

Diversité du vivant : Attention, Révolution !



Emmanuelle Renard et
Charles F. Boudouresque
Centre d'Océanologie de
Marseille



9^{èmes} rencontres entre professeurs des lycées et collèges et enseignants-chercheurs de l'Université

Vendredi 10 Avril 2009
Station Marine d'Endoume, Marseille

Conférence-débat



Le campus de Luminy. © Grand Luminy



La Station marine d'Endoume. © J.G. Harmelin

Citation :

Renard E. et Boudouresque C.F., 2009. *Diversité du vivant : attention, révolution !* 9^{èmes} rencontres entre professeurs des lycées et collèges et enseignants-chercheurs de l'Université : 47 diapositives.

Emmanuelle Renard : UMR Dimar, Centre d'Océanologie de Marseille, Station Marine d'Endoume, rue de la batterie des lions, 13007 Marseille. emmanuelle.renard@univmed.fr

Charles F. Boudouresque : Centre d'Océanologie de Marseille, campus de Luminy, case 901, 13288 Marseille cedex 9. charles.boudouresque@univmed.fr

**LA DESCRIPTION
ET LA
CLASSIFICATION DES ORGANISMES
UNE VIEILLE HISTOIRE !**



Aristote (de -384 à -322)

‘Père de la classification’

**Sa classification des animaux
persiste jusqu'au 17^{ème} siècle!**

Classification des animaux (d'après une encyclopédie chinoise)



LA CLASSIFICATION RESTE PARFOIS TRES SUBJECTIVE !

1	Les animaux qui appartiennent à l'empereur
2	Les animaux embaumés
3	Les animaux apprivoisés
4	Les cochons de lait
5	Les sirènes
6	Les animaux fabuleux
7	Les chiens perdus
8	Les animaux enragés
9	Les animaux que l'on ne peut pas dénombrer
10	Etcétera
11	Les animaux dessinés avec un pinceau très fin

D'après Naeem (2003), simplifié

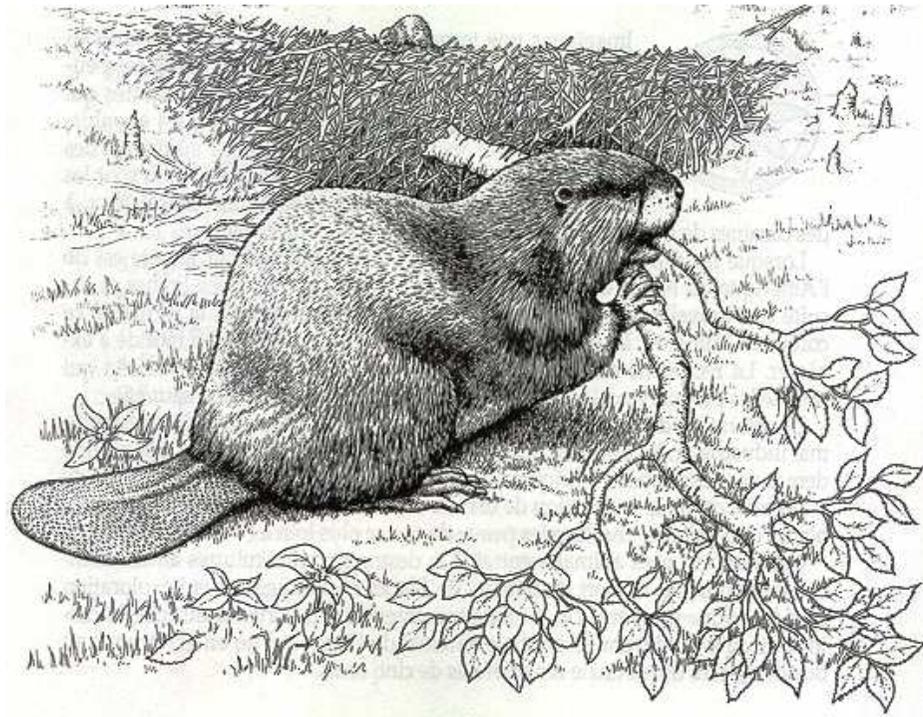
1. La description et la classification des organismes : une vieille histoire !

17^{ème} siècle

**LA CLASSIFICATION RESTE
PARFOIS TRES SUBJECTIVE !**

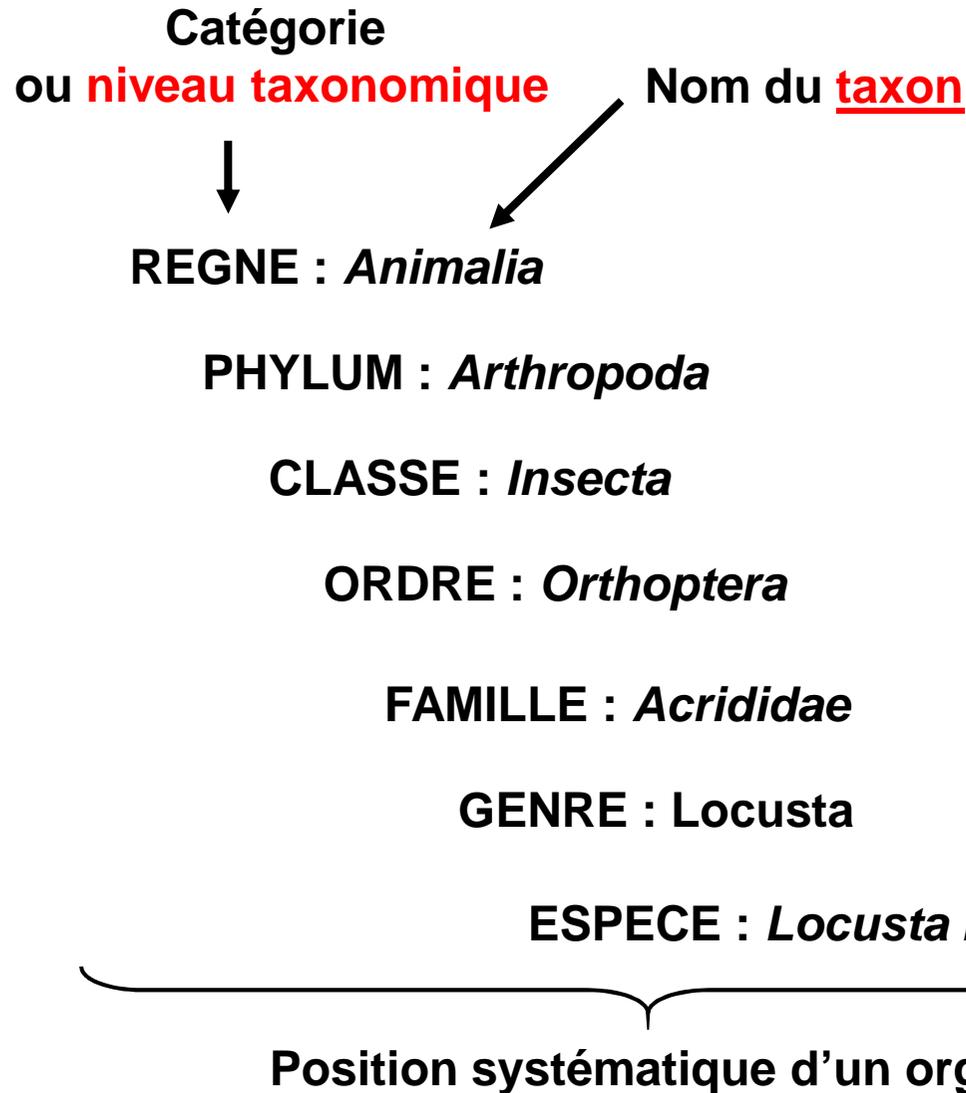
**La loutre et le castor
sont-ils des poissons ?**

**Oui ! On peut en manger le
vendredi et pendant le carême**



1. La description et la classification des organismes : une vieille histoire !

17^{ème} siècle



CLASSIFICATION LINNEENNE

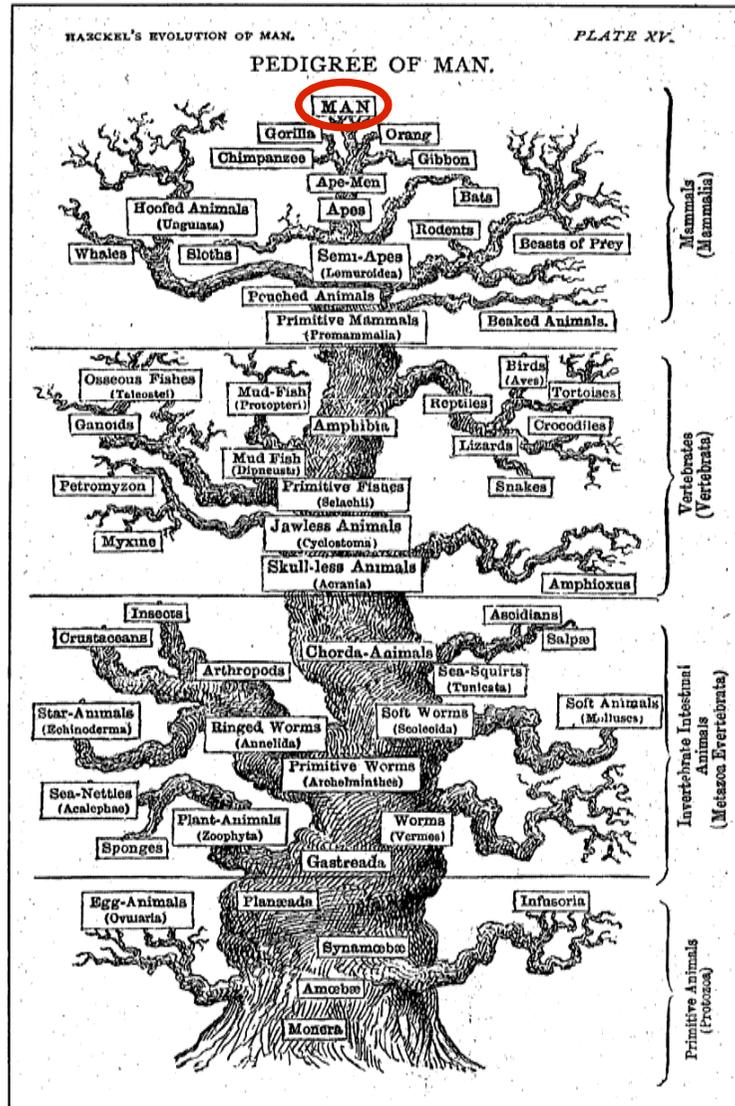
Exemple:
position systématique
du criquet migrateur



Nomenclature binominale
de l'espèce

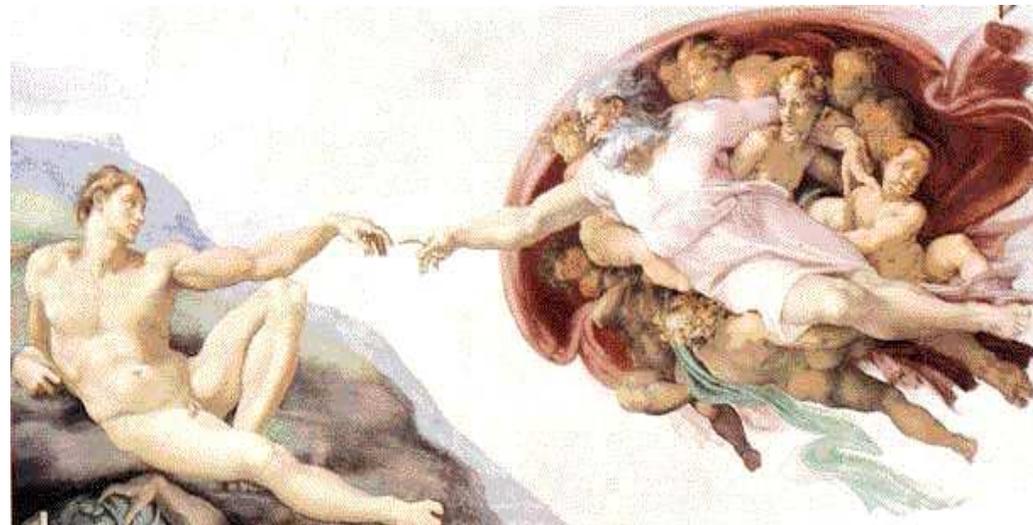
1. La description et la classification des organismes : une vieille histoire !

LA CONNAISSANCE DES ORGANISMES EST LONGTEMPS LIMITEE AUX **ORGANISMES/STRUCTURES MACROSCOPIQUES**



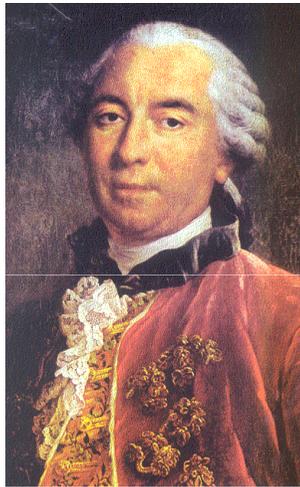
**L'HOMME EST TOUJOURS CONSIDERE
COMME AYANT UNE PLACE PARTICULIERE**
« créé à l'image de Dieu »

**CLASSIFICATION SUR
RESSEMBLANCE GLOBALE
PAS DE NOTION D'APPARENTEMENT**

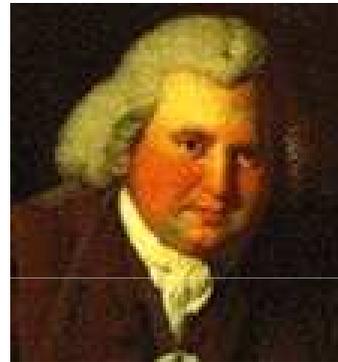


NOTRE CONNAISSANCE DU VIVANT : LA REVOLUTION CONCEPTUELLE

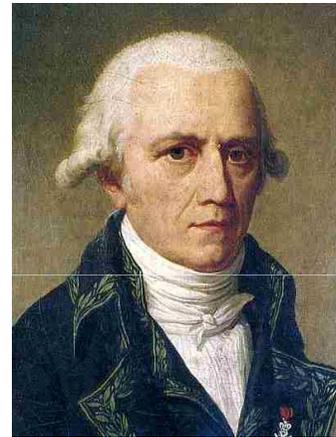
Développement de la notion d'évolution des organismes



Buffon (18° siècle)



Erasmus Darwin
(18-19° siècles)



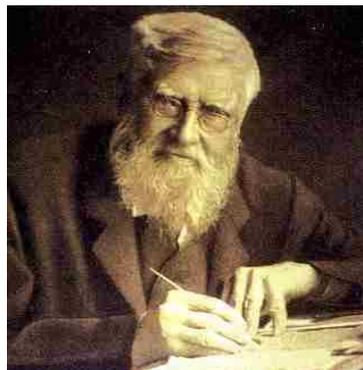
Jean-Baptiste de La-
marck (18-19° siècles)



E. Geoffroy de
Saint-Hilaire (18-
19° siècles)



Richard Owen (19° siècle)

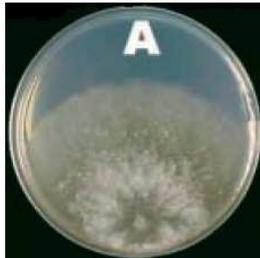


← Alfred Russel-
Wallace
(19° siècle)

Charles Darwin
(19° siècle) →



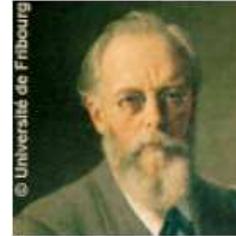
2. Notre connaissance du vivant : la révolution conceptuelle



L. Pasteur
(1862)
**génération spontanée
non valide**



G. Mendel
Lois hérédité
(1865)
(redécouvertes
en 1900)



A. Weismann
(1883)
**Non hérédité
caractères
acquis
distinction
soma/germen**



Griffith, Hershey, Chase ,
Watson , Crick
entre 1925 et 1960
**ADN = support hérédité
+ sa structure**

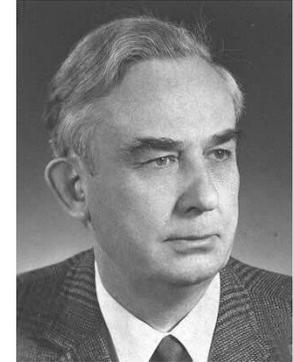
R.A. Fisher, J.B.S Haldane, Sewall Wright, Julian Huxley, Ernst Mayr,
Bernhard Rensch, George Gaylord Simpson et George Ledyard Stebbins.

entre 1930-1940

Théorie synthétique de l'évolution
ou
Néodarwinisme

LA CLASSIFICATION PHYLOGENETIQUE

LA CLADISTIQUE, W. Hennig, 1950



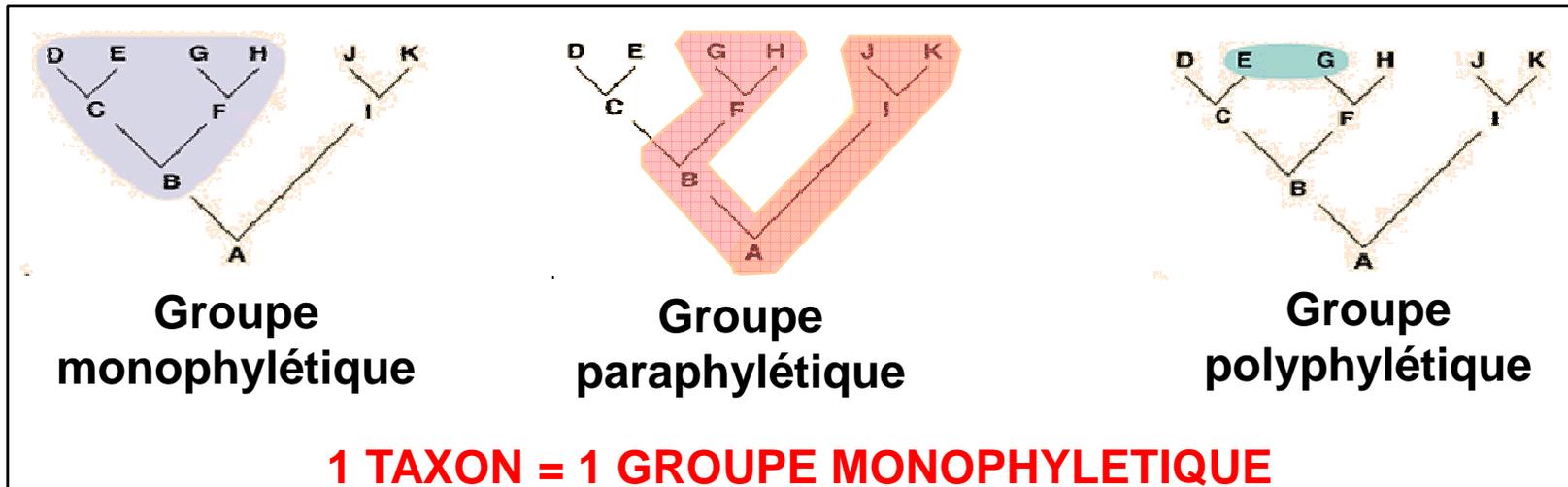
Entre la naissance de la théorie de l'évolution (Darwin)
et l'utilisation de méthodes de classification basées sur celle-ci (Hennig) :

Environ 1 siècle !

D'autres méthodes phylogénétiques ont suivi:
phénétique, méthodes dites probabilistes
utilisables uniquement sur données moléculaires

LA CLASSIFICATION PHYLOGENETIQUE

PRINCIPE DE BASE



Le taxon au sens phylogénétique
n'est pas défini de la même façon qu'un taxon au sens linnéen

NOTRE CONNAISSANCE DU VIVANT: LA REVOLUTION TECHNIQUE

Microscopie

17-18^{èmes} siècles

Premiers microscopes optiques
composés : Galilée (1604) ou
Jansen (1595)



Zacharias Janssen
(1580-1638)



Hooke (1665) : **découverte de la cellule**
(théorie cellulaire développée en 1838)

Van Leeuwenhoek (1632-1723) : amélioration
du microscope. **premières observations de
bactéries et d'eucaryotes unicellulaires**



19^{ème} siècle : descriptions de bactéries pathogènes

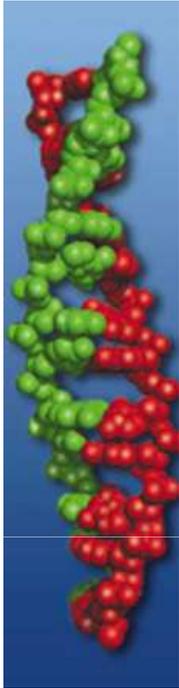
- de la lèpre (Hansen en 1874)
- de la tuberculose (Koch en 1882)
- de la peste (Yersin en 1894)
- streptocoque, staphylocoque, pneumocoque (Pasteur 1822-1895)

20^{ème} siècle :

- Premier microscope électronique (Knoll et Ruska 1931)
- 1937 : **première image d'un virus**
- Microscope à balayage

(résolution de 0,4 à 20 nm
vs microscopie optique, résolution 0,1-0,2 μm)

Biotechnologies et phylogénies



1950 : cladistique

1965 : théorie de l'horloge moléculaire

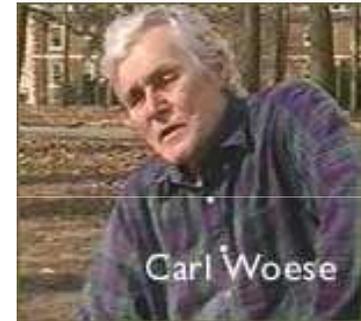
1967 : Construction d'arbres phylogénétiques (par ordinateur)

1972 : **clonage**

1973 : **enzymes de restriction**

1977 : **séquençage de l'ADN**

1984 : **PCR** (réaction de polymérisation en chaîne)



Carl Woese

ARN 16 S : - **Mise en évidence des Archées**
- Relations au sein des bactéries

ARN 18S : - Relations au sein des Eucaryotes

Comparaison des génomes :

- **Découverte des mimivirus**



Didier Raoult

NOTRE CONNAISSANCE DU VIVANT: NOTRE VISION ACTUELLE

**Mise en évidence de séquences
non assignables à des organismes connus**

Comparaison plus fine des organismes



**Découverte de nouvelles espèces
Remaniements des relations entre espèces
Réinterprétation des scénarios évolutifs**

« Nouveaux organismes »

Prochlorococcus marinus

(Cyanobactéries, Bactéries)

Densité : 10 à 100 millions de cellules par litre d'eau de mer

Vit dans le **plancton**

L'organisme photosynthétique **le plus nombreux** sur Terre

Responsable de près de **30%** de la production primaire marine



« Nouveaux organismes »

Le bœuf du Vu Quang (Saola) *Pseudoryx nghetinhensis*



Découvert et décrit en 1992

Vers la frontière entre le Viet-Nam et le Laos

D'après Grubb
et al., 2000

« Nouveaux organismes »

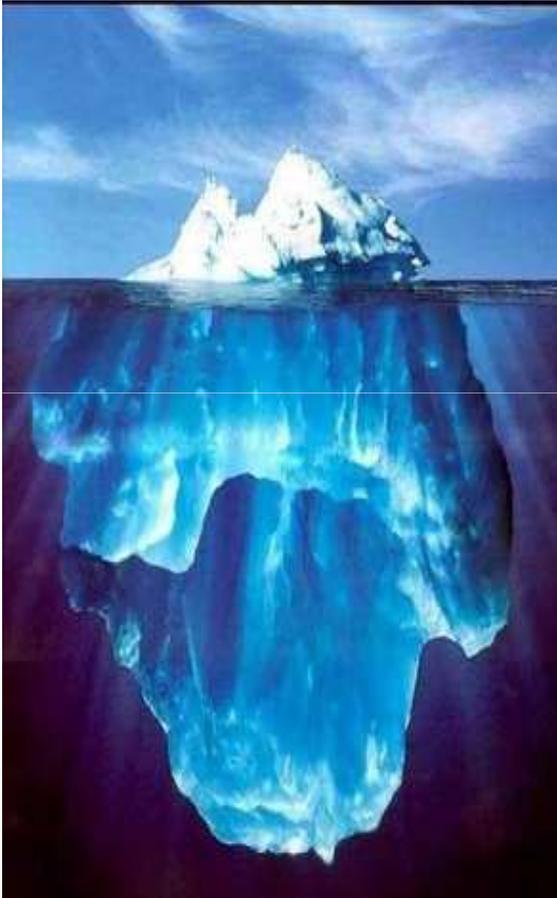
2000 : découverte d'une deuxième espèce d'éléphant en Afrique : l'éléphant de forêt *Loxodonta cyclotis*



L'éléphant de savane
Loxodonta africana



L'éléphant de forêt *Loxodonta cyclotis*



**Estimation de
notre connaissance actuelle
de la biodiversité :**

**~1,8 millions d'espèces
décrites scientifiquement**

**Il resterait à décrire :
14 millions d'espèces !**

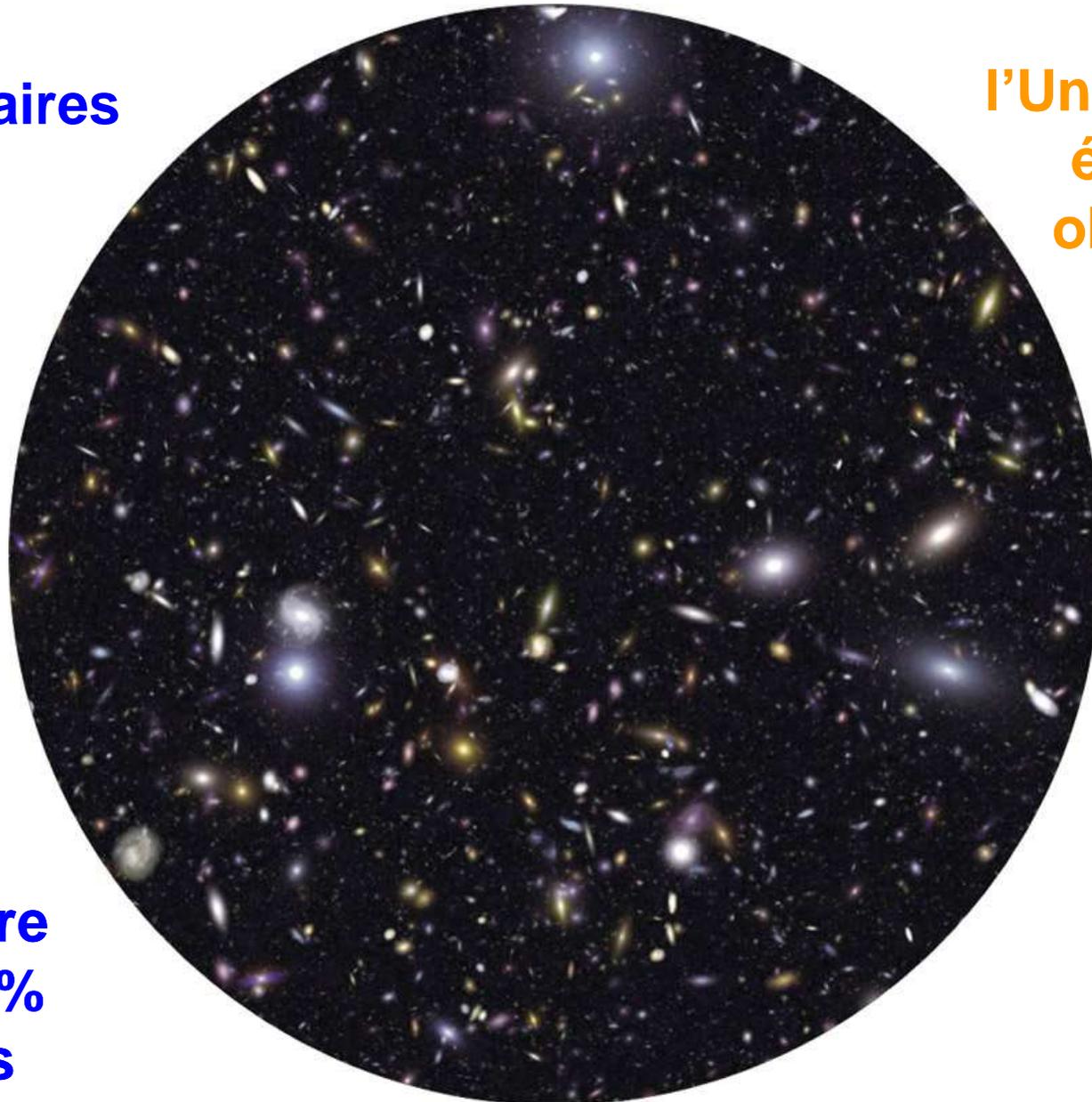
**Un monde
d'unicellulaires**

**3/4 de
l'Univers =
énergie
obscur**

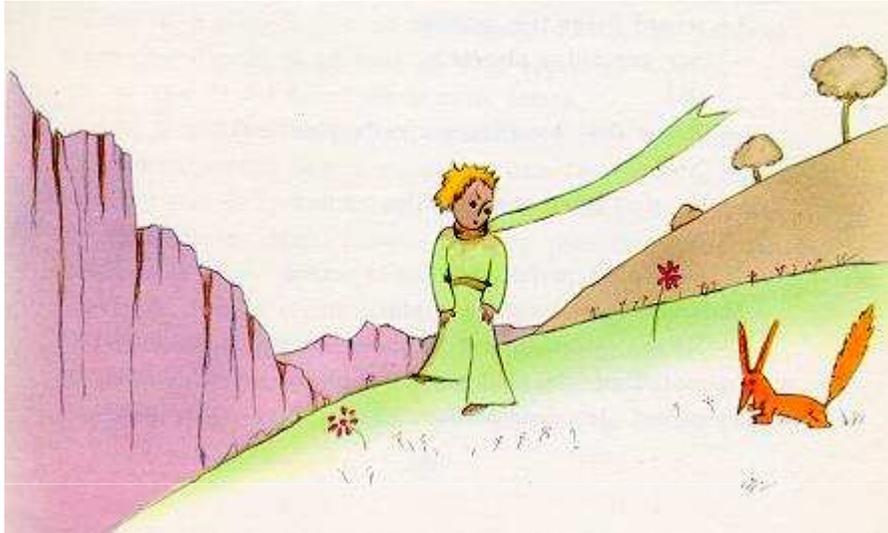
L'univers :

**Les 4/5
de la
matière
= matière
obscur**

**→ La matière
'visible' = 5%
de l'Univers**



'L'important, c'est ce qui ne se voit pas'



Le Petit Prince (Antoine de Saint-Exupéry)

D'après Whitman *et al.*, 1998. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95 : 6578-6583.
Mering *et al.*, 2007. *Science*, 315 : 1126-1130.

→ Les bactéries symbiotiques (généralement mutualistes) d'un Homme en bonne santé

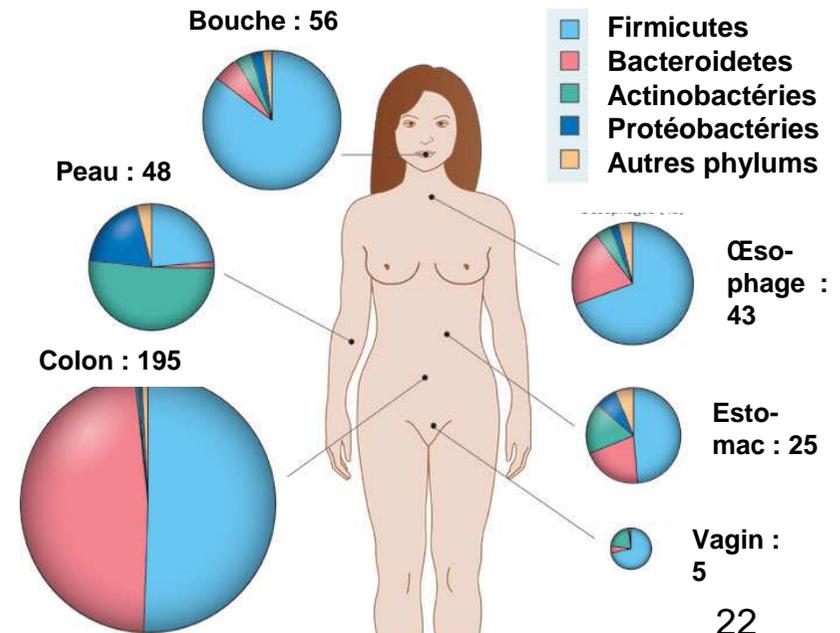
(Nombre moyen d'espèces-phylogènes par individu)

En nombre de cellules : 10^{15} contre 10^{14}

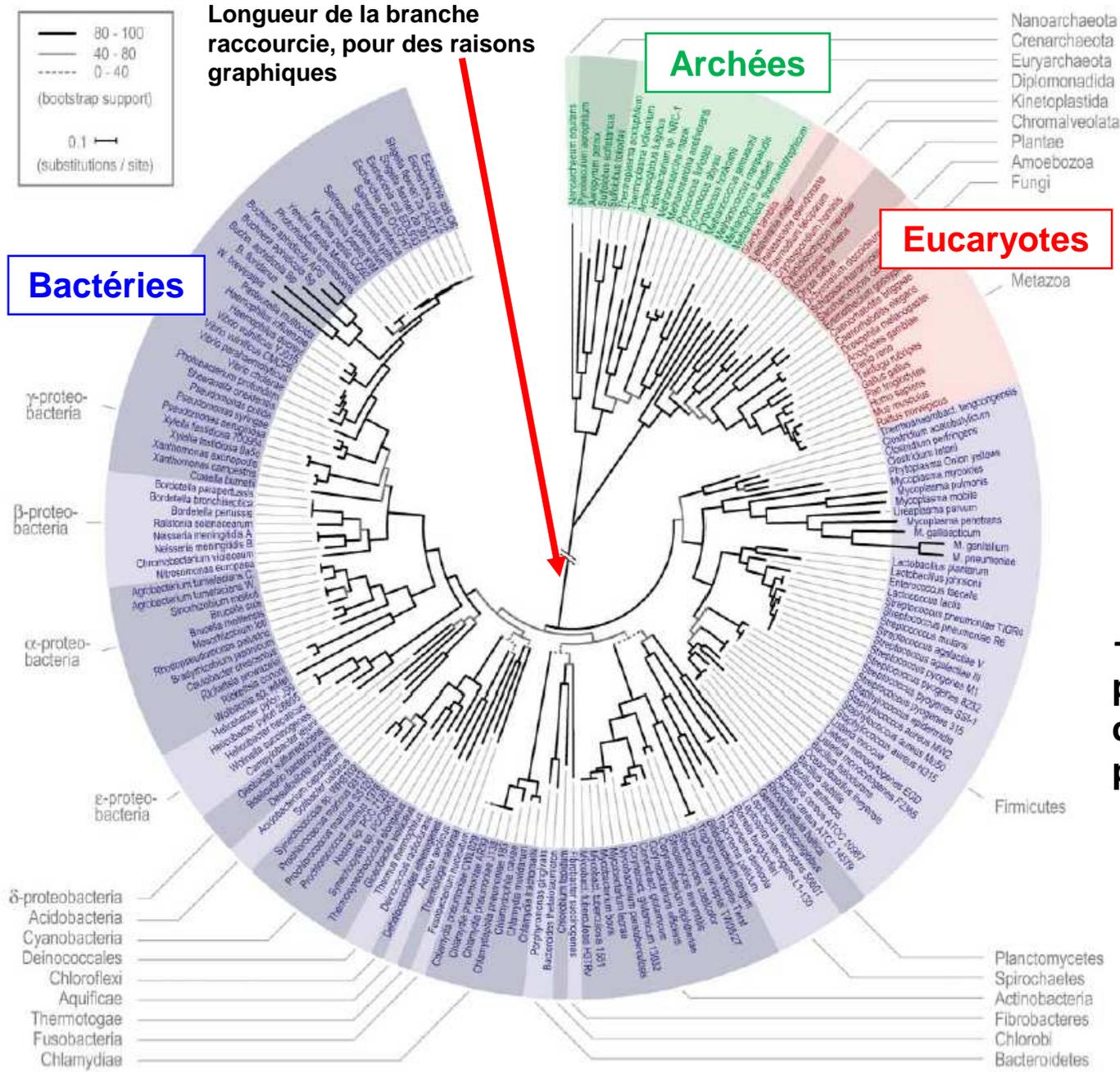
D'après Bäckhed *et al.*, 2005. *Science*, 307 : 1915-1920.
Dethlefsen *et al.*, 2007. *Nature*, 449 : 811-818

→ Sur Terre : 10^{20} individus d'Eucaryotes contre 4-6 10^{30} de Bactéries et d'Archées (6 milliards de fois moins)

→ Biomasse sur Terre :
Eucaryotes = 2/3
Bactéries + Archées = 1/3



5. Un monde d'unicellulaires



L'écrasante domination des bactérie et des archées

→ Les Eucaryotes : 5% seulement de la diversité phylétique (taxons d'ordre supérieur (comme pour la matière visible dans l'Univers !))

→ Les organismes pluricellulaires : < 1% de la diversité phylétique ?

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

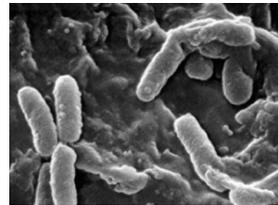
La diversité génétique des Eucaryotes est dérisoire par rapport à celle des 'procaryotes'

Lalucat *et al.*, 2006.
Microbiol. Mol. Biol. Rev., 70 (2) : 510-547

Exemple, au sein du genre *Pseudomonas* (une centaine d'espèces) (Bactéries)



P. fluorescens



P. aeruginosa

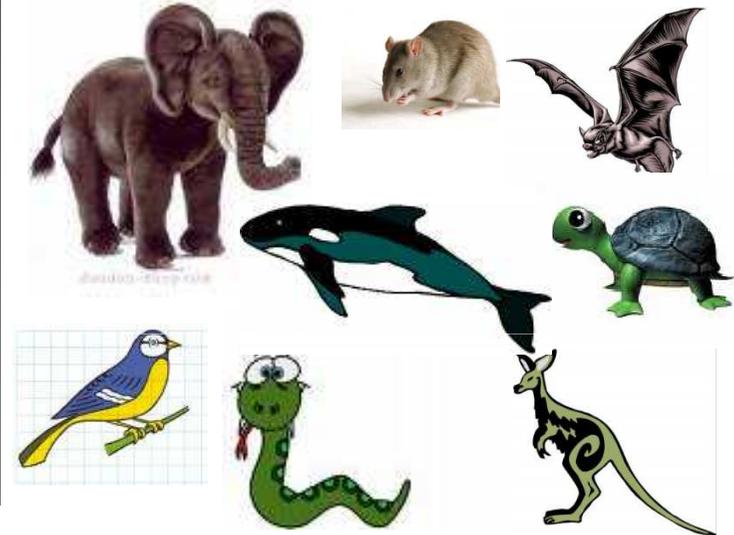


P. stutzeri

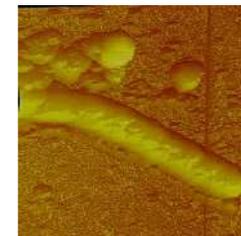


P. putida

Autant de différences qu'au sein des Vertébrés (Métazoaires)



Au sein de l'espèce *Pseudomonas stutzeri*

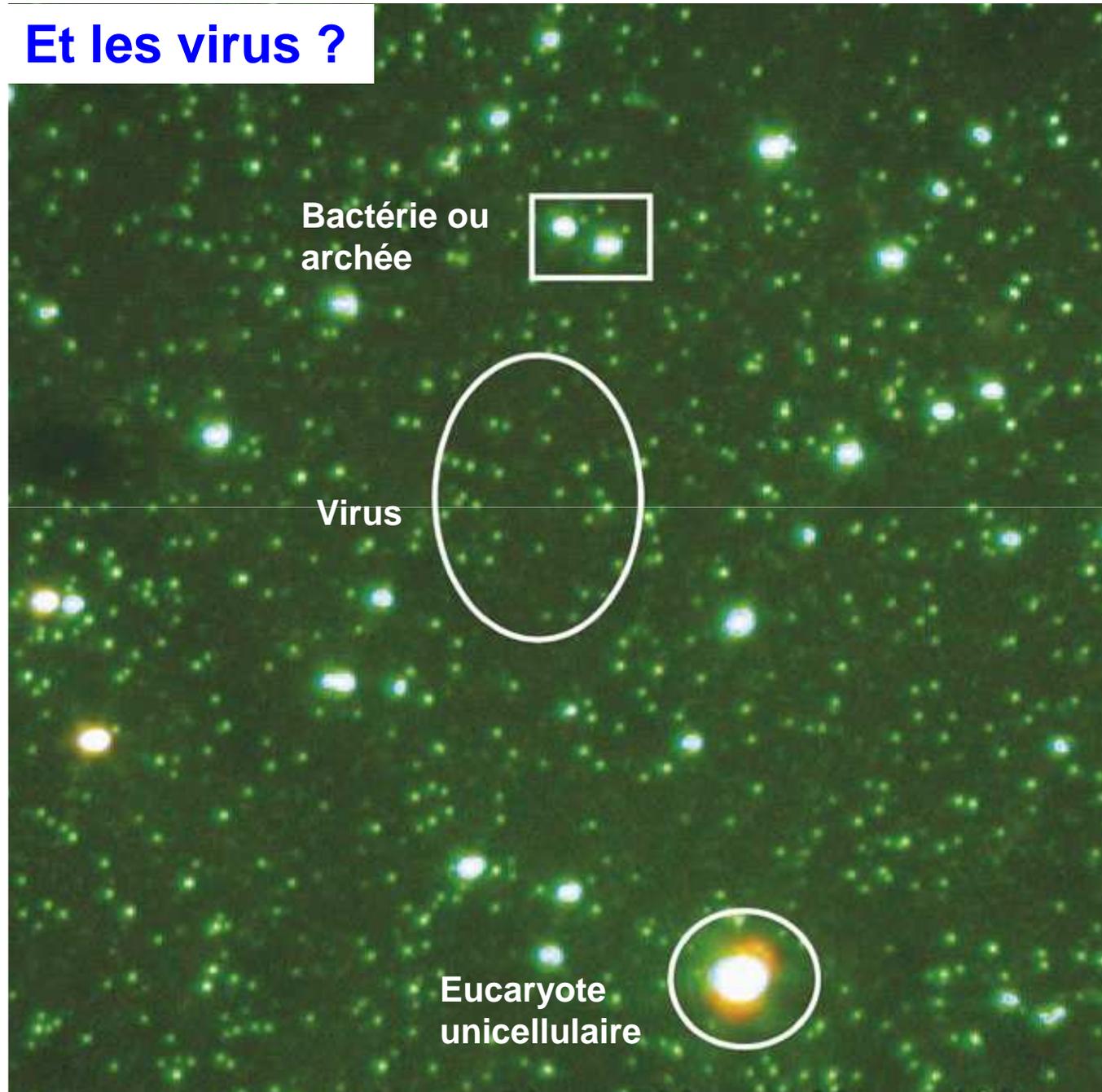


P. stutzeri

Autant de différences qu'au sein des oiseaux



Et les virus ?



Les virus : l'entité biologique la plus nombreuse sur Terre

Dans cuillère à café eau de mer (= 1 ml) : 10^6 à 10^9 virus

Dans l'océan : 10^{30} virus

Biomasse virus océan : 200 Mt (= 75 millions de baleines bleues)

Si on mettait bout à bout les virus de l'océan : quelle longueur ?

Le rayon qui englobe les 60 galaxies les plus proches

D'après Suttle, 2005. *Nature*.
Patel et al., 2007, *Fuhrman Nat Protoc.*

Les virus : vivants ou non vivants ?

Escape hypothesis : un groupe minimal de gènes (pour constituer un système auto-répliquant infectieux) s'échappe d'une cellule

Reduction hypothesis : simplification ultime d'un organisme cellulaire

Virus ATV 62 730 bp	<i>Buchnera</i> (bactérie endosymbionte pucerons) 422 000 bp	<i>Mycoplasma</i> (bactérie) 580 000 bp	<i>Rickettsia</i> (bactérie) 1 100 000 bp
Mimivirus 1 200 000 bp	<i>Haloquadratum</i> (archée) 3 100 000 bp	<i>Theileria</i> (Apicomplexe) 8 400 000 bp	<i>Drosophila</i> (Metazoaires) 160 000 000 bp

La frontière avec le monde vivant traditionnel s'estompe :

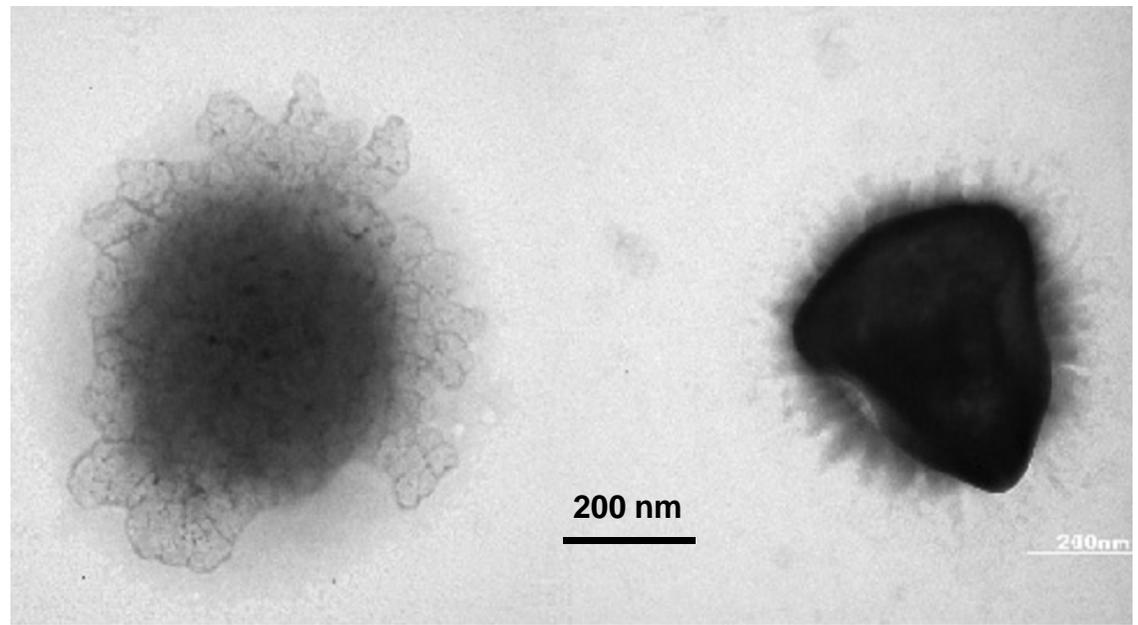
- Découverte des mimivirus et autres virus géants
- Découverte du virus ATV

6. Et les virus ?

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

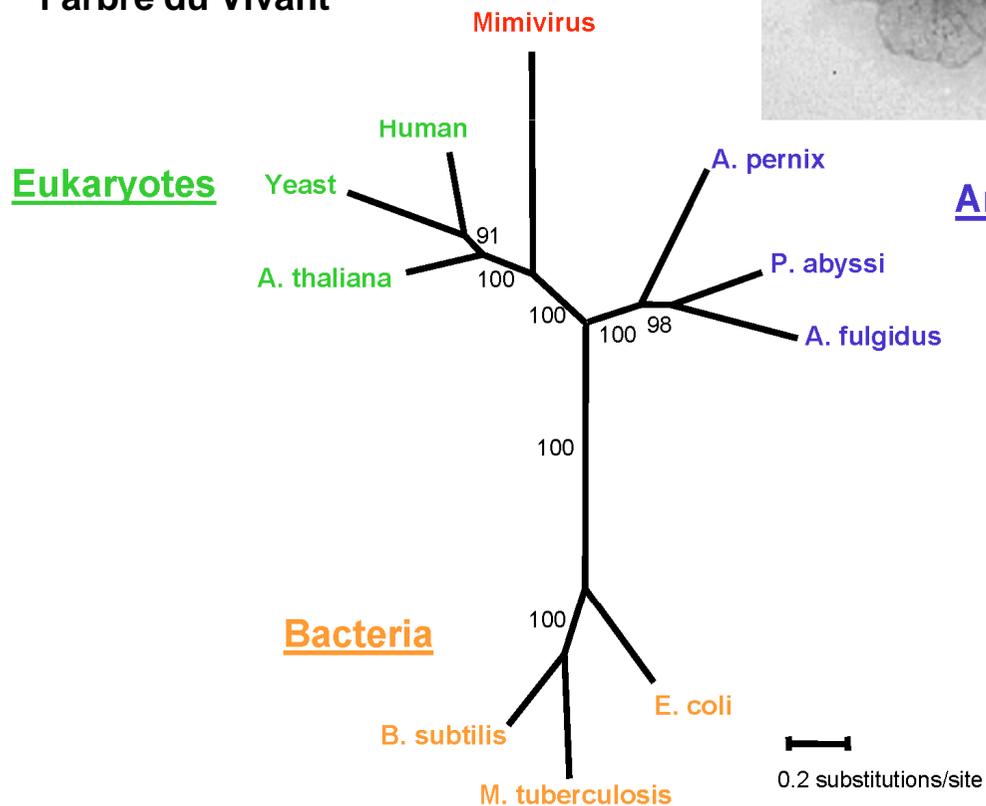
Raoult *et al.*, 2004.
Science, 306 : 1344-1350.

Ureaplasma urealyticum
(Mycoplasme)



Mimivirus

Position des Mimivirus dans
l'arbre du Vivant

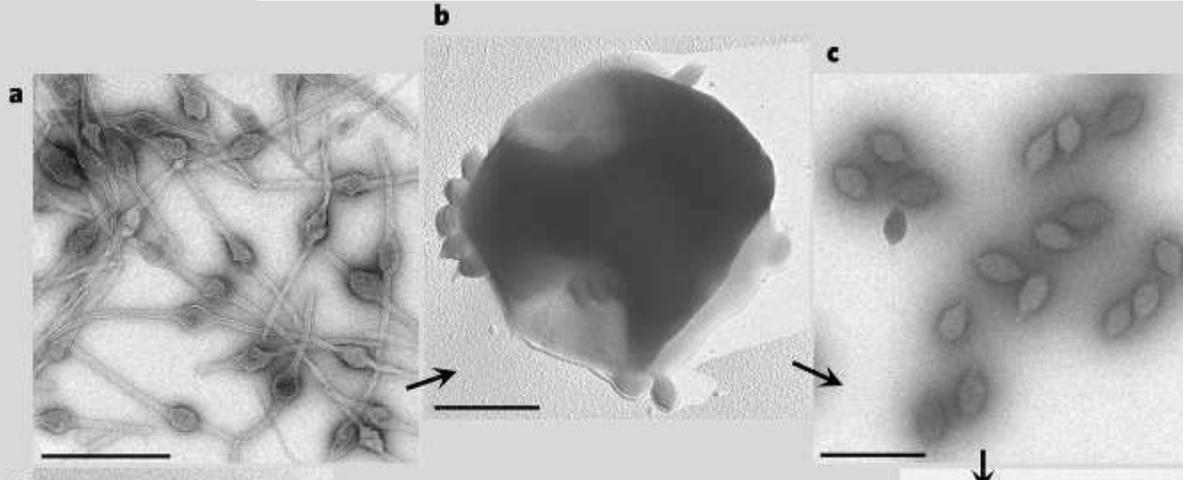


Gènes impliqués dans la
synthèse des protéines, la
réparation de l'ADN ou le
repliement de l'ADN.
En particulier, gènes de 4 ARN
de transfert.
Protéines "fin de traduction",
"start traduction" et élongation

Le virus ATV : capable de produire, en dehors de l'hôte, deux appendices protéiques de 800 acides aminés

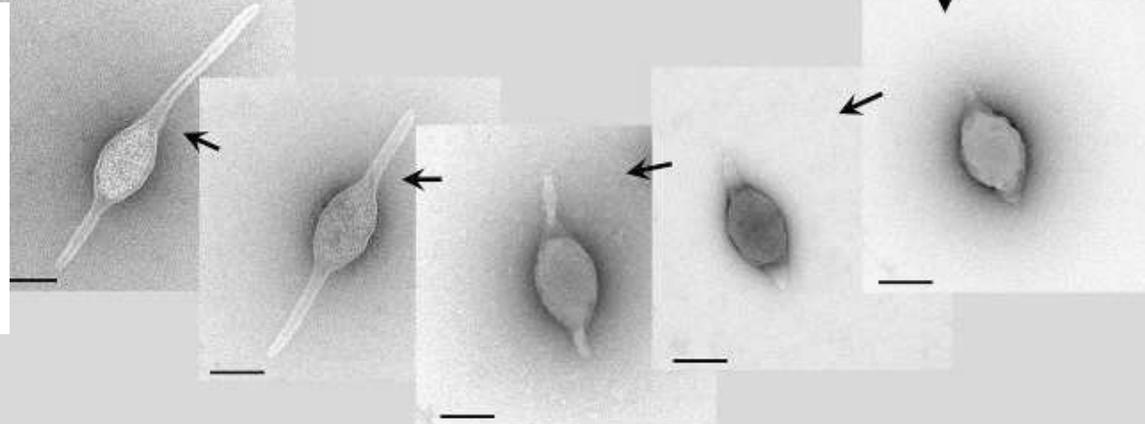
b. Extrusion de virus en forme de citron d'une Archée *Acidianus convivator* infectée

a. Virus ATV isolés



c. Virus dans une Archée infectée

d. Virus en culture à 75°C, après 0, 2, 5, 6 et 7 jours d'incubation



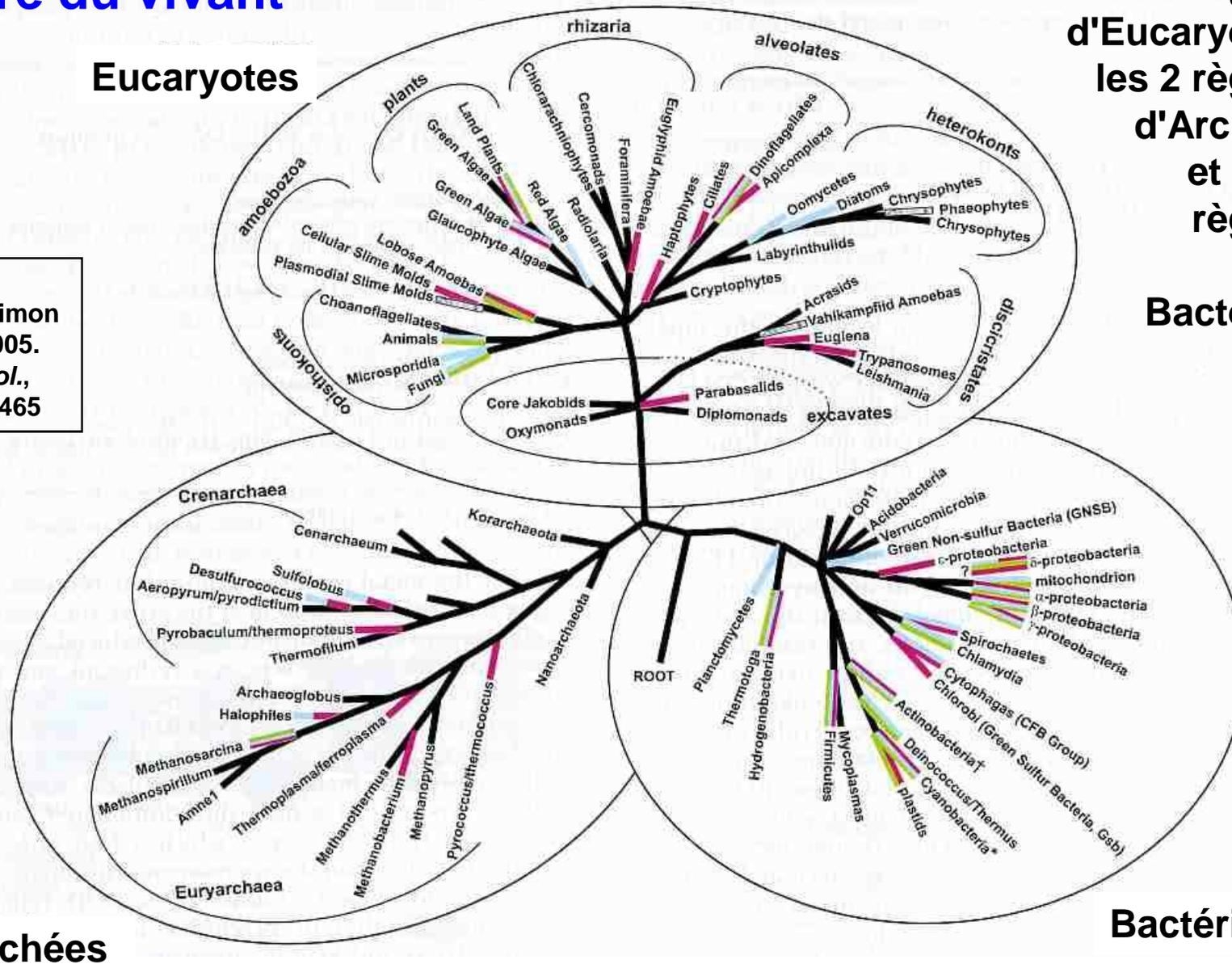
Barre d'échelle :
a-c = 0.5 μm
d = 0.1 μm

7. L'arbre du vivant

L'arbre du vivant

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

D'après Wolfe-Simon et al., 2005. *J. Phycol.*, 41: 453-465



Archées

Bactéries

Différences entre Bactéries et Archées

Caractéristique	Bactéries	Archées	Eucaryotes
Peptidoglycane dans la paroi cellulaire	Présent	Absent	Absent
Muréine dans la paroi cellulaire	Présente	Absente	Absente
Lipides membranaires	Hydrocarbures linéaires	Hydrocarbures ramifiés	Hydrocarbures linéaires
ARN polymérase	1 sorte	Plusieurs sortes	Plusieurs sortes
Acide aminé initiateur début synthèse protéines	Formyl-méthionine	Méthionine	Méthionine
Introns	Absents	Rares	Présents
Réponse à streptomycine et chloramphénicol (synthèse protéines)	Inhibée	Non inhibée	Non inhibée
Histone associée à DNA	Non	Oui	Oui

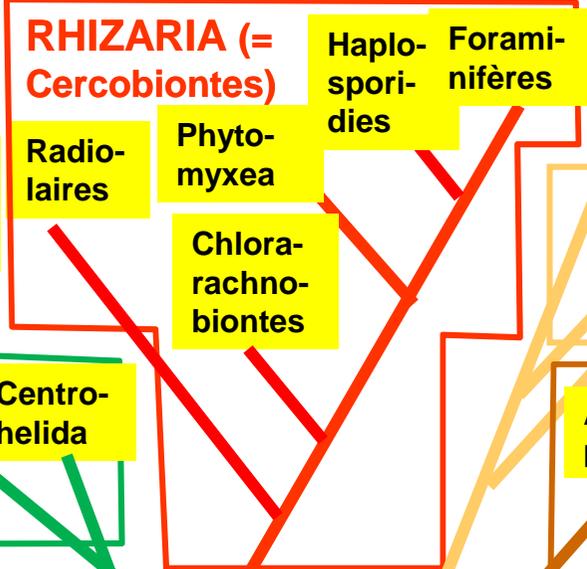
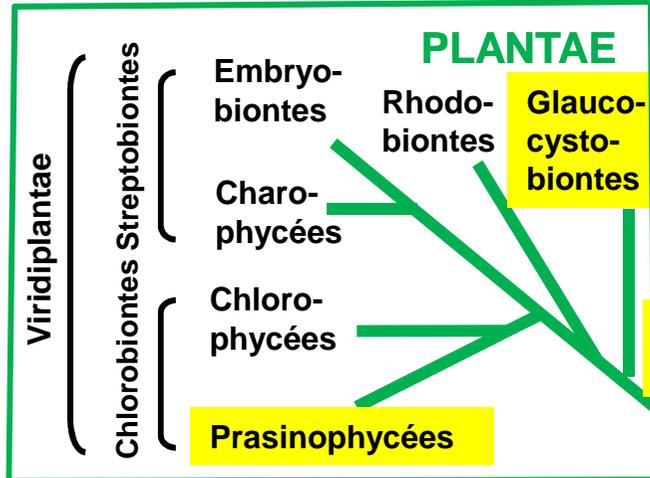
→ Archées plus proches des Eucaryotes que des Bactéries

Unicellulaires

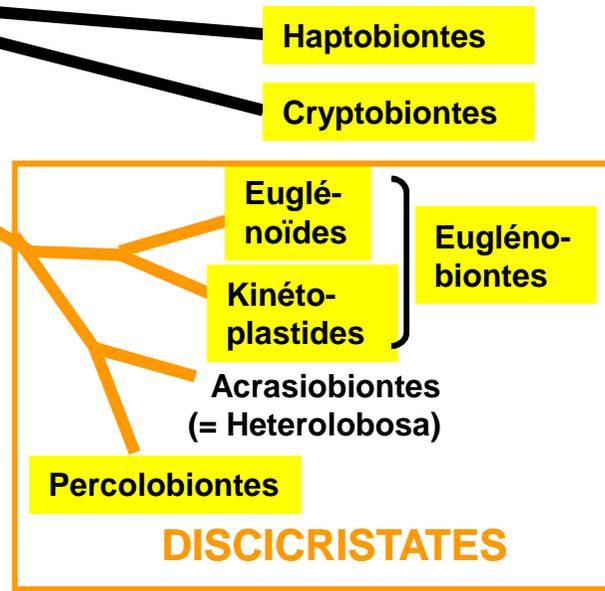
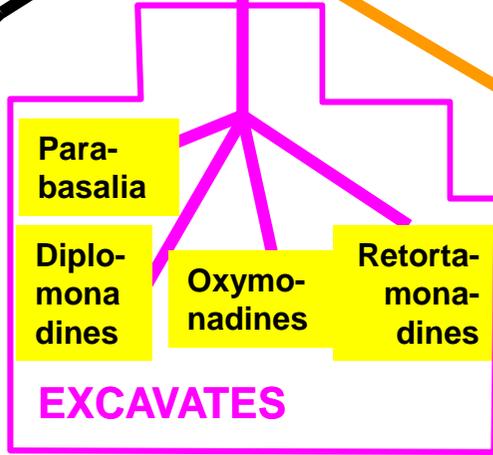
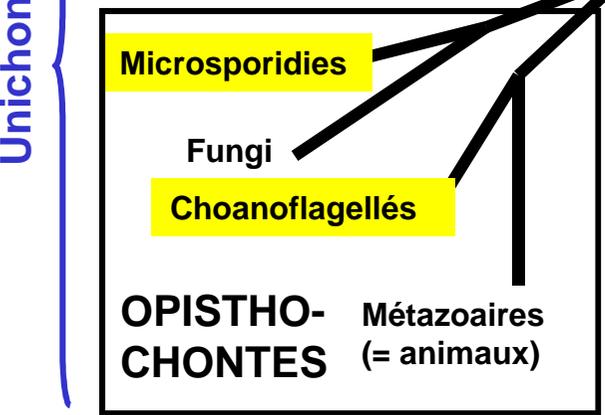
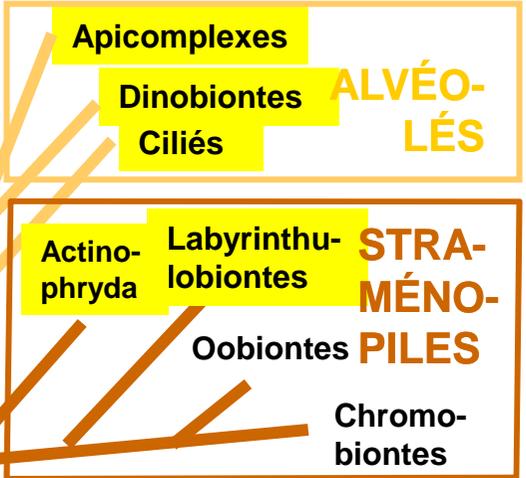
Les Eucaryotes ? Un monde d'unicellulaires

Arbre d'après Baldauf (2003), simplifié et mis à jour, et Boudouresque et al. (2006), mis à jour

D'après King (2004), modifié



Bichontes = les 6 autres règnes



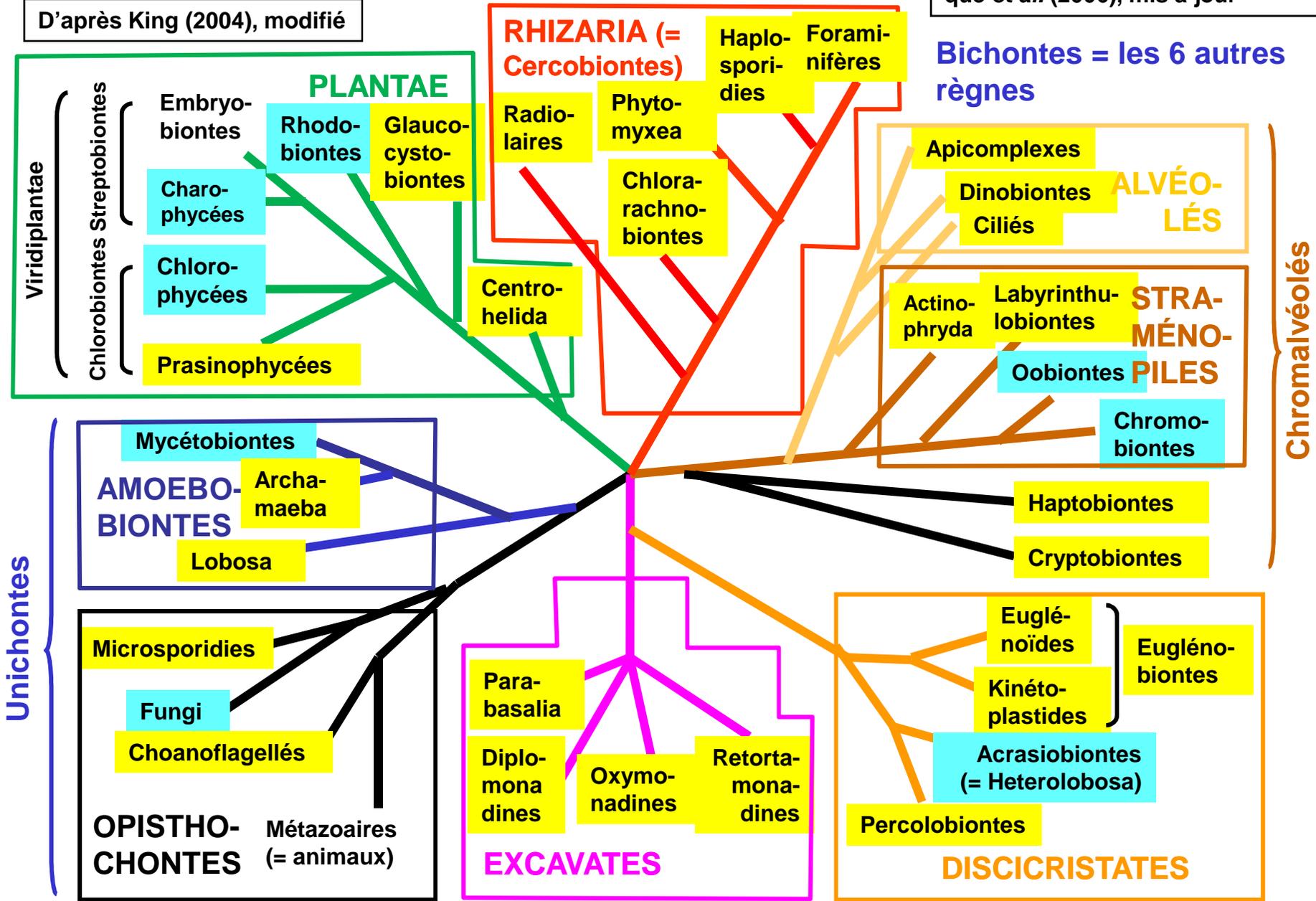
Chromalvéolés

- Unicellulaires
- Unicellulaires et pluricellulaires

Eucaryotes

Arbre d'après Baldauf (2003), simplifié et mis à jour, et Boudouresque et al. (2006), mis à jour

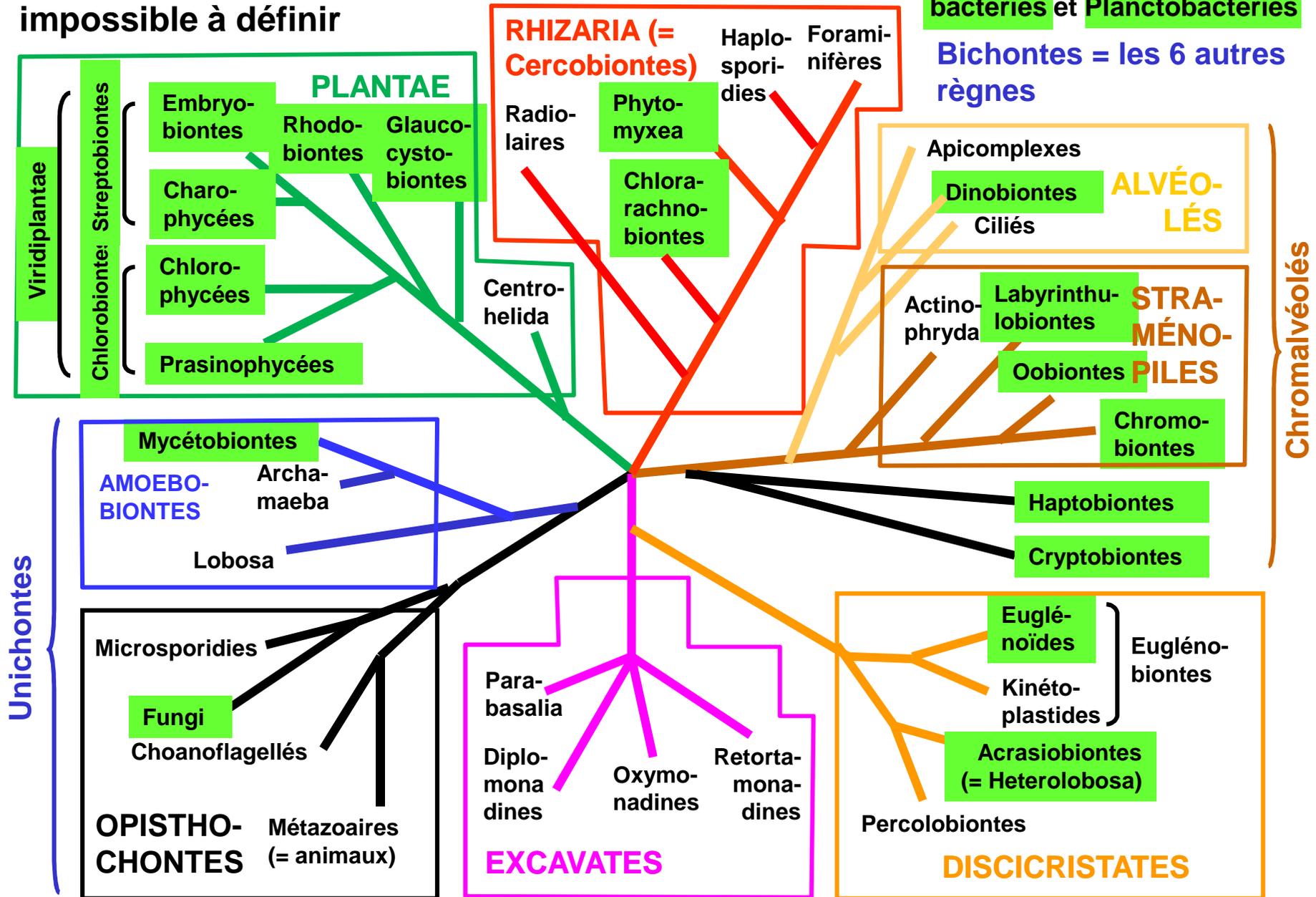
D'après King (2004), modifié



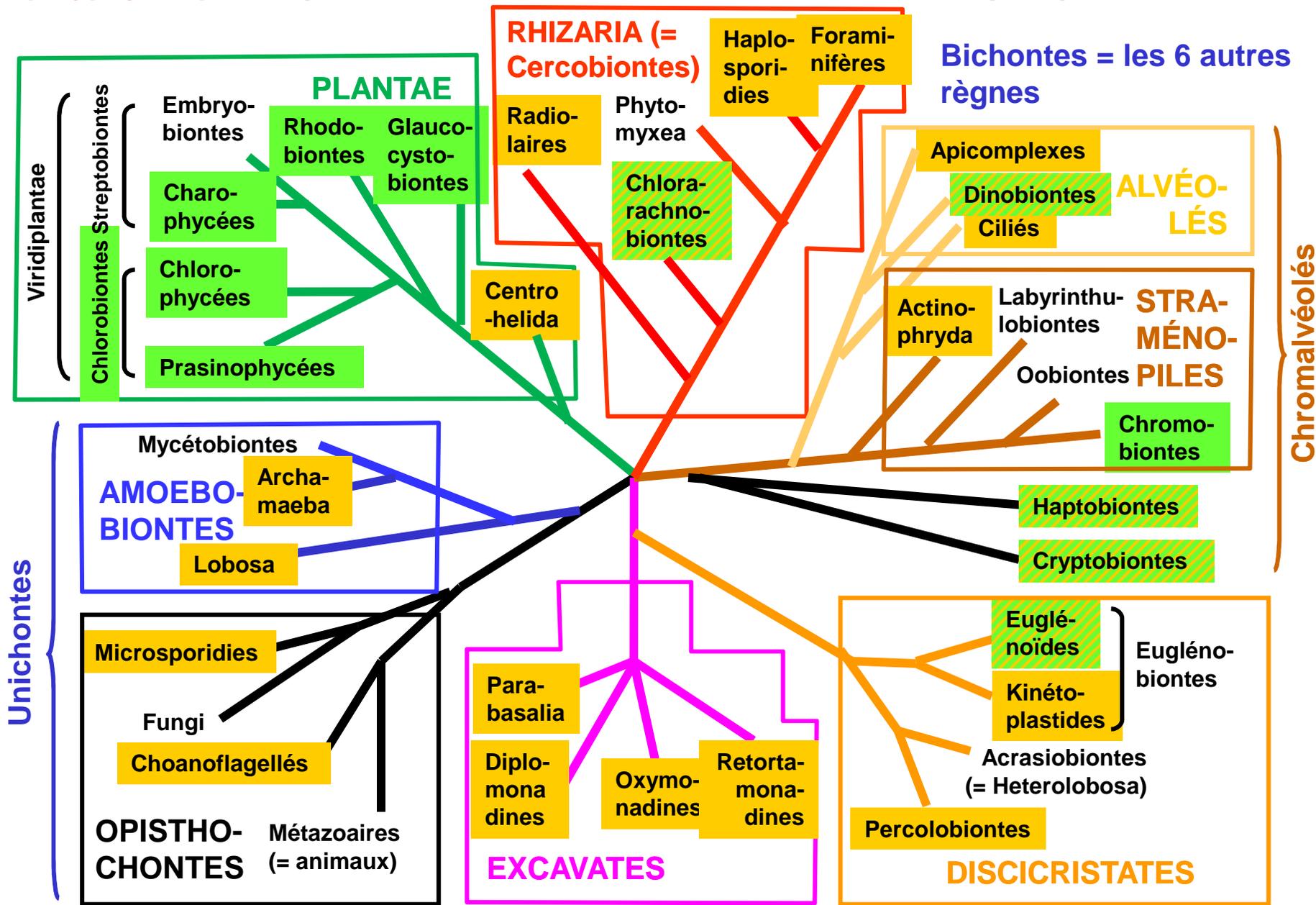
Ce que la tradition a nommé 'végétaux' : un ensemble **polyphylétique** impossible à définir

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

Bichontes = les 6 autres règnes

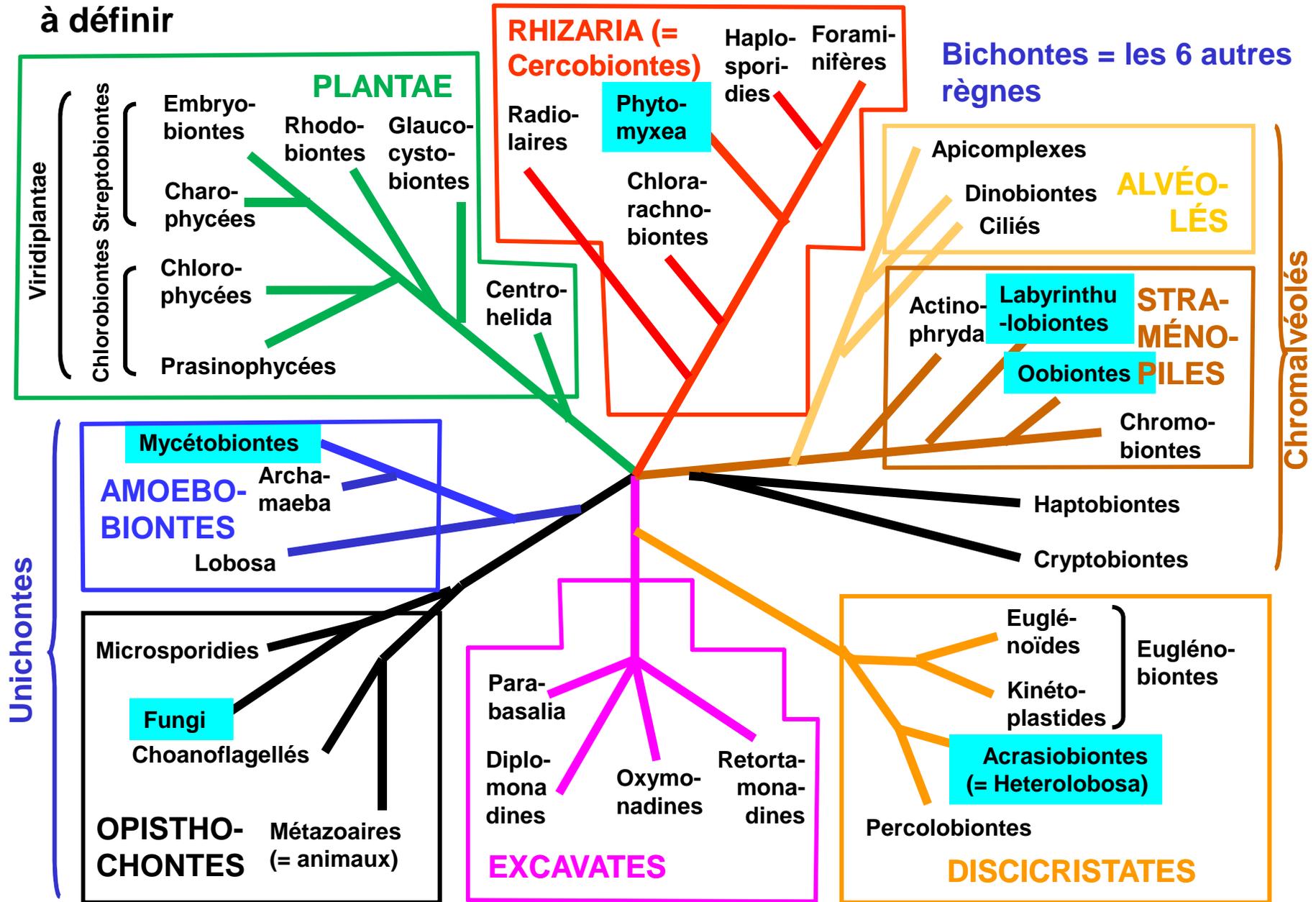


Ce que la tradition a nommé "algues" (vert) et "protozoaires" (ocre) : des ensembles **polyphylétiques** impossibles à définir. Hachures = taxons revendiqués par les deux



Les "champignons" ? Un ensemble **polyphylétique** impossible à définir

Il y manque des Bactéries : **Actinobactéries** et **Planctobactéries**



7. L'arbre du vivant

Plus de parenté entre un
Métazoaire et un Fungi



"champignon"

Métazoaire (Opisthokontes)

Fungi (Opisthokontes)

qu'entre un
chlorobionte et un
Fungi ...



Chlorobionte ("algue
verte") (Plantae)

Fungi (Opisthokontes)

ou qu'entre un
Chlorobionte et un
Chromobionte



Chlorobionte ("algue
verte") (Plantae)

Chromobionte ("algue brune")
(straménopiles)

Des convergences évolutives

Viridiplantae (règne des Plantae)



Appareil conducteur :
tubes criblés et
vaisseaux. Voies
séparées



Plantes à
fleurs



Filicophyte
(‘fougères’)



Bryophyte
(‘mousses’)



Ulva
(‘algue verte’)



Chlamydomonas
(‘algue verte’)

A partir de
matériaux
complètement
différents en-
tre règnes :
cytologie, bio-
chimie, etc.

Chromobiontes (règne des Straménopiles) (‘algues brunes’)



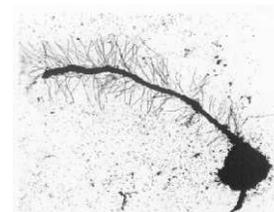
Fucus



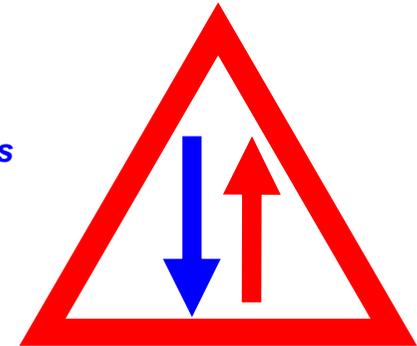
Laminaire



Ectocarpus



Picophagus



Appareil conducteur :
tubes criblés. Voies
non
séparées

Ancêtre com-
mun des
Plantae et
Straménopi-
les : aussi
(plus ?) ancien
que celui de
l’Homme et du
platane ?

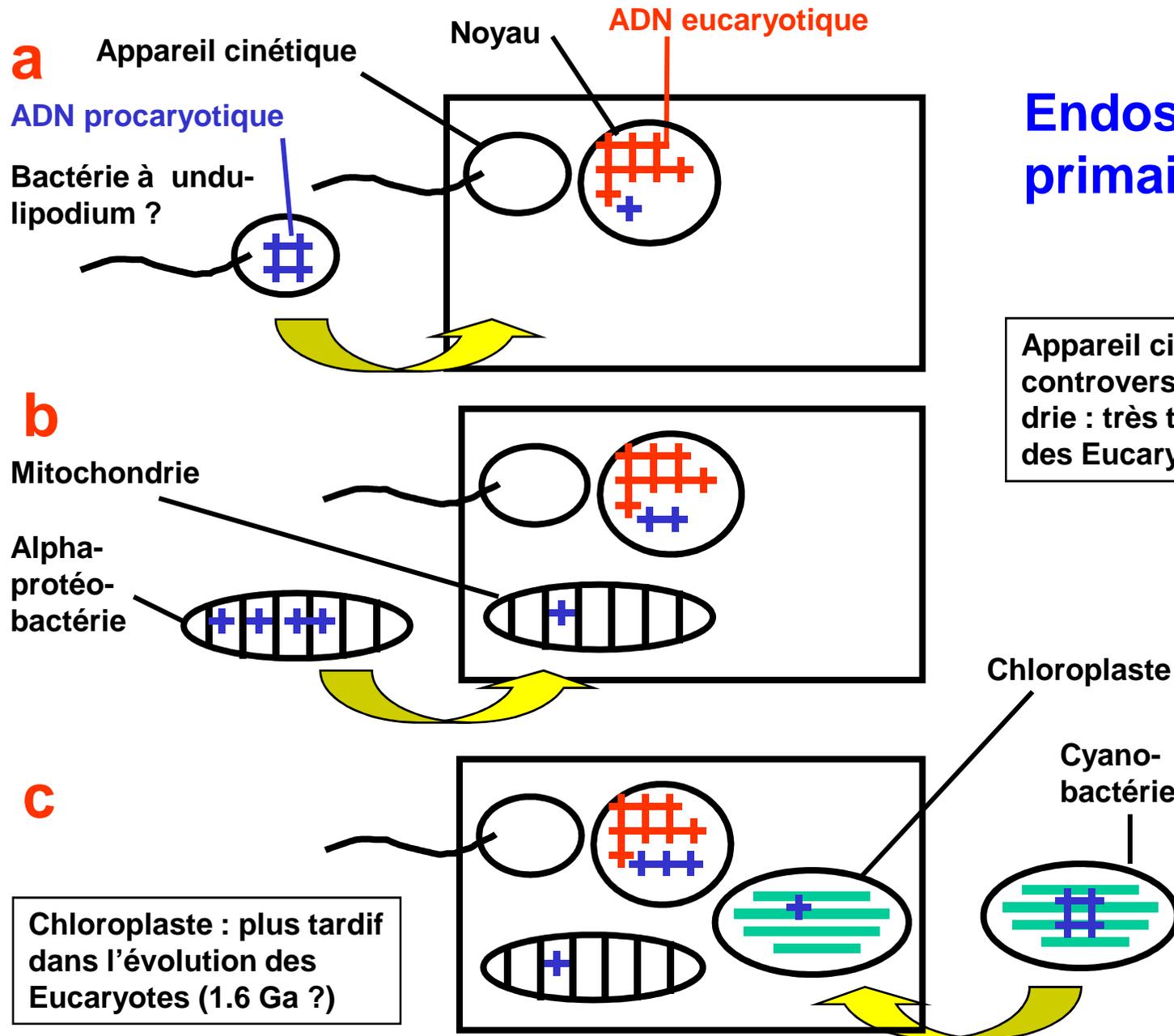
Classification des animaux (d'après une encyclopédie chinoise)



Dans quelques années, la classification issue de Linné semblera aussi étrange

1	Les animaux qui appartiennent à l'empereur
2	Les animaux embaumés
3	Les animaux apprivoisés
4	Les cochons de lait
5	Les sirènes
6	Les animaux fabuleux
7	Les chiens perdus
8	Les animaux enragés
9	Les animaux que l'on ne peut pas dénombrer
10	Etcétera
11	Les animaux dessinés avec un pinceau très fin

8. L'affaire du vol de chloroplaste

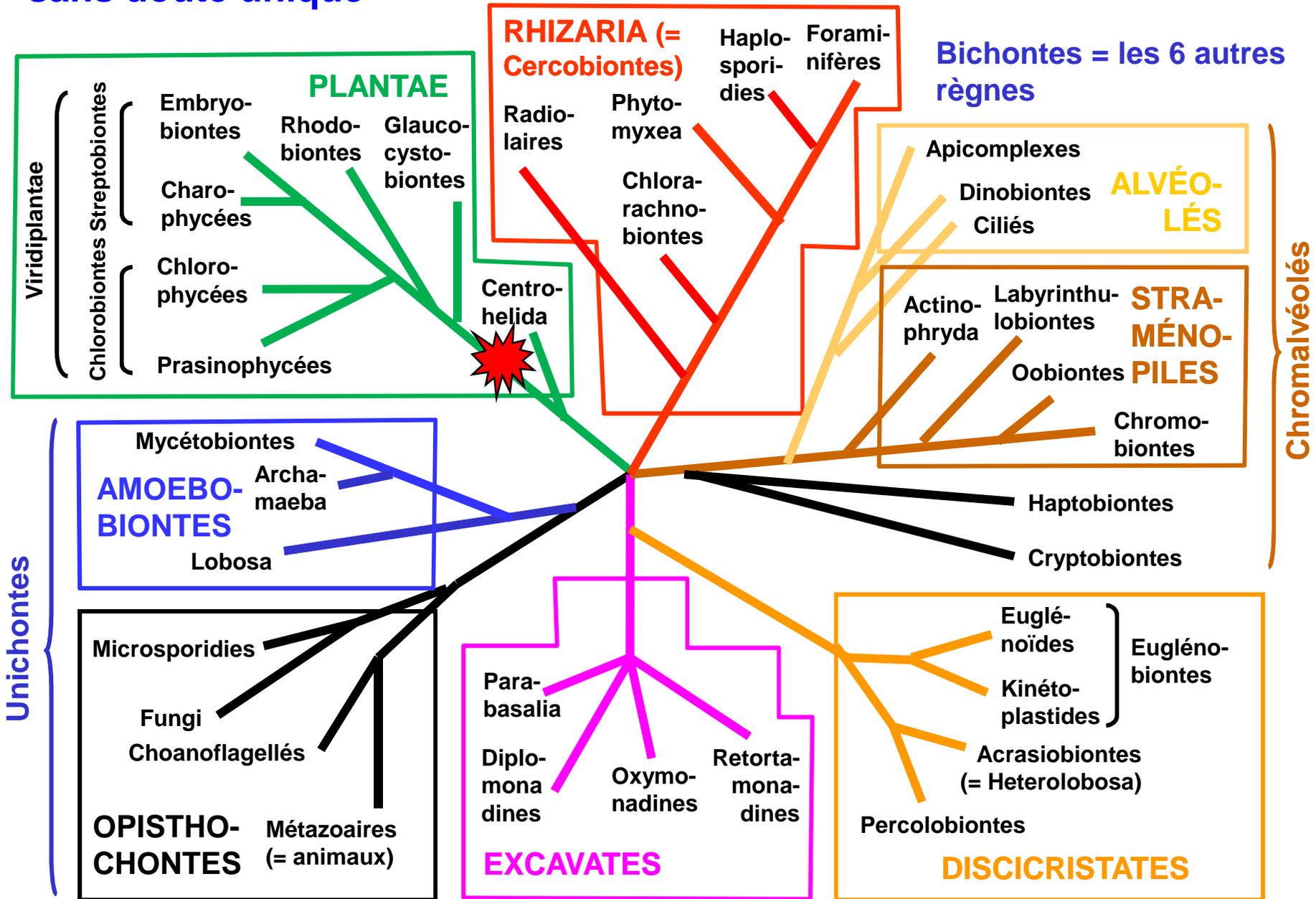


Endosymbioses primaires

Appareil cinétique (hypothèse controversée) et mitochondrie : très tôt dans l'évolution des Eucaryotes (2.5-2.7 Ga ?)

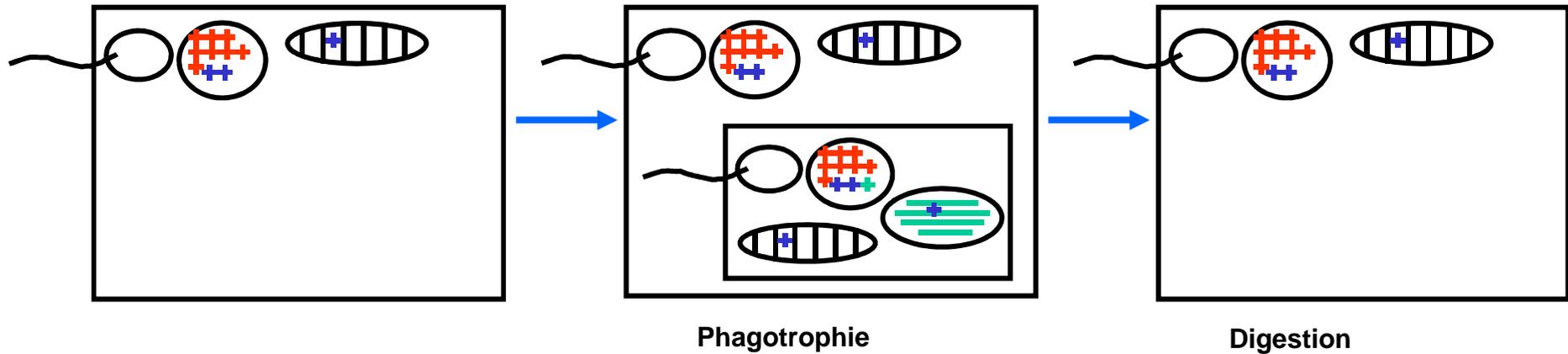
Chloroplaste : plus tardif dans l'évolution des Eucaryotes (1.6 Ga ?)

L'évènement fondateur de la photosynthèse chez les Eucaryotes : sans doute unique

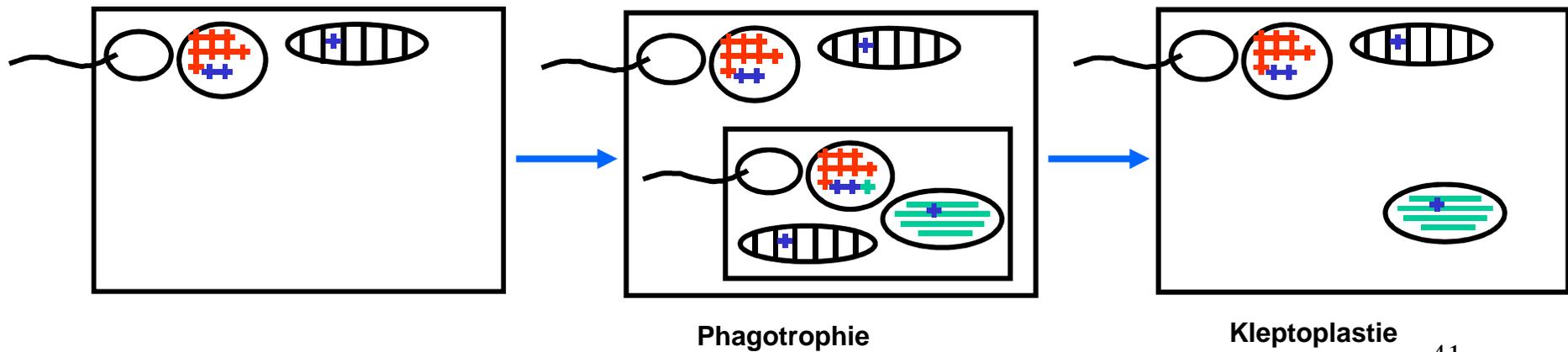


Le mécanisme des endosymbioses secondaires et tertiaires

a Eucaryote non photosynthétique

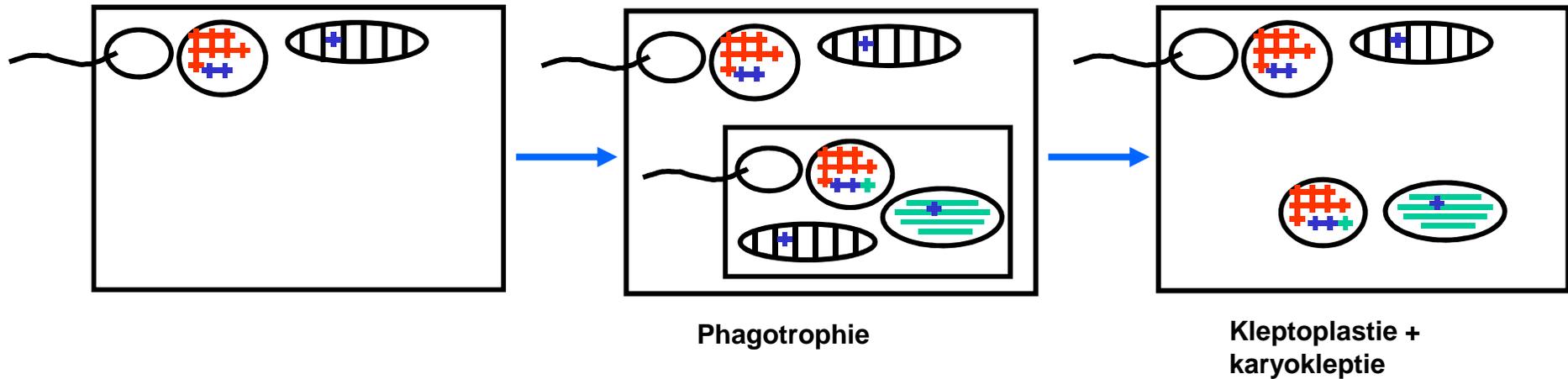


b Eucaryote non photosynthétique

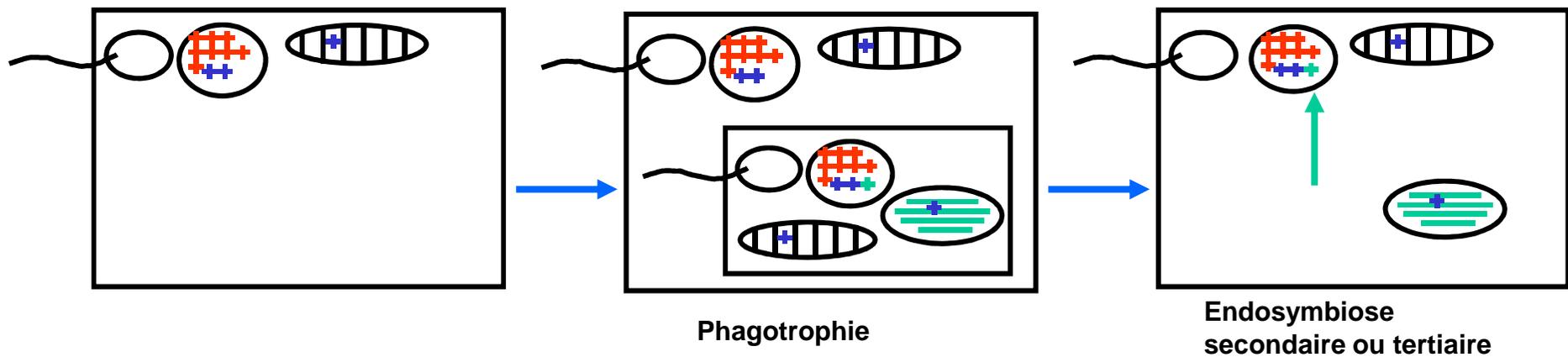


Le mécanisme des endosymbioses secondaires et tertiaires

c Eucaryote non photosynthétique

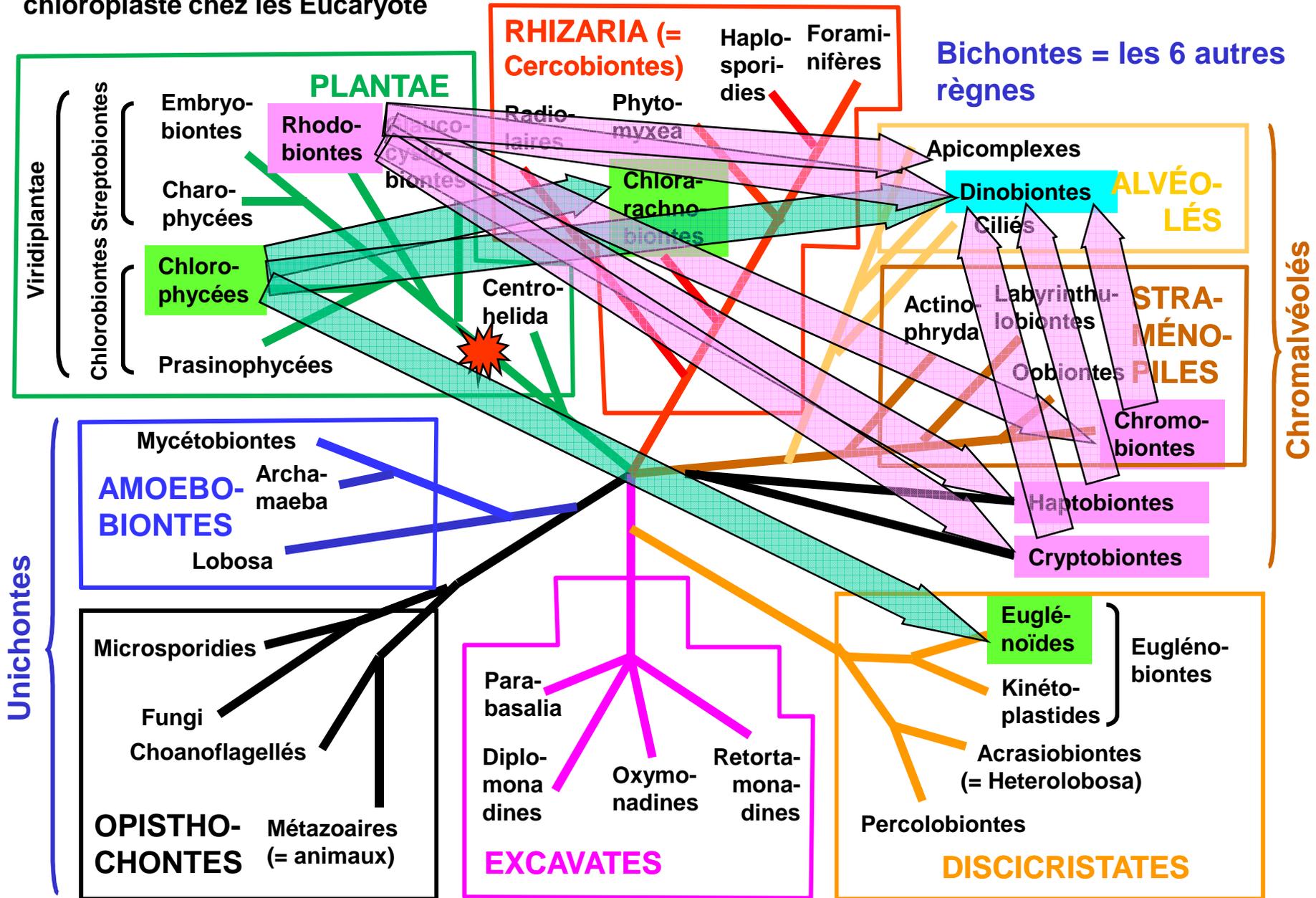


d Eucaryote non photosynthétique

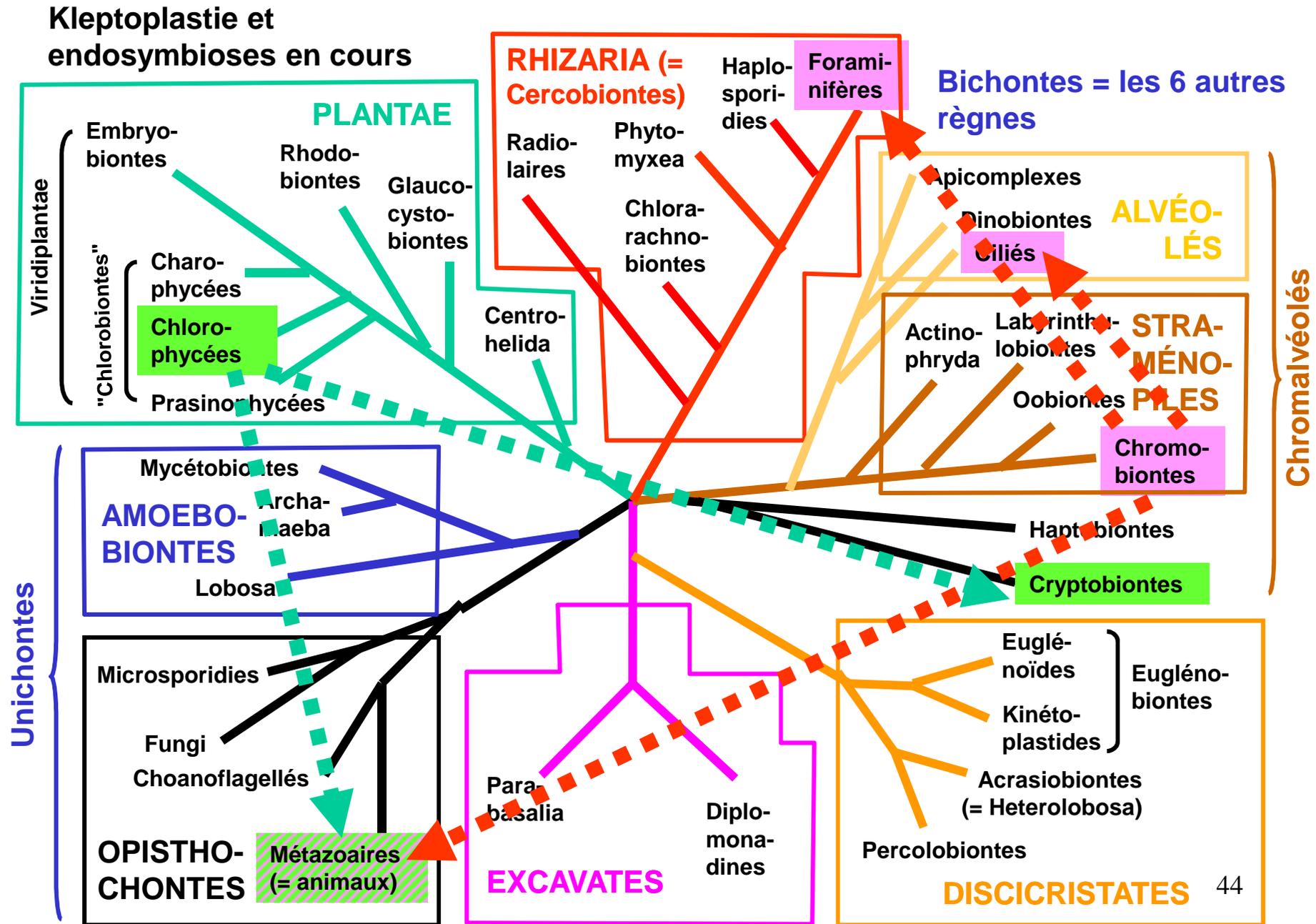


Etoile **rouge** : endosymbiose primaire à l'origine du chloroplaste chez les Eucaryote

Endosymbioses secondaires et tertiaires. En **vert**, la 'voie verte', en **rose** la 'voie rouge'. En bleu : acquisition par les deux voies



8. L'affaire du vol de chloroplaste



Endosymbiose en cours

*Vaucheria
litorea*
(Chromobiontes,
Straméno-
piles)

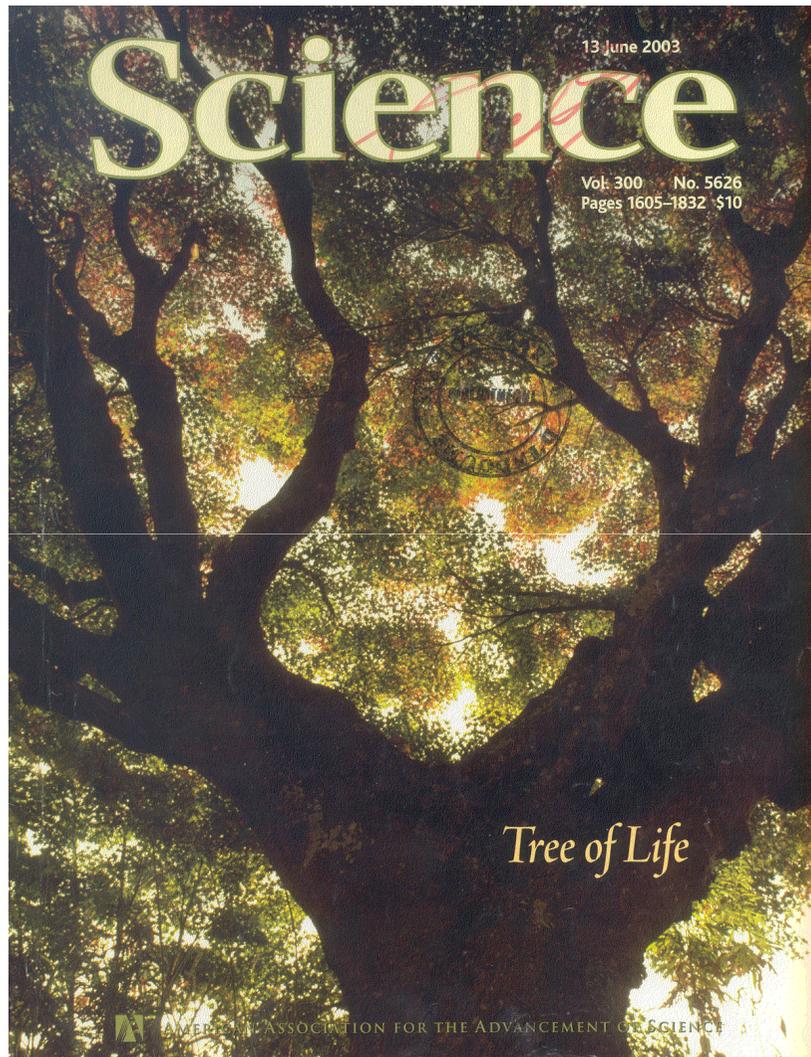


Elysia chlorotica (Mollusques,
Métazoaires)

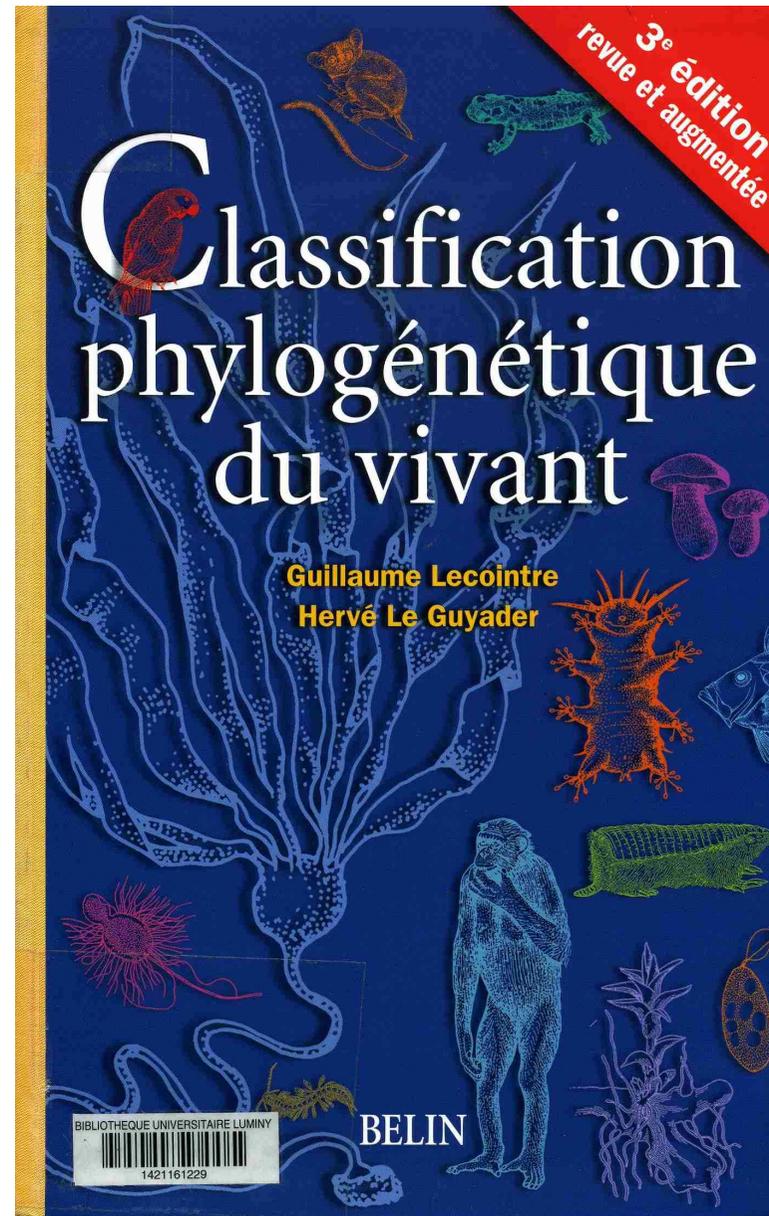
- Chloroplastes : obligatoires pour *Elysia*
- 2 gènes nucléaires de *Vaucheria* (impliqués dans la photosynthèse) sont présents dans le génome de *Elysia* (HGT)
- Mais il manque encore à *Elysia* de très nombreux gènes

Jared Worful in
Pennisi (2006)

Pour en savoir plus :



Vol. 300, 13 juin 2003 : 1605-1832



Lecointre et Le Guyader, 2006

