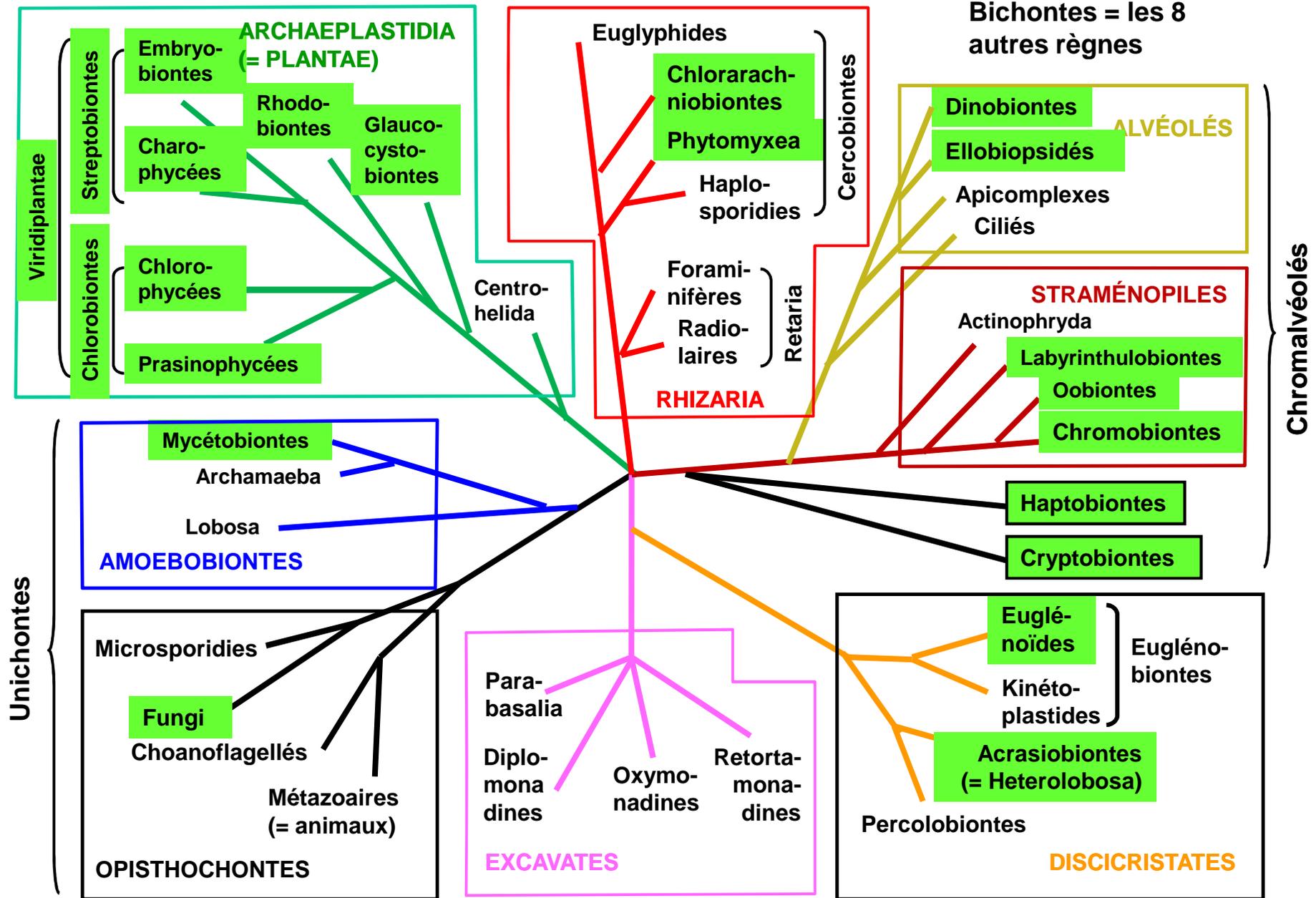


Karl von Linnæus (souvent nommé "Linné" en français)

C'est Linnæus, au milieu du 18^e siècle, qui définit **règne végétal** et règne animal et y répartit (souvent arbitrairement) les organismes vivants

Ce que la tradition (au sens large) a nommé 'végétaux' : un ensemble polyphylétique

Il manque ici les Procaryotes : Cyanobactéries ('algues bleues'), Actinobactéries et Planctobactéries

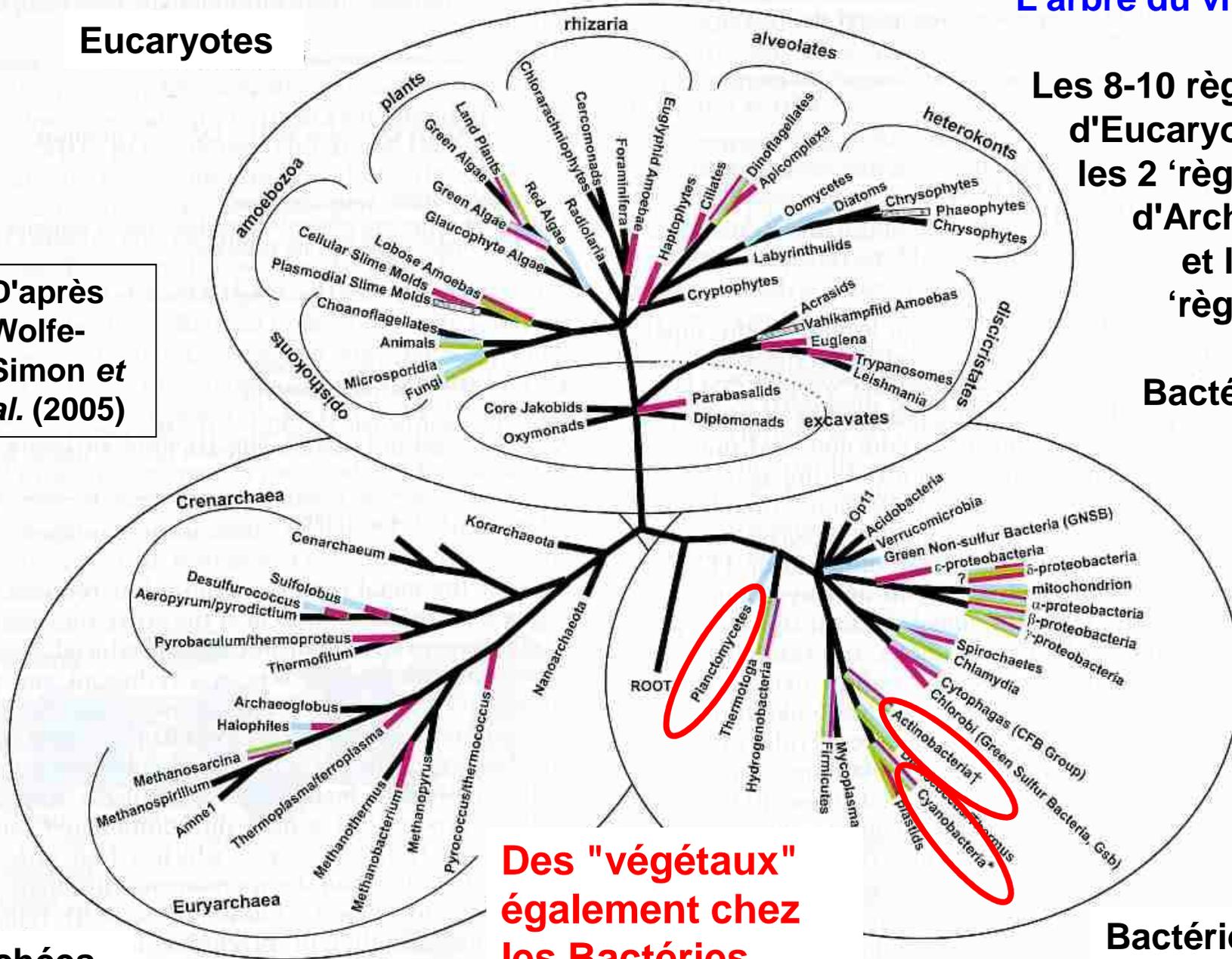


L'arbre du vivant

Eucaryotes

Les 8-10 règnes d'Eucaryotes, les 2 'règnes' d'Archées et les 5 'règnes' de Bactéries

D'après Wolfe-Simon et al. (2005)



Archées

Des "végétaux" également chez les Bactéries

Bactéries

Plus de parenté entre un Métazoaire et un Fungi (tous deux appartiennent au même règne des Opisthochontes : 50% des gènes partagés) ...



Métazoaire



Basidiomycète (Fungi)

"champignon"

... qu'entre un chlorobionte et un Fungi (ils appartiennent à deux règnes différents : Opisthochontes et Archaeplastidia) ...



Chlorobionte ("algue verte") (Archaeplastidia)



Basidiomycète (Fungi)

... ou qu'entre un Chlorobionte et un Chromobionte (ils appartiennent aussi à deux règnes différents : Archaeplastidia et Straménopiles)

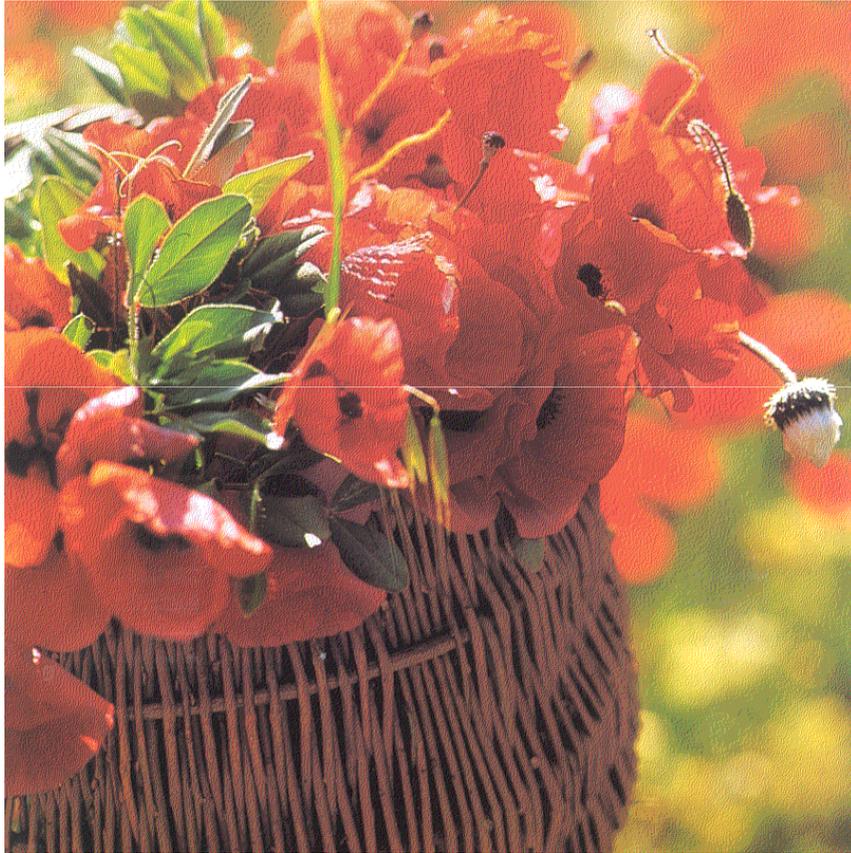


Chlorobionte ("algue verte") (Archaeplastidia)



Chromobionte ("algue brune") (Straménopiles)

~~Règne végétal~~



~~Règne animal~~



C'était le bon vieux temps, il y a plus de 35 ans ...

Bien sûr, d'extraordinaires convergences évolutives !

Viridiplantae (Archaeplastidia)

Chromobiontes (Straménopiles)



Appareil conducteur :
tubes criblés et
vaisseaux. Voies
séparées

A partir de
matériaux
complète-
ment
différents :
cytologie,
biochimie,
etc.



Plantes à
fleurs



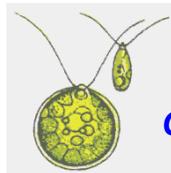
Filicophyte



Bryophyte



Ulva



Chlamydomonas



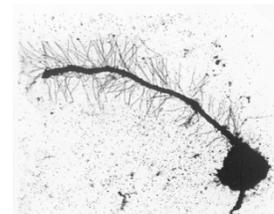
Fucus



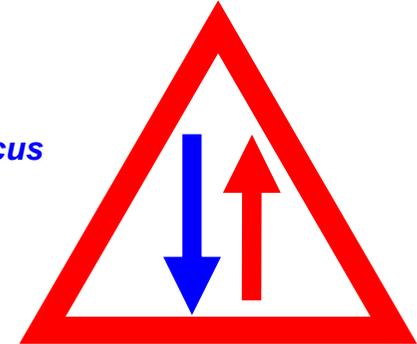
Laminaire



Ectocarpus



Picophagus



Appareil conducteur :
tubes criblés. Voies
non
séparées

Ancêtre
commun :
aussi (plus ?)
ancien que
celui de
l'Homme et
du platane ?

1. Introduction

2. L'arbre du vivant

2.1. La notion de végétal

2.2. Les "végétaux" aux 18-19^{ème} siècles

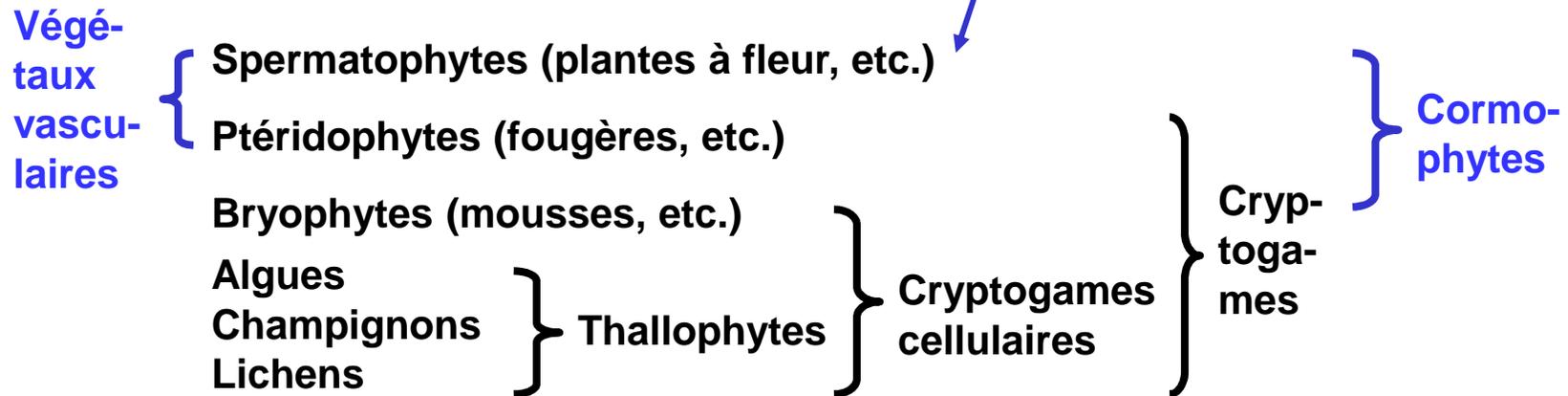
La présentation du monde végétal qui est enseignée, dans certaines Universités, est celle du **19^e siècle** . Il est donc nécessaire de la rappeler

Cette présentation (Thallophytes, Cryptogames, algues, champignons, lichens, Protozoaires, etc.) diffère en fait assez peu des conceptions de Linnaeus, vers **1750** ...

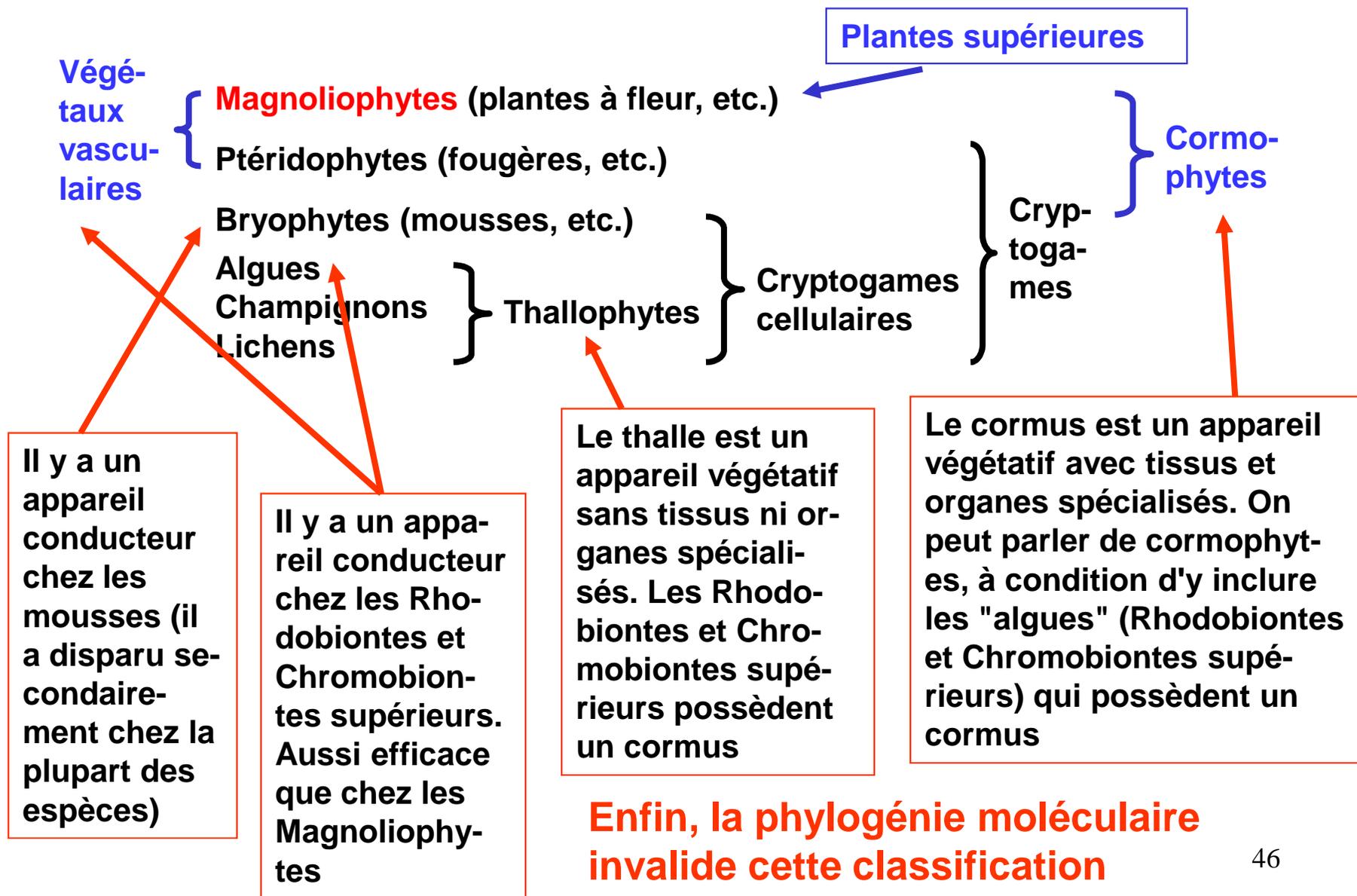


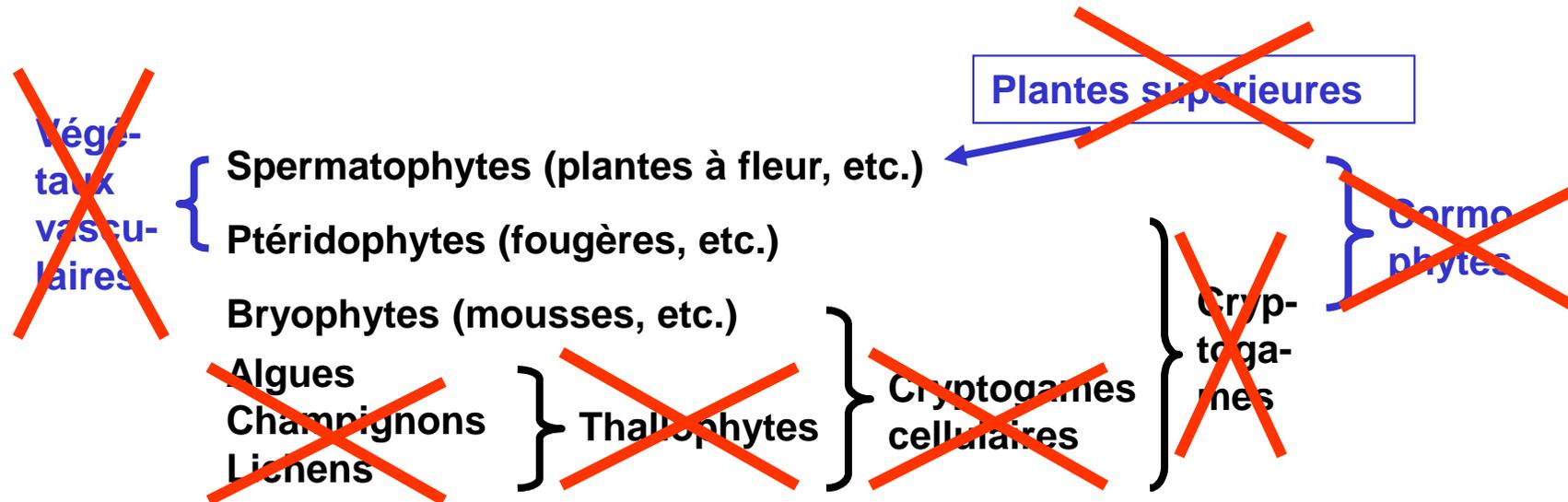
Pour ce qui concerne les "végétaux" :

"Plantes supérieures" (en fait seulement les Embryobiontes).



Cette présentation est aujourd'hui aberrante, en fonction de connaissances datant de 35 à ... **120 ans**





La présence d'un **appareil conducteur** (constitué de **tubes criblés**) chez des "végétaux" que la tradition a nommés "algues" est connue depuis le milieu du 19^e siècle (chez *Laminaria*, aujourd'hui Chromobiontes)

Dès **1887**, Wille parle de tissus conducteurs chez les "algues"

1946 : Article fondamental de J. Feldmann et G. Feldmann sur l'appareil conducteur chez les "algues rouges" (= Rhodobiontes)

Début des années **1970s** : démonstration du fait que l'appareil conducteur des "algues brunes" (Chromobiontes) est **fonctionnel**

PHYTOBENTHOS MARI
et POLLUTION LUMINY
BIBLIOTHEQUE

Recherches sur l'appareil conducteur des Floridées

PAR

JEAN et GENEVIÈVE FELDMANN

SOMMAIRE

Introduction	161
Caractères cytologiques des cellules conductrices	162
Les types de structure chez les Floridées	163
CHAPITRE PREMIER. — Cellules axiales à la fois conductrices et assimilatrices	166
Les cellules axiales d'un <i>Dasyopsis</i> sp.	168
Les cellules axiales des <i>Ceramium</i>	169
Les cellules axiales du <i>Crouania attenuata</i>	172
Conclusions du Chapitre I	173
CHAPITRE II. — Cellules axiales conductrices des Rhodomé-lacées	174
Les cellules axiales du <i>Polysiphonia flocculosa</i>	174
Synapses	174
Noyaux	174
Rhodoplastes	175
Vacuoles	175
Les cellules axiales du <i>Chondria dasyphylla</i>	176
Les cellules axiales de l' <i>Halopitys incurvus</i>	176
Conclusions du Chapitre II	178

**Floridées =
Rhodobiontes**

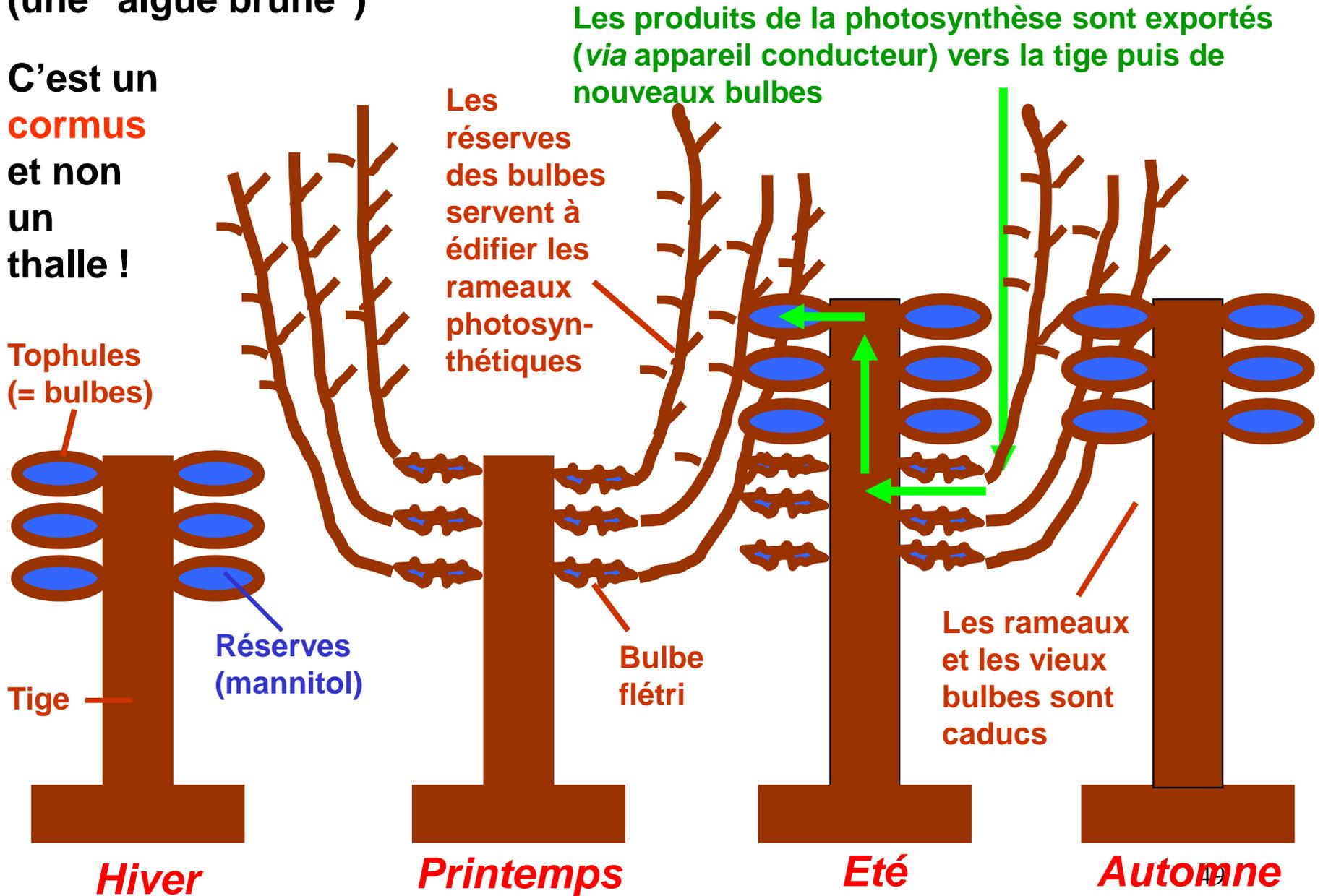
**Référence : *Revue de
Cytologie*, 8 : 159-209**

Date : 1946

**Comment peut-on encore ignorer,
en 2009, l'existence d'un appareil
conducteur chez des organisme
que la tradition nommait 'algues' ?**

Le cycle saisonnier de l'appareil végétatif de *Cystoseira zosteroides* (une "algue brune")

C'est un **cormus** et non un thalle !



1. Introduction

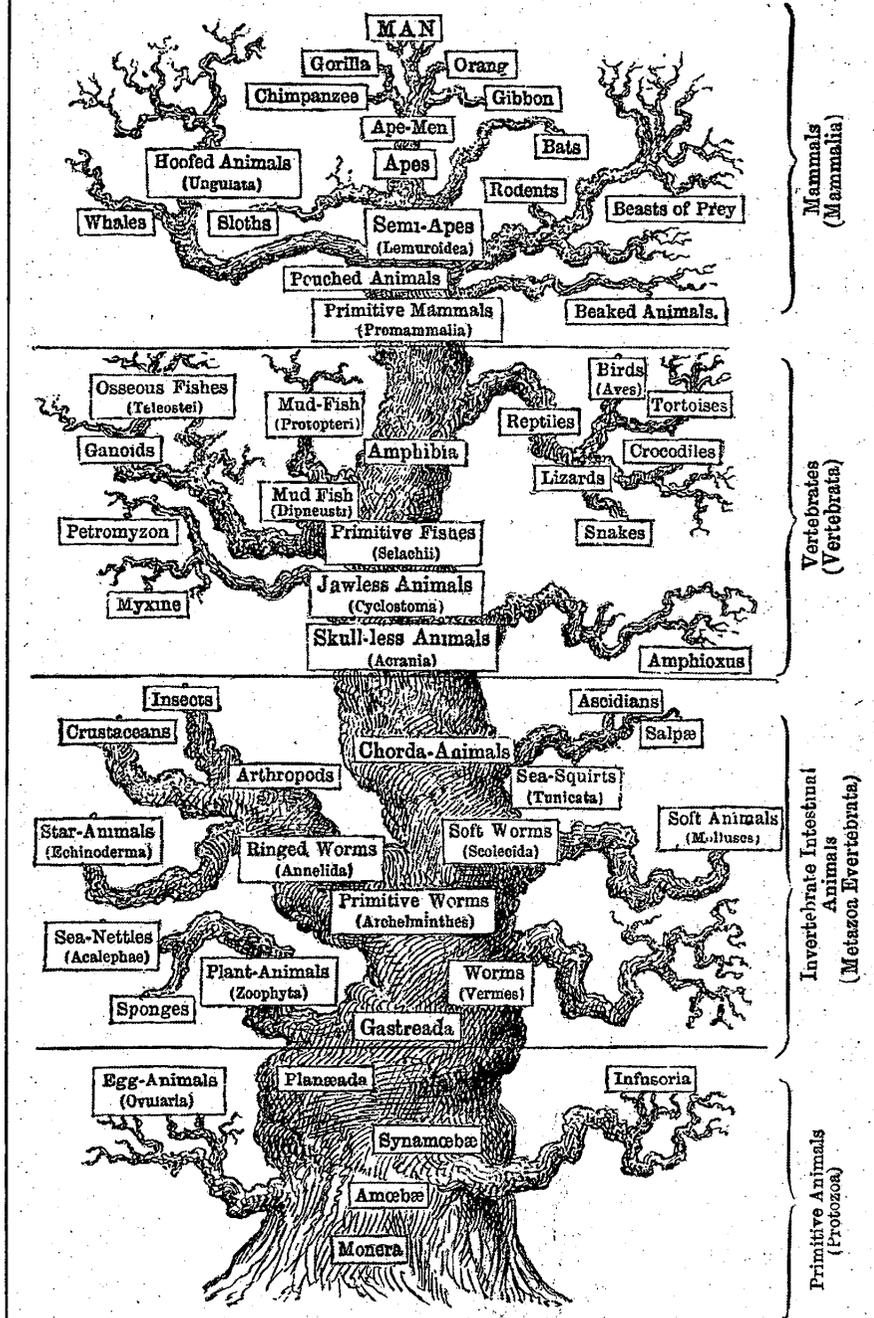
2. L'arbre du vivant

2.1. La notion de végétal

2.2. Les "végétaux" aux 18-19^{ième} siècles

2.3. L'explosion des règnes

PEDIGREE OF MAN.



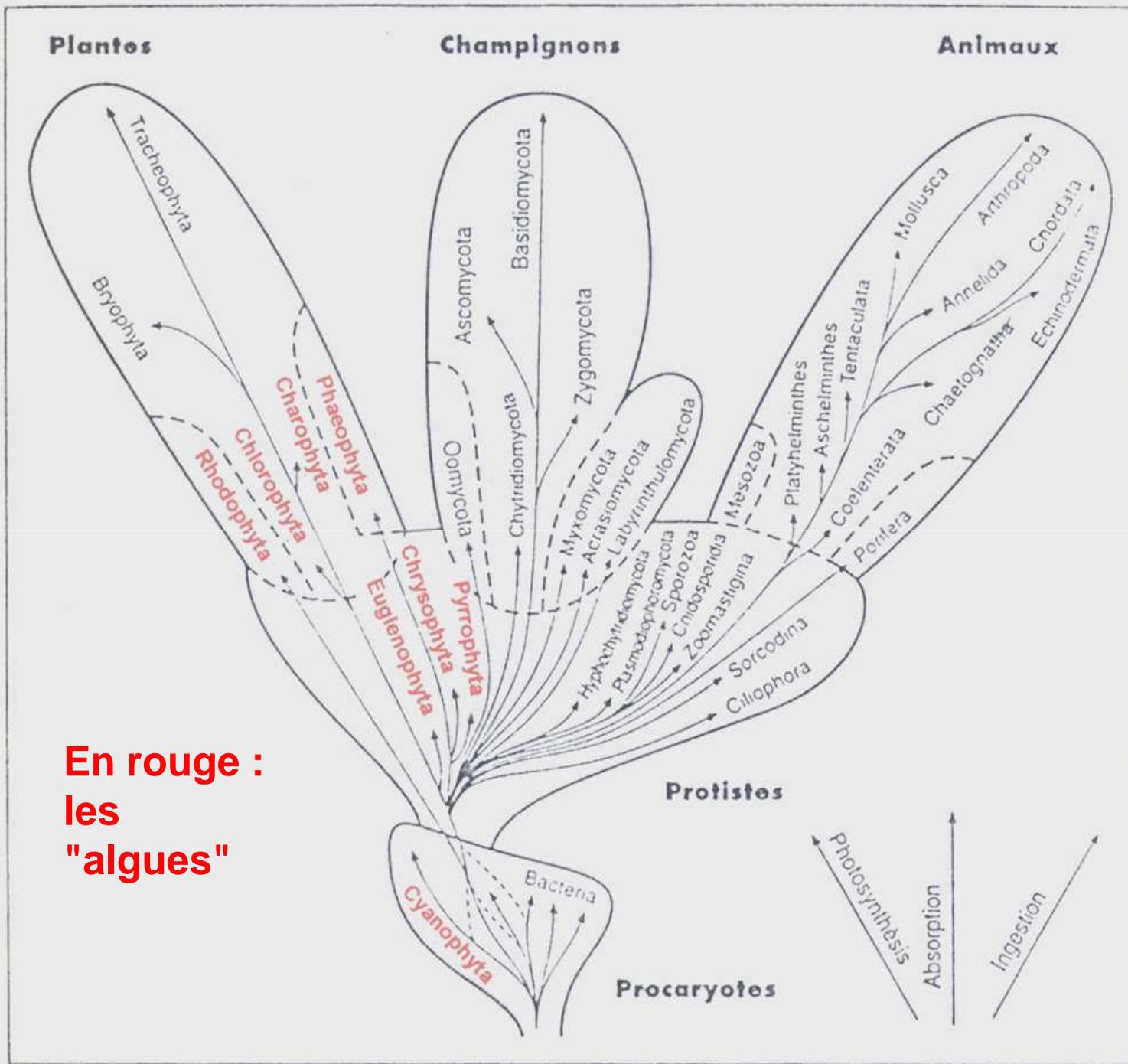
Fin du 19° siècle : le premier "arbre phylogénétique", proposé par Haeckel

Le règne animal

Et bien sûr, tout en haut : l'Homme !

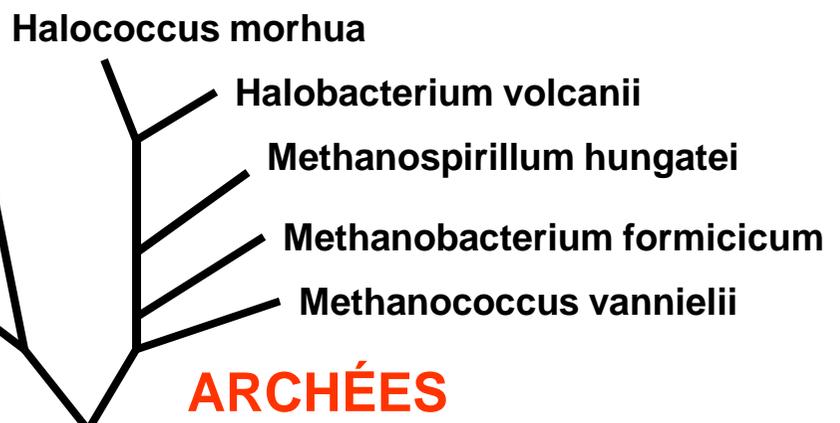
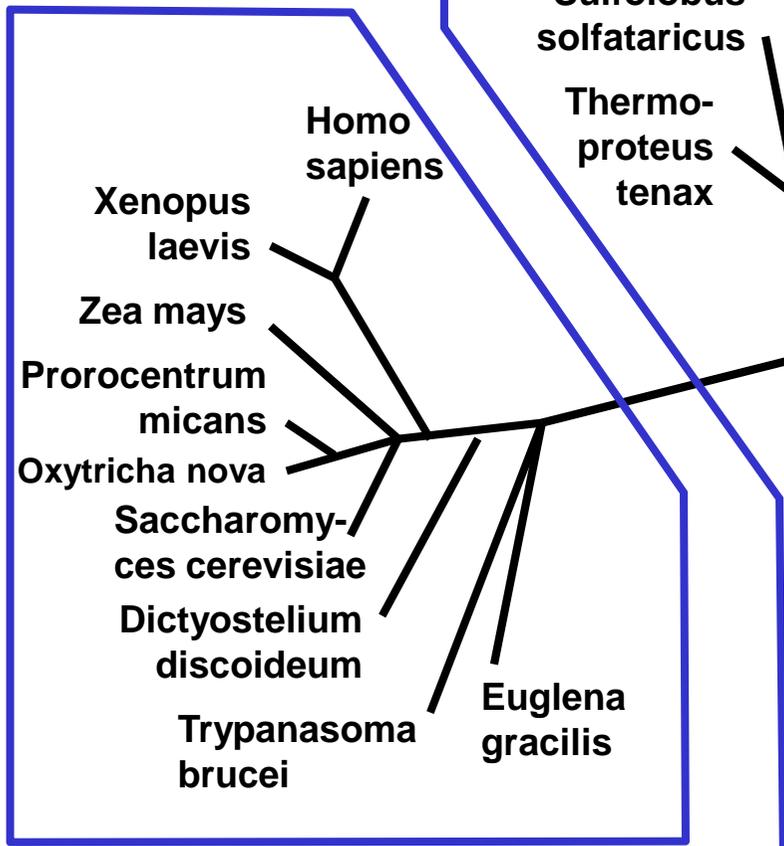
On doit à Haeckel et à son arbre le terme aujourd'hui populaire d'arbre phylogénétique

Le système à 5 règnes de Whittaker (années 1960)

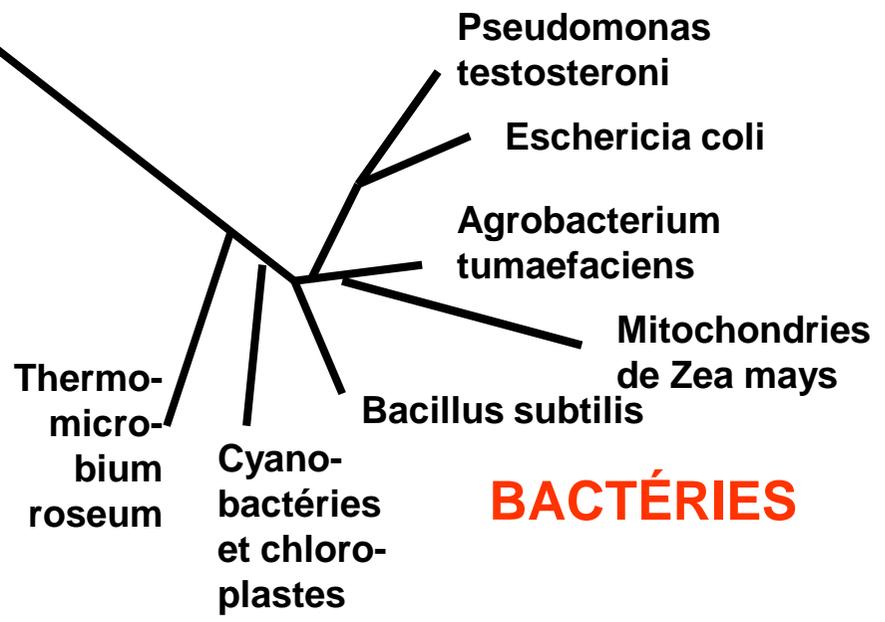


1979

EUCARYOTES



ARCHÉES



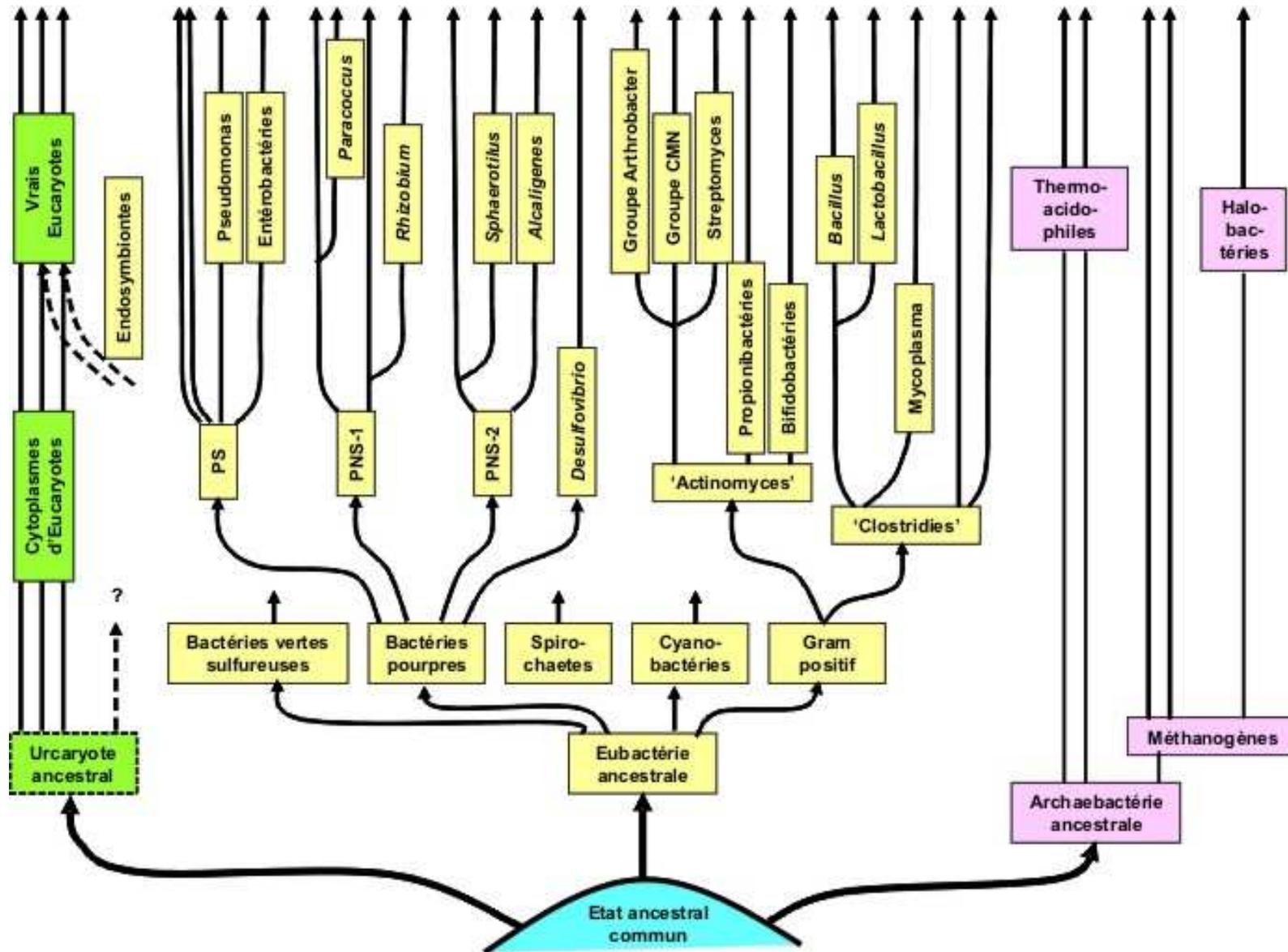
BACTÉRIES

PROCARYOTES

Il y a plus de différences génétiques entre Bactéries et Archées que entre Archées et Eucaryotes. D'ailleurs, les Eucaryotes descendent peut-être (ou sont le groupe frère) des Archées

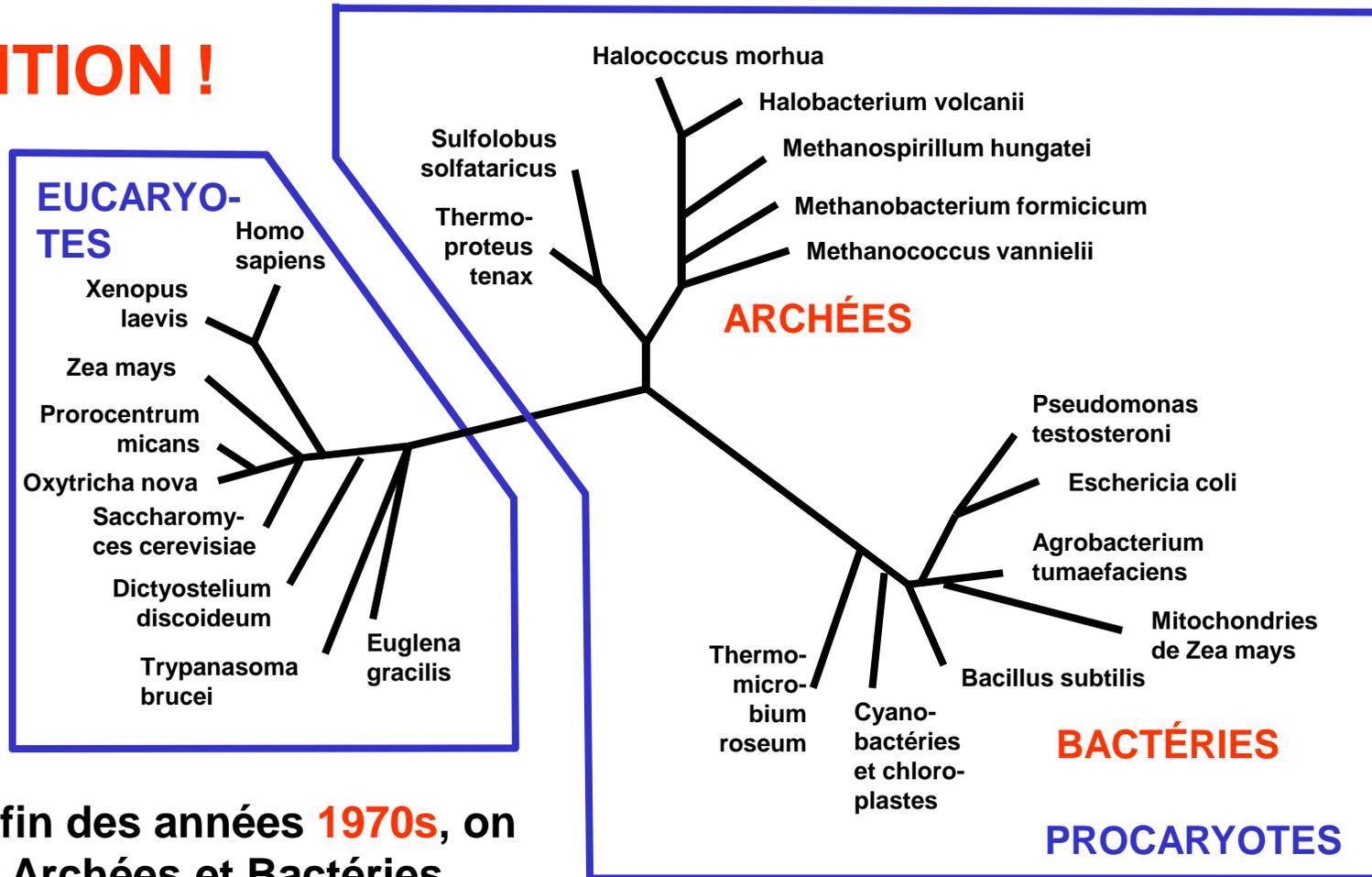
L'arbre de Carl Woese, 1979, basé sur le 16-18S rRNA

D'après Fox et al. (1980)
redessiné et modifié (Boudouresque et al., sous presse)



ATTENTION !

Certains chercheurs continuent à utiliser le mot "bactéries" dans le sens du début des années 1970s



Jusqu'à la fin des années 1970s, on confondait Archées et Bactéries sous le nom de "Bactéries"

On les a d'abord séparées sous les noms d'Archéobactéries et d'Eubactéries, puis aujourd'hui d'Archées et de Bactéries

→ Confusion possible entre "Bactéries" ancienne signification et "Bactéries" dans le sens moderne

Dès les années **1960s**, la notion de **règne végétal** et de règne animal est abandonnée au profit d'un système à 3 règnes, puis à 5 règnes (Whittaker, Margulis), puis à 7 règnes (années 1970s et 1980s)

Dès les années 1960s-1970s, il est clair, à partir des données de la cytologie (microscopie électronique), de la biochimie et de la physiologie que les "**algues**" et les "**champignons**" constituent des ensembles polyphylétiques, artificiels

Inversement, il apparaît que certains "champignons" (les Oobiontes) sont très proches de certaines "algues" (Chromobiontes) et constituent un ensemble très fortement caractérisé (ce que l'on nomme aujourd'hui les **Straménopiles**)

De même, les "**algues vertes**" se regroupent fortement avec les "plantes supérieures", mais ne partagent pratiquement rien de commun avec les "algues brunes" (Chromobiontes)

1. Introduction

2. L'arbre du vivant

2.1. La notion de végétal

2.2. Les "végétaux" aux 18-19^{ième} siècles

2.3. L'explosion des règnes

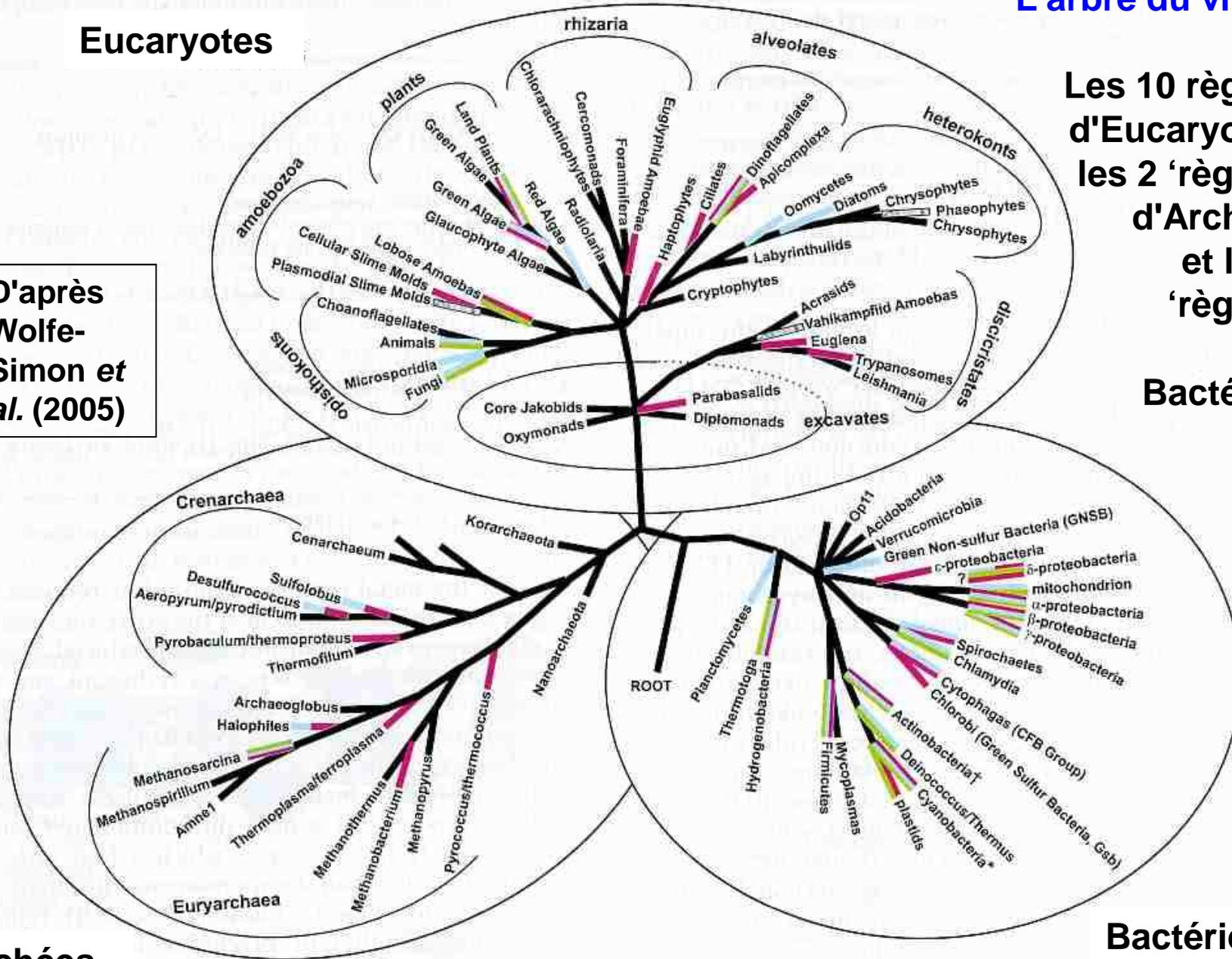
2.4. L'arbre du vivant actuel

L'arbre du vivant

Eucaryotes

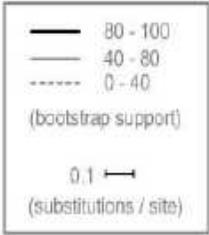
Les 10 règnes d'Eucaryotes, les 2 'règnes' d'Archées et les 5 'règnes' de Bactéries

D'après Wolfe-Simon et al. (2005)

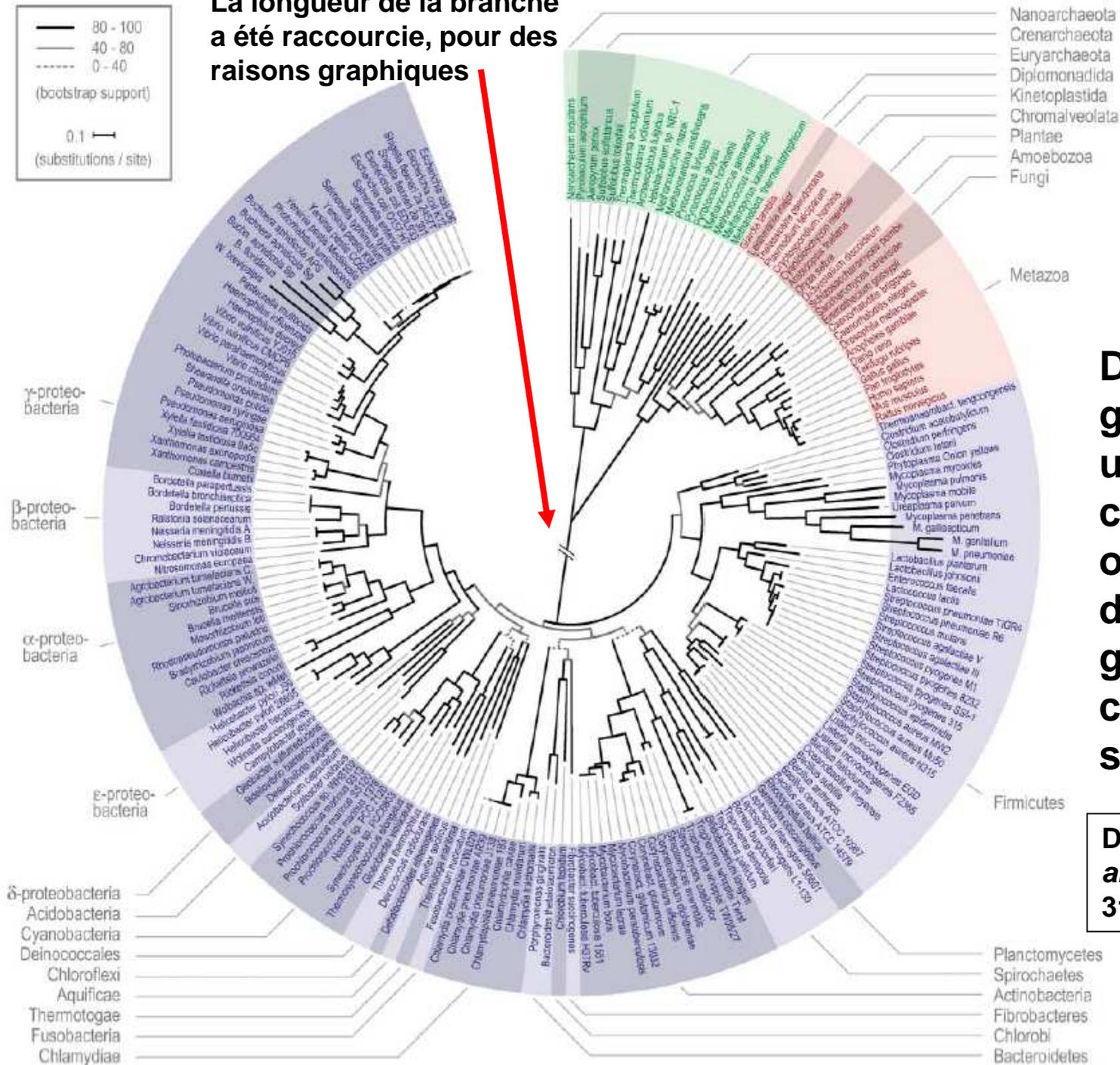


Archées

Bactéries



La longueur de la branche a été raccourcie, pour des raisons graphiques



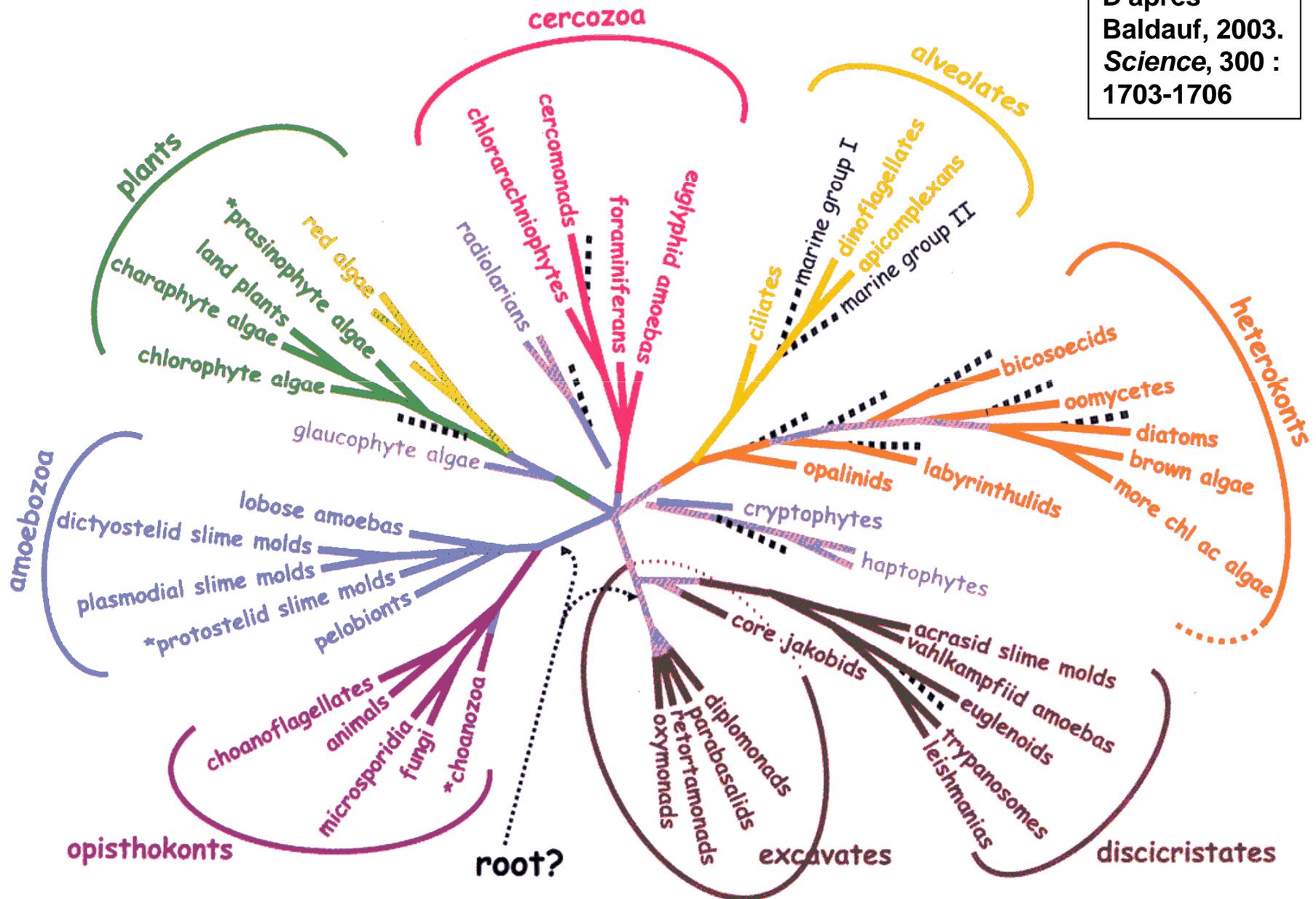
Arbre du vivant

D'après 31 gènes universels chez les organismes dont le génome est complètement séquencé

D'après Ciccarelli et al., 2006. *Science*, 311 : 1283-1286

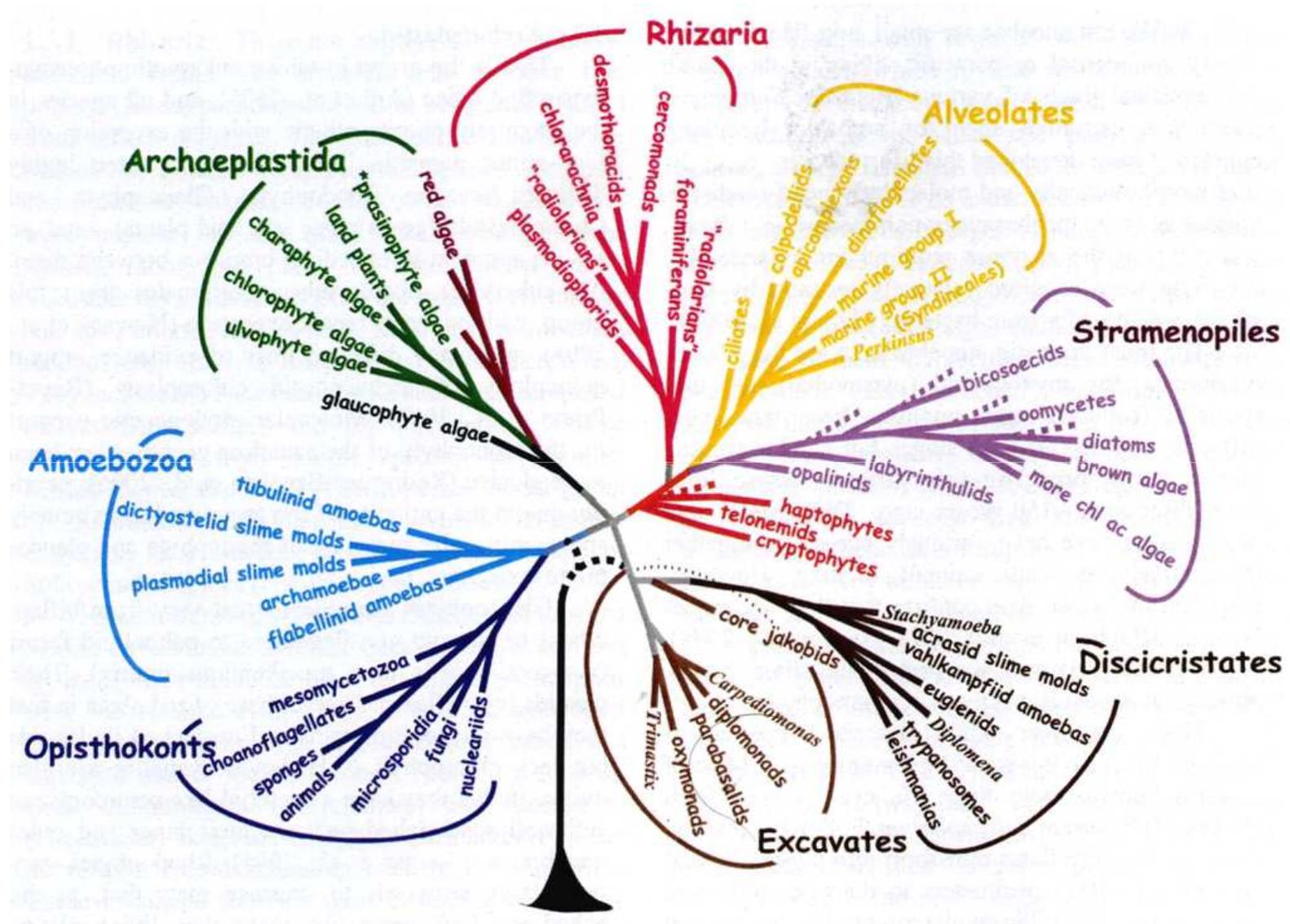
L'ARBRE DU VIVANT : LES 8-10 REGNES D'EUCARYOTES

D'après
Baldauf, 2003.
Science, 300 :
1703-1706



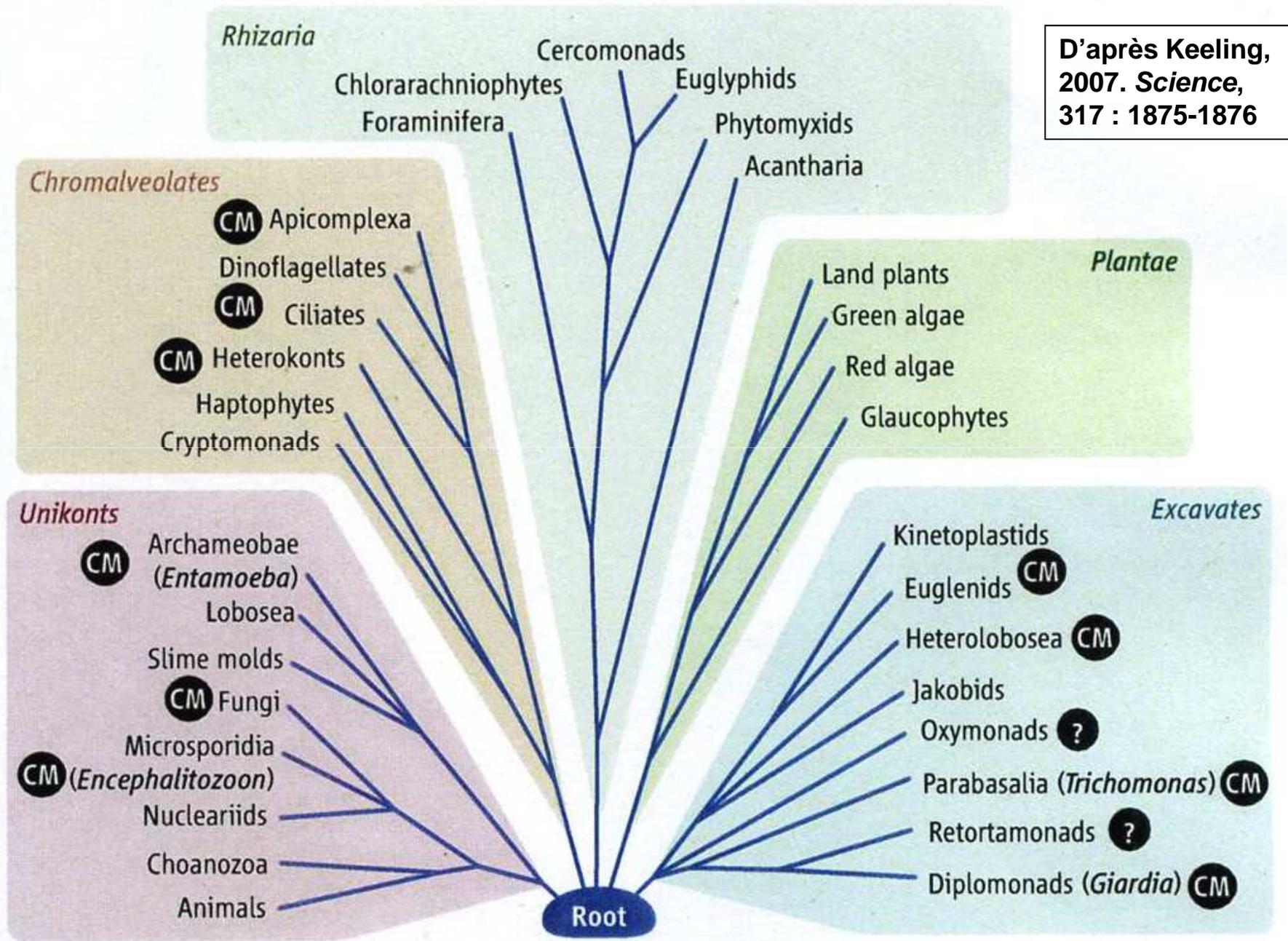
ARBRE DES EUCARYOTES

D'après Baldauf, 2008. *J. Systematics Evolution*, 46 (3) : 263-276



Noter les changements de nom de certains taxons

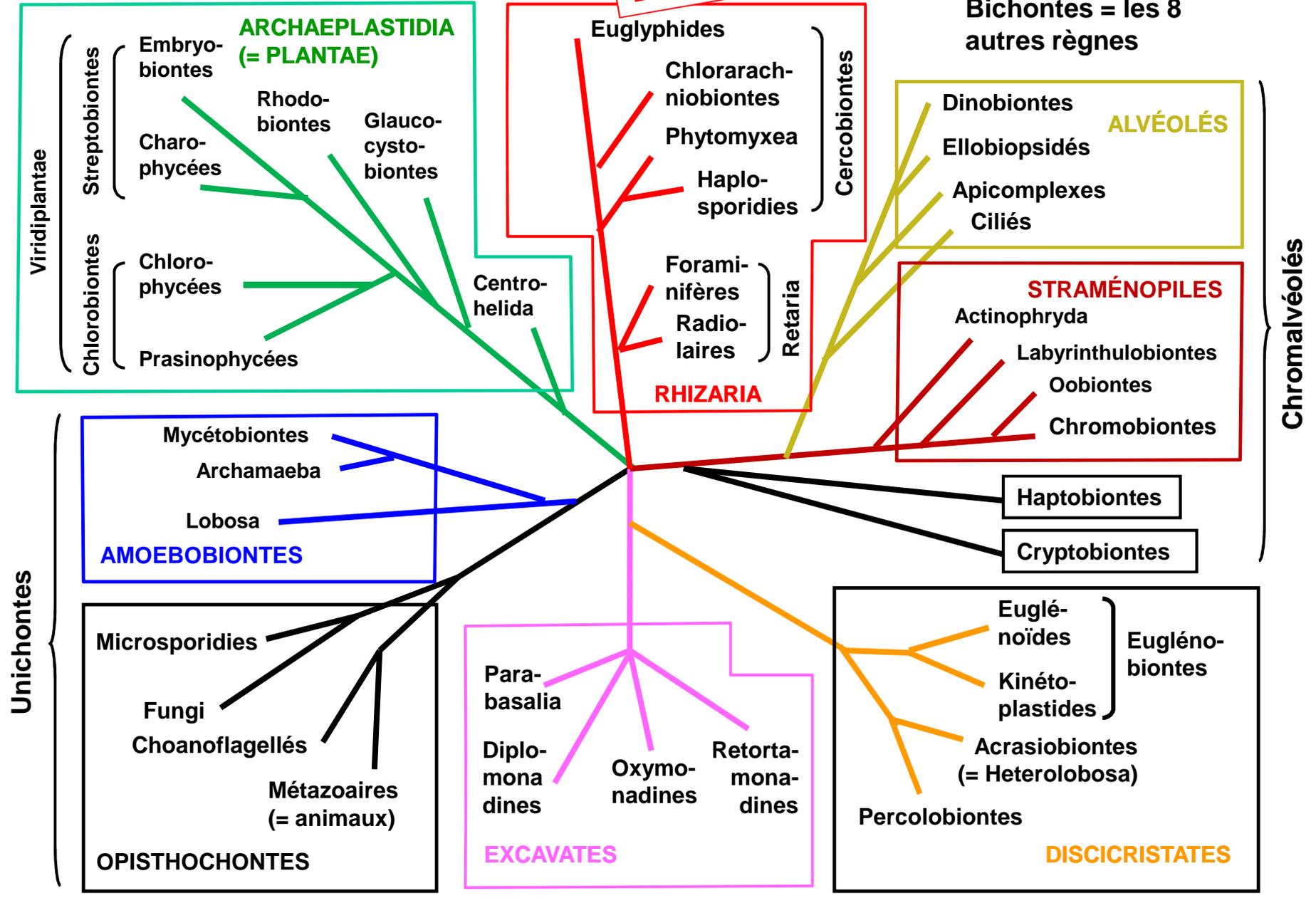
Une délimitation différente (mais en fait très proche) des Eucaryotes



LES 10 RÈGNES D'EUCARYOTES

Cours C.F.
Boudouresque 2010

D'après Baldauf (2003, 2008), simplifié
et mis à jour (Boudouresque, 2010)



Bichontes = les 8 autres règnes

Chromalvéolés

Unichontes

AMOEBOBIONTES

OPISTHOCHONTES

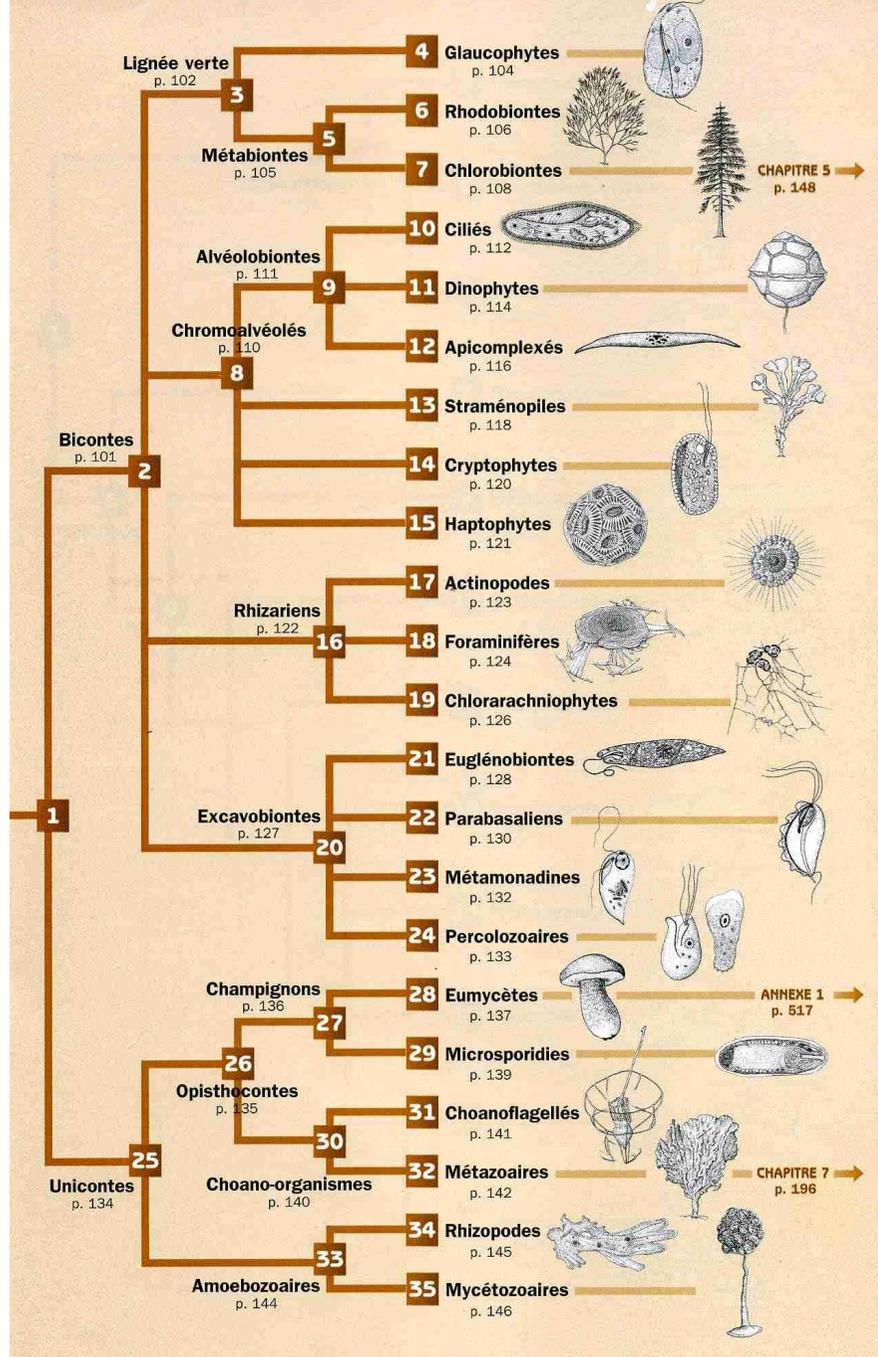
EXCAVATES

DISCICRISTATES

ALVÉOLÉS

STRAMÉNOPILES

4. Eucaryotes



L'ARBRE DES EUCARYOTES

D'après Lecointre et Le Guyader (2006)

Le nom des taxons varie d'un auteur à l'autre

La tendance actuelle est de remplacer toutes les anciennes désinences en "phyta", "phytes", "mycètes", "zoa", "zoaires", etc. par "biontes"

C'est l'option nomenclaturale qui a été choisie et généralisée dans le présent cours

Ces arbres phylogénétiques sont-ils solides ?

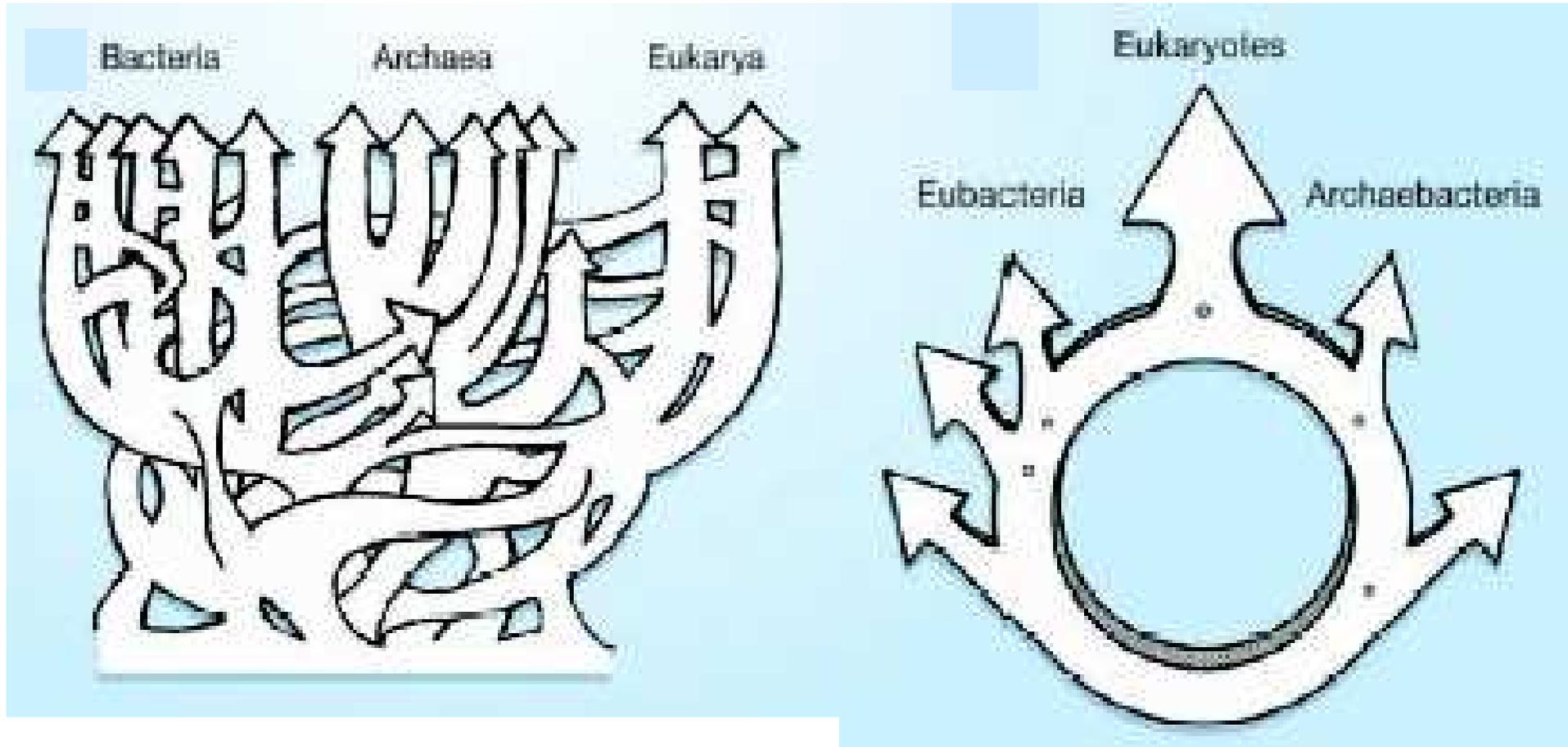
Oui :

- Si l'on utilise des gènes "universels"
- Si les HGT (*Horizontal Gene transfer*) sont peu nombreux (cas des Eucaryotes)
- Si l'on décrit des événements pas trop anciens dans l'histoire de la Vie

Non :

- Si l'on utilise des gènes qui ont des fonctions particulières
- Si les HGT sont nombreux (cas des Procaryotes)
- Si l'on décrit des événements très anciens dans l'histoire de la vie (Martin et Embley, 2004)
- Si certains taxons ont évolué très vite (attraction des longues branches)
- S'il y a eu des fusions de génomes (ring of Life : Rivera et Lake, 2004)

Des arbres linéaires et dichotomes ?



Ou bien un buisson tenant compte des transferts horizontaux de gènes et des endosymbioses ?

Ou bien un anneau ("ring of life")

D'après Martin et Embley,
2004. Nature, 431 : 134-137

HGT (Horizontal Gene Transfer) = LGT (Lateral Gene Transfer)

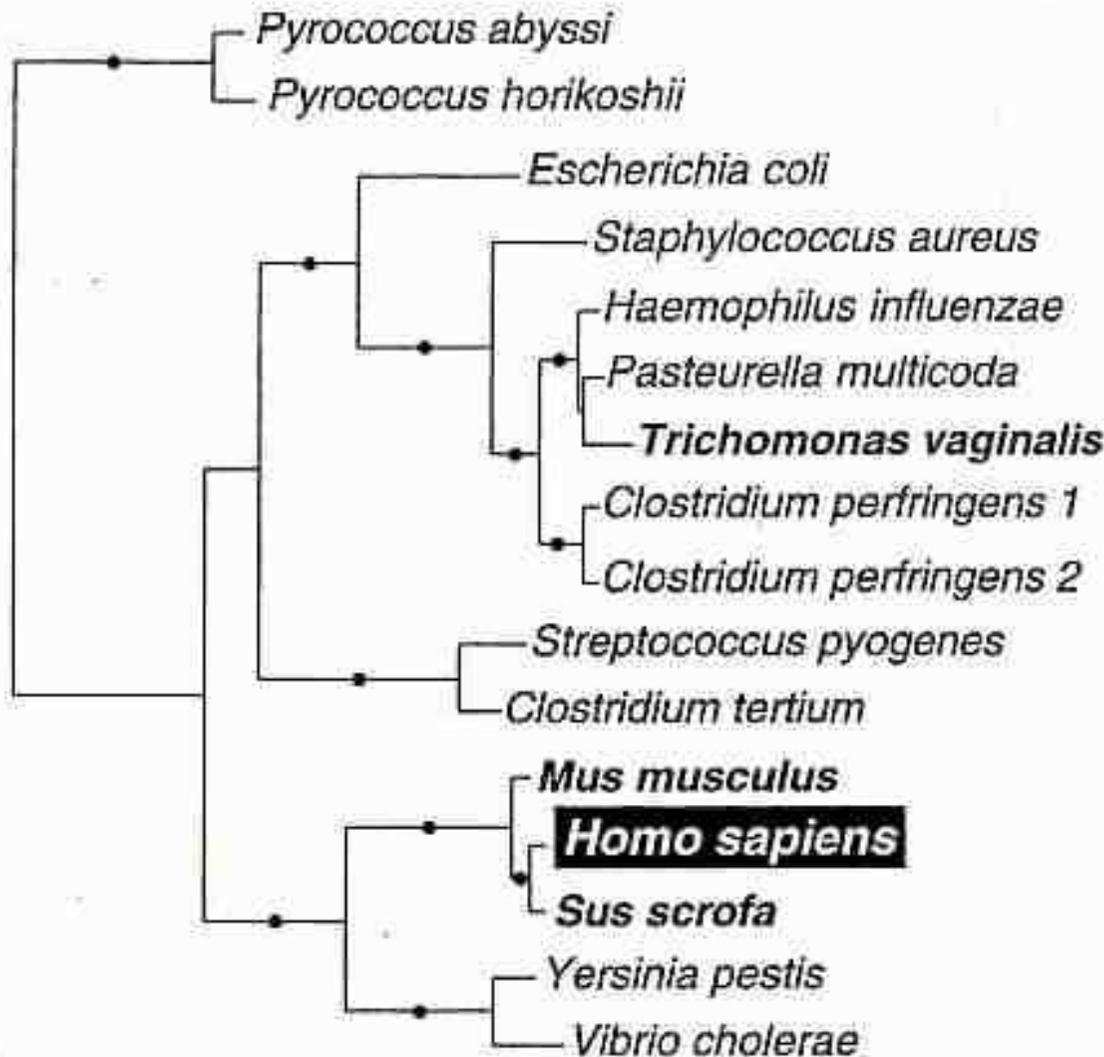
Fréquents entre les Procaryotes. Exemples :

- Gène de la phényl-anlanyl-tRNA-synthétase
- Chez l'Archée *Methanosarcina mazei*, 1 100 des 3 300 gènes ont été acquis par LGT à partir de Bactéries

Présents entre Procaryotes et Eucaryotes

- L'amibe *Entamoeba histolytica* (Mycétobiontes) possède des enzymes de fermentation dont les gènes viennent de Procaryotes
- *Giardia lamblia* (Métamonadine, Diplomonadines) possède un gène qui code pour une enzyme de la voie des mévalonates, d'origine bactérienne

L'arbre phylogénétique basé sur le gène codant pour la N-acetylneuraminatase lyase : un groupe de Mammifères paraît inclus dans les bactéries



Origine du gène : l'ancêtre des bactéries actuelles *Vibrio* et *Yersinia*

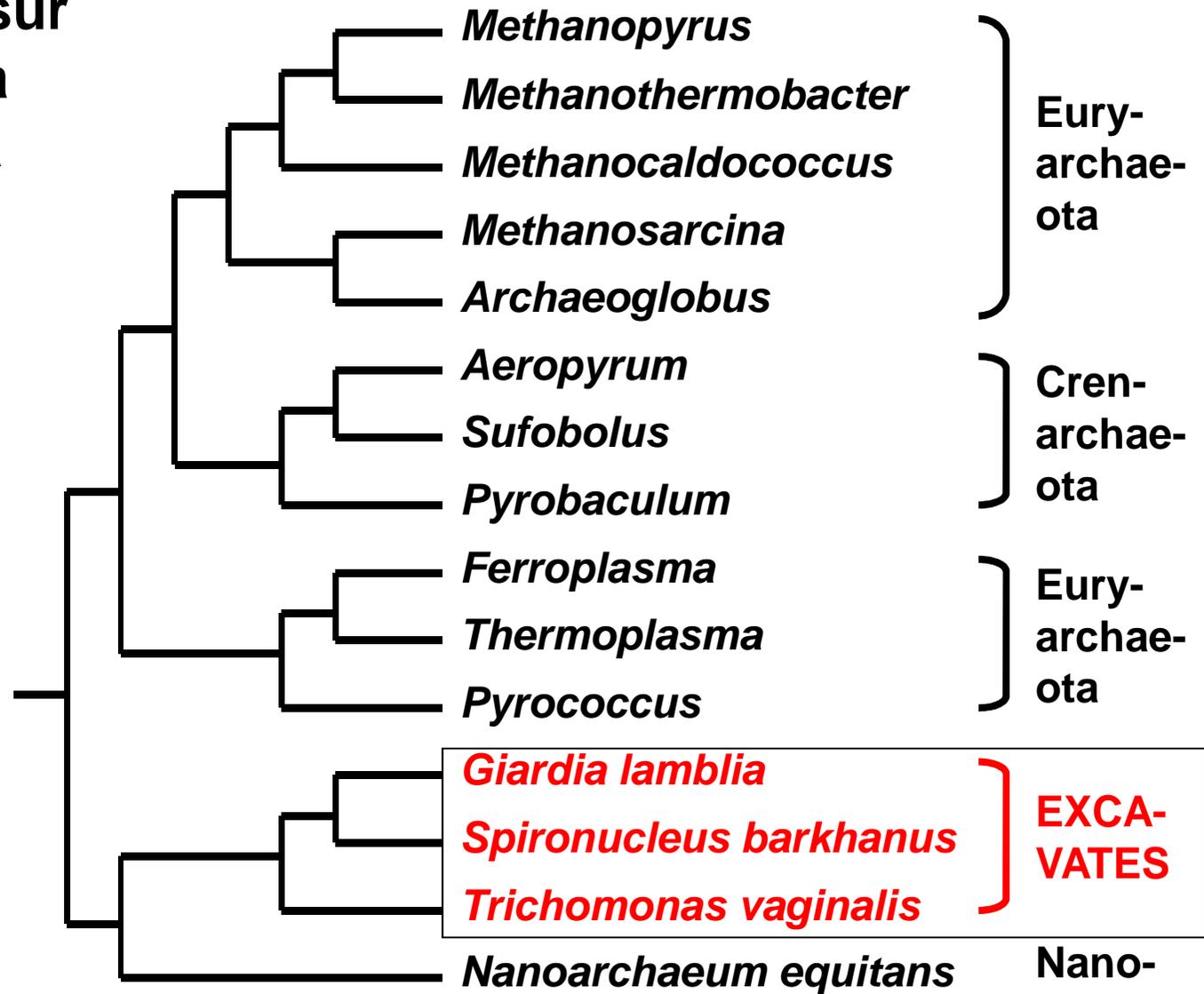
LGT bactéries → *Trichomonas vaginalis* (Parabasalia, Excavates), parasite des cellules épithéliales de vertébrés

LGT *Trichomonas* → groupe de Vertébrés

D'après Andersson et al., 2001. *Science*, 292 : 1848-1850

Arbre basé sur le gène de la propyl-tRNA synthétase

Ce gène a été transféré (LGT) d'une Archée (Nanoarchaeota) vers l'ancêtre des Excavates

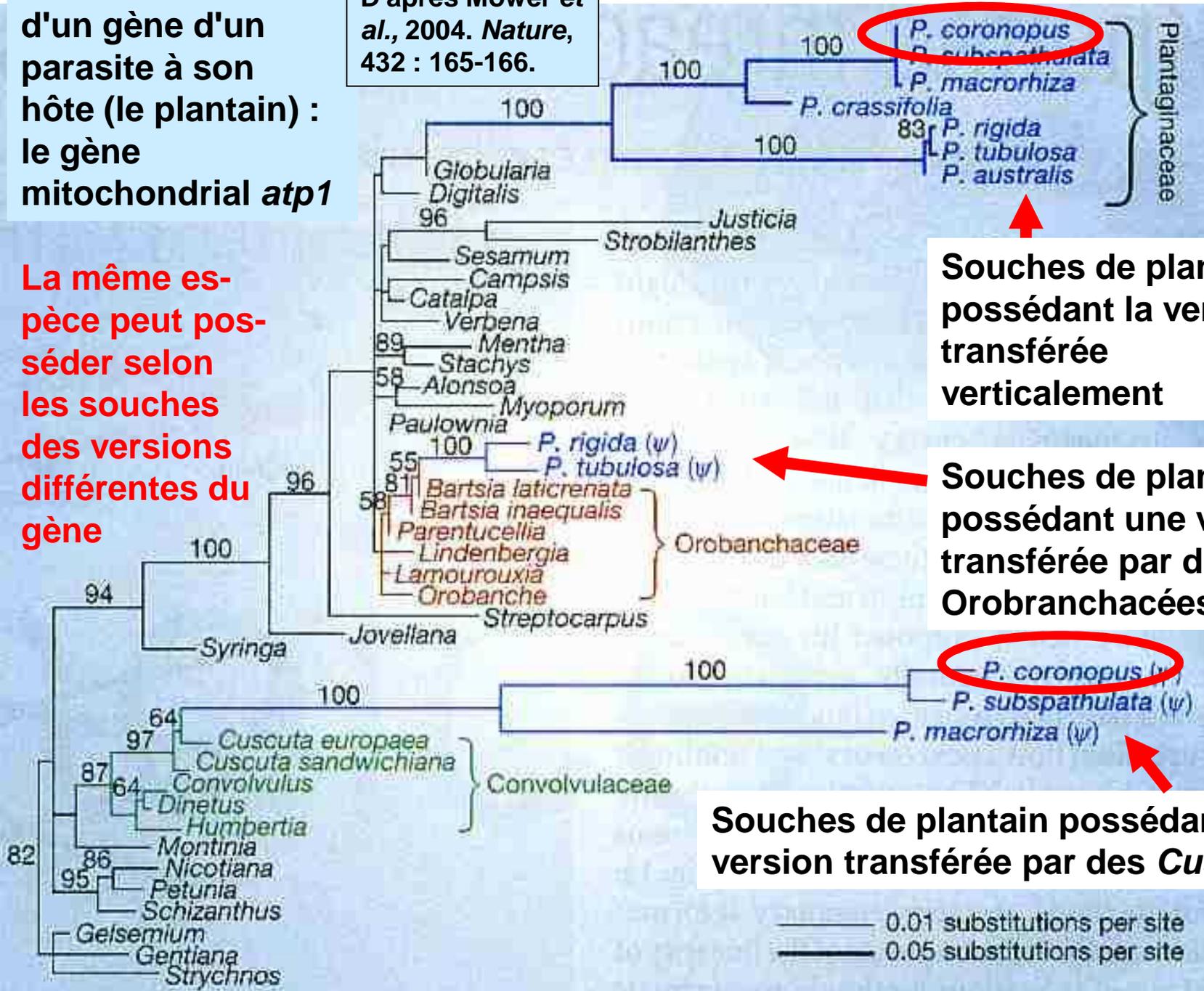


D'après Andersson *et al.*, 2005. *Mol. Biol. Evol.*, 22 (1) : 85-90.

Transfert latéral d'un gène d'un parasite à son hôte (le plantain) : le gène mitochondrial *atp1*

D'après Mower et al., 2004. *Nature*, 432 : 165-166.

La même espèce peut posséder selon les souches des versions différentes du gène



Souches de plantain possédant la version transférée verticalement

Souches de plantain possédant une version transférée par des Orobanchacées

Souches de plantain possédant une version transférée par des *Cuscuta*

Orobanche



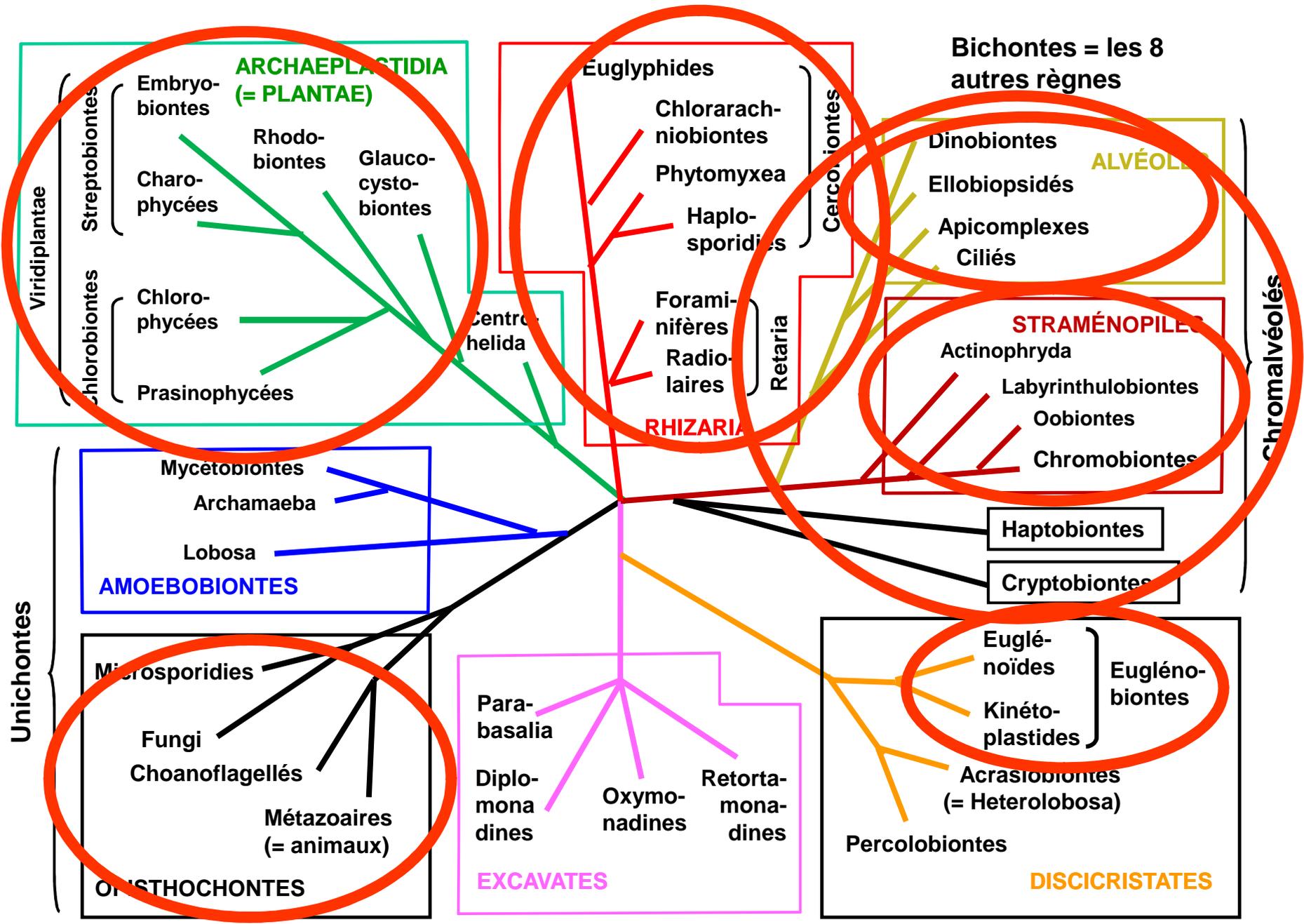
← *Planta-
go* (le
plan-
tain)



← *Cuscuta* (la cuscute)

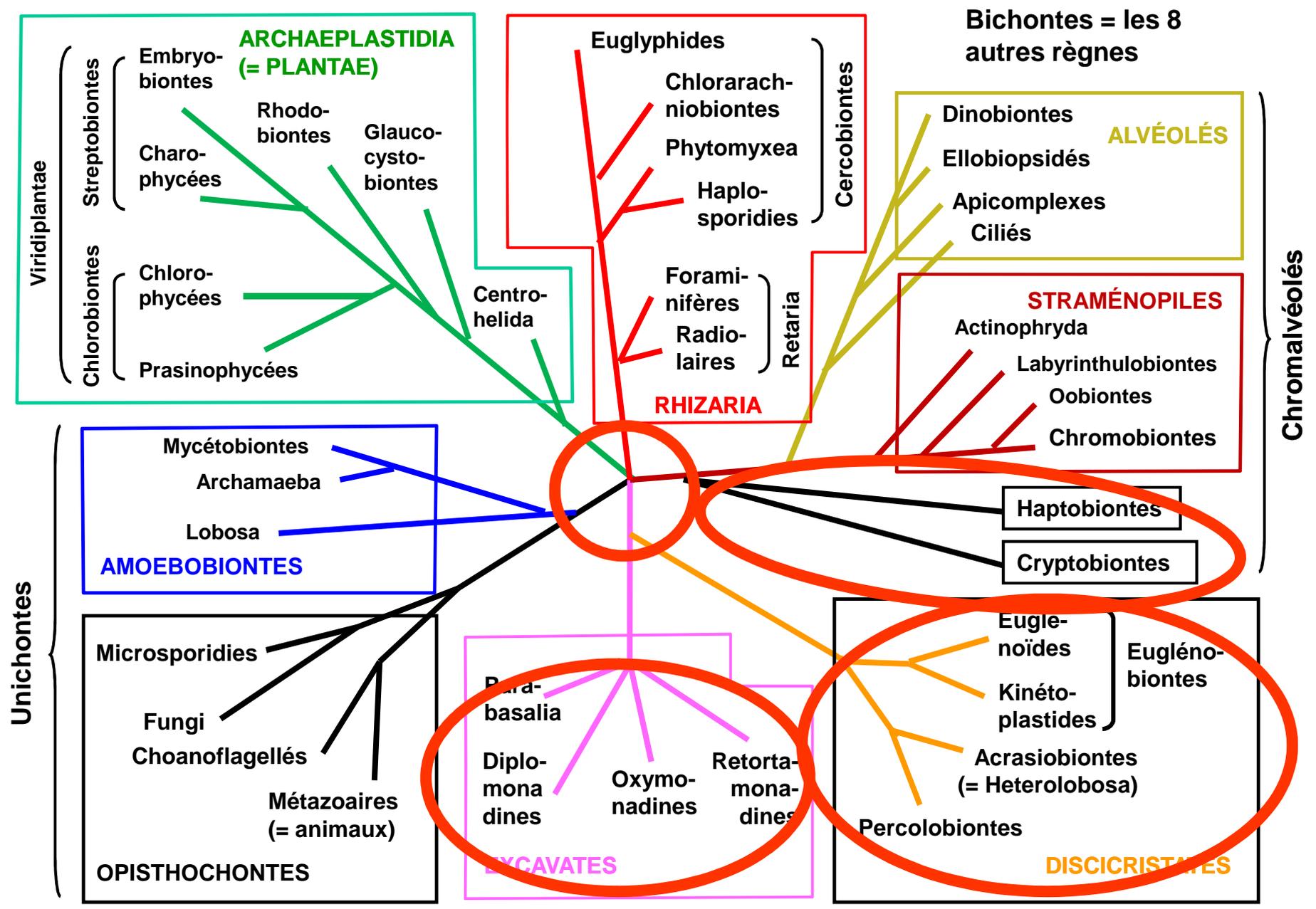
LES 10 RÈGNES D'EUCARYOTES

Solide



LES 10 RÈGNES D'EUCARYOTES

Moins ou peu robuste

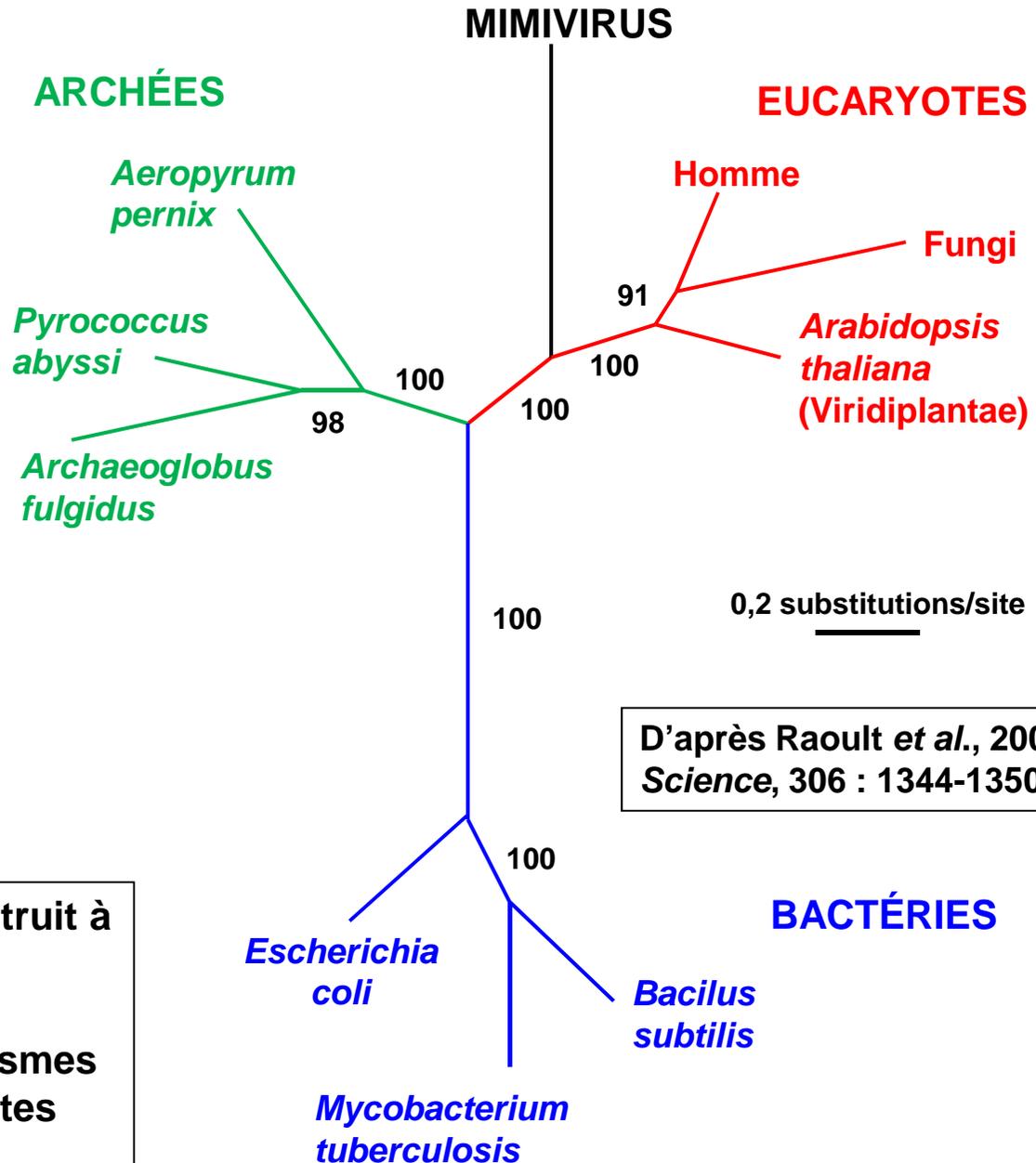


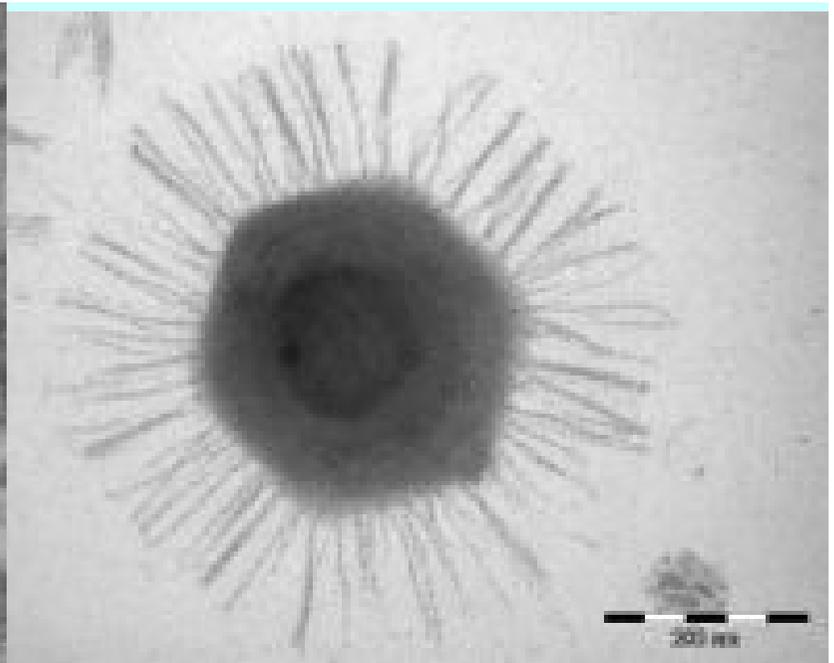
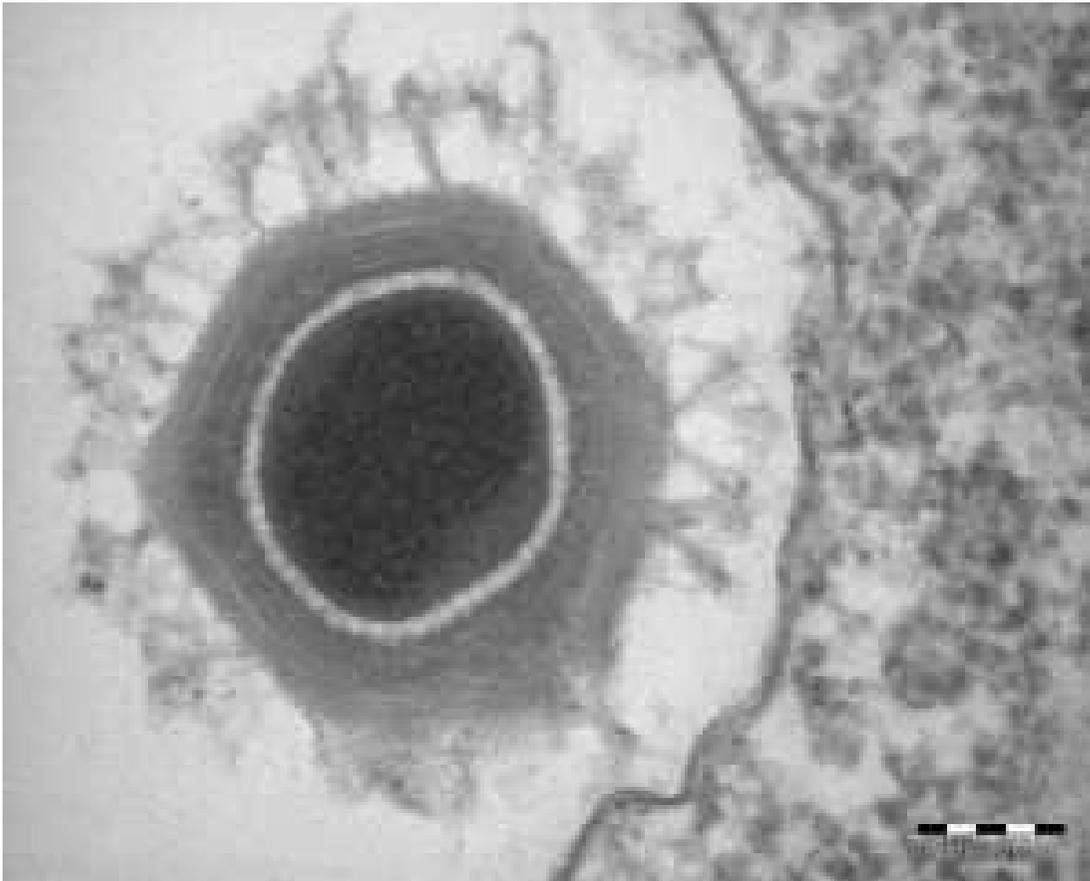
Les mimivirus : un 4^e empire du vivant ?

Un énorme génome :
1.2 Mbp

De nombreux gènes
jamais rencontrés chez
des virus : amino-acyl
transfert RNA
synthétases, peptide
release factor 1,
translation initiation
factor 1, etc.

Arbre phylogénétique construit à
partir des séquences de 7
protéines universellement
conservées dans les organismes
cellulaires, et toutes présentes
chez Mimivirus





Mimivirus isolé

Mimivirus dans une amibe

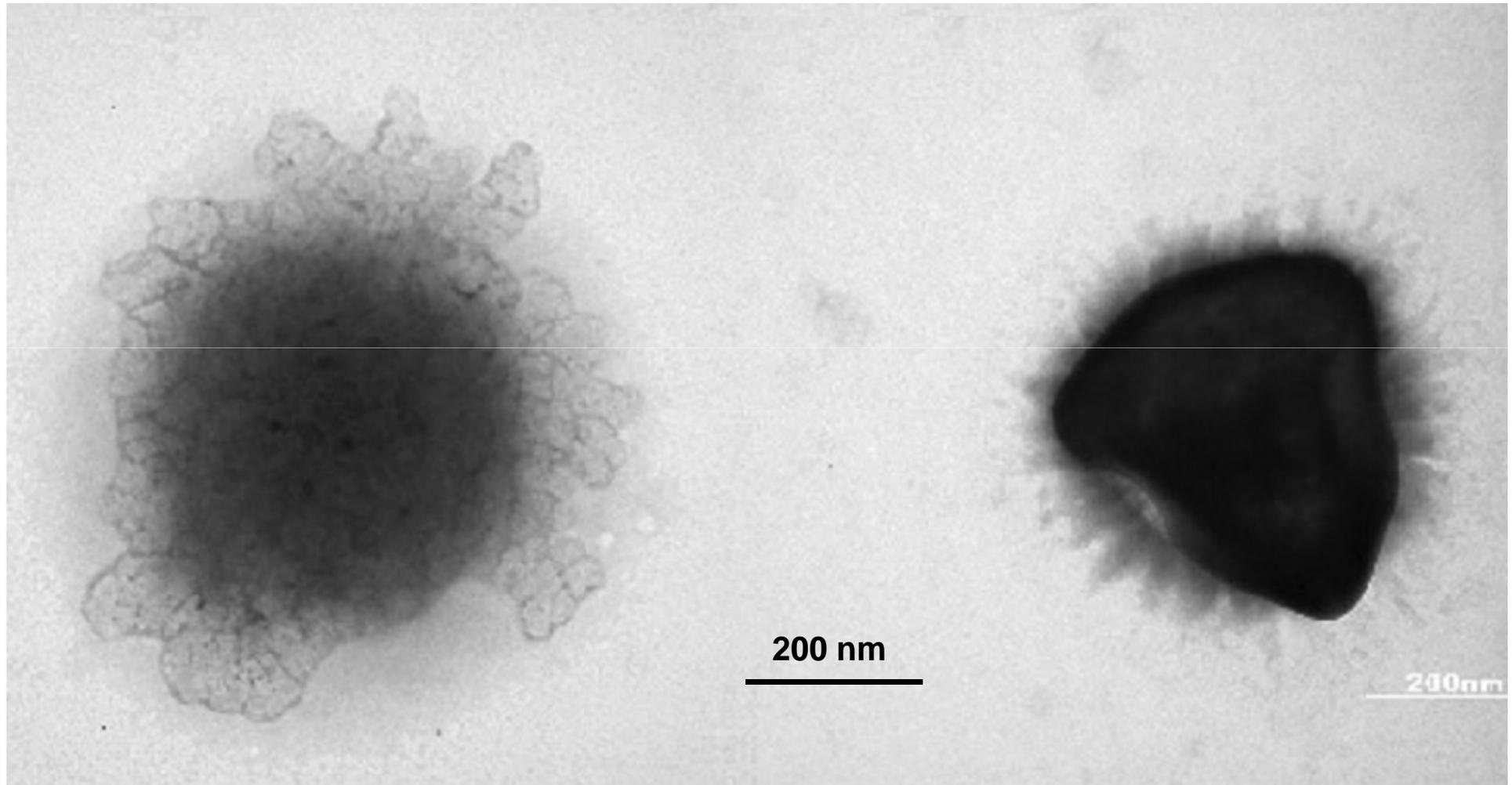
D'après Raoult *et al.*, 2004.
Science, 306 : 1344-1350



Didier Raoult

Ureaplasma urealyticum
(Mycoplasme)

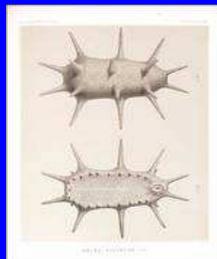
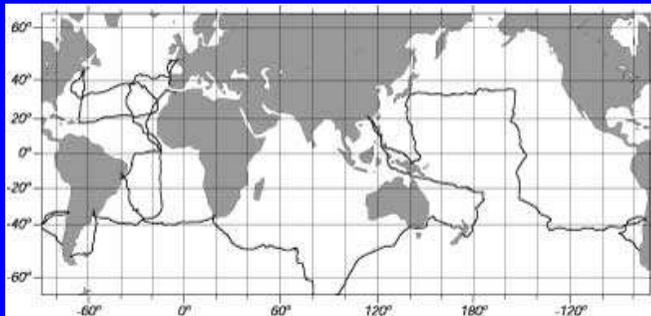
Mimivirus



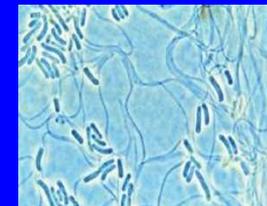
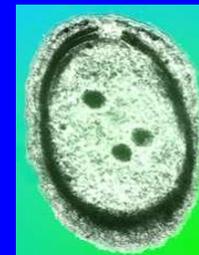
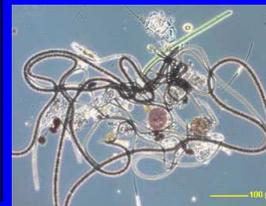
D'après La Scola *et al.*, 2003. *Science*, 299 : 2033.

Sorcerer II Global Ocean Sampling ("GOS") Expedition

by J.C. Venter



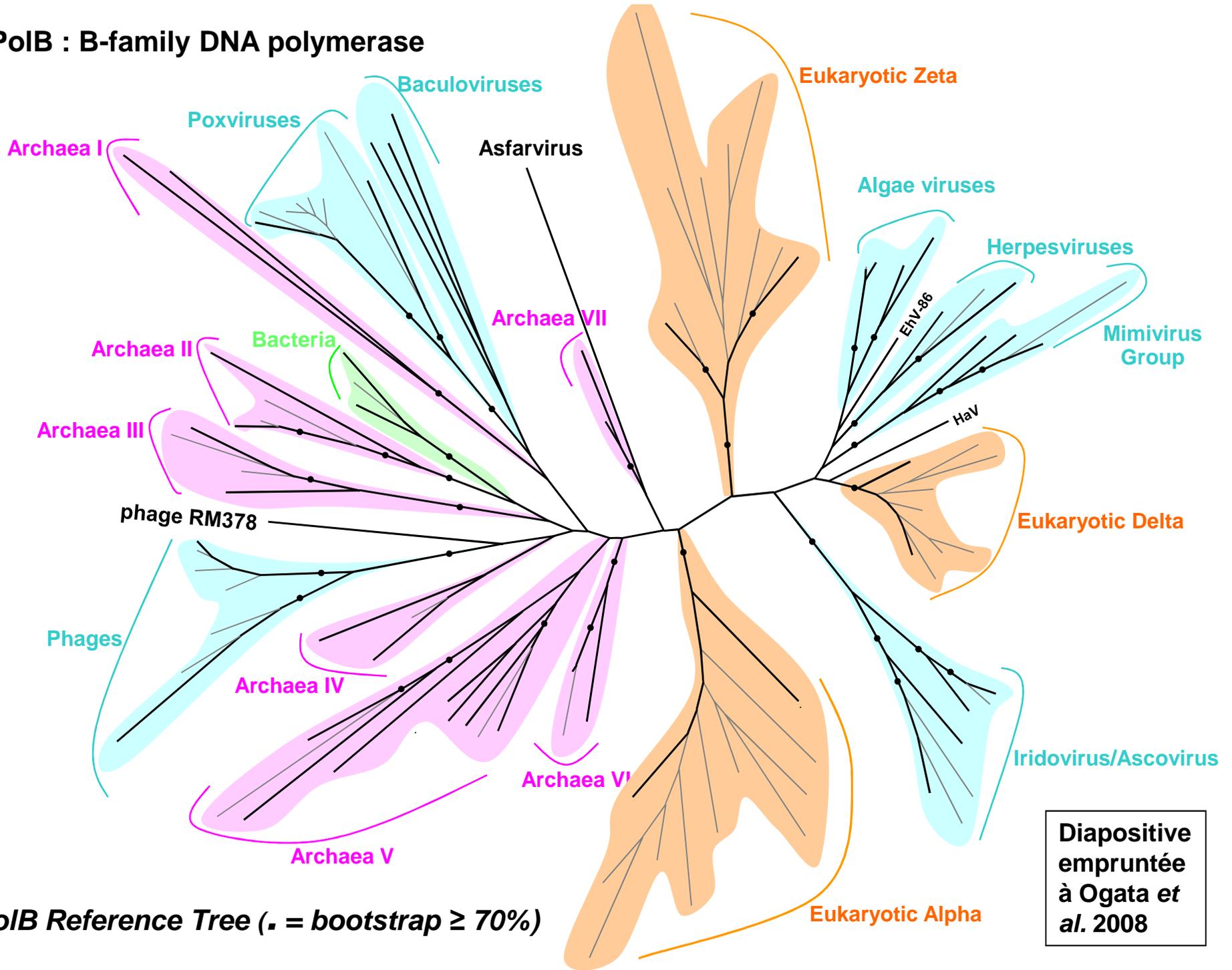
Diapositive empruntée à Ogata *et al.* 2008



→ macro-world

→ micro-world

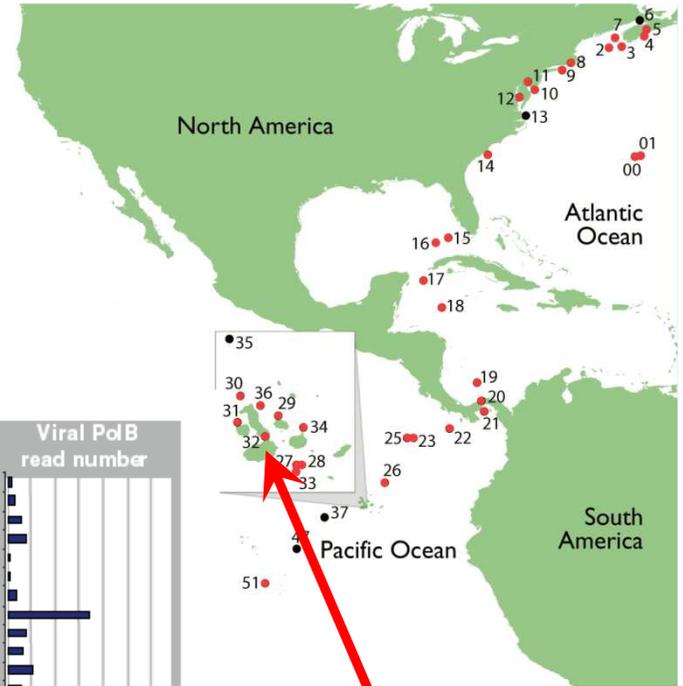
PoIB : B-family DNA polymerase



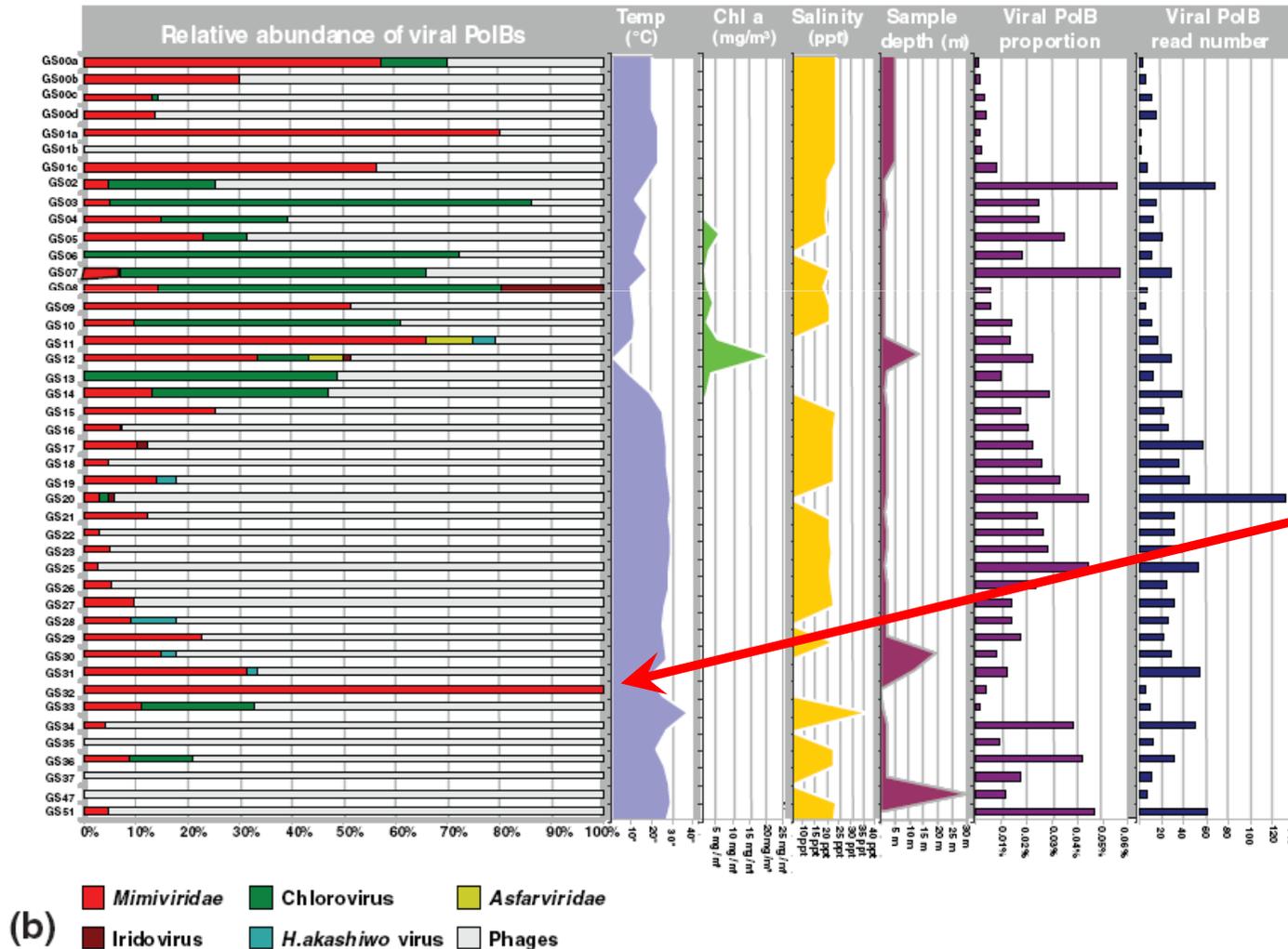
PoIB Reference Tree (. = bootstrap $\geq 70\%$)

Diapositive empruntée à Ogata et al. 2008

Geographic distribution



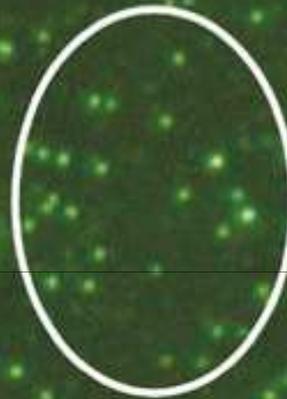
PoIB : B-family DNA polymerase



GS site 32: Mangrove on Isabella Island, Galápagos, Ecuador

Diapositive empruntée à Ogata *et al.* 2008

Viruses: the most numerous biological entities



- In a spoon of sea water (=1ml), there are 10^6 to 10^9 viruses (Cf. Prokaryotes: 10^5 to 10^6)
- Biomass (Carbon):
 - 1 virus ~ 0.2 fg carbon
 - Viruses ~ 200 Mt (~ 75 million blue whales)



Patel, Noble, Steele, Schwalbach,
Hewson, Fuhrman Nat Protoc. . (2007)
Suttle Nature (2005)

Diapo-
sitive
emprun-
tée à
Ogata et
al. 2008

1. Introduction

2. L'arbre du vivant

2.1. La notion de végétal

2.2. Les "végétaux" aux 18-19^{es} siècles

2.3. L'explosion des règnes

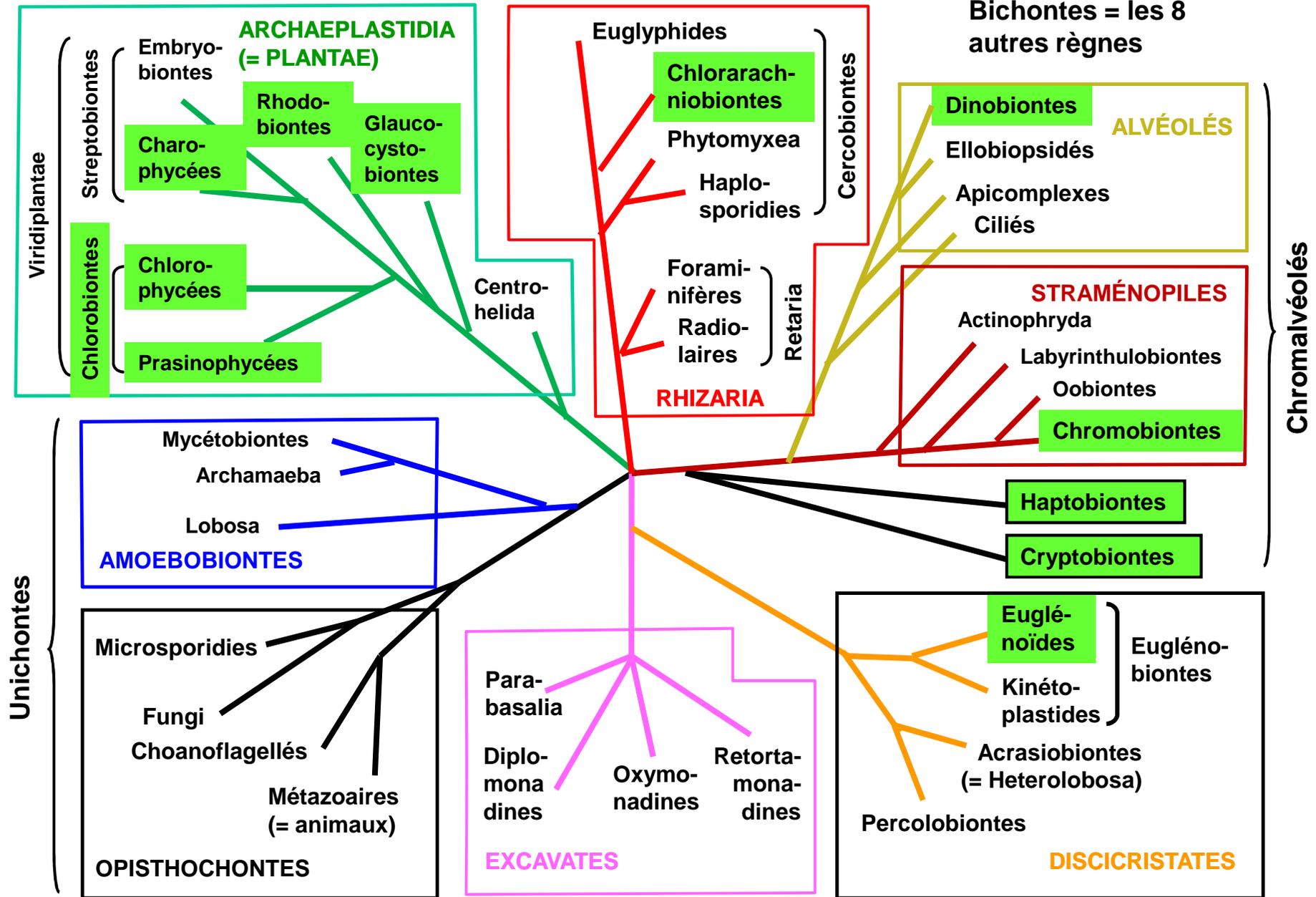
2.4. L'arbre du vivant actuel

2.5. Mais où sont passées les algues, champignons, protozoaires, etc. ?

Ce que la tradition a nommé 'Algues'

Il manque ici les Procaryotes : Cyanobactéries,

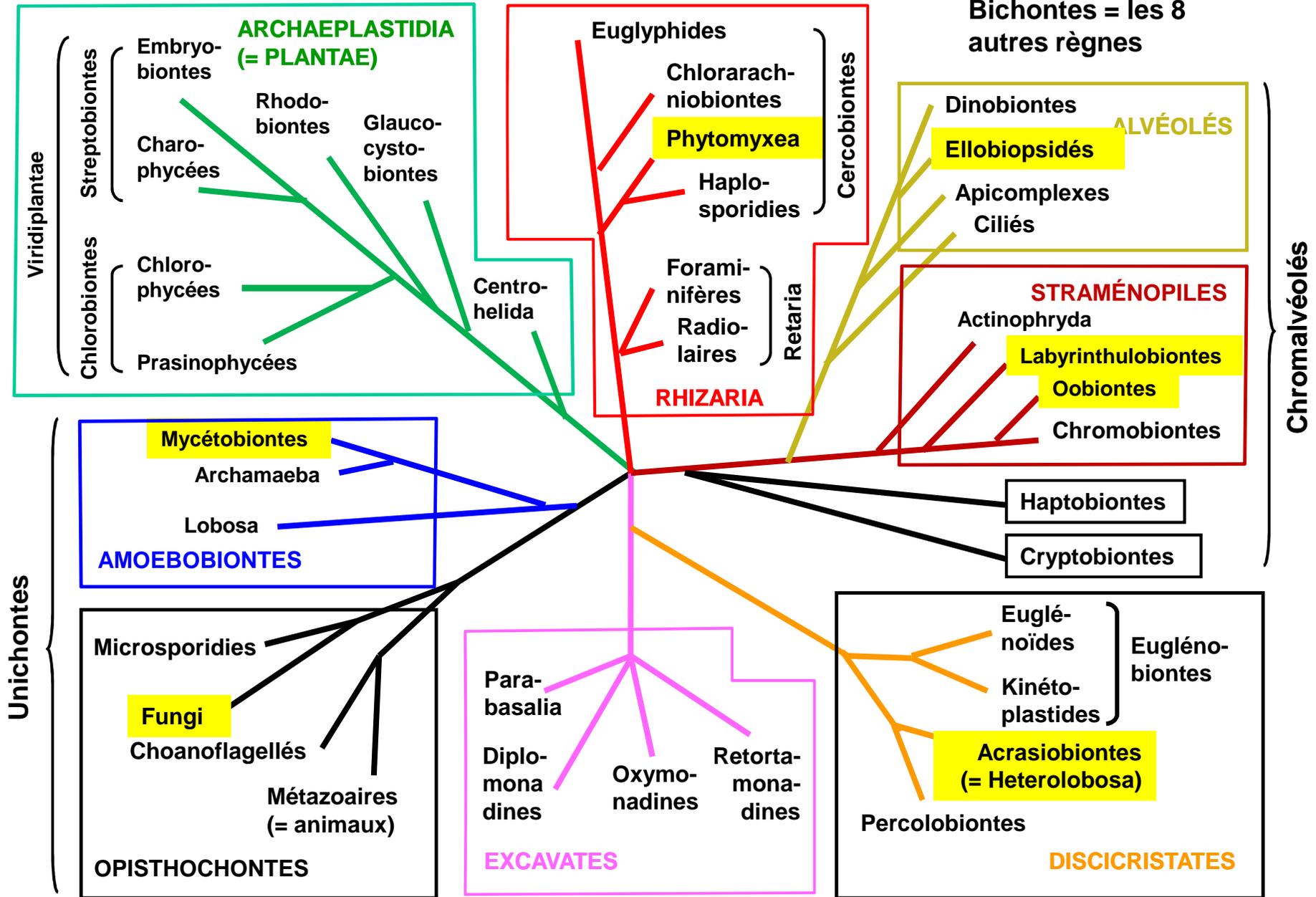
D'après Baldauf (2003, 2008), simplifié et mis à jour (Boudouresque, 2010)



Ce que la tradition a nommé 'champignons'

Il manque ici les Procaryotes : Planctobactéries et Actinobactéries

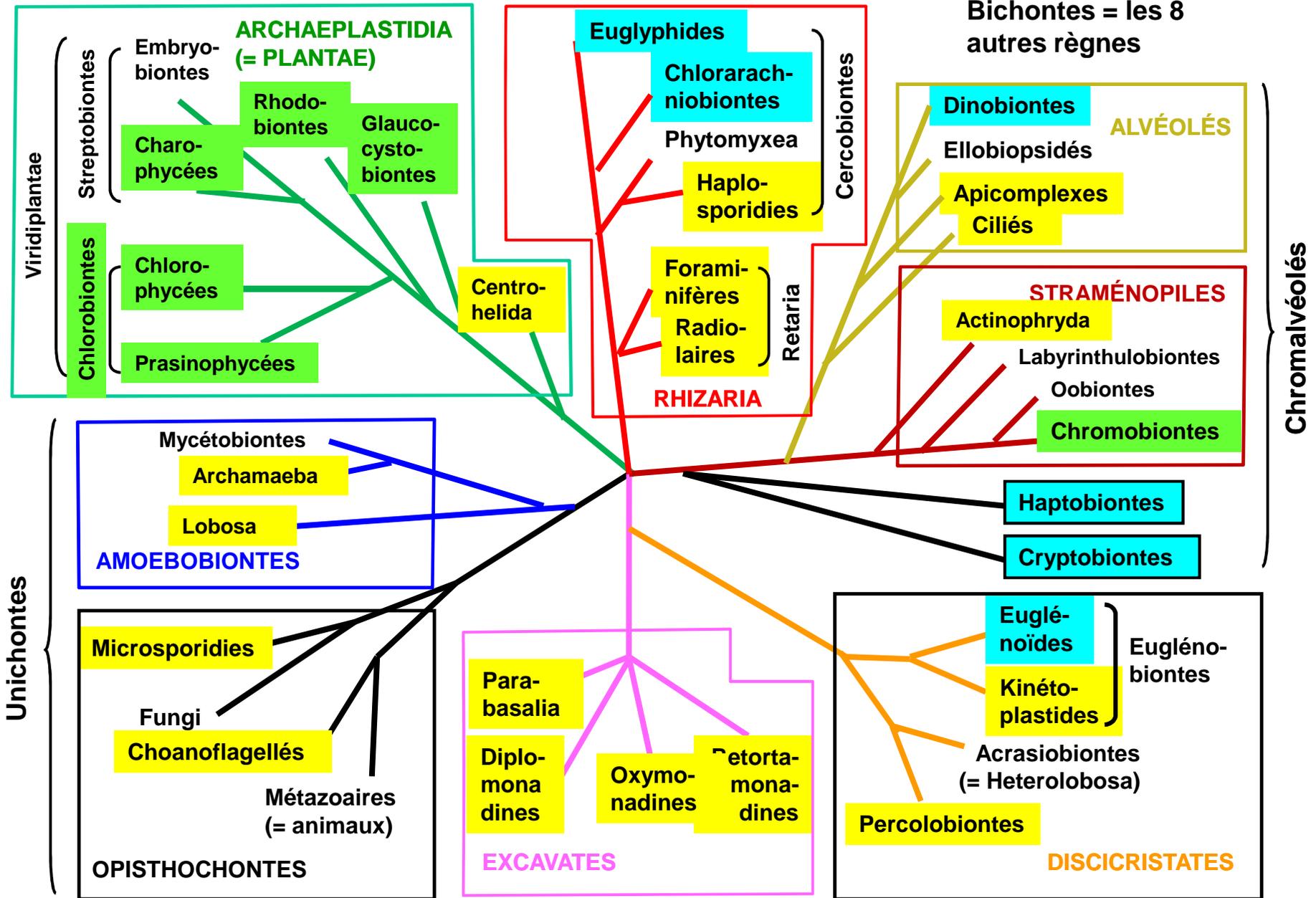
D'après Baldauf (2003, 2008), simplifié et mis à jour (Boudouresque, 2010)



Ce que la tradition a nommé 'algues' et 'protozoaires'

En bleu : taxons revendiqués par les 'botanistes' et les 'zoologistes'

D'après Baldauf (2003, 2008), simplifié et mis à jour (Boudouresque, 2010)



Bichontes = les 8 autres règnes

Chromalvéolés

Unichontes

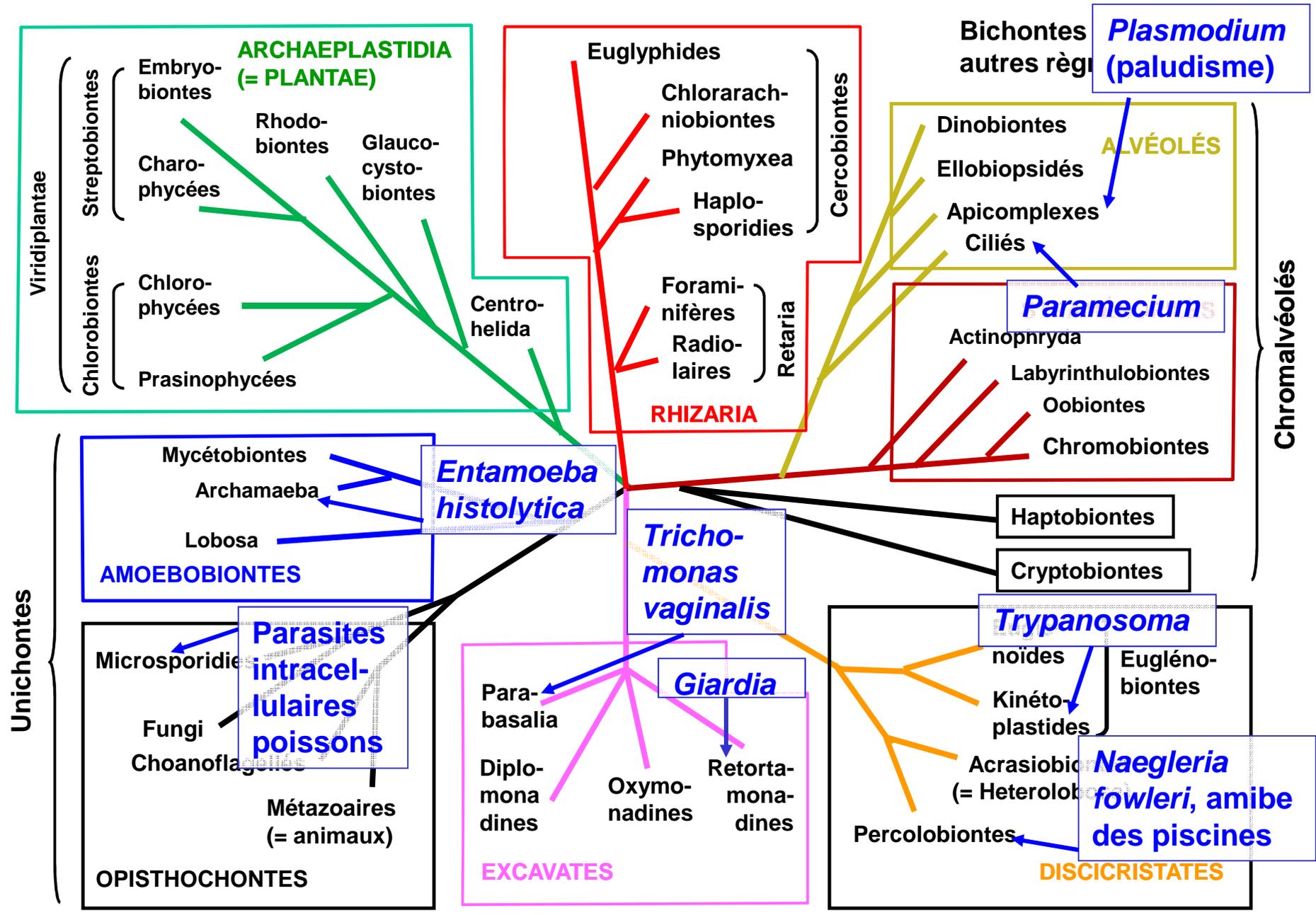
OPISTHOCHONTES

EXCAVATES

DISCICRISTATES

Ce que la tradition a nommé "protozoaires"

D'après Baldauf (2003, 2008), simplifié et mis à jour (Boudouresque, 2010)



Si l'on vous dit "*les algues n'existent pas d'un point de vue scientifique*", ne demandez pas : "mais alors, comment faut-il les nommer ?"

Il n'est pas nécessaire de nommer cet ensemble hétéroclite (comme les algues)

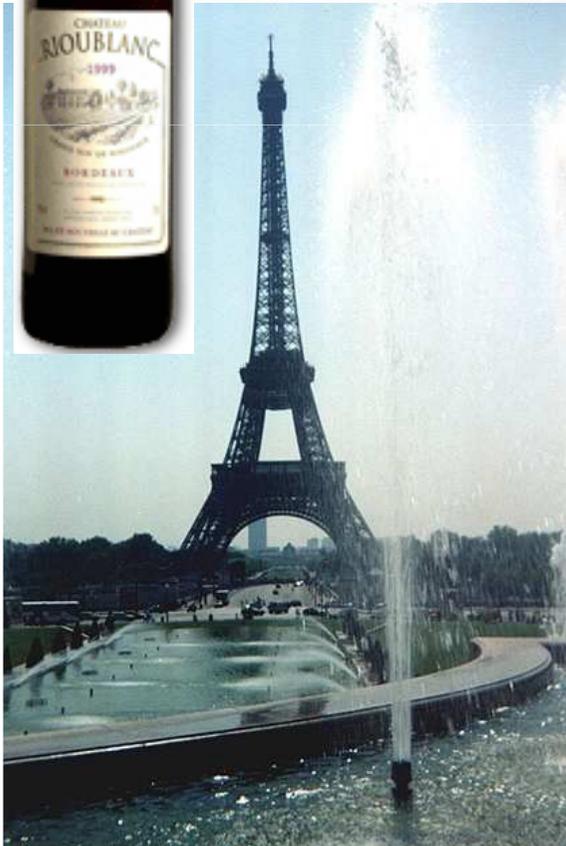
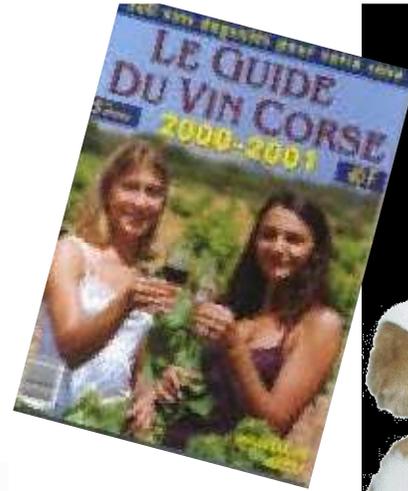
Malgré des ressemblances !



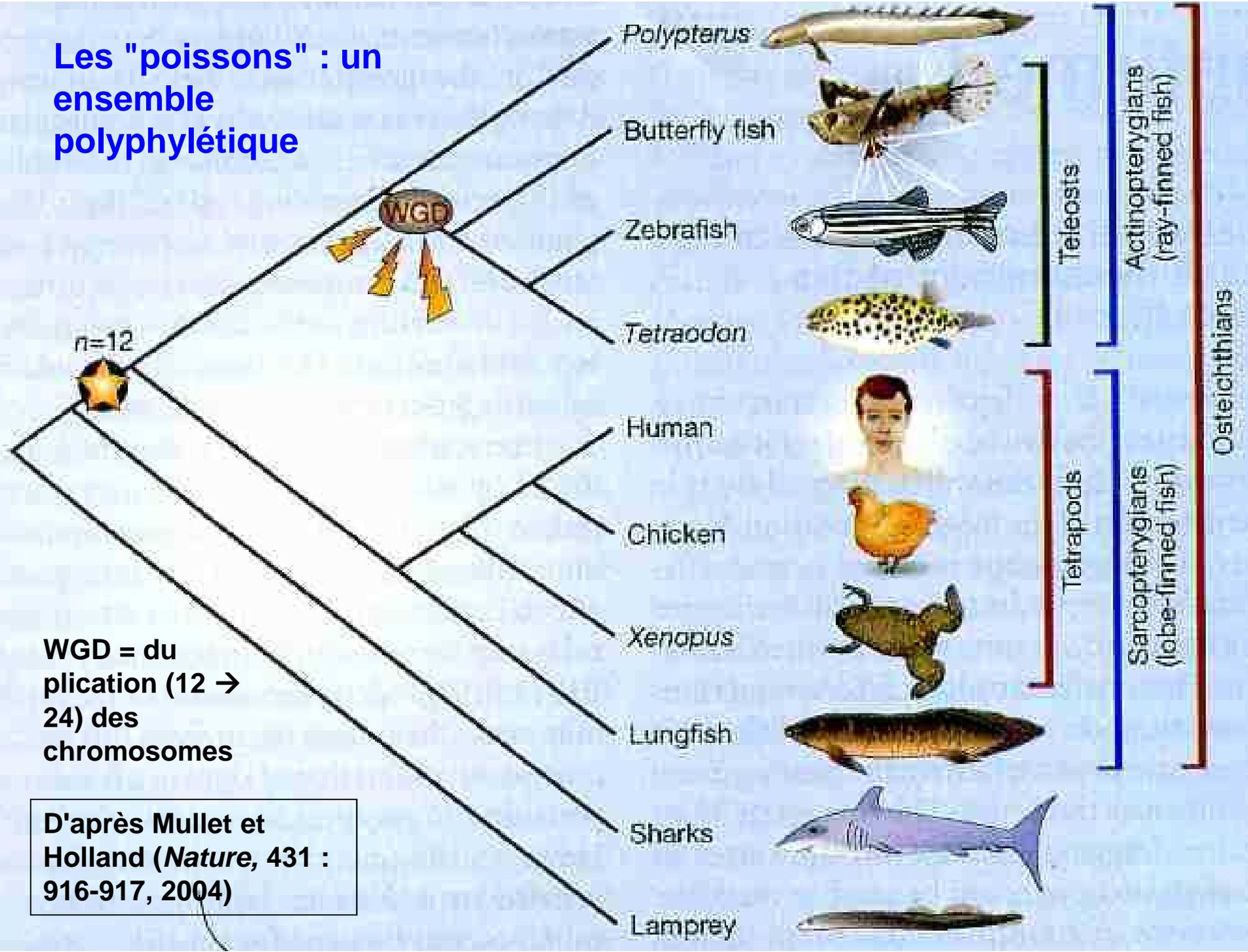
Un ensemble hétéroclite : les champignons



Un ensemble hétéroclite : les protozoaires



Les "poissons" : un ensemble polyphylétique



WGD = du plication (12 → 24) des chromosomes

D'après Mullet et Holland (*Nature*, 431 : 916-917, 2004)

Que cherche-t-on ?

A utiliser un terme qui donne une information

Un taxon → information phylogénétique + caractères partagés

Plancton → information écologique

Organismes photosynthétiques → information fonctionnelle

Organismes photosynthétiques multicellulaires (MPOs) →
information morphologique + fonctionnelle

Eucaryotes unicellulaires → information taxonomique + morphologique

Organismes photosynthétiques unicellulaires (UPOs) →
information morphologique + fonctionnelle

Algues, champignons (sens ancien), protozoaires, végétaux,
etc. → aucune information

Autant dire "truc", "machin" et "chose"

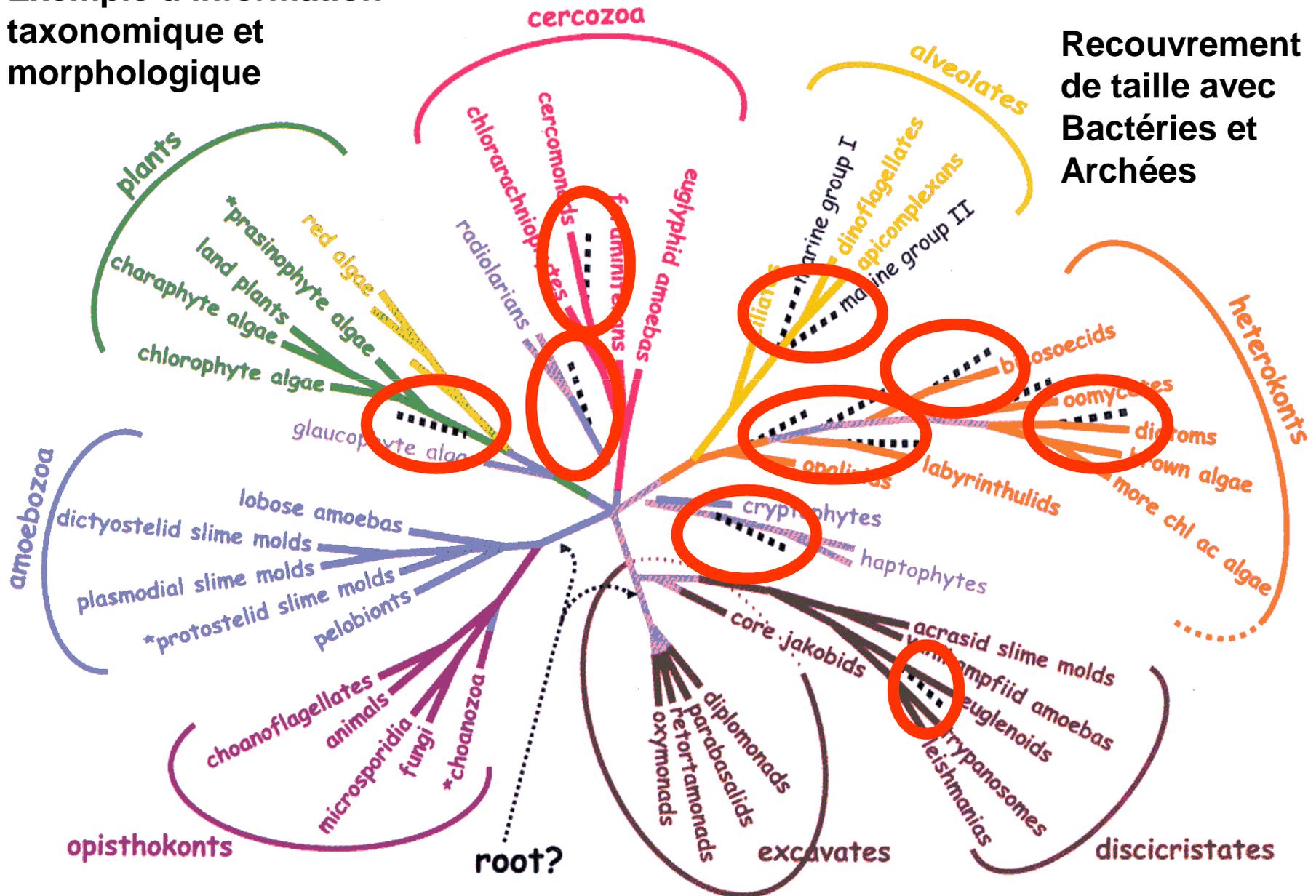
LES PICO- ET NANO-EUCARYOTES

Exemple d'information taxonomique et morphologique

Nano-eucaryotes : 2-20 μm

Pico-eucaryotes : < 2 μm

Recouvrement de taille avec Bactéries et Archées





"algues", "champignons", etc. continuent à être utilisés dans la littérature :

Comme pour truc, machin ou schtroumpf, le lecteur doit deviner ce que l'auteur a voulu dire

En conclusion : Si vous ne maîtrisez pas la classification actuelle, c'est la classification actuelle qui vous submergera

Car cela va très vite

Phycological Research 2002; 50: 31-47

The *Pinguiphyceae* classis nova, a new class of photosynthetic stramenopiles whose members produce large amounts of omega-3 fatty acids

Masanobu Kawachi,^{1†} Isao Inouye,² Daisuke Honda,^{2‡} Charles J. O'Kelly,³ J. Craig Bailey,^{3§} Robert R. Bidigare⁴ and Robert A. Andersen^{3*}
¹Marine Biotechnology Institute Co. Ltd, Kamaishi Laboratory, Kamaishi 026-0001, Japan, ²Tsukuba University, Tsukuba, Japan, ³Bigelow Laboratory for Ocean Sciences, West Boothbay Harbor, ME 04575, USA, and ⁴Department of Oceanography and Hawaii Institute of Marine Biology, University of Hawaii, HI 96822, USA

genetic evidence indicating eight major clades of eukaryotes: cercozoa, alveolates, heterokonts (including cryptophytes and haptophytes), discicristates, excavates, opisthokonts, amoebozoa and pl

unusually high perc acids, especially 2i

APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, June 2004, p. 3528-3534.
0099-2240/04/\$08.00+0 DOI: 10.1128/AEM.70.6.3528-3534.2004
Copyright © 2004, American Society for Microbiology. All Rights Reserved.

Phylogenetic and Ecological Analysis of Novel Marine Stramenopiles

Ramon Massana,^{1*} Jose Castresana,² Vanessa Balagué,¹ Laure Guillou,³ Khadija Romari,³ Agnès Groisillier,³ Klaus Valentin,⁴ and Carlos Pedrós-Alió¹

Department de Biologia Marina i Oceanografia, Institut de Ciències del Mar, CMIMA, CSIC, 08003 Barcelona,¹ and Molecular Physiology and Biodiversity Department, Institut de Biologia Molecular de Barcelona, CSIC, 08034 Barcelona,² Catalonia, Spain; Station Biologique de Roscoff, 29682 Roscoff, France³; and Alfred Wegener Institute, D-27570 Bremerhaven, Germany⁴

Received 1 September 2003/Accepted 25 January 2004

Culture-independent molecular analyses of open-sea microorganisms have revealed the existence and apparent abundance of novel eukaryotic lineages, opening new avenues for phylogenetic, evolutionary, and ecological research. Novel marine stramenopiles, identified by 18S ribosomal DNA sequences within the basal

Int J Syst Evol Microbiol 53 (2003), 1741-1758; DOI 10.1099/ijs.0.02548-0
© 2003 International Union of Microbiological Societies

ISEP XIV

The excavate protozoan phyla Metamonada Grasse emend. (Anaeromonadea, Parabasalia, *Carpediemonas*, Eopharyngia) and Loukozoa emend. (Jakobea, *Malawimonas*): their evolutionary affinities and new higher taxa

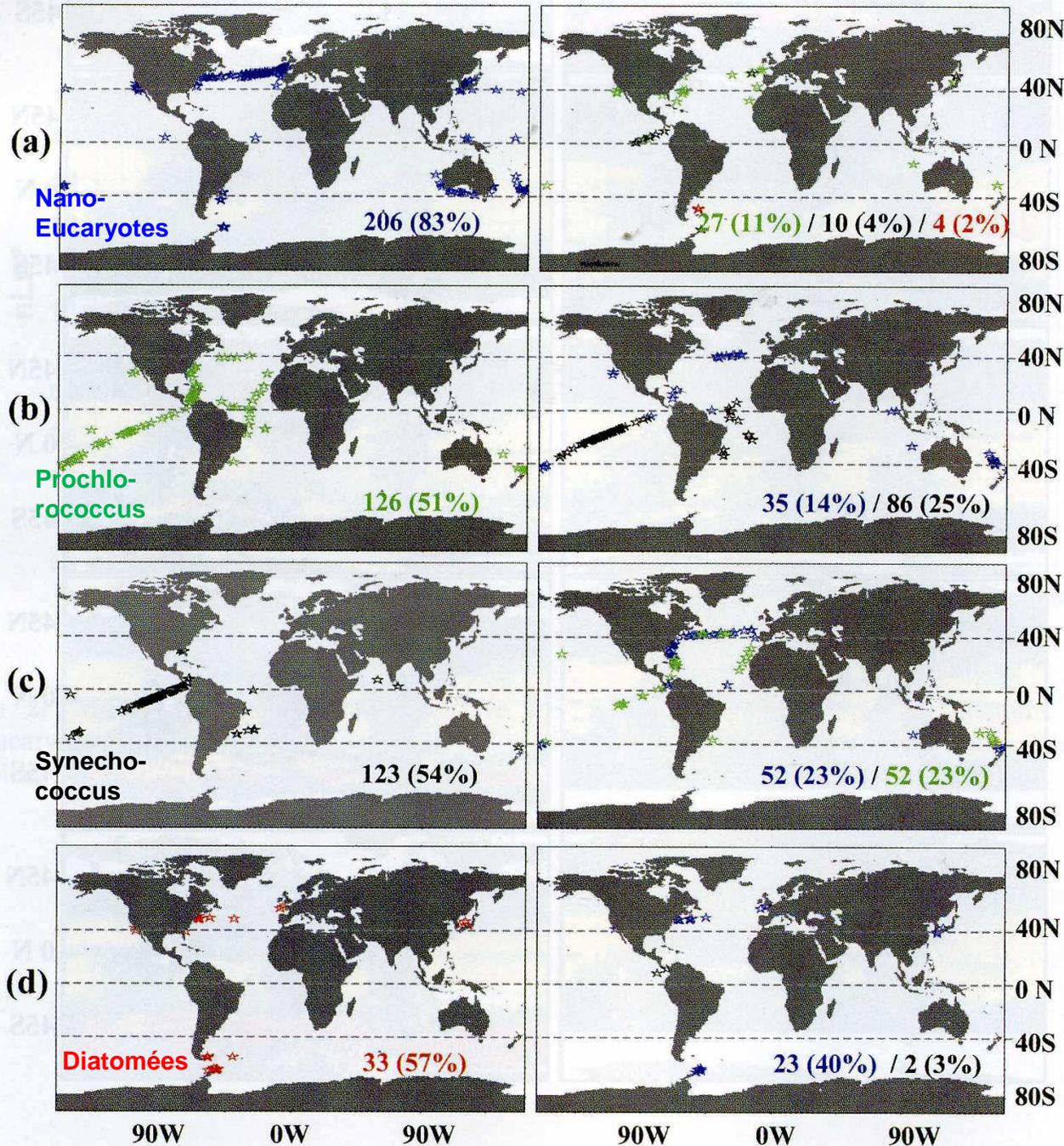
T. Cavalier-Smith

Department of Zoology, University of Oxford, South Parks Road, Oxford OX1 3PS, UK

Vol. 70, No. 6

Identifications validées

Identifications non validées



Connaître la taxonomie actuelle est indispensable. Pourquoi ?
Un exemple caricatural

Identification = logiciel
PHYSAT d'après images
satellites - spectres
d'absorption

'Validation' (en %) = spectre
d'absorption *in situ* (pas les
organismes) → A relativiser !

Groupes définis de façon
floue, naïve et archaïque
(genre 'trucs qui bougent',
'trucs verdâtres', etc.

Un 5° groupe (non représenté
ici) : '*Phaeocystis-like*'

Alvain *et al.*, 2008. Seasonal distribution and succession of dominant phytoplankton groups in the global ocean. *Global biogeochemical Cycles*, 22 (3) : 1-15.

- 1. Introduction**
- 2. L'arbre du vivant**
 - 2.1. La notion de végétal**
 - 2.2. Les "végétaux" au 19^{ième} siècle**
 - 2.3. L'explosion des règnes**
 - 2.4. L'arbre du vivant actuel**
 - 2.5. Mais où sont passées les algues, champignons, protozoaires, etc. ?**
- 3. Les grandes étapes de l'histoire de la vie**
 - 3.1. L'origine de la vie**

10 000 Ma : Formation de notre galaxie, la Voie Lactée

**4 700 Ma : Supernova
(= explosion d'une vieille étoile)
au voisinage d'un nuage de
poussière**

**→ Naissance du système
solaire**

Le système solaire il y a 4 600 Ma

Un disque de gaz et de poussière gravite autour du proto-soleil



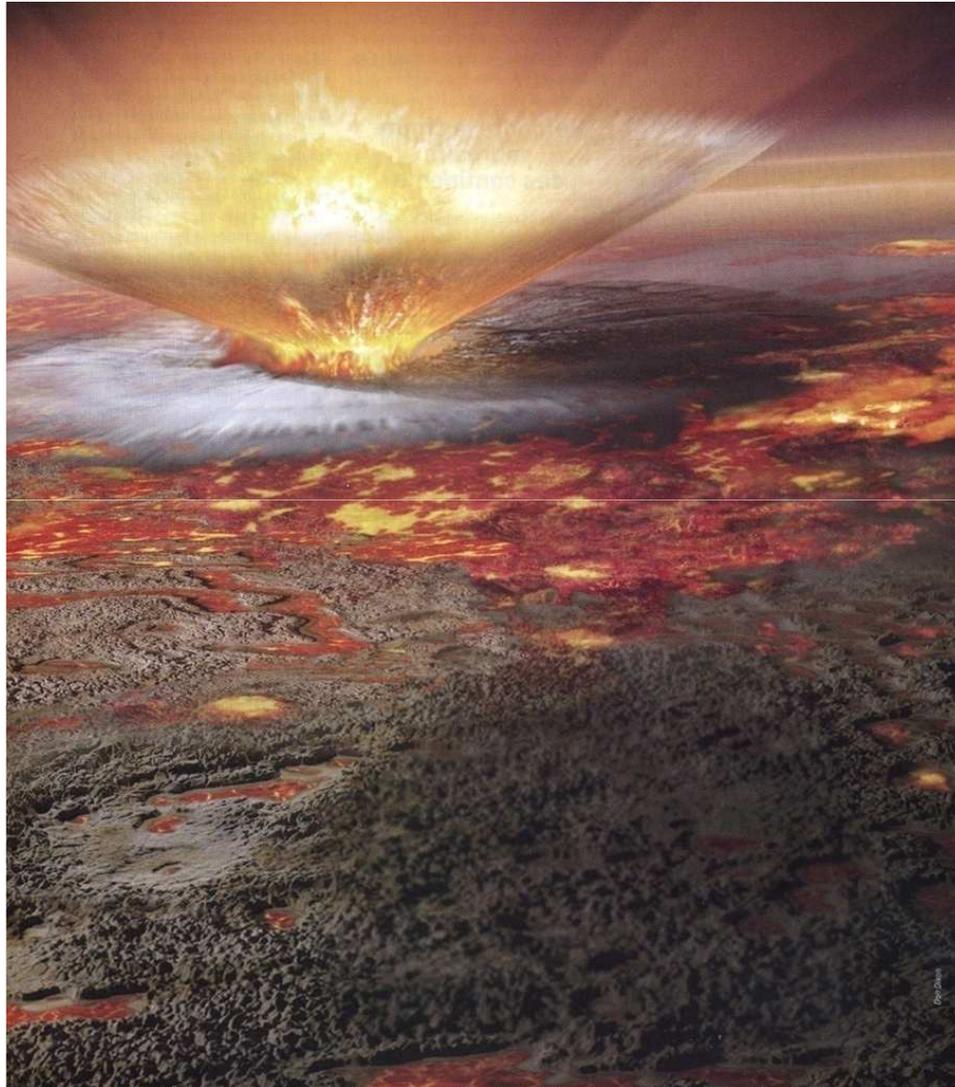
Le proto-soleil

Le nuage d'où se condenseront la Terre et les planètes voisines

Les nuages d'où de condenseront Jupiter et Saturne

D'après Alan Boss

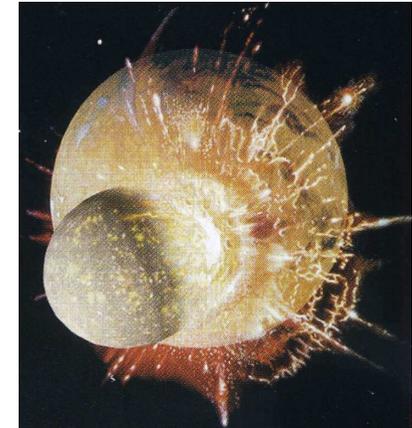
Histoire de la Terre



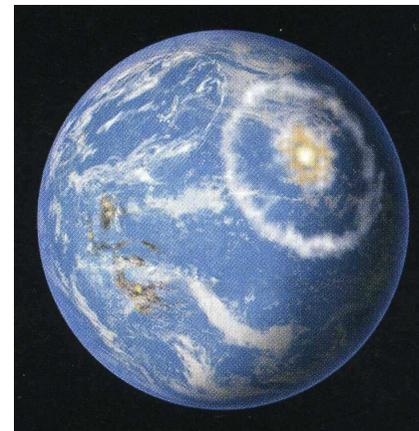
4 4 560 Ma : lave incandescente



4 560 Ma BP



**4 520 Ma : choc
avec Theia,
éjection de la
Lune**



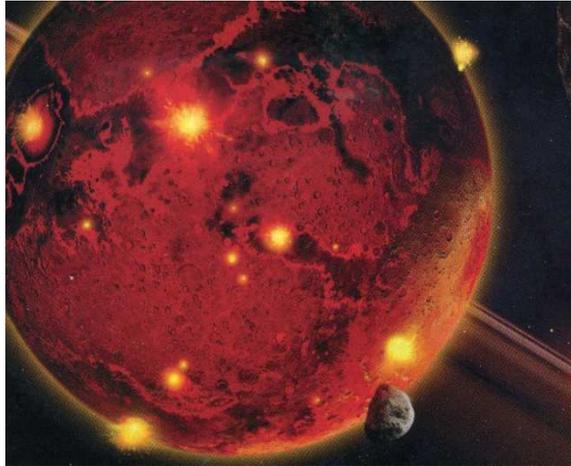
**3 200 Ma : le pre-
mier continent**



**1 100 Ma : le
super-continent
Rodinia**

D'après Simpson,
2010

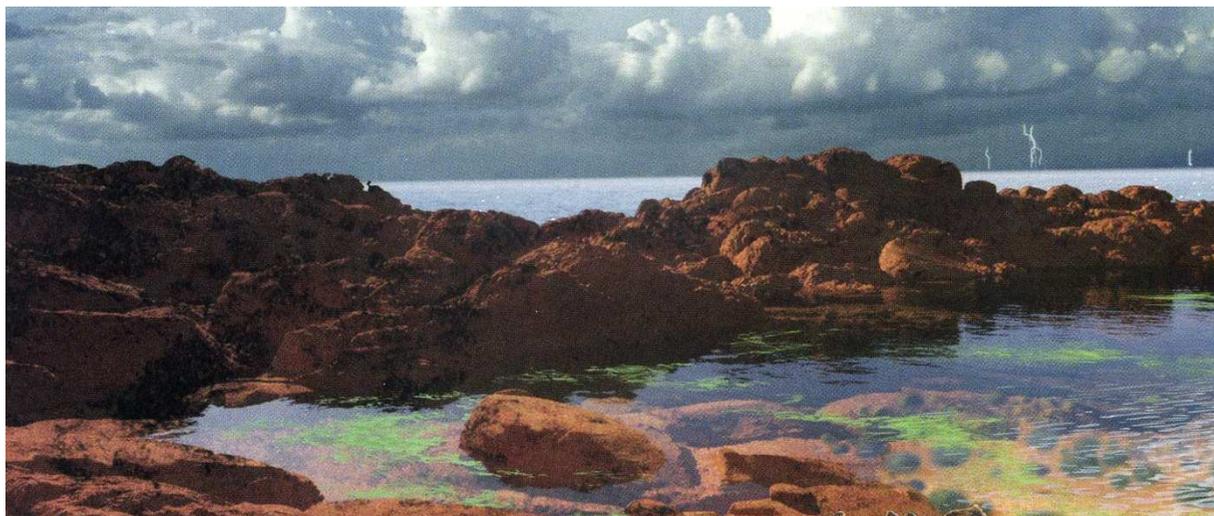
Histoire de la Terre



← 4 560 Ma BP : la planète de feu



4 500- 4 400 Ma BP : la →
planète noire (de basalte)



← 2 400 Ma BP : la pla-
nète rouge (le fer fer-
reux Fe^{++} est précipité
en fer ferrique Fe^{+++} par
l'oxygène)

D'après Hazen, 2010. *Pour
la Science*, 392 : 54-61

Histoire de la Terre

**600-800 Ma BP : la
planète blanche
(méga-glaciations) →**



**← 500-400 Ma BP :
la planète verte**

**D'après Hazen, 2010. *Pour
la Science*, 392 : 54-61**



La Terre se forme il y a 4 560 Ma

Dès 4 400 Ma, elle est couverte par l'océan

On sait peu de choses sur ce qui se passe jusqu'en 3.9 Ga, date à laquelle se produit le "Lunar cataclysm" (= Late Heavy Bombardment)

La Lune (et sans doute la Terre) sont bombardées par des corps célestes de très grande taille

Tous les grands cratères de la face visible de la Lune datent de cette époque

La vie semble apparaître (ou réapparaître) rapidement : 3 850 Ma à 3 500 Ma ?

Depuis lors, la vie se poursuit sans interruption jusqu'à nous, malgré des collisions de moindre importance



Vestige of early Earth, maybe the world's oldest rock



**A 2-km-long
sliver of the Earth
protocrust**

**Nuvvuagittuq,
Hudson Bay,
Canada**

4 300 Ma BP

**From Kerr, 2008.
Science, 321 : 1755.**

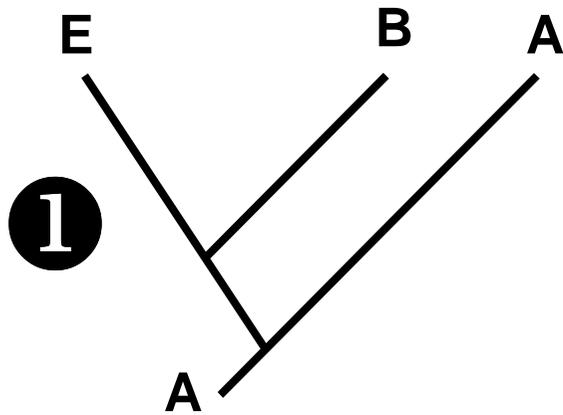
Des collisions de moindre importance ...

Elles ont néanmoins joué un grand rôle dans l'histoire de la vie, provoquant des **extinctions** d'espèces massives et donc des **réorientations** de l'évolution

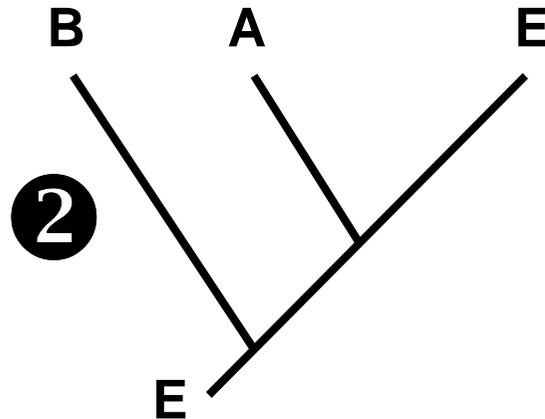


La plus connue : **65 Ma**. 10 km de diamètre. Elle s'écrase sur le Yucatan (Mexique). Impact d'autant plus fort qu'elle arrive en oblique depuis le Sud : l'Amérique du Nord est la plus touchée. Extinction des **dinosaures**

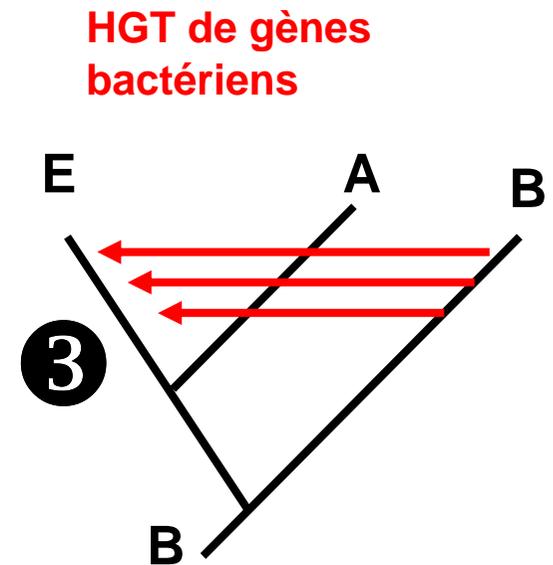
Qui était LUCA ?



Brown (2001)



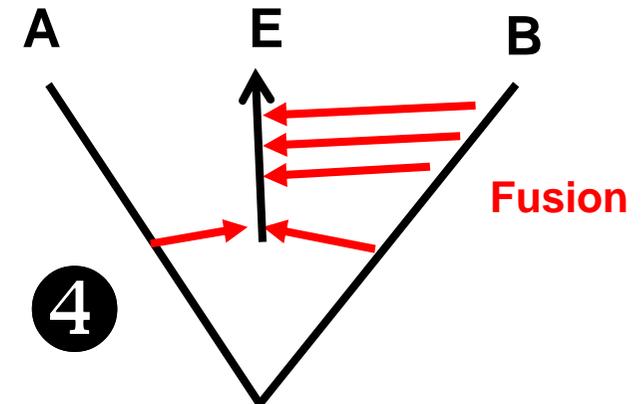
Forterre et Philippe (1999)



Cavalier-Smith (2002)

A = Archées
B = Bactéries
E = Eucaryotes

Les hypothèses
3 et 4 sont
largement les
plus admises



The ring of Life

3.850 Ga : la vie est-elle déjà présente ?

Dans des roches (graphite) du Groenland, l'isotope 13 du carbone est appauvri par rapport à l'isotope 12 (Zimmer, 2001)

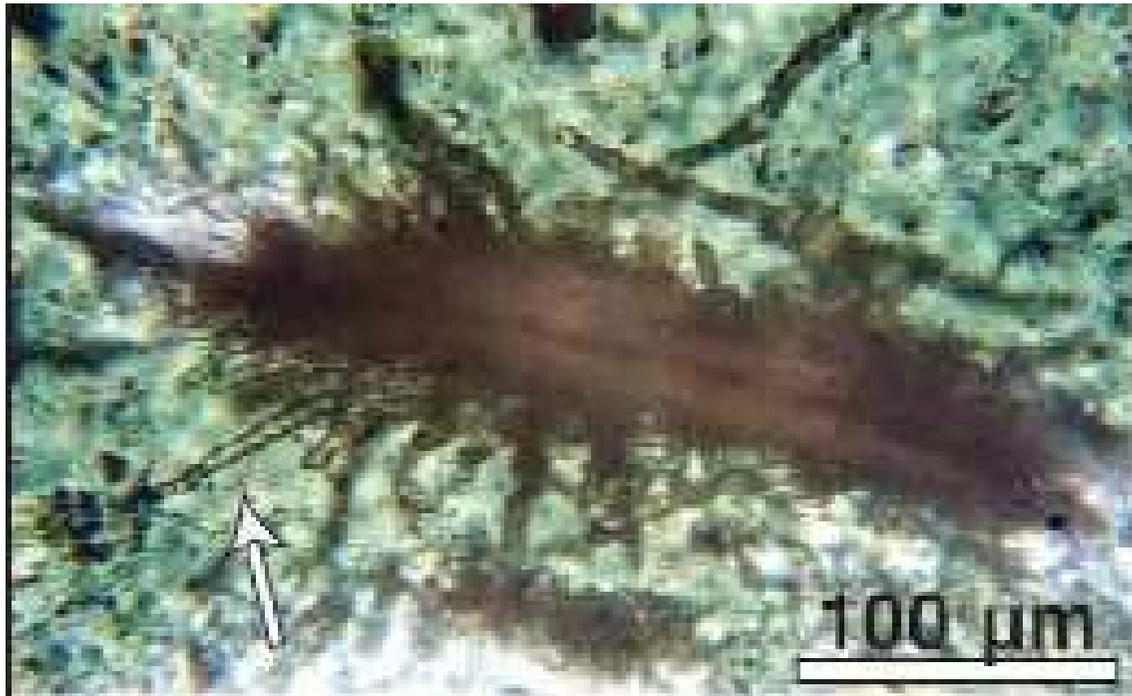
"La vie préfère manger light" : La rubisco, enzyme de la photosynthèse, préfère l'isotope 12 à l'isotope 13 du carbone, → les organismes photosynthétiques, puis toute la chaîne de ceux qui s'en nourrissent, sont appauvris en isotope 13

Donc, il existerait déjà des **bactéries** photosynthétiques. Leur photosynthèse est plus simple que celle de la plupart des organismes photosynthétiques actuels :

- Elles ne possèdent que le photosystème I de la photosynthèse, celui qui incorpore le CO₂ dans des chaînes organiques :

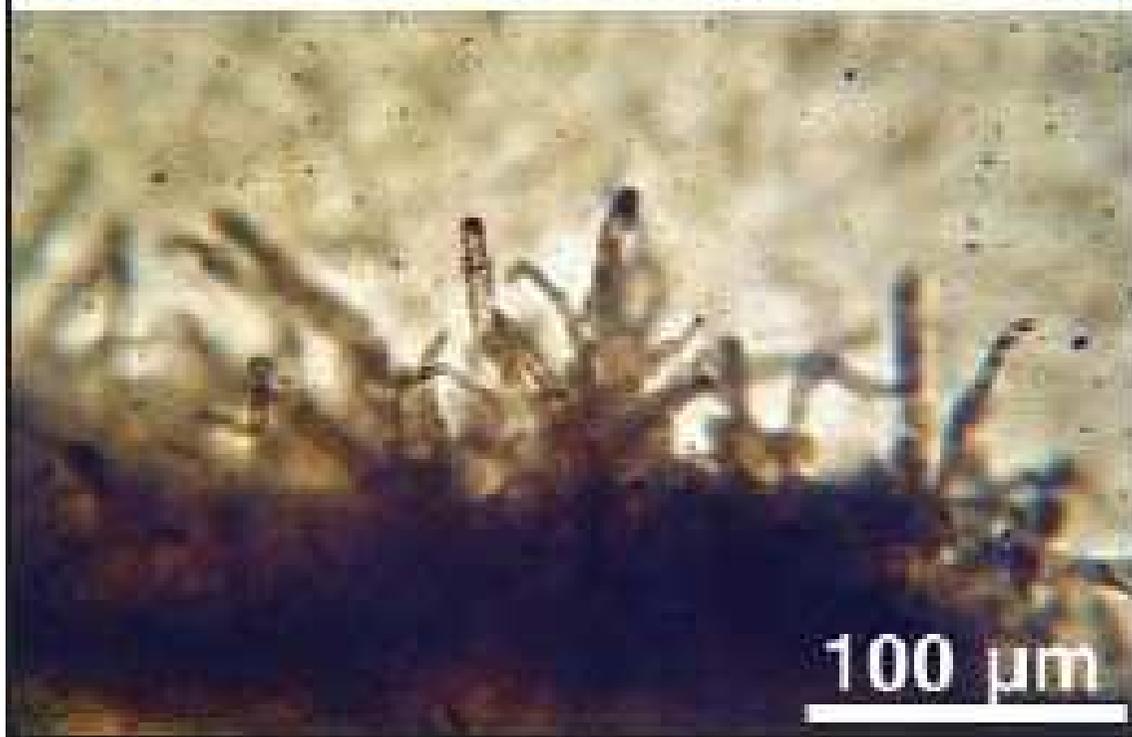


- Elles n'ont pas de chlorophylle, mais de la **bactériochlorophylle**, un pigment moins efficace dans les réactions énergétiques



**Galleries creusées dans
une roche calcaire
d'Afrique du Sud par des
Procaryotes perforants ?
(3.5 Ga)**

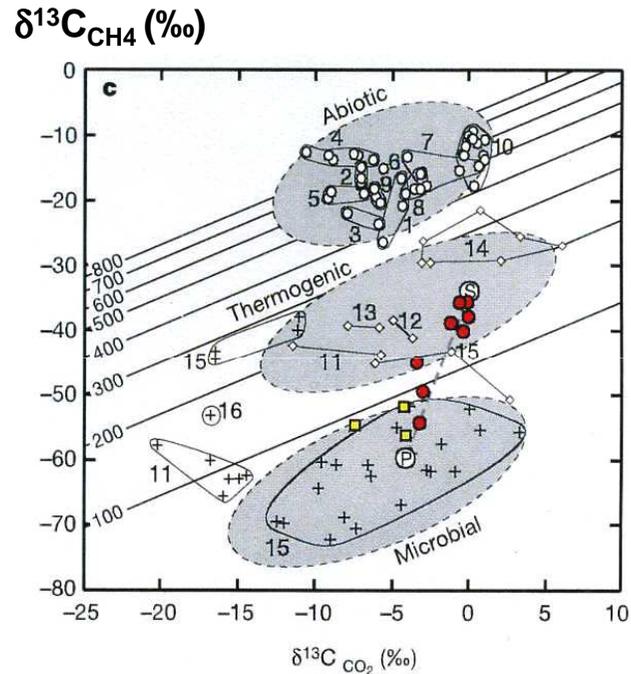
D'après Kerr, 2004.
Science, 304 : 503.



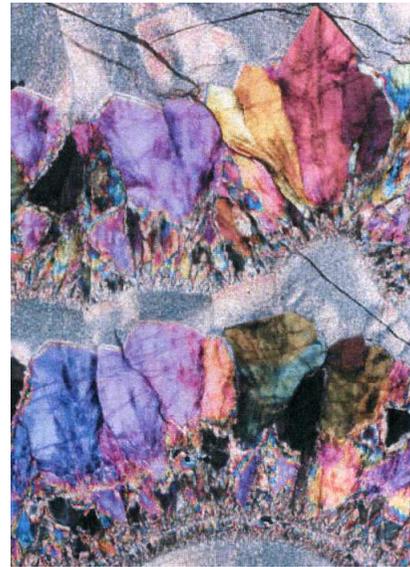
**Galleries creusées dans
une roche calcaire actuelle
par des Procaryotes
actuels**

Traces indirectes de la présence d'Archées (3 500 Ma)

La **méthanogénèse** (CO_2 et $\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$) est une spécificité des Euryarchées



La méthanogénèse biologique (microbes = Archées) appauvrit fortement en ^{13}C



Quartz de la formation Dresser (Pilbara craton, W Australie), 3 500 Ma

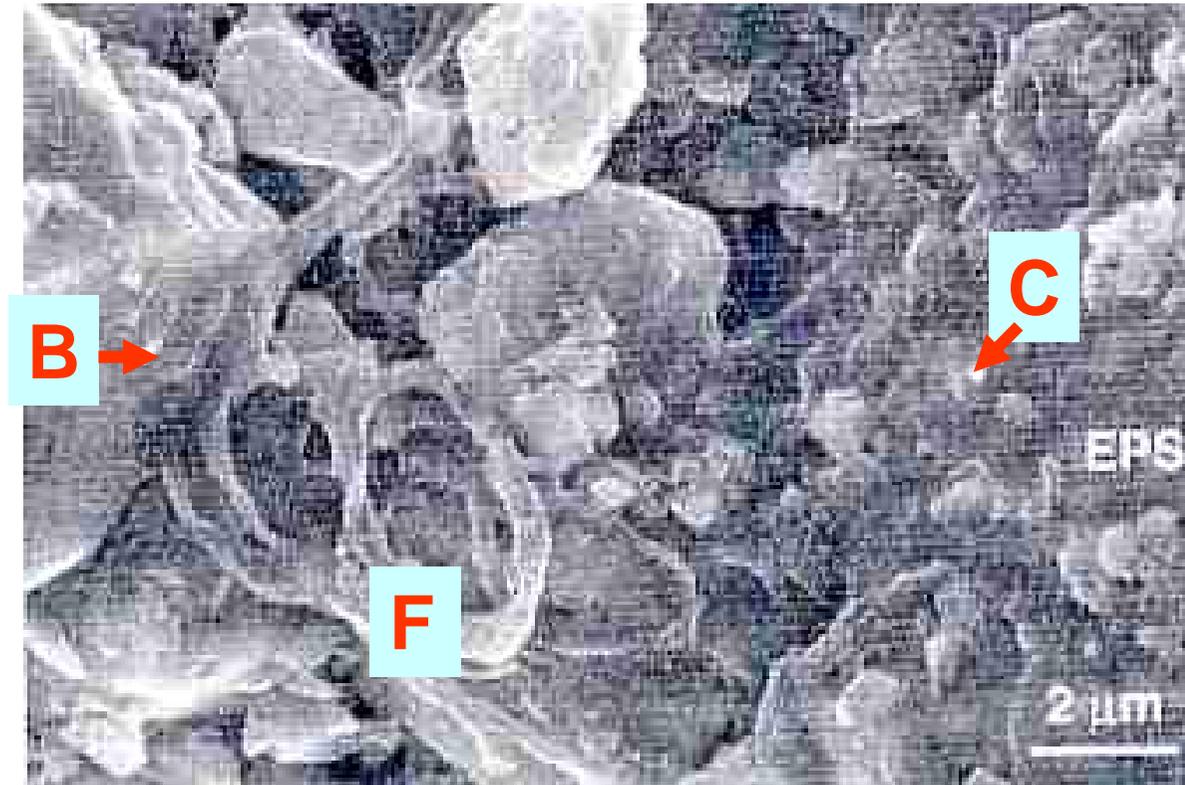


Bulles de méthane dans le quartz : fort appauvrissement en ^{13}C \rightarrow **origine biologique**

Canfield 2006. *Nature*, 440 : 427-428

Ueno et al., 2006. *Nature*, 440 : 516-519

La plus ancienne trace non controversée de vie : un tapis microbien (Archées ? Bactéries ? Eucaryotes unicellulaires ?) sur une plage



Pilbara (Afrique du Sud), 3.3-3.5 Ga

EPS : Polymères extracellulaires

B = Microorganisme en bâtonnet

F = Microorganisme en filament

C = microorganisme coccoïde

D'après Westall, 2005.
Science, 308 : 366-367.

Stromatolithe édifié par des micro-organismes (Procaryotes)



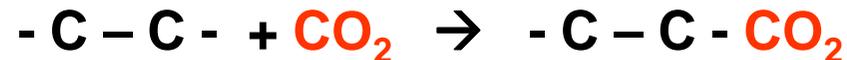
**Strelley Pool Chert (Western Australia) :
3.43 Ga. Origine vivante incontestable**

D'après Awramik, 2006.
Nature, 441 : 700-701

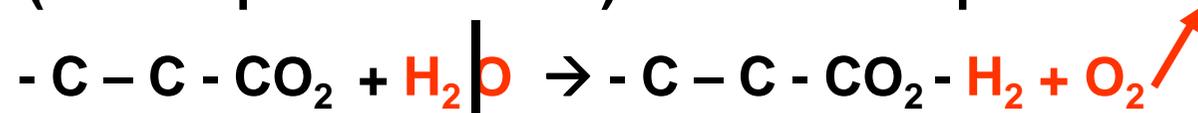
Entre **2.7-2.6 Ga** : un bond technologique : l'apparition des **Cyanobactéries** (2- α méthyl-hopanes ; Pilbara Craton, Australie ; Brocks *et al.*, 1999)

2-alpha-méthyl-hopanes = dégradation des 2-alpha-méthyl-bactériohopanes-polyols, lipides membranaires spécifiques des Cyanobactéries

Elles possèdent, en plus du photosystème I de la photosynthèse,



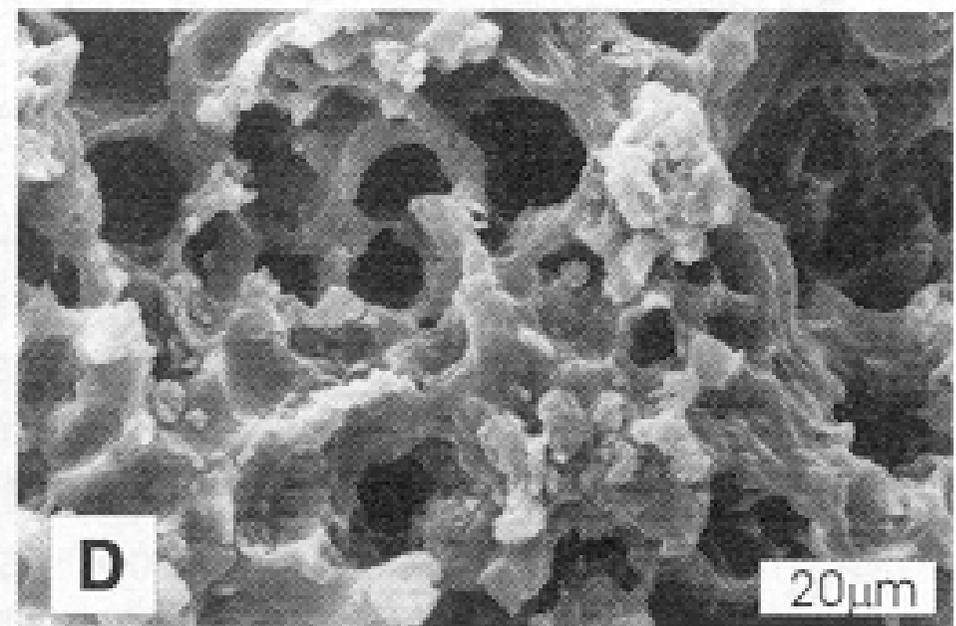
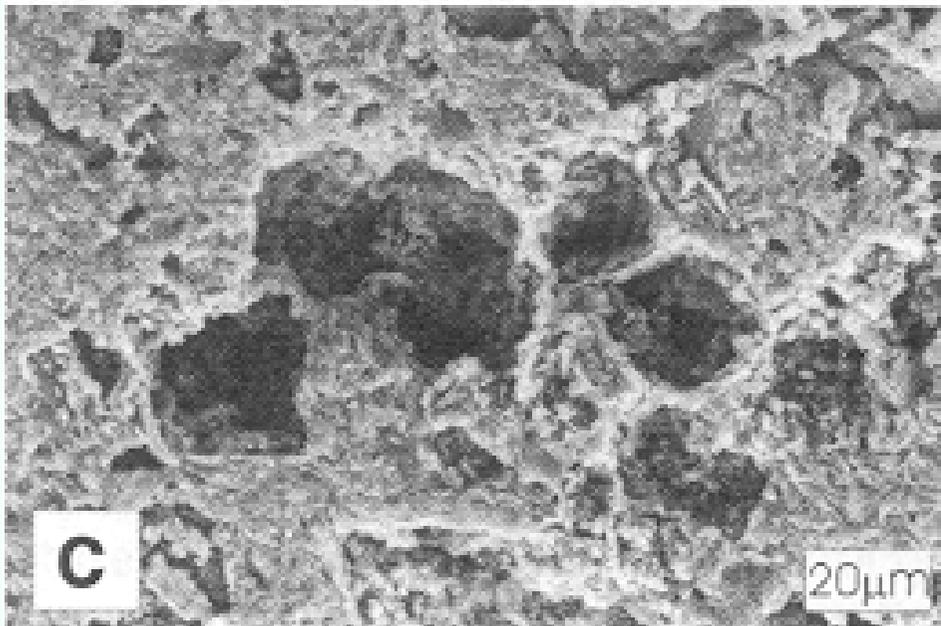
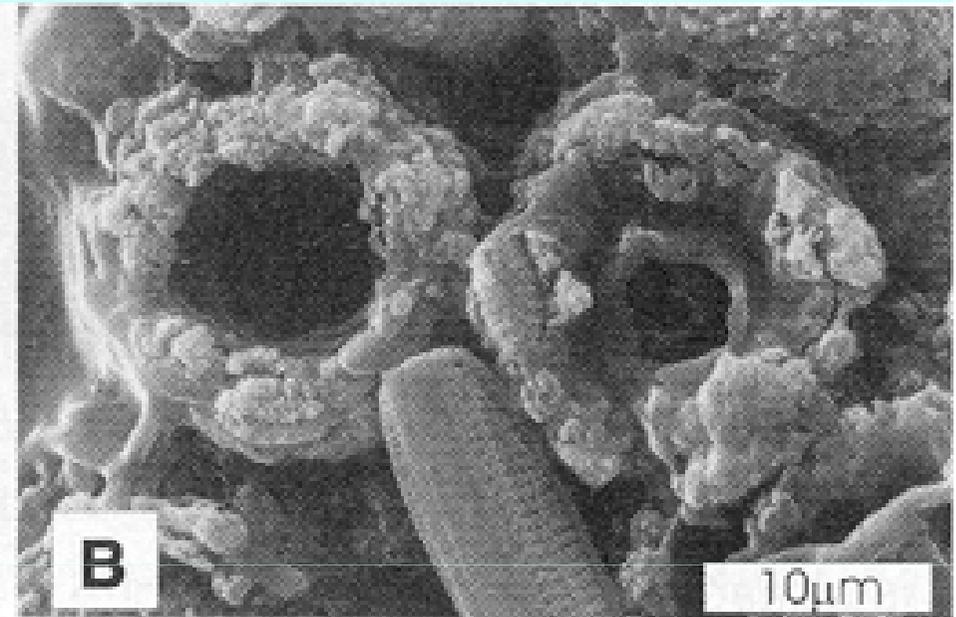
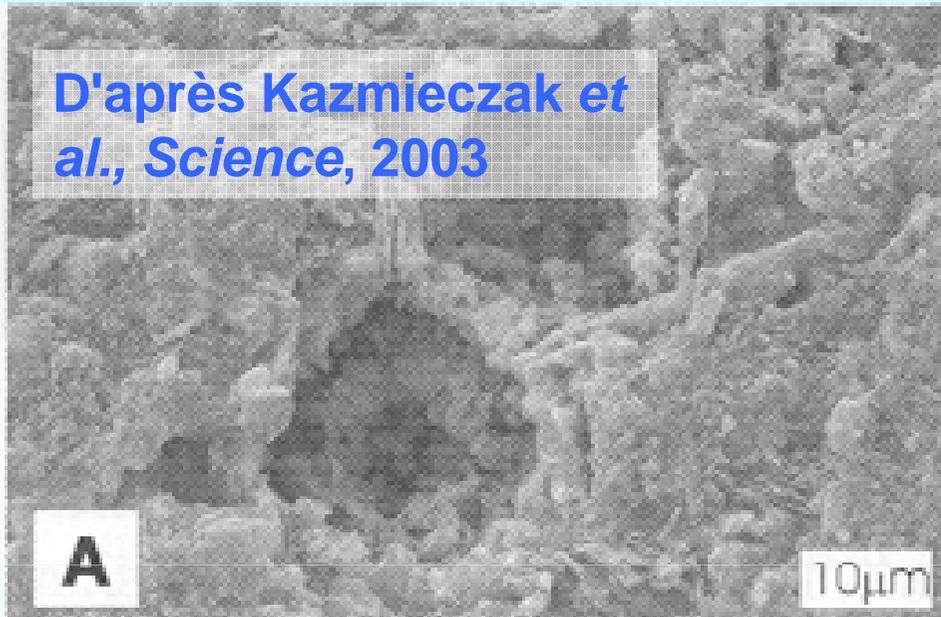
le **photosystème II**, celui qui casse la molécule d'eau (photolyse) pour récupérer l'hydrogène et rejeter l'oxygène : de l'**oxygène** va apparaître (ou être plus abondant) dans l'atmosphère



Le principal pigment photosynthétique n'est plus la bactériochlorophylle, mais la **chlorophylle**

Les plus anciens fossiles connus de Cyanobactéries (*Siphonophycus transvaalensis*), à Priska (Afrique du Sud) : 2.5-2.6 Ga

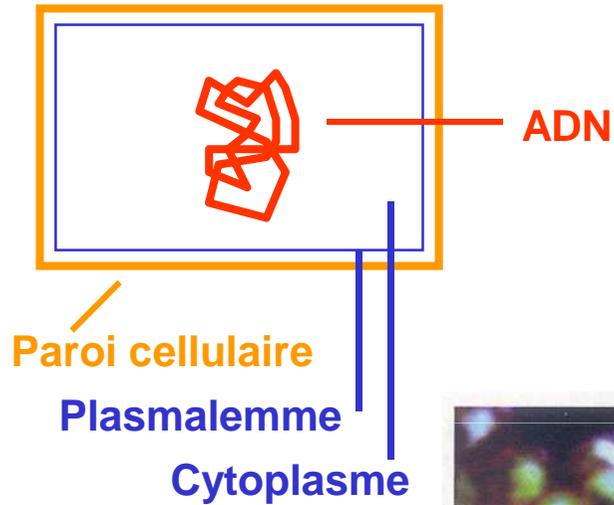
D'après Kazmierczak et al., Science, 2003



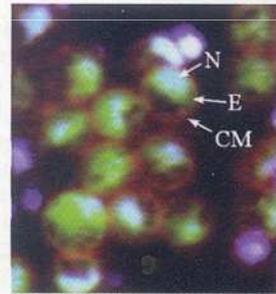
1. Introduction
2. L'arbre du vivant
 - 2.1. La notion de végétal
 - 2.2. Les "végétaux" au 19^o siècle
 - 2.3. L'explosion des règnes
 - 2.4. L'arbre du vivant actuel
 - 2.5. Mais où sont passées les algues, champignons, protozoaires, etc. ?
3. Les grandes étapes de l'histoire de la vie
 - 3.1. L'origine de la vie
 - 3.2. Procaryotes et Eucaryotes

PROCARYOTES

(1) Absence de noyau

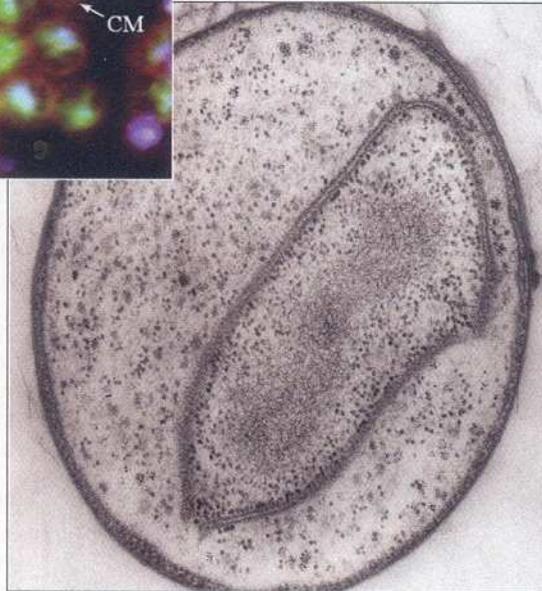


Mais cas particuliers chez une Planctobactérie (*Gemmata*) et un Mycoplasme (*Mycoplasma*)



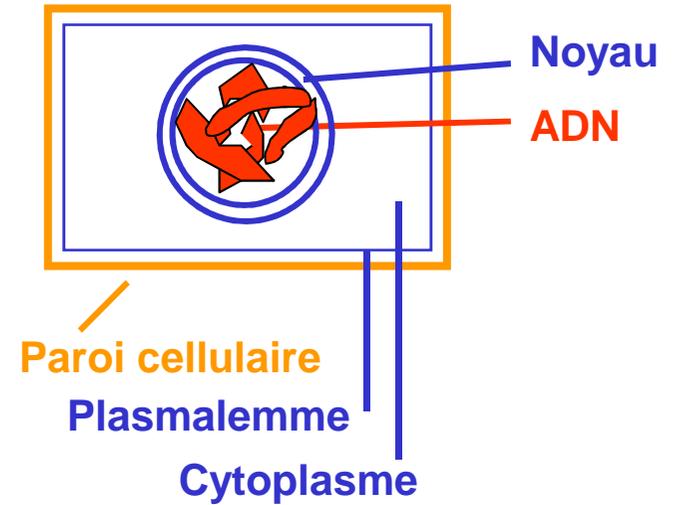
Gemmata obscuriglobus (Planctobactérie) →

D'après Pennisi (2004)



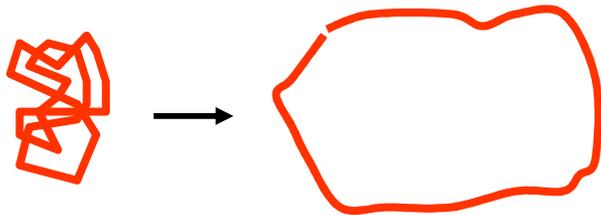
EUCARYOTES

(1) Présence d'un **noyau**



PROCARYOTES

(2) Un ADN de type procaryotique



Le brin d'ADN est "circulaire"

(3) ADN non associé à des histones

Mais Archées avec histones

(4) Un seul chromosome

(portant tous les gènes)

Mais un nombre significatif d'exceptions à 2 et même 3 chromosomes

EUCARYOTES

(2) L'ADN est de type eucaryotique



Non circulaire, en double hélice

(3) ADN associé à des **histones**

Groses protéines qui compactent l'ADN

Mais absentes chez Dinobiontes

(4) Plusieurs chromosomes

(au moins 2 ; gènes répartis entre les chromosomes)

PROCARYOTES

(5) Un petit nombre de gènes

Rarement plus de 3 000

Duplications de gènes rares
Élimination rapide des gènes
inutiles ou dégradés (pseudogènes)

→ Peu d'ADN non-codant (10-25%)

Chez *Bdellovibrio bacteriovorus* (delta-protéobactérie) : 7%. Chez *Nanoarchaeum equitans* (Archée) : 5%

Très peu d'introns dans les gènes

EUCARYOTES

(5) Un grand nombre de gènes

Jusqu'à 40 000

Mais 3 800 chez *Cryptosporidium parvum* (Apicomplexe, Alvéolés)

2 000 chez *Encephalitozoon cuniculi* (Microsporidie, Opisthochontes)

Duplications de gènes fréquentes
Conservation des gènes inutiles ou
dégradés (pseudogènes)

→ Beaucoup d'ADN non-codant
(90% chez l'Homme)

Introns fréquents dans
les gènes

D'après Coenye *et al.* (2005), Giovannoni *et al.* (2005)

Waters *et al.*
(2003), Rendu-
lic *et al.* (2004)

PROCARYOTES

(6) Fréquence des **HGTs** (*Horizontal Gene Transfer*)

En moyenne 10% de gènes transférés

Chez *Methanosarcina matei*
(Archée) : 1 100 des 3 300 gènes sont bactériens

→ HGT **continus** au cours de l'évolution. **Fréquents actuellement**

(7) Synthèse **vitamine B₁₂**

19 gènes impliqués

Vitamine B12 (+ gène metH) → synthèse méthionine (acide aminé)

Gène metE → synthèse méthionine sans B12

EUCARYOTES

(6) Rareté des HGTs (*Horizontal Gene Transfer*)

Mais "déluge de gènes" bactériens à l'origine des Eucaryotes (endosymbioses primaires)

Puis lors des endosymbioses secondaires et tertiaires

→ HGT **discontinus** au cours de l'évolution. **Rares actuellement**

(7) Non-synthèse vitamine B₁₂

Synthèse méthionine ?

→ Empruntée au milieu

→ Bactérie *Halomonas* symbiotique

→ Gène metE : synthèse méthionine sans B12

Voies de synthèse de la méthionine chez les Eucaryotes

Règne	Taxon	B12 indispensable (metH)	Autre voie (metE)
Opisthochontes	Métazoaires	+++++	-
Plantae	Chlorobiontes (sauf Charophyxées)	++	+++
	Charophycées	-	+++++
	Embryobiontes	-	+++++
	Glaucocystobiontes	+++++	-
	Rhodobiontes	+++++	-
Cryptobiontes		++++	+
Haptobiontes		+++	++
Straménopiles	Xanthophycées	-	+++++
	Fucophycées	-	+++++
	Bacillariophycées	+++	++
	Chrysophycées	+++++	-
Alvéolés	Dinobiontes	++++	+
Discicristates	Euglénoïdes	++++	+

LECA possédait sans doute metH et metE, comme la plupart des procaryotes

D'après Croft (2005)

La plupart des UPOs ne sont pas autotrophes, mais auxotrophes

PROCARYOTES

(8) Non-synthèse des stérois

Des exceptions ?

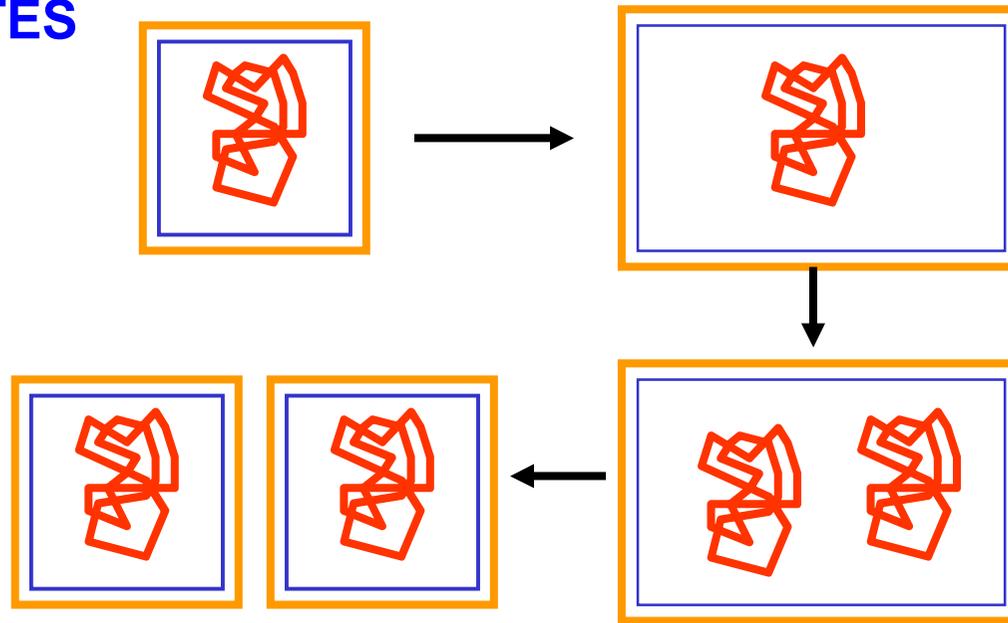
EUCARYOTES

(8) Synthèse des stérois

Une exception : les Oobiontes (Straménopiles)

PROCARYOTES

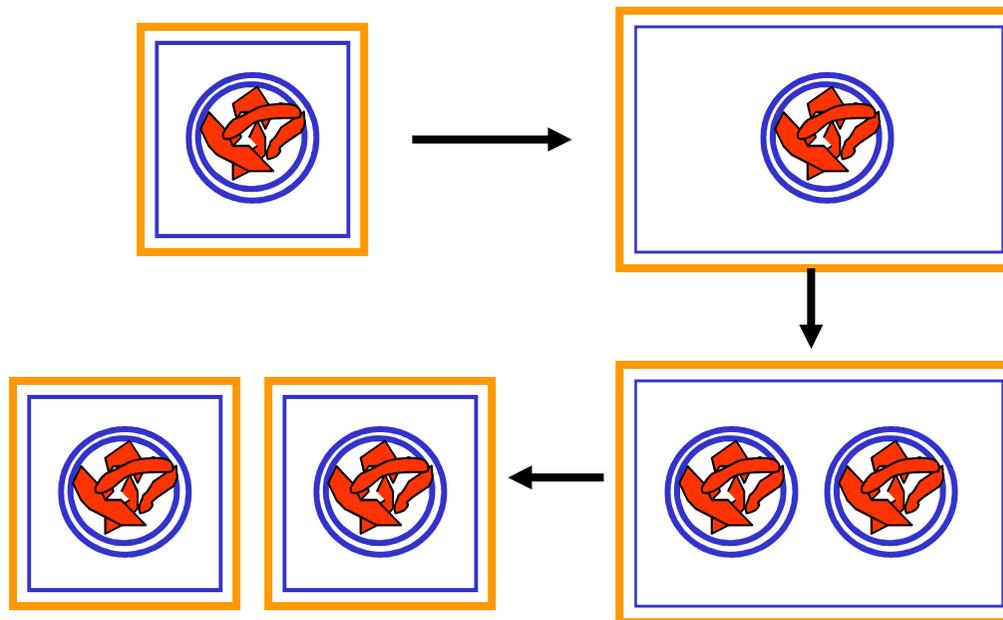
(9) Pas de reproduction sexuée

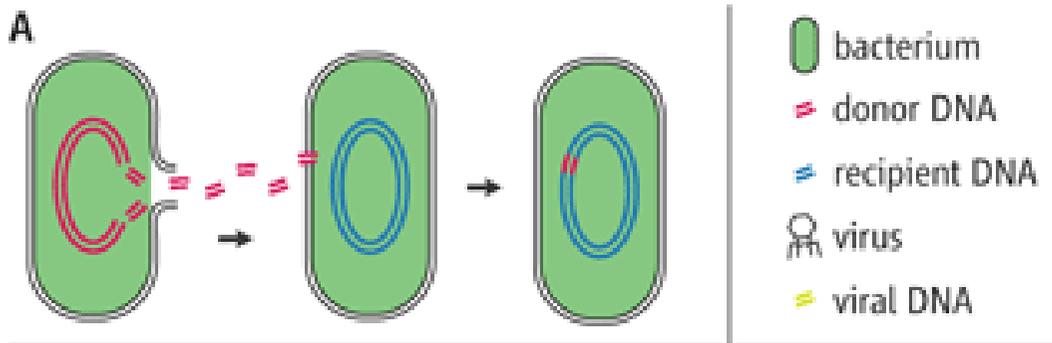


Fission binaire :
pas de recombinaison génétique basée sur la sexualité

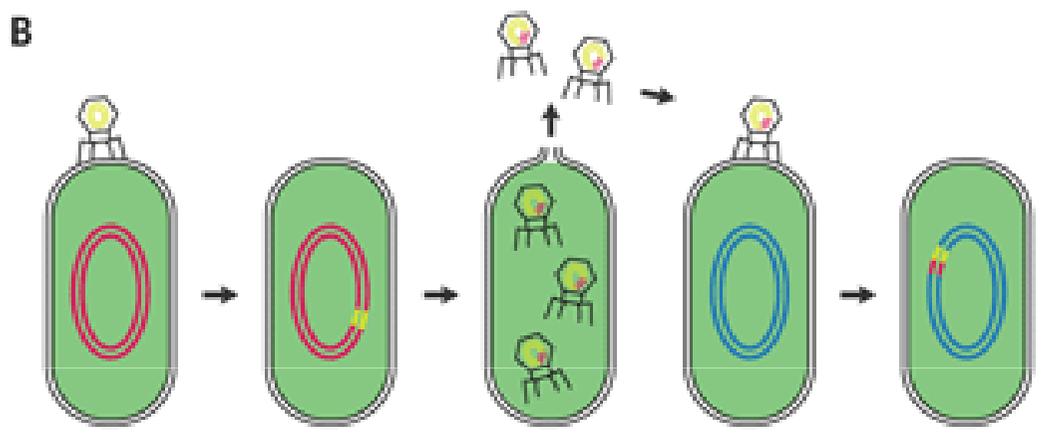
EUCARYOTES

(9) En plus de la reproduction asexuée ...

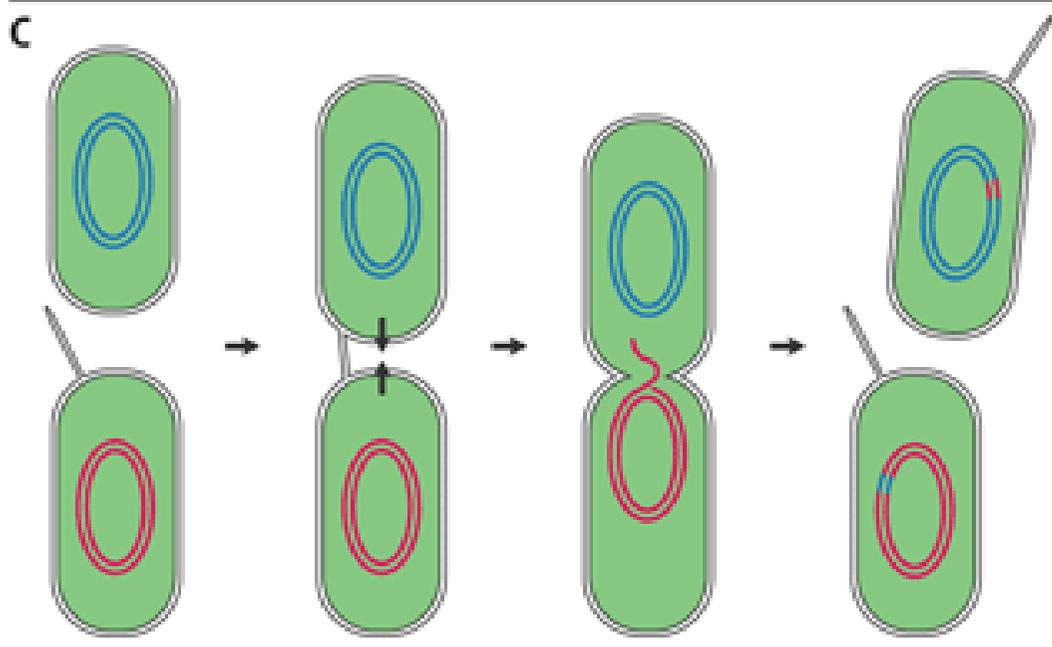




A. Getting slurped up as fragments from the environment



B. Hitchhiking inside retroviruses



C. Getting swapped with similar sequence on a foreign genome after a cellular tryst called 'conjugation'

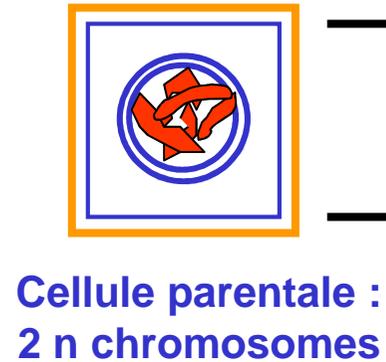
Options for DNA moving between different Prokaryotes

From Bohannon, 2008. Science, 320 : 1031-1033.

EUCARYOTES

(9) ... il y a la reproduction sexuée

En fait 2 (ou 3) divisions



Gamète mâle

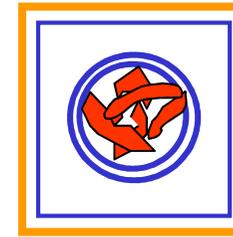
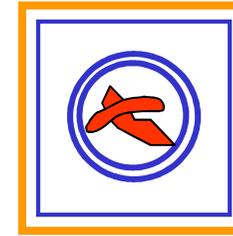


Gamète femelle



Gamètes mâle et femelle :
n chromosomes

Gamète mâle



Œuf (= zygote)
2n chromosomes

Le zygote est à l'origine d'un nouvel individu

Il y a eu recombinaison génétique

(échange de segments entre chromosomes
– crossing over - non représenté ici)

PROCARYOTES

(10) Absence de la plupart des organelles classiques, dans le cytoplasme

- ~~- Chloroplaste~~
- ~~- Mitochondrie~~
- ~~- Appareil de Golgi~~
- ~~- Réticulum endoplasmique~~
- ~~- Cytosquelette~~
- ~~- Vacuole~~

(11) Ribosomes

De type **70S** (petits) chez Bactéries

EUCARYOTES

(10) Présence de nombreuses **organelles** dans le cytoplasme

- Chloroplaste
- Mitochondrie
- Appareil de Golgi
- Réticulum endoplasmique
- Cytosquelette
- Vacuole

(11) Ribosomes

De type **80S** (grands) dans le cytoplasme

Mais chez Microsporidies (Opisthochontes) : 70S

PROCARYOTES

(12) Appareil cinétique simple

Flagelle = tube creux

- 20-25 nm diamètre (Bactéries)
- 10-15 nm diamètre (Archées)

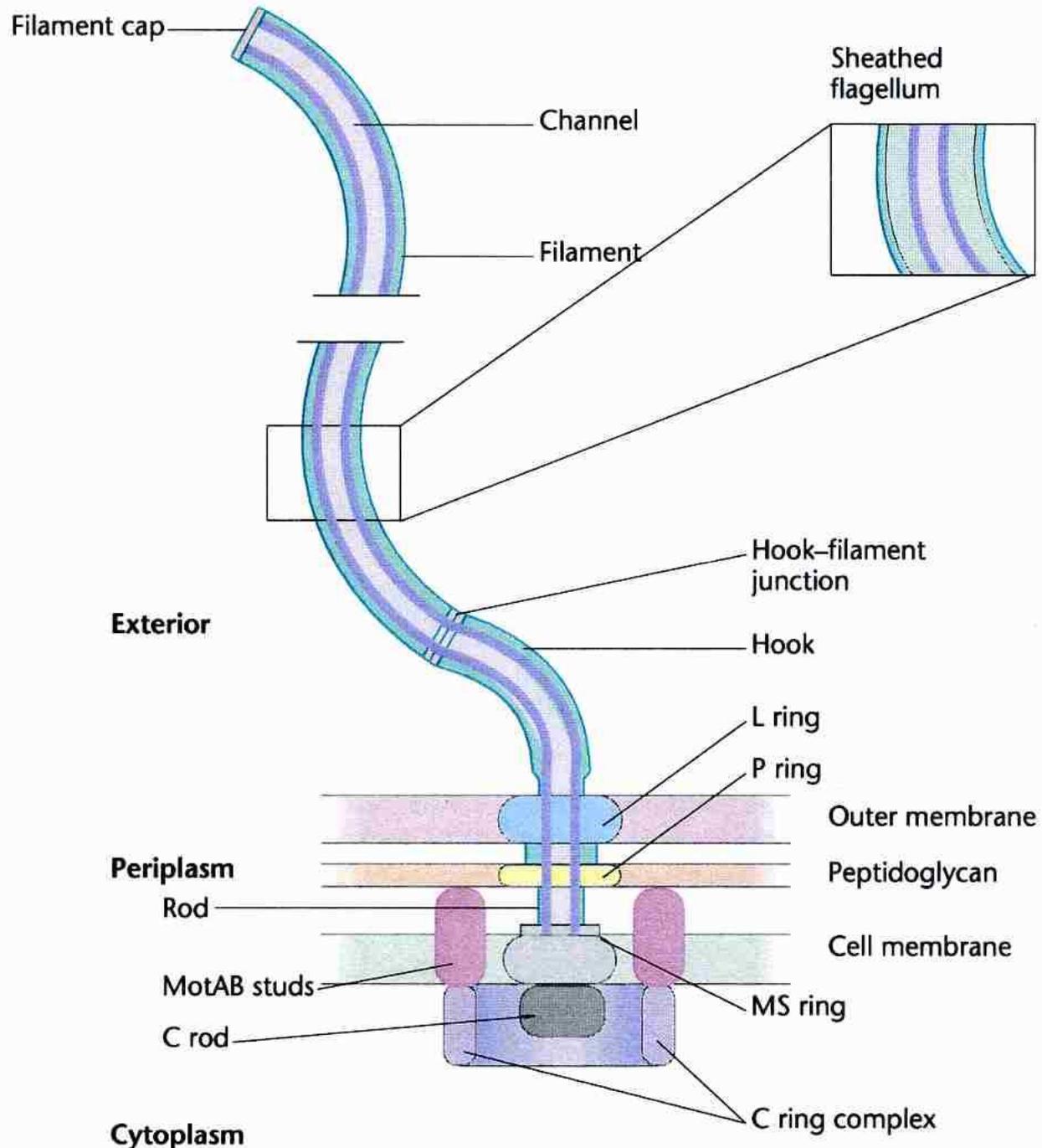
Protéine = **flagelline**

- 300-600 acides aminés (Bactéries)
- 200 acides aminés (Archées)

"Moteur" basal → le flagelle
tourne sur lui-même

Chez les Spirochaetes, flagelles
prisonniers entre plasmalemma et
paroi cellulaire ("endoflagelles")

EUCARYOTES



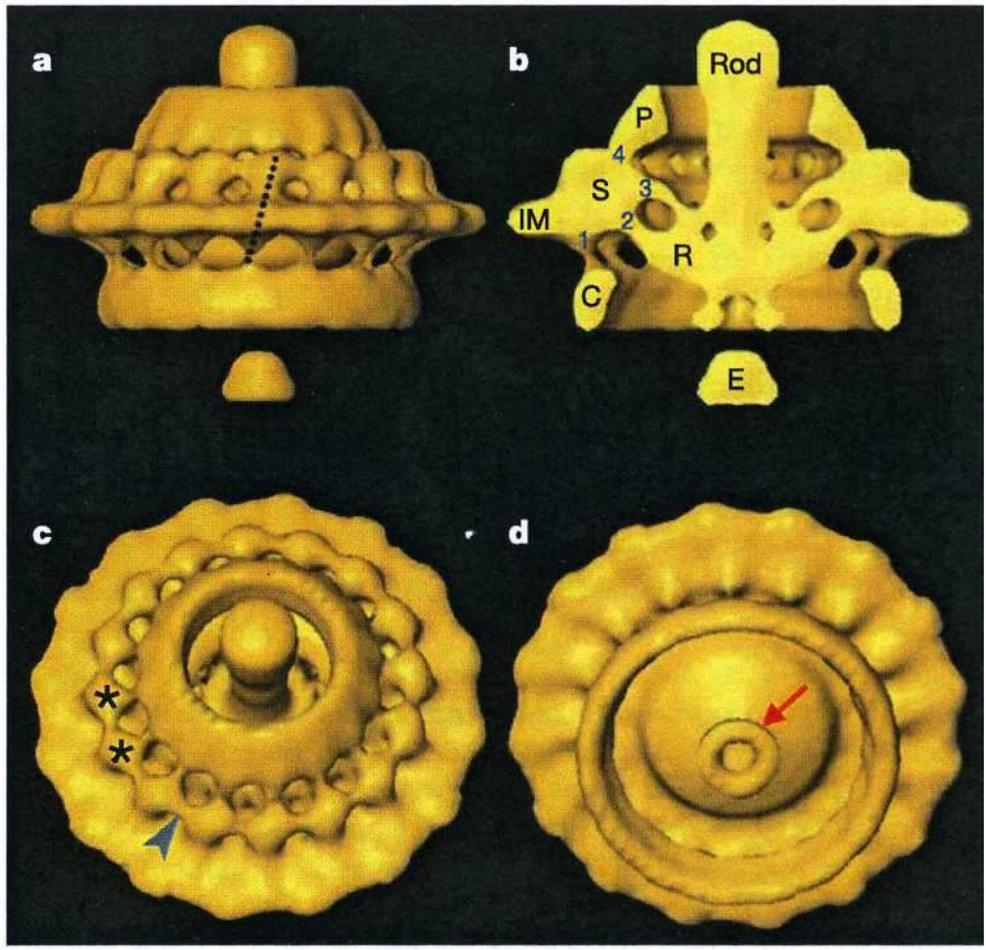
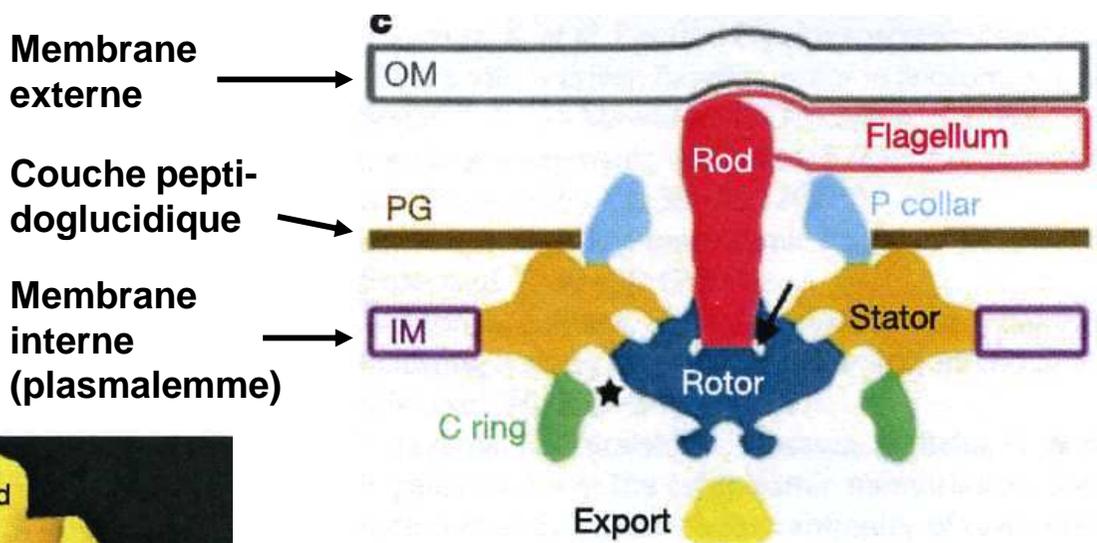
**L'appareil
cinétique
d'une Bactérie
*Salmonella
typhimurium***

**MotAB =
moteur basal**

**C rod → sens de
la rotation**

D'après Morgan et
Khan, 2001. Bacterial
flagella. Encyclopedia
of life science. Nature
publ. Group.

**Le flagelle des Spirochaetes
(*Treponema primitia*)**



**Une nano-machine
constituée de 25
protéines différentes**

D'après Murphy *et al.*, 2006.
Nature, 442 : 1062-1064

PROCARYOTES

(12) Appareil cinétique simple

Flagelle = tube creux

- 20-25 nm diamètre (Bactéries)
- 10-15 nm diamètre (Archées)

Protéine = **flagelline**

- 300-600 acides aminés (Bactéries)
- 200 acides aminés (Archées)

"Moteur" basal → le flagelle tourne sur lui-même (**rotation**)

Chez les Spirochaetes, flagelles prisonniers entre plasmalemme et paroi cellulaire ("endoflagelles")

EUCARYOTES

(12) Présence habituelle d'un appareil cinétique (9+2)

Undulipodium structure extraordinairement complexe
200 nm de diamètre

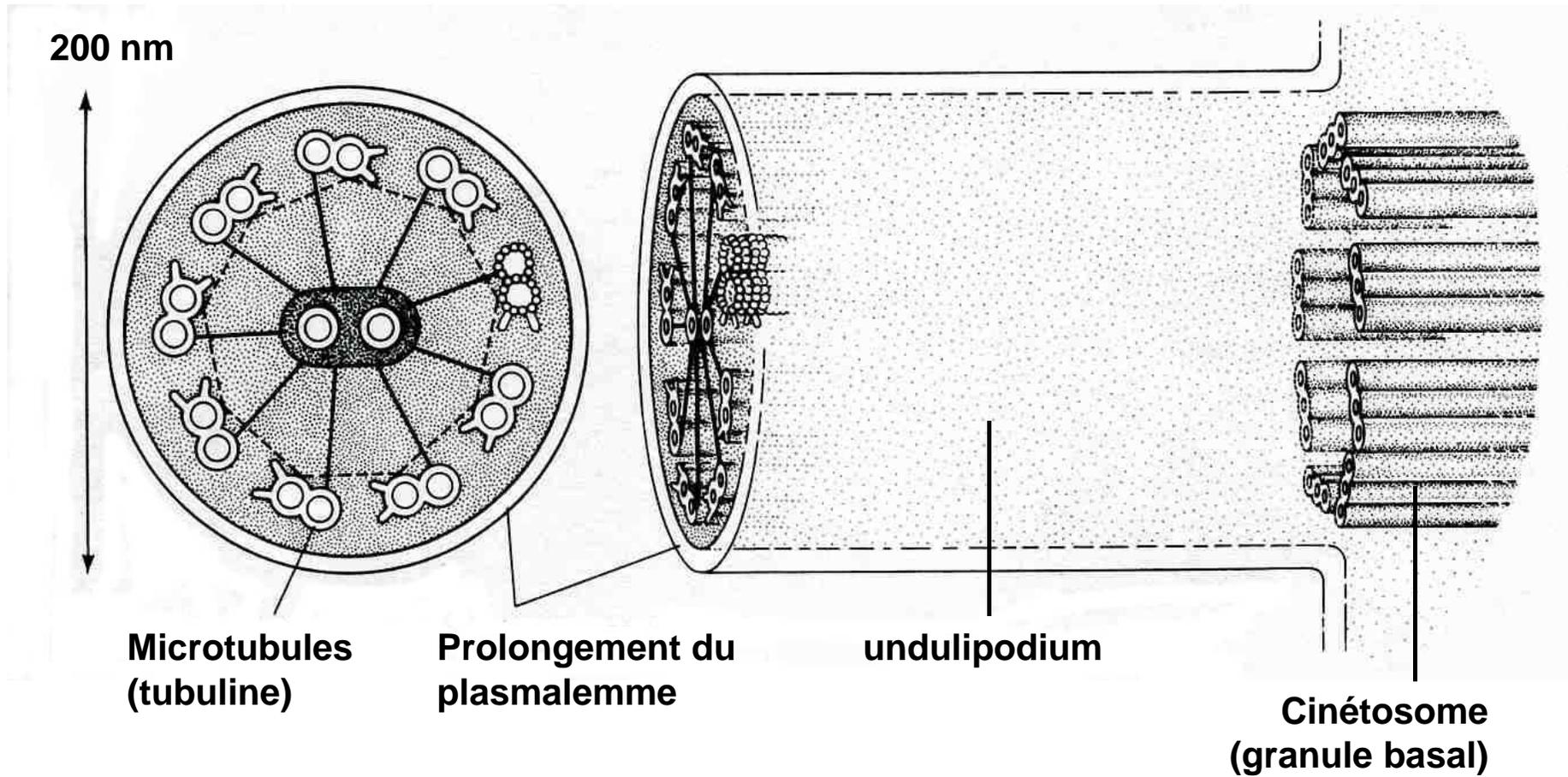
Protéine principale = **tubuline**

Undulipodium associé à cinétosome, racines undulipodiales, centrosome et stigma (→ appareil cinétique)

Mouvement par **ondulation** de l'axonème et/ou des mastigonèmes

Sert au **mouvement de la cellule** (unicellulaires, gamètes) ou au **mouvement relatif** des fluides (Porifera, rein, bronches, etc.)

L'appareil cinétique des Eucaryotes : undulipodium et cinétosome



D'après Margulis et Schwartz (1985)

PROCARYOTES

(13) Taille de la cellule

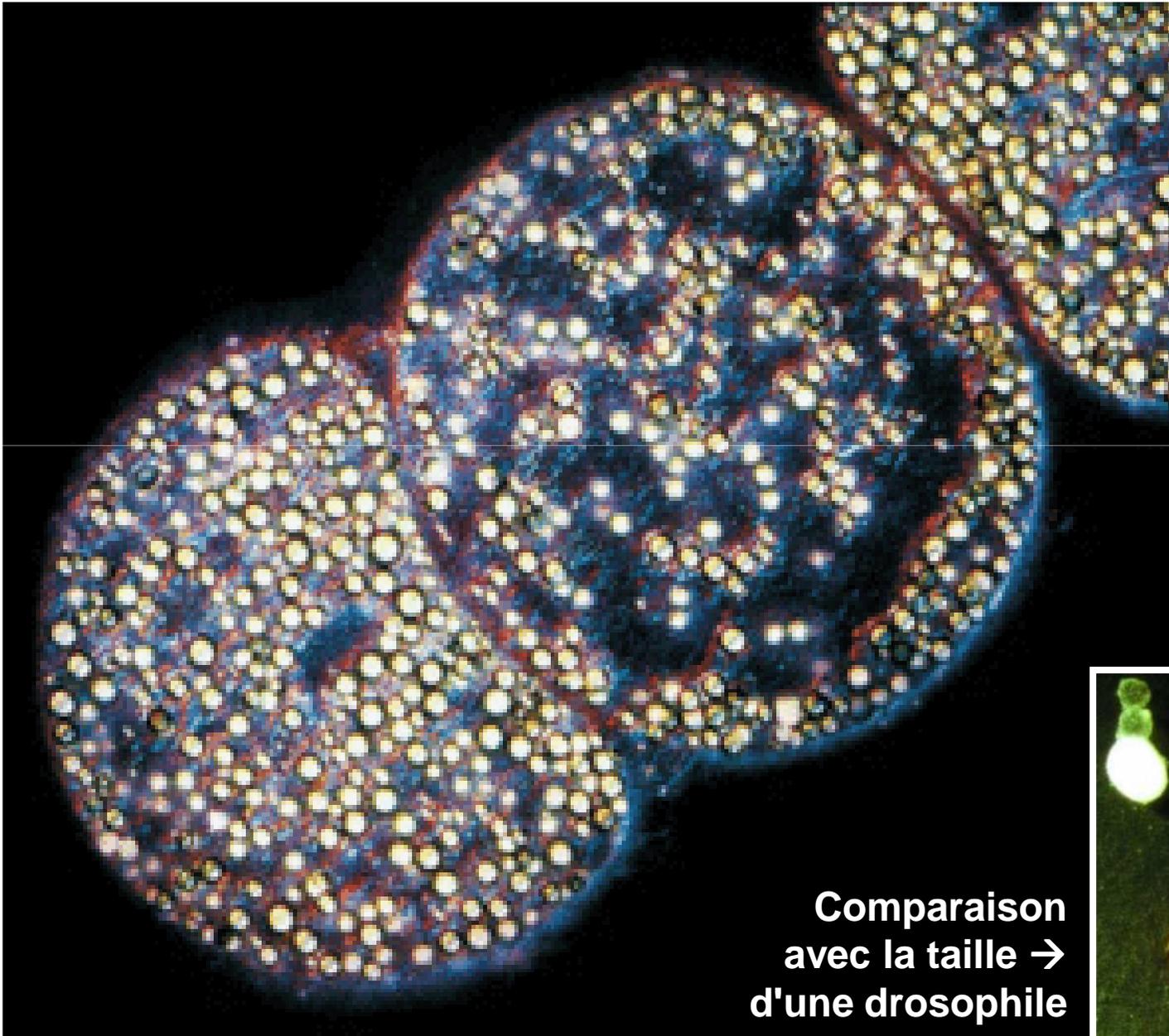
Très petite (< 2 μm)

Sauf chez la plupart des
Cyanobactéries (jusqu'à 20 μm)

On connaît une bactérie à cellules
géantes : *Thiomargarita namibensis* :
750 μm

EUCARYOTES

Très petite taille ? Des exceptions



La bactérie
Thiomargarita namibiensis :
cellules
jusqu'à 750 μm
de diamètre

D'après Schultz et
al., 1999. *Science*,
284 (5413) : 493-495.

Comparaison
avec la taille \rightarrow
d'une drosophile



PROCARYOTES

(13) Taille de la cellule

Très petite ($< 2 \mu\text{m}$)

Sauf chez la plupart des
Cyanobactéries (jusqu'à $20 \mu\text{m}$)

On connaît une bactérie à cellules
géantes : *Thiomargarita namibensis* :
 $750 \mu\text{m}$

Un pico-Eucaryote :
Pelagophycus
(Straménopiles) →

Photo : Bauchot

1 μm

EUCARYOTES

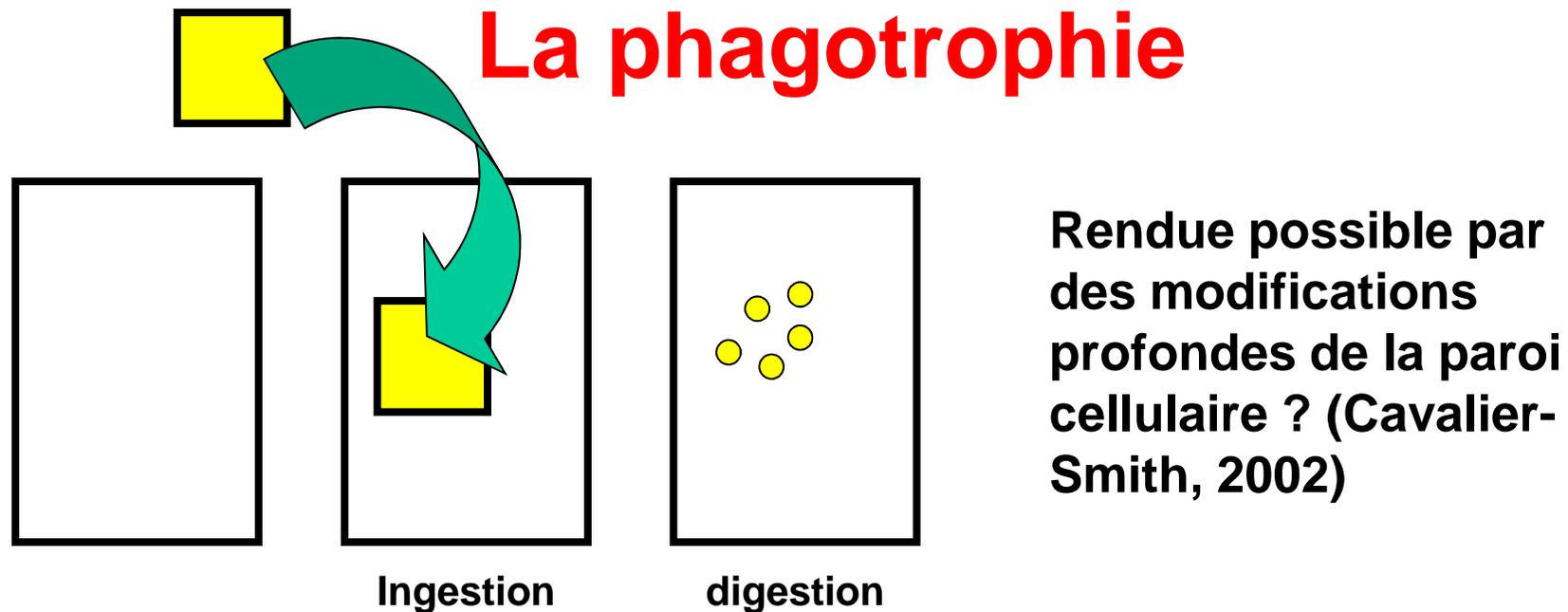
(13) Taille de la cellule

Généralement de grande taille ($> 20 \mu\text{m}$), parfois plusieurs centimètres
(exemple : *Acetabularia*).

Mais il y a des exceptions ($< 2 \mu\text{m}$
chez les pico-eucaryotes)



(14) Une grande innovation des Eucaryotes par rapport aux Procaryotes :



La phagotrophie va permettre les endosymbioses qui marquent la fondation puis l'évolution des Eucaryotes (voir plus loin)