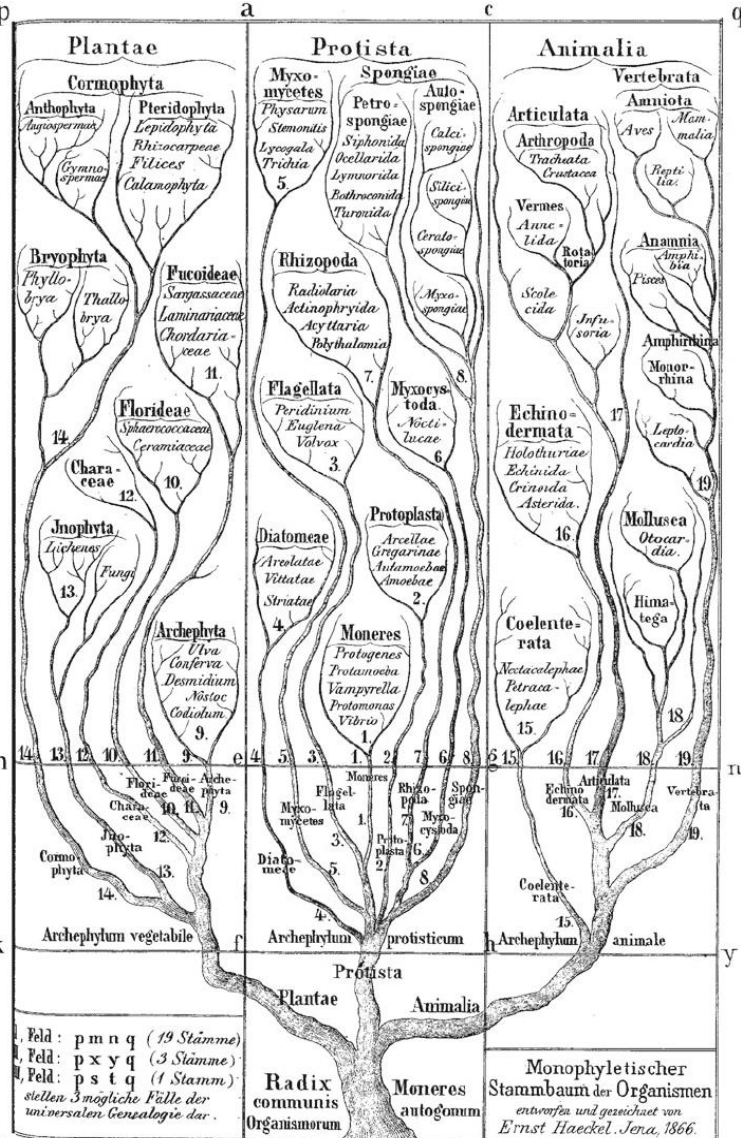


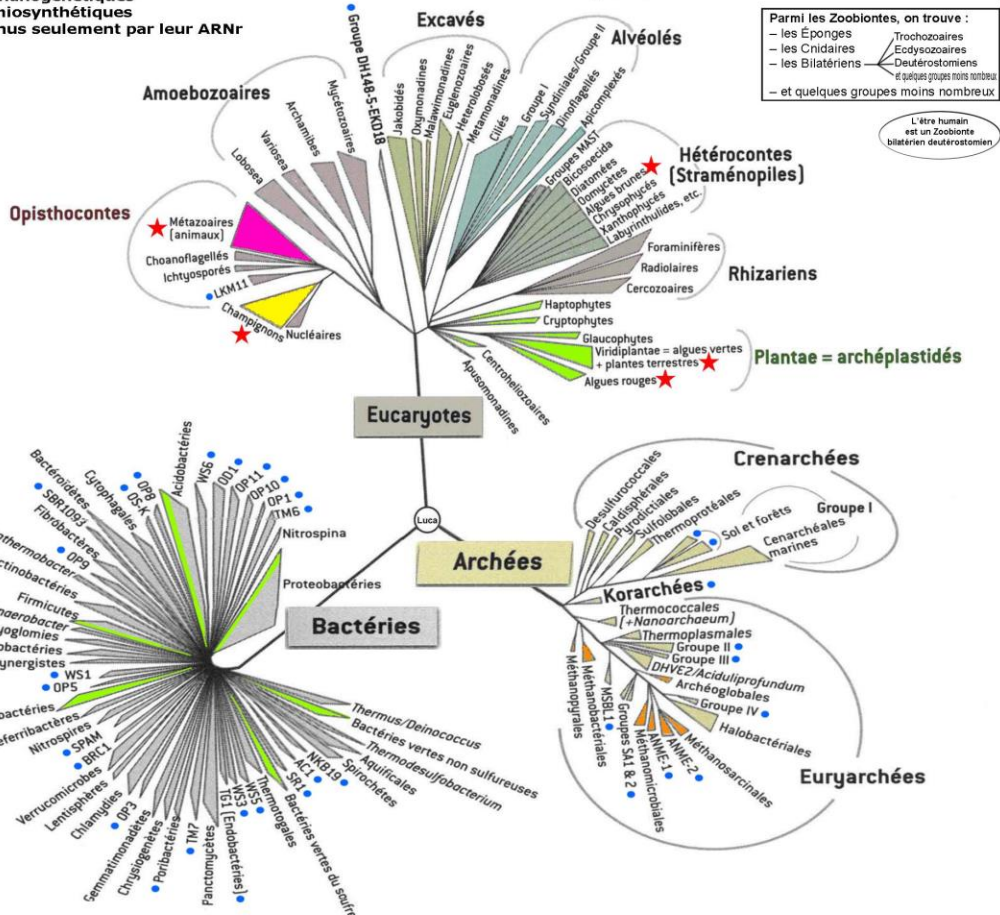
SV – K – 2.2 Analyser des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs



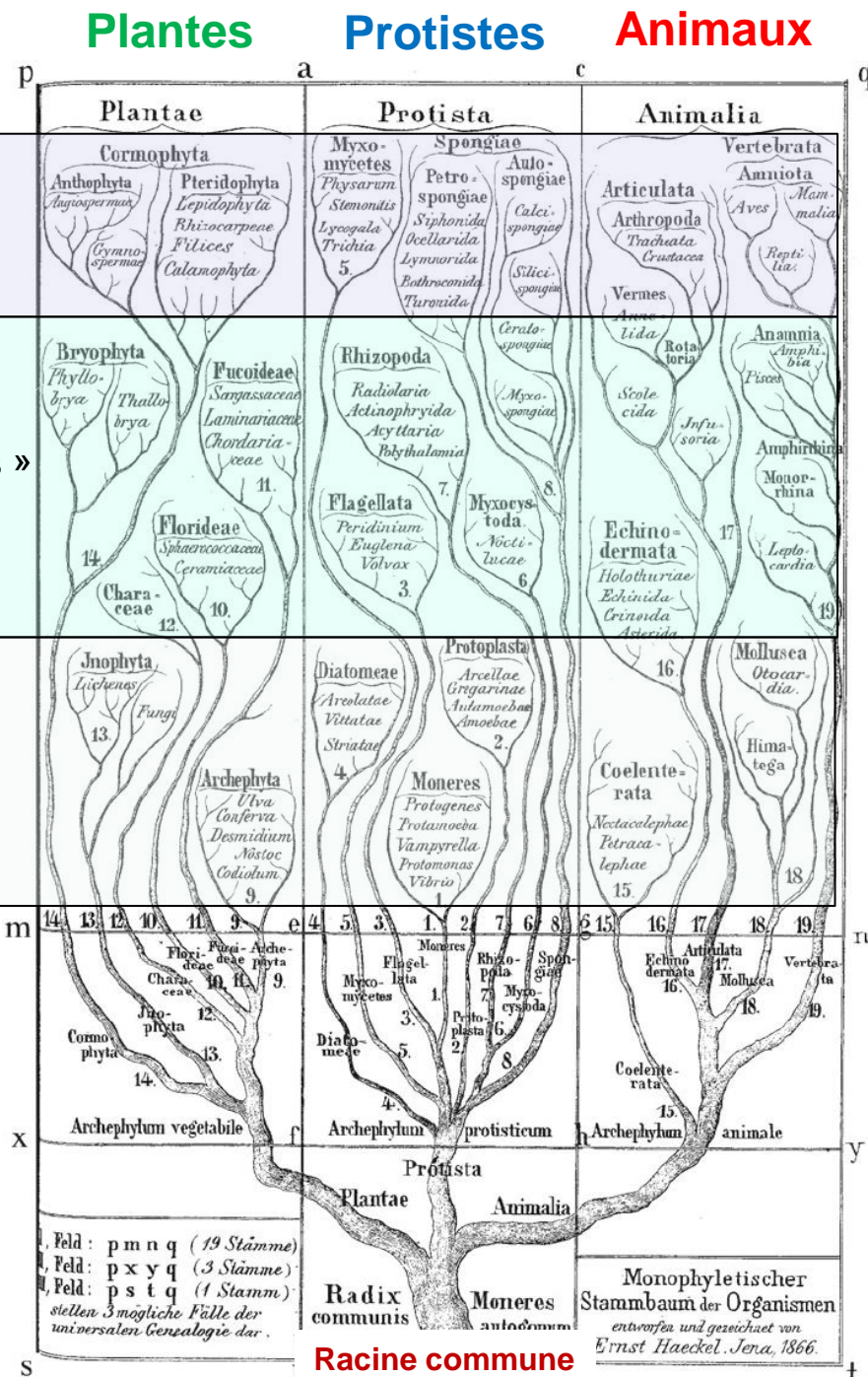
CLASSIFICATION PHYLOGÉNÉTIQUE DU VIVANT
D'après H. Le Guyader, G. Lecointre, P. Lopez-Garcia

- = photosynthétiques
- = méthanogénétiques
- = chimiosynthétiques
- = connus seulement par leur ARNr

- Eucaryotes pluricellulaires : ★**
- = Zoobiontes (Animaux)
 - = Mycètes (Champignons et Myxomycètes)
 - = Chlorobiontes (Végétaux)

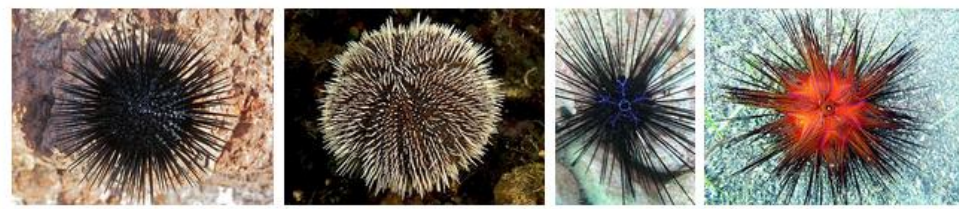


Arbre phylogénétique d'Ernst Haeckel (1866)



Feld : p m n q (19 Stämme)
 Feld : p x y q (3 Stämme)
 Feld : p s t q (1 Stamm)
 stellen 3 mögliche Fälle der
 universalen Genealogie dar .

Etablissement d'un phénogramme pour les oursins



Oursin noir
(*Arbacia lixula*).

Oursin blanc
(*Tripneustes ventricosus*).

Oursin-diadème de Savigny
(*Diadema savignyi*).

Oursin rouge
(*Astropyga radiata*).

Etude de caractères morphologiques :

- Symétrie** : a = pentaradiée, b = bilatérale
- Forme générale** : a = ovoïde, b = plat
- Forme particulière** : a = en forme de cœur, b = non
- Position de l'anus** : a = au centre de la face aborale, b = ailleurs
- Nombre de gonopores** : a = 4, b = 5
- Plaques ambulacraires** : a = simples, libres, b = soudées
- Morphologie des plaques inter-ambulacraires** : a = un seul, b = plusieurs non identiques, c = plusieurs identiques
- Morphologies des piquants** : a = longs et épais, b = courts et fins
- Aires ambulacraires de la face orale** : a = forme pétaoloïde, b = non
- Rôles respiratoire des podia de la face orale** : a = oui, b = non
- Fascioles sur le test** : a = présents, b = absents
- Lanterne d'Aristote** : a = présente, b = absente



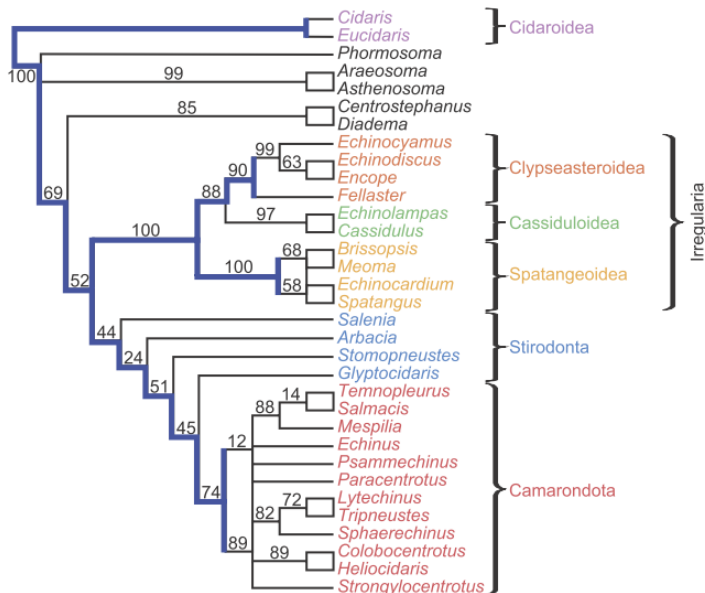
Oursin de feu
(*Asthenosoma varium*).



Oursin fleur
(*Toxopneustes pileolus*).



Oursin rouge géant
(*Strongylocentrotus franciscanus*).



Oursin crayon
(*Heterocentrotus mammillatus*).



Oursin baguette
(*Phyllacanthus imperialis*).



Oursin-lance
(*Eucidaris tribuloides*).



Oursin tortue
(*Colobocentrotus atratus*).



Oursin cœur
(*Spatangus purpureus*).



Oursin plat, ou « dollar des sables »
(*Mellita longifissa*).

Exemple de phénogramme construit avec Génigen2

Fichier Edition Actions Affichage Options © P.Cosentino / P.Pillot, v2.07 (infos RGPD)

Séquences chargées similaires différentes

5

<input checked="" type="checkbox"/>	OPS Pan paniscus	Arg	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
<input checked="" type="checkbox"/>	OPS Pan troglodytes	Arg	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
<input checked="" type="checkbox"/>	OPS Gorilla	Arg	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
<input checked="" type="checkbox"/>	OPS Macaca	Arg	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
<input checked="" type="checkbox"/>	OPS Alouatta	Ser	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
<input checked="" type="checkbox"/>	OPS Saimiri	Ser	Lys	Met	Pro	Glu	Glu
<input checked="" type="checkbox"/>	OPS Cebus	Ser	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
<input checked="" type="checkbox"/>	OPS Homo sapiens	Arg	Lys	Met	Ser	Glu	Glu

Séquences alignées

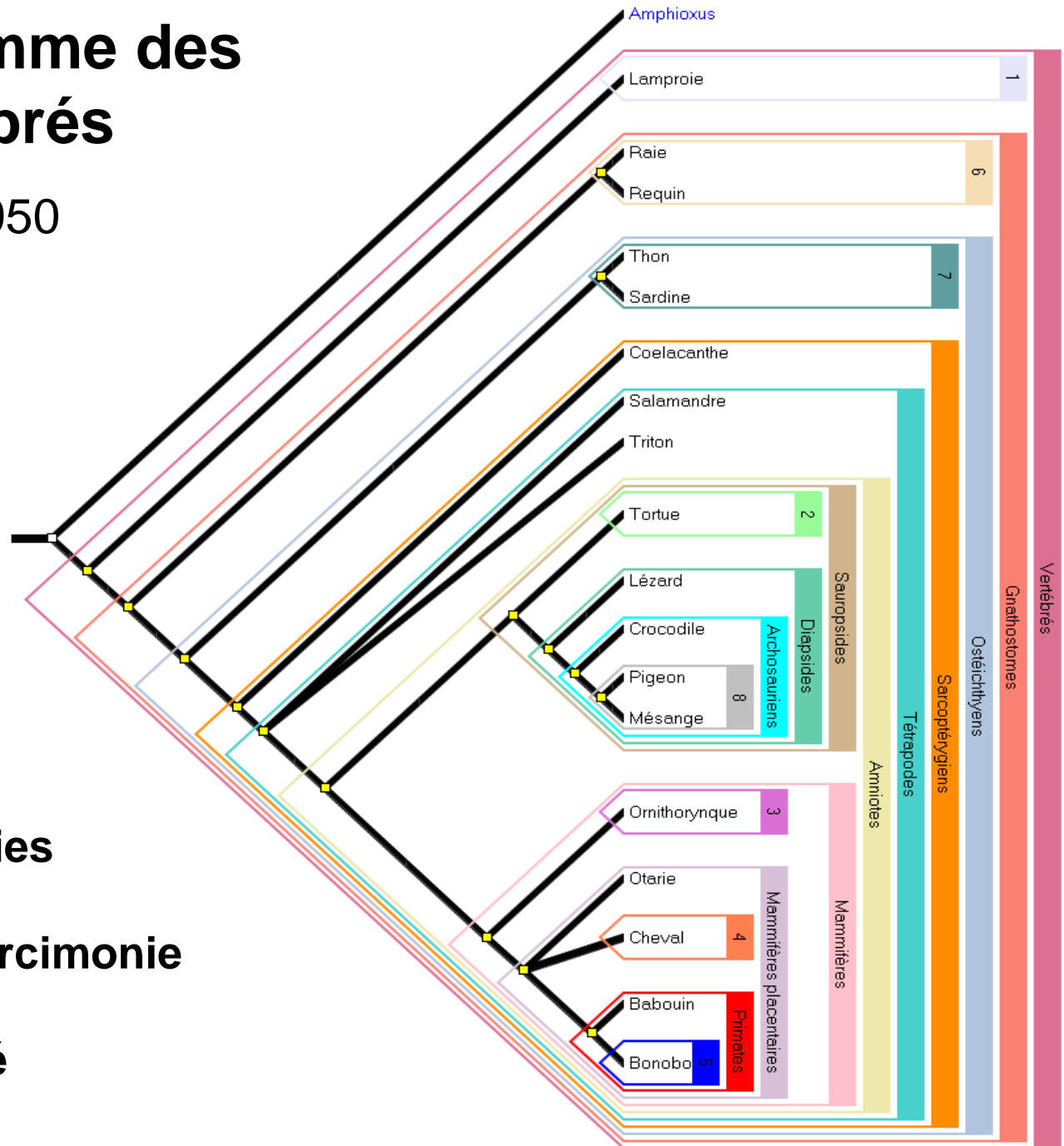
5

OPS Pan paniscus	Arg	Lys	Met	-	Ser	Glu
OPS Pan troglodytes	Arg	Lys	Met	-	Ser	Glu
OPS Gorilla	Arg	Lys	Met	-	Ser	Glu
OPS Macaca	Arg	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
OPS Alouatta	Ser	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
OPS Saimiri	Ser	Lys	Met	Pro	Glu	Glu
OPS Cebus	Ser	Lys	Met	Ser	Glu	Glu
OPS Homo sapiens	Arg	Lys	Met	-	Ser	Glu

Phénogramme

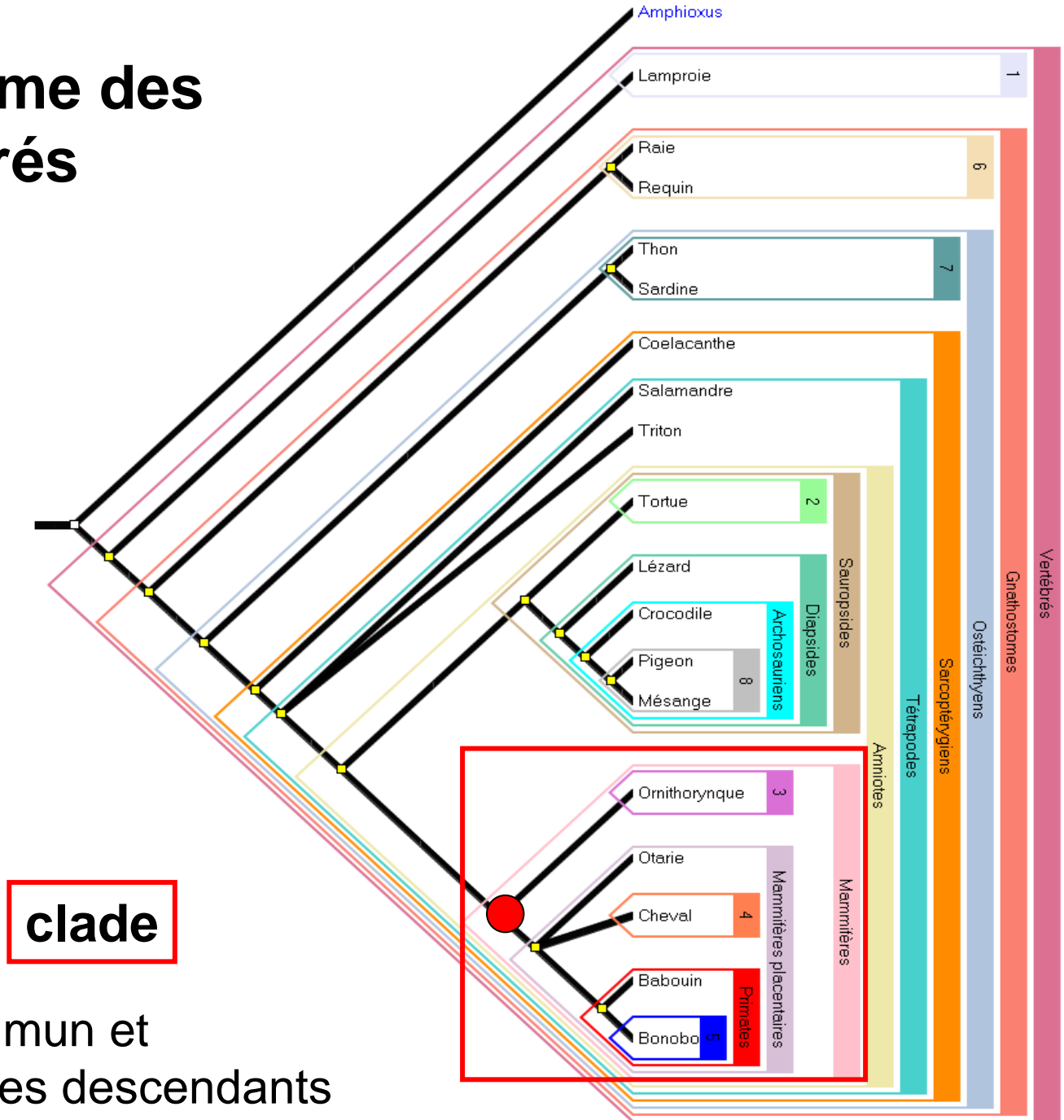
Cladogramme des Vertébrés

Hennig, années 1950
→ Éluclider des relations de parenté entre espèces



- **Synapomorphies**
- **Extragroupe**
- **Principe de parcimonie**
- **Clades**
- **Arbre enraciné**

Cladogramme des Vertébrés

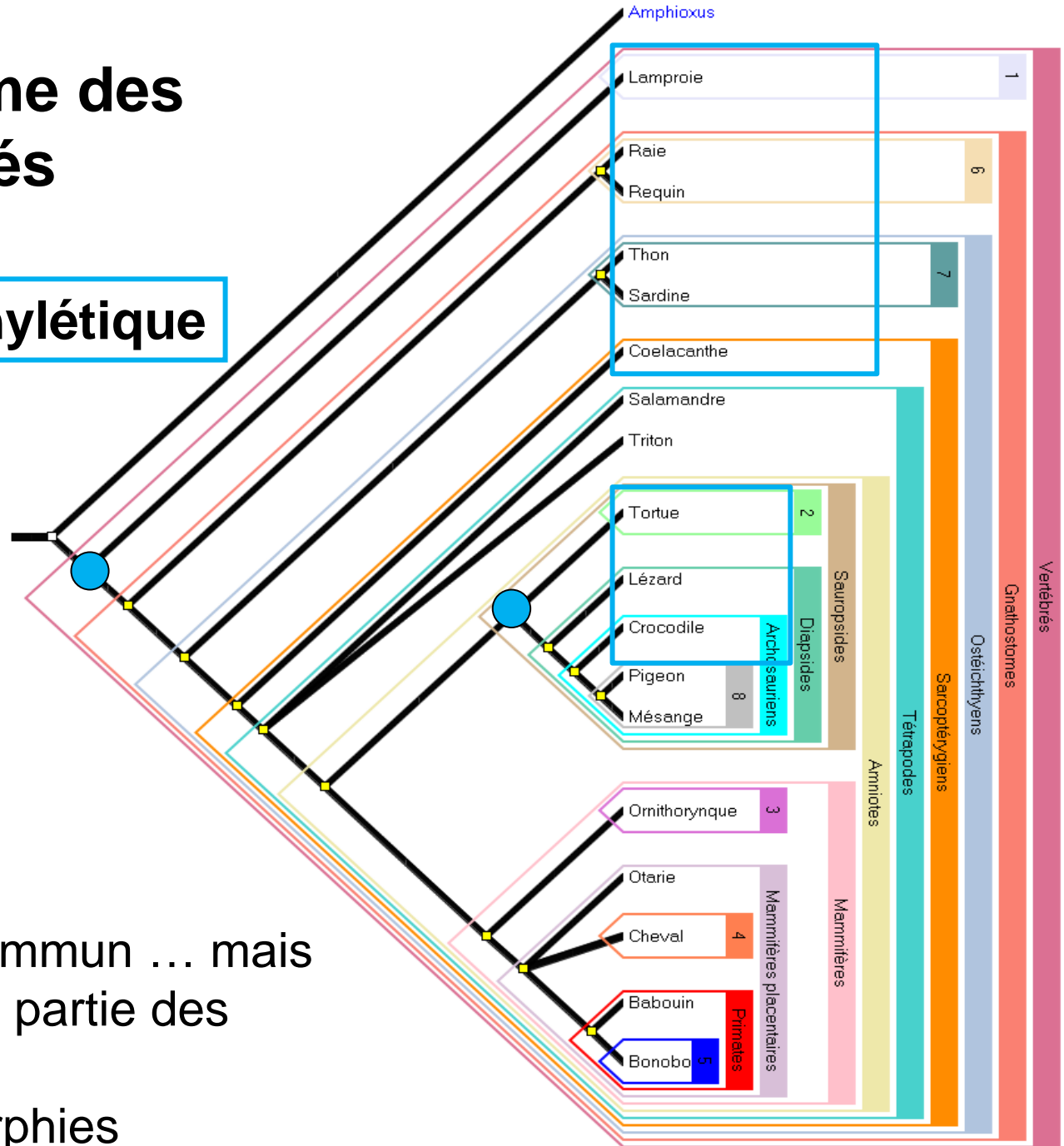


clade

Un ancêtre commun et l'ensemble de ses descendants

Cladogramme des Vertébrés

groupe paraphylétique

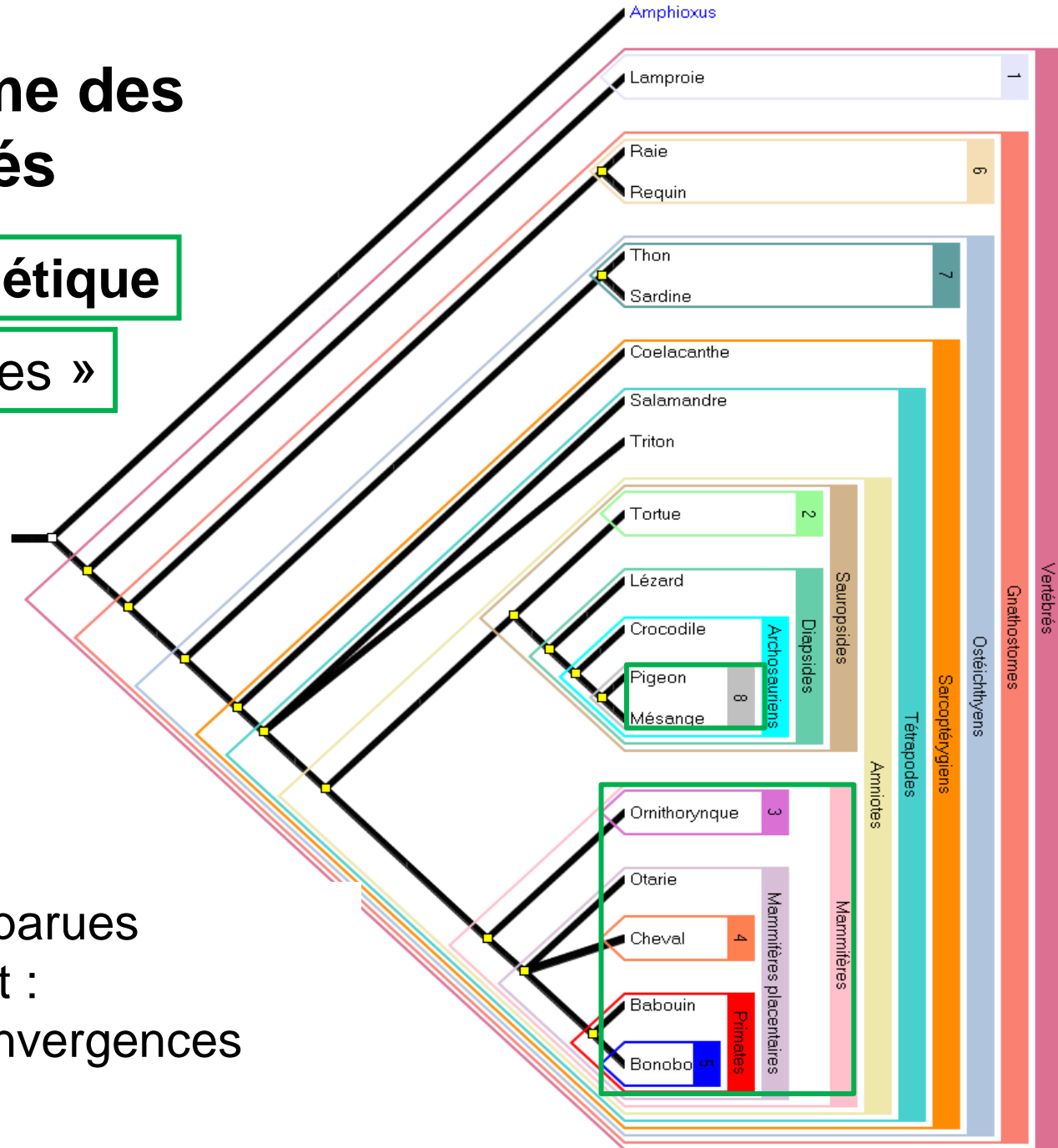


- Un ancêtre commun ... mais il manque une partie des descendants
- Symplesiomorphies

Cladogramme des Vertébrés

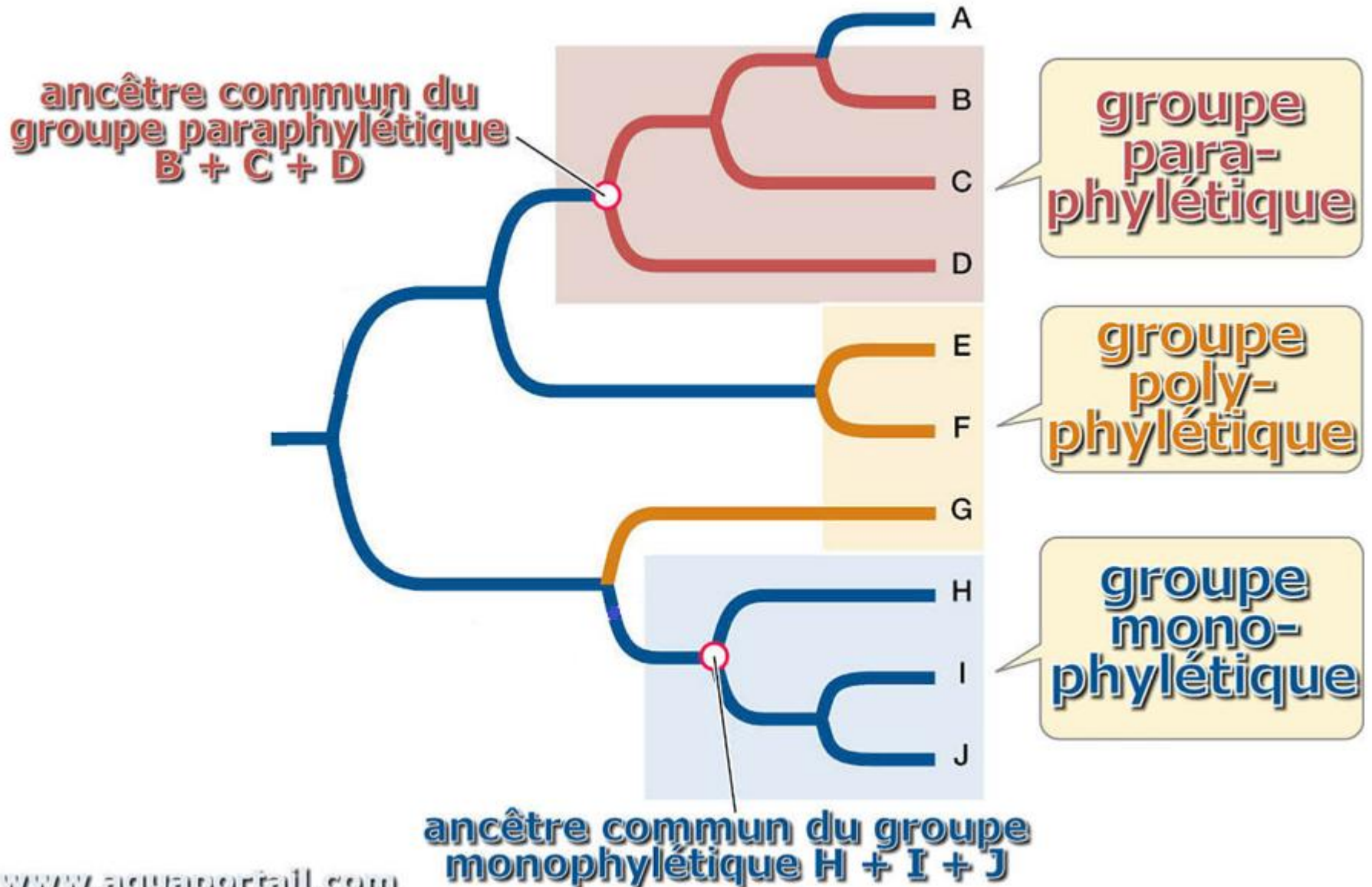
groupe polyphylétique

« homéothermes »

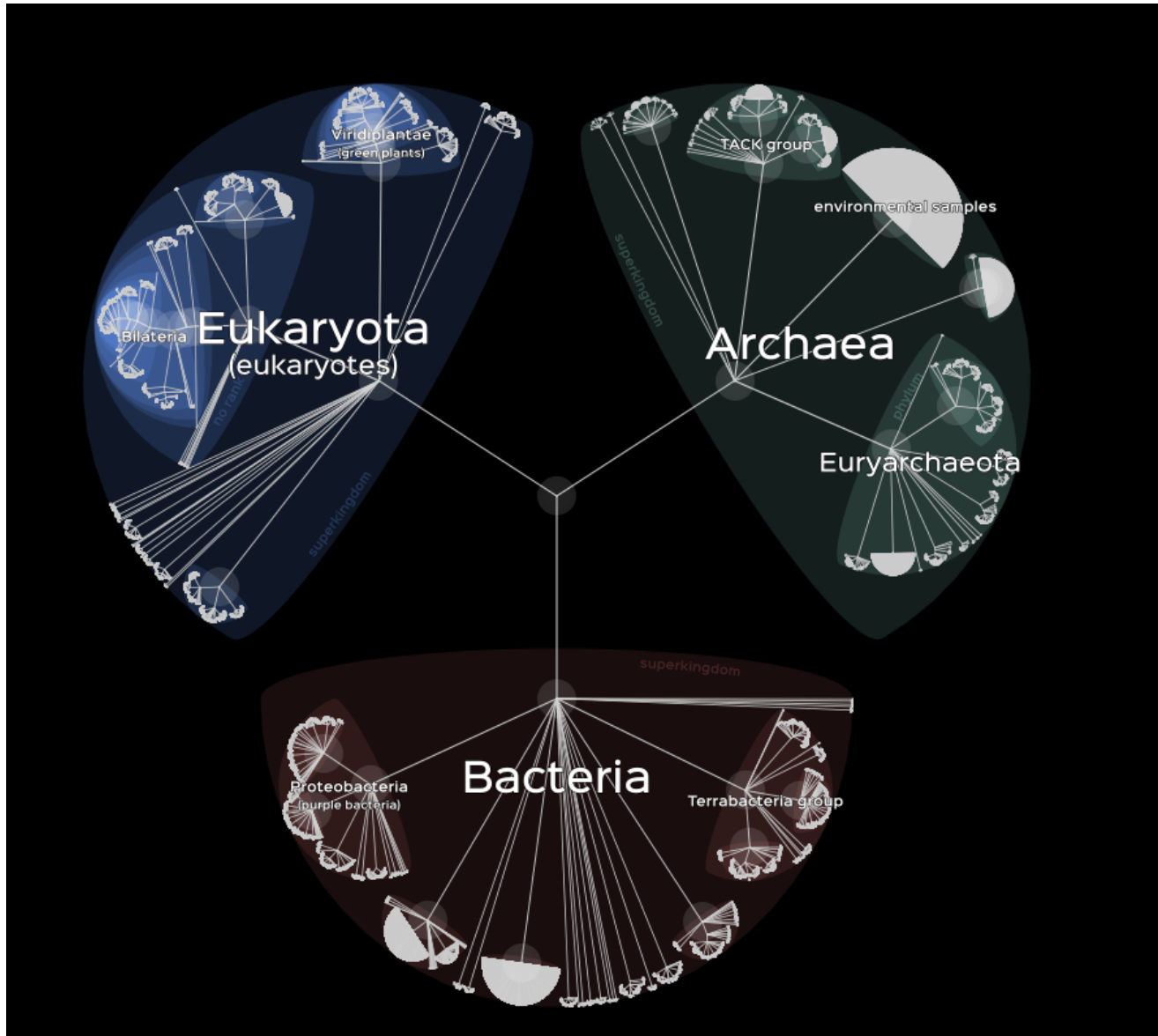


Apomorphies apparues indépendamment : homoplasies (convergences évolutives)

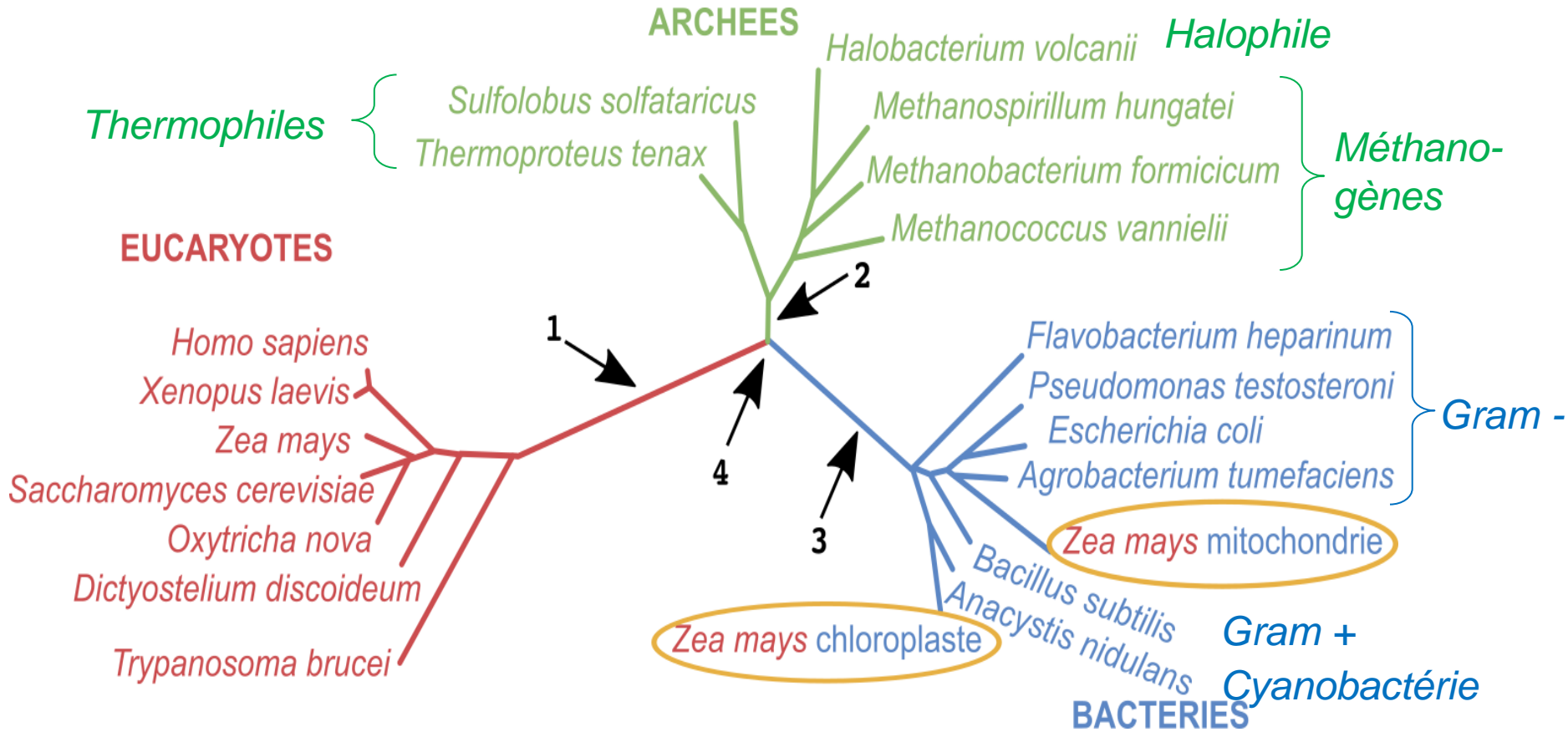
Document 1. Les différents groupes d'espèces.



Arbre moléculaire non raciné du monde vivant

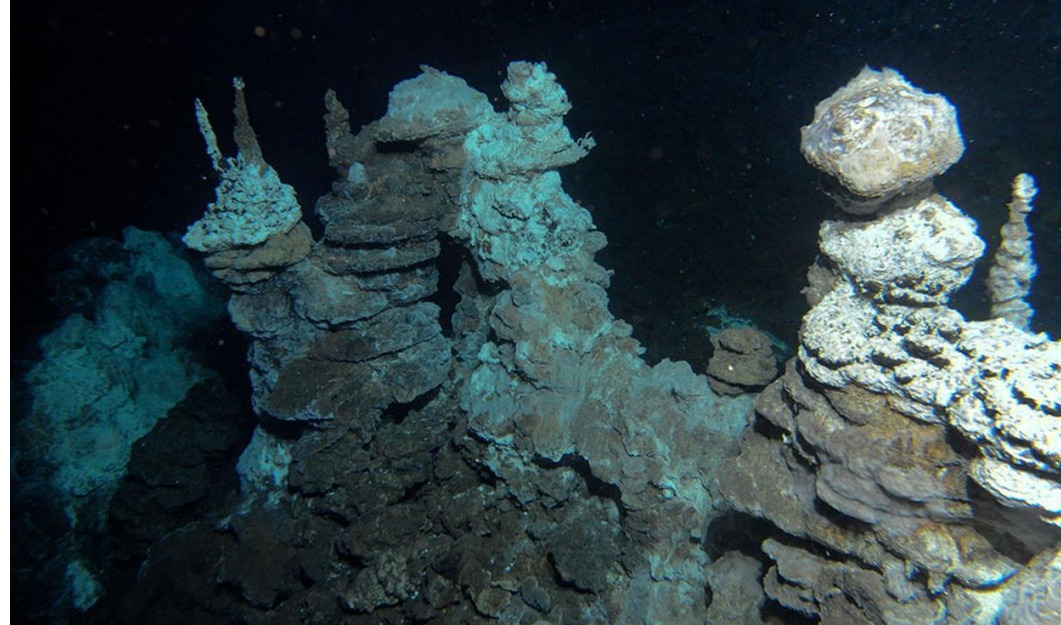


Document 2. Arbre phylogénétique des ARN ribosomiques 16S/18S.

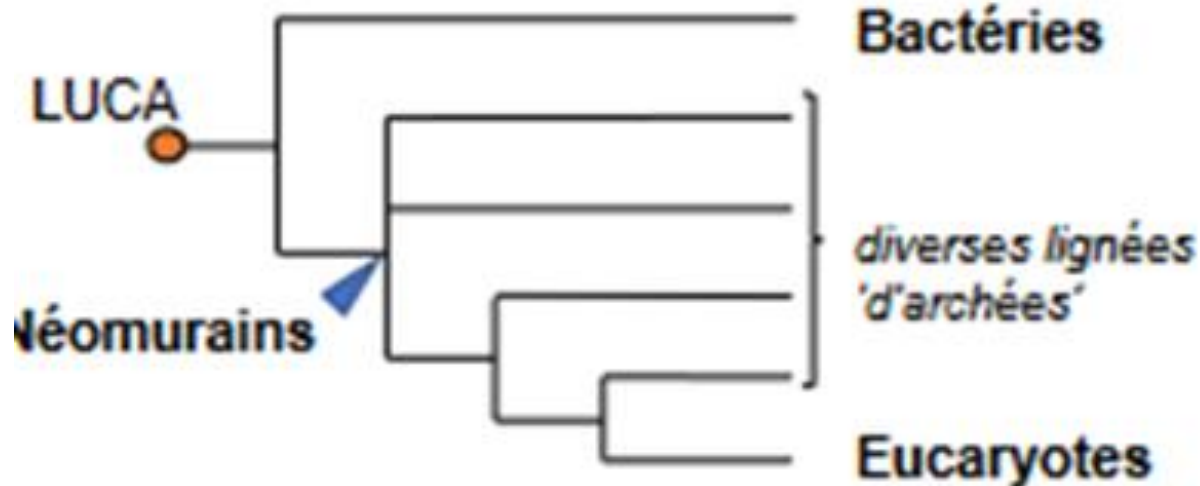


Les flèches indiquent 4 positions possibles pour la racine de l'arbre du vivant

Une autre hypothèse récente : le groupe des Archées serait paraphylétique



*Last Universal
Common Ancestor*
- 3,3 à - 3,8 Ga ?



Le génome de Lokiarcheon a été reconstitué à partir d'échantillons de sédiments provenant du château de Loki, une source chaude située à 2 300 mètres de profondeur dans l'Atlantique, entre Groenland et Norvège découvertes en 2015.

Émergence des eucaryotes à partir d'un ancêtre commun avec les archées d'Asgård ?

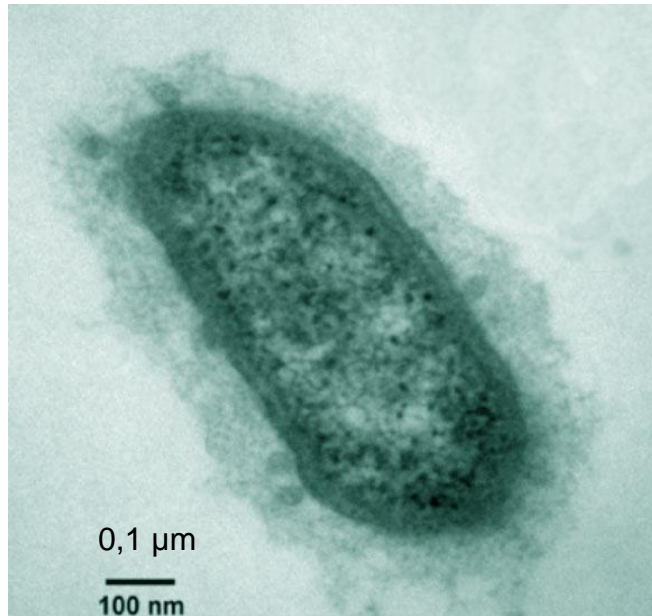
<https://www.pourlascience.fr/sd/evolution/lokiarchaeon-un-chainon-manquant-entre-archees-et-eucaryotes-9347.php>

Comparaison de cellules d'organismes des trois clades

Archées

Bactéries

Eucaryotes



Methanobrevibacter smithii
(MET)
(produit l'essentiel du méthane chez l'hôte humain)



Escherichia coli
(MET)

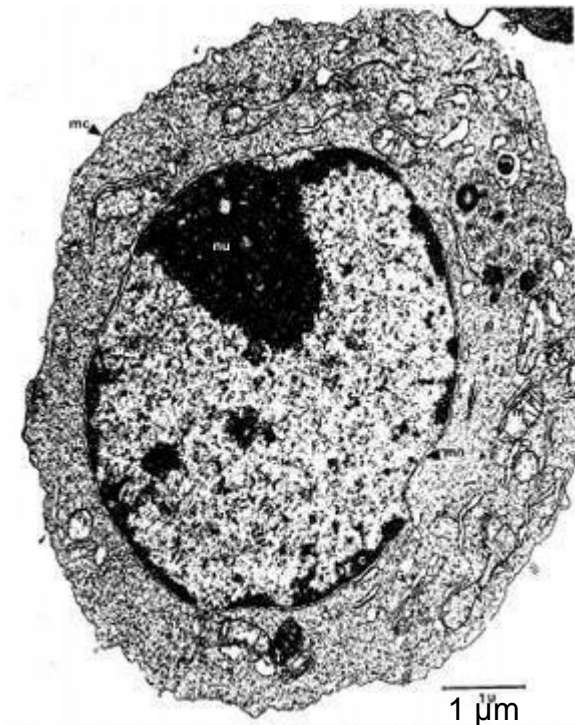


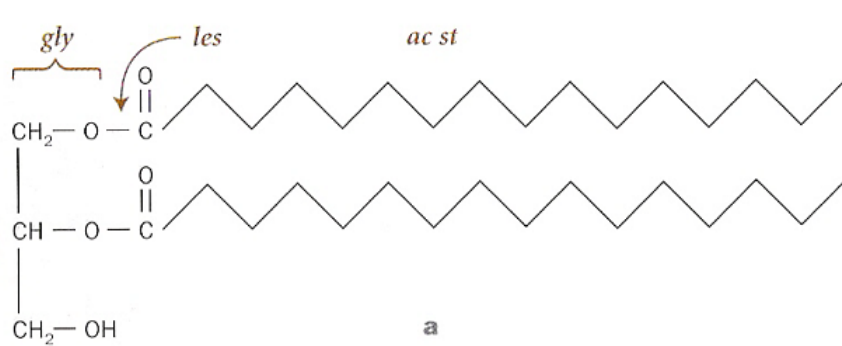
Fig. - Coupe d'une cellule eucaryote, x 25000 (Institut Pasteur de Lille, Laboratoire de microscopie électronique, P. SIVIERI).
mc : membrane cytoplasmique ; mi : mitochondries ; v : vacuole ; l : lysosome ; mn : membrane nucléaire ; nu : nucléole ; r : ribosomes ; N : noyau ; m : mitochondrie ; c : chloroplaste ; re : réticulum endoplasmique ; G : appareil de Golgi.

Cellule de Métazoaire
(MET)

Document 3. Tableau comparatif des trois grands clades du vivant.

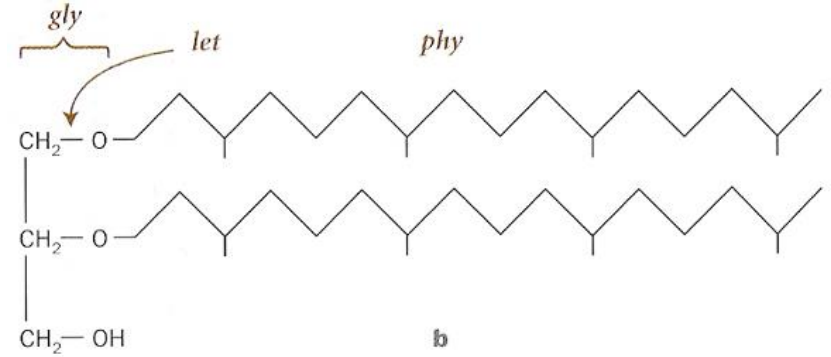
	Bactéries	Archées	Eucaryotes
Enveloppe nucléaire	absente	absente	présente
Endomembranes	rare	absentes	présentes
Peptidoglycane	présent	absent	absent
Lipides membranaires	ester chaînes carbonées linéaires	ether quelques chaînes carbonées ramifiées	ester chaînes carbonées linéaires
ARN polymérase	une	plusieurs	plusieurs
Acide aminé initiateur	formyl-méthionine	méthionine	méthionine
Introns	absents	présents	présents
Histones	absentes	présentes	présentes
Chromosome circulaire	présent	présent	absent
Possibilité de croître au delà de 100°C	non	oui, parfois	non

Particularités biochimiques des Archées : lipides membranaires présentant une liaison éther avec le glycérol



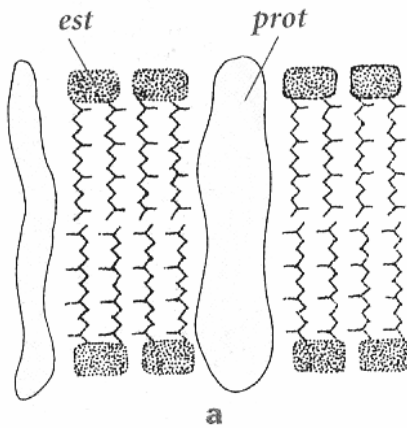
D glycérol

Liaison ester (les)

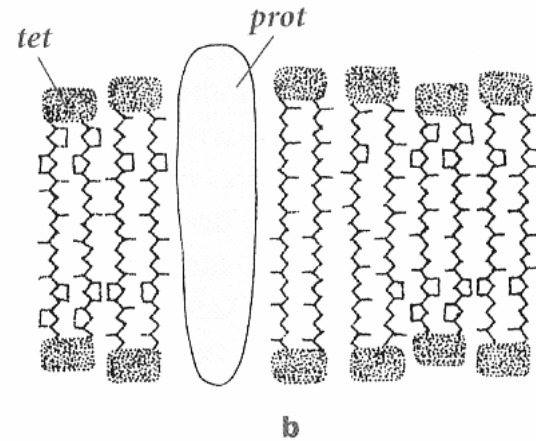


L glycérol

Liaison éther (let)



Eubactéries et Eucaryotes

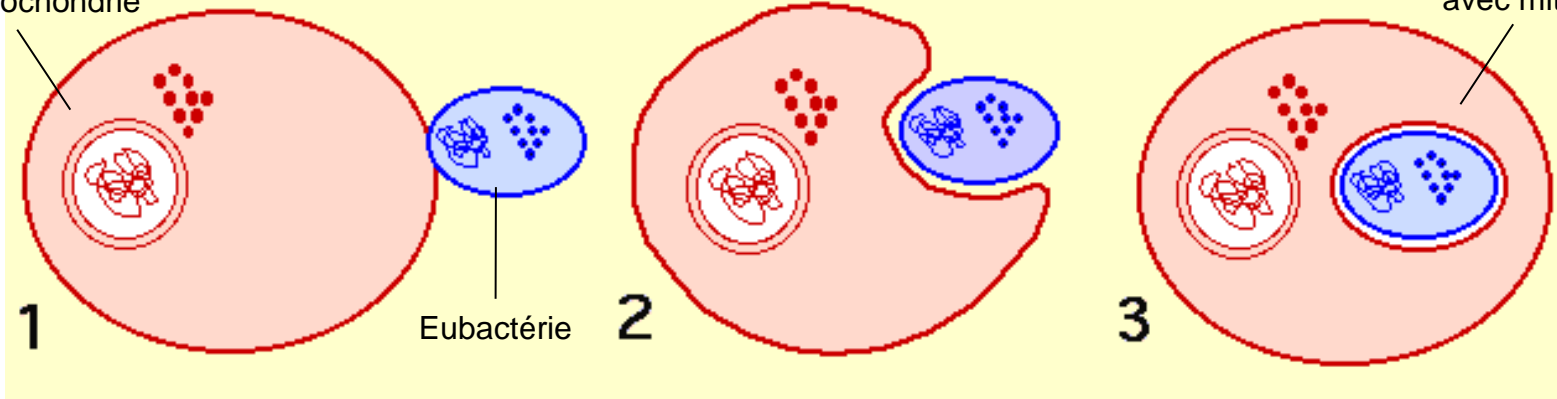


Monocouche propre aux Archées

La théorie endosymbiotique

Cellule eucaryote sans mitochondrie

Cellule eucaryote avec mitochondrie

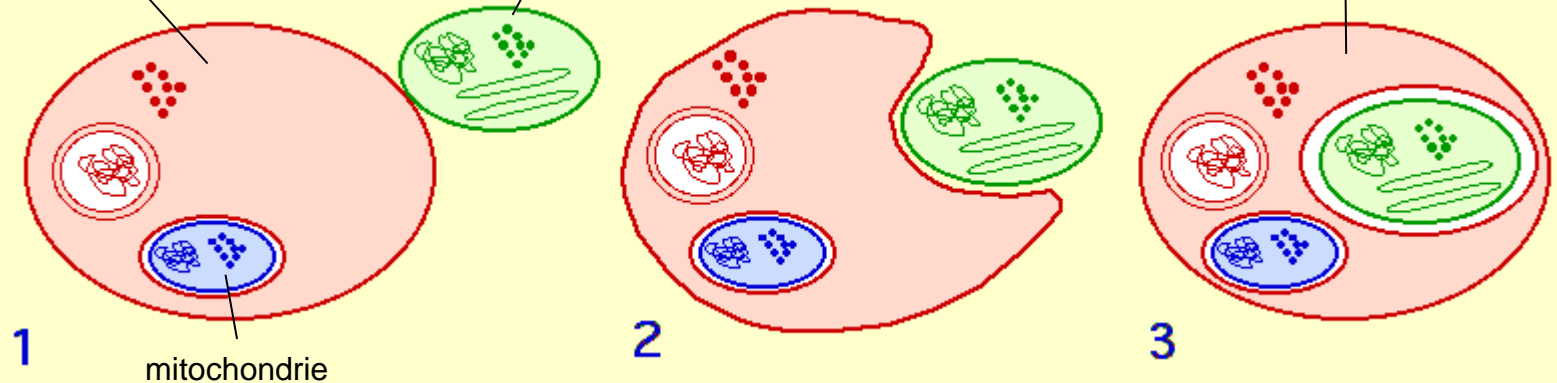


Endocytose d'une bactérie par une cellule eucaryote primitive à l'origine des mitochondries

Cellule eucaryote hétérotrophe

Cyanobactérie

Cellule eucaryote autotrophe



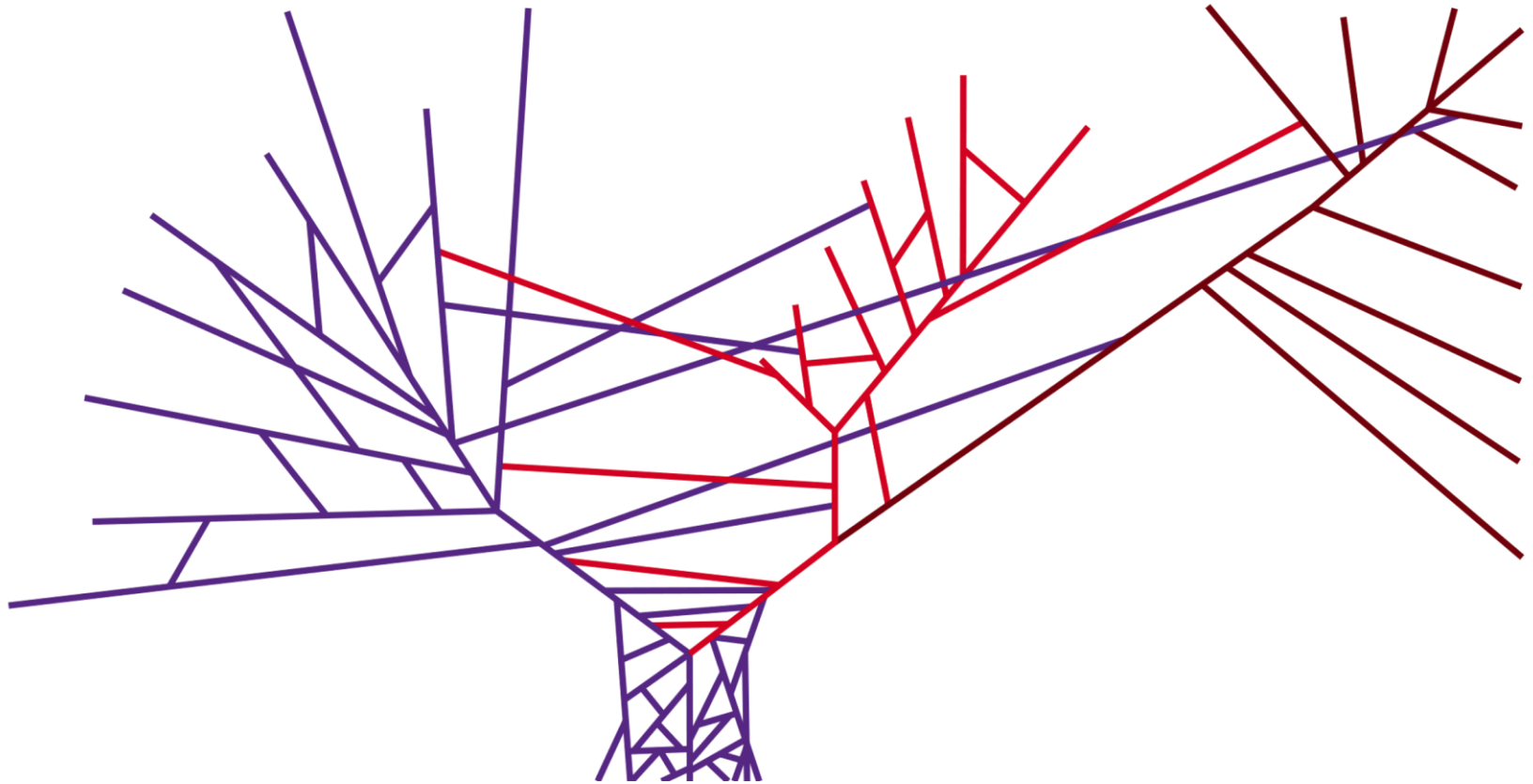
Endocytose d'une bactérie photosynthétique par une cellule eucaryote à mitochondries à l'origine des chloroplastes

Document 4. Arbre phylogénétique faisant apparaître les transferts horizontaux de gènes.

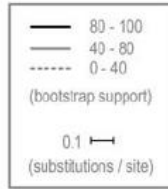
Bacteria

Archaea

Eukaryota

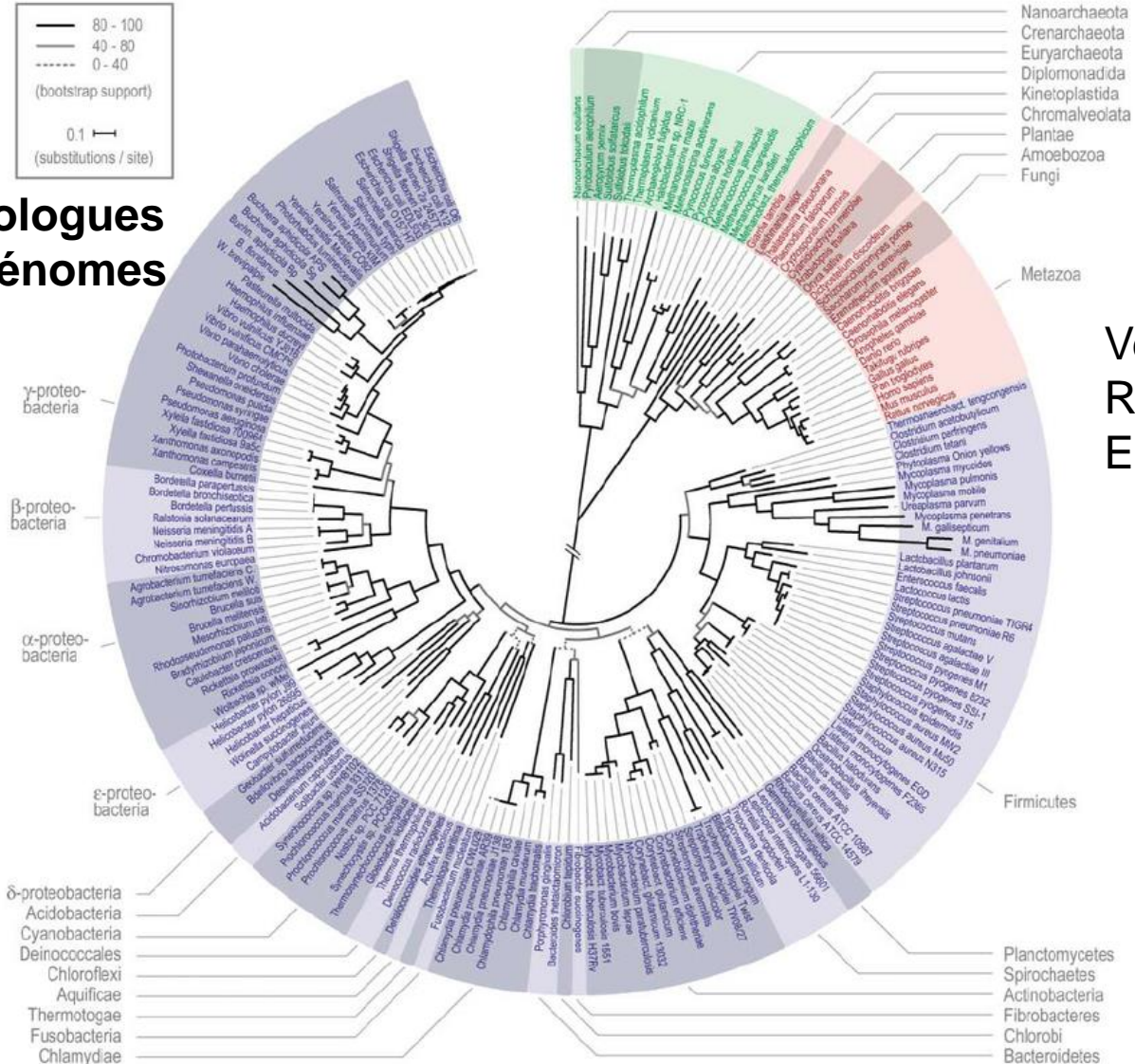


L'arbre phylogénétique du 1 % de gènes codants



31 protéines homologues
 extraites de 191 génomes

codées par
 des gènes non
 affectés par
 des THG



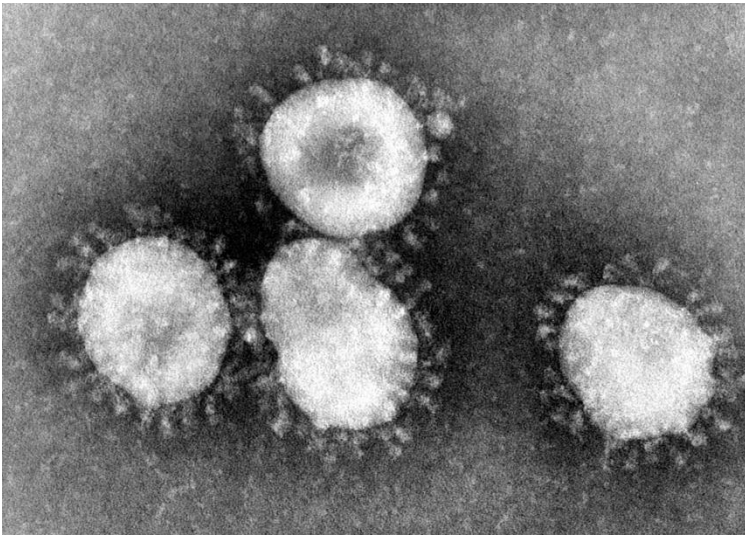
Vert : Archées
 Rouge :
 Eucaryotes

Ciccarelli F et coll. Science 2006 Mar 3;311(5765):1283-7. doi: 10.1126/science.1123061

https://www.researchgate.net/figure/Global-phylogeny-of-fully-sequenced-organisms-The-phylogenetic-tree-has-its-basis-in-a_fig2_7263947

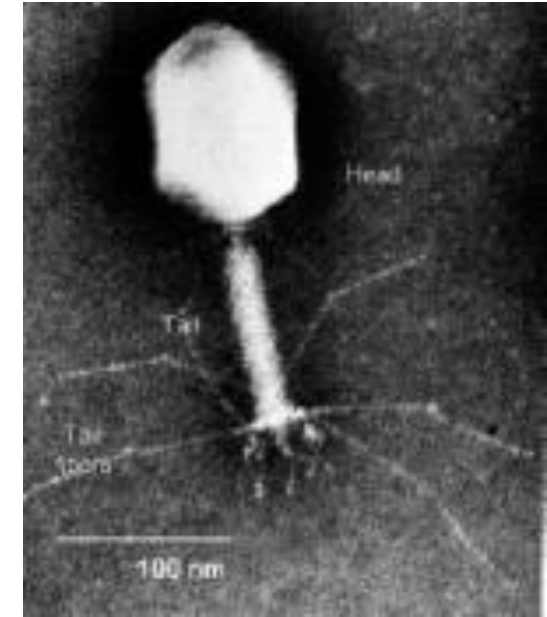
Trois exemples de virions en MET

100 à 160 nm
↔



Virions icosaédriques en MET (coronavirus)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Virus>



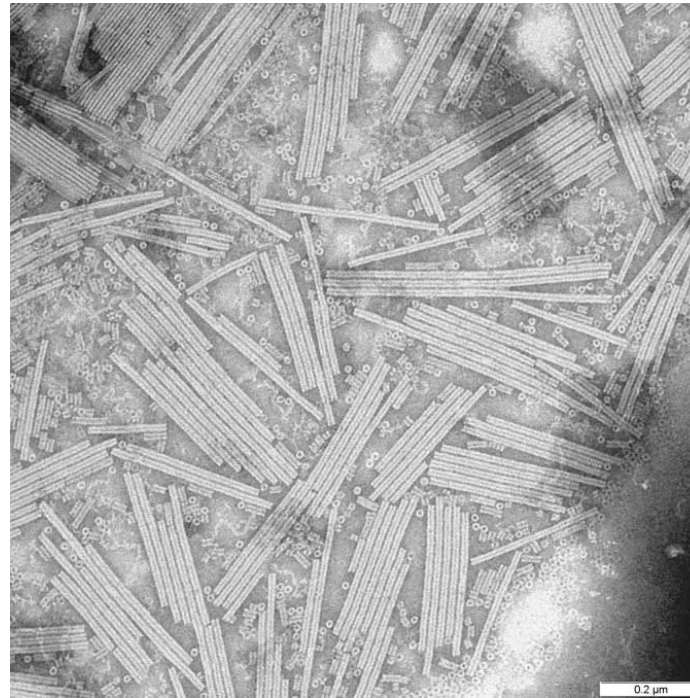
Bactériophage T4 (MET)

http://www.virology.net/big_virology/BV_DNAmyo.html

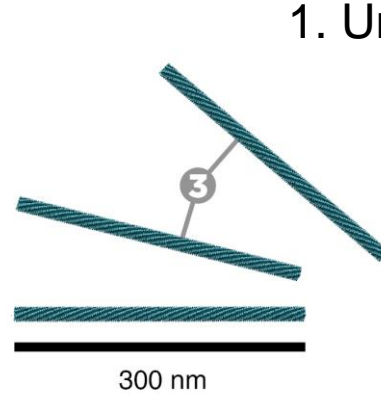
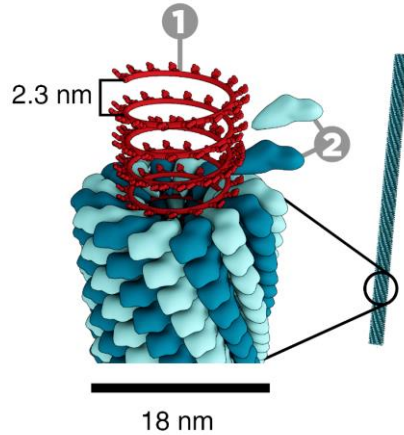
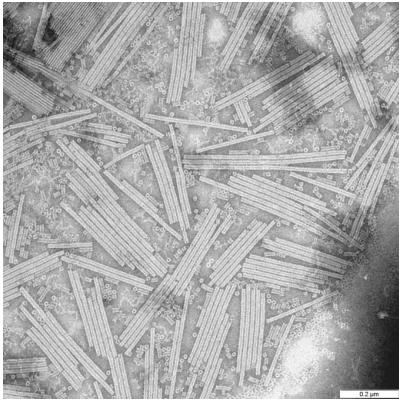
Environ 5000 espèces décrites
129 reconnues pathogènes
(2018)

Virions en bâtonnets du VMT (virus de la mosaïque du Tabac)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Virus_de_la_mosa%C3%AFque_du_tabac



Structure schématique de trois virus

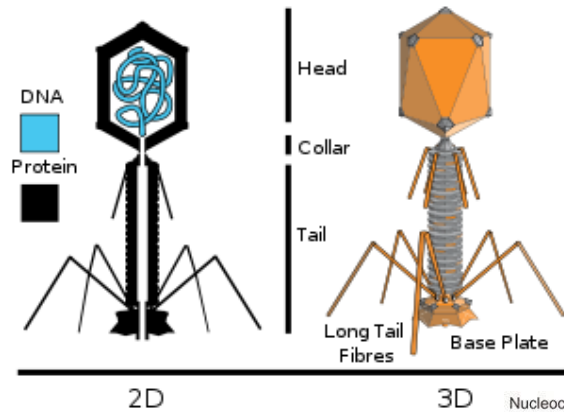
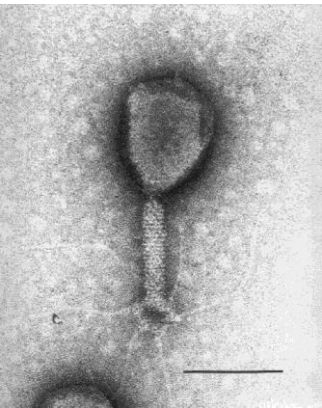


1. Un ARN simple brin de polarité +

2. 2300 capsomères

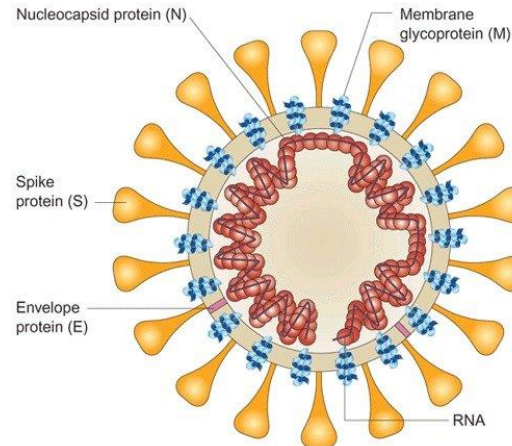
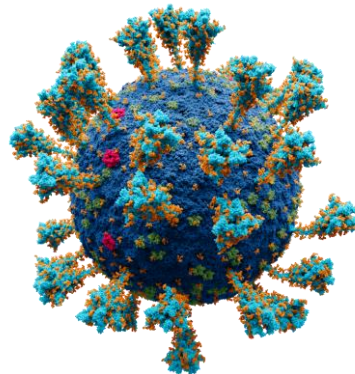
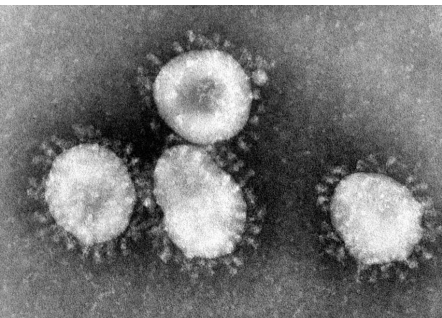
3. Capside

Le VMT



Un double brin
linéaire d'ADN
(48 500 pb)

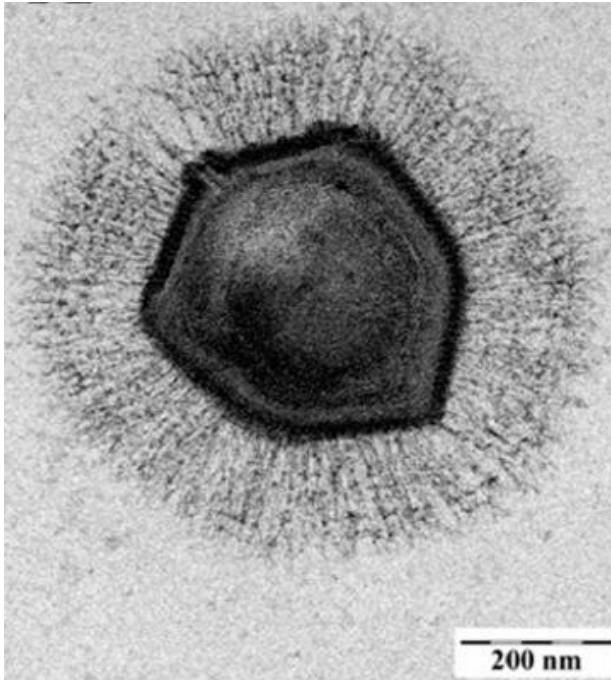
Le phage lambda



Un ARN simple
brin de polarité +

Le coronavirus

Mimivirus



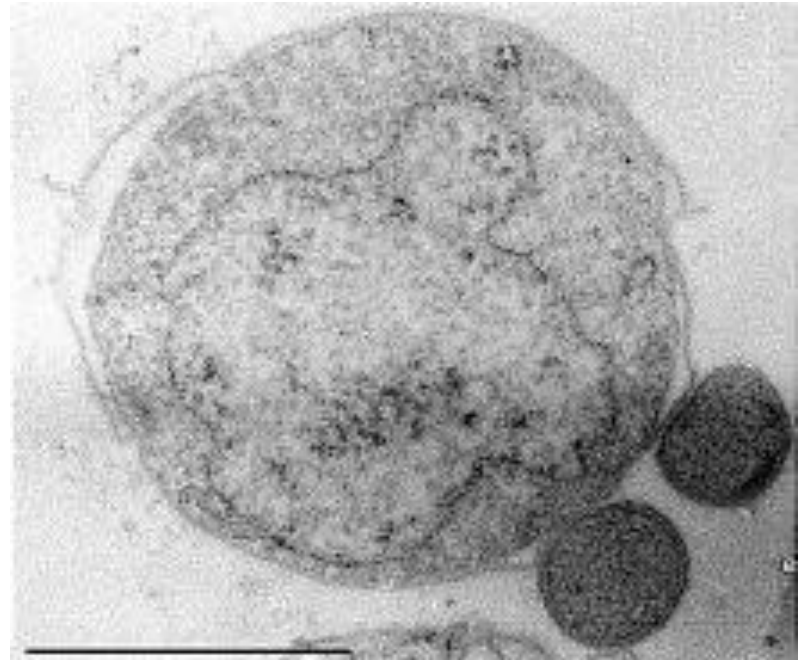
Virus géant > 0,2 μm

Génome (ADN) 1200 kb

infecte l'amibe

Acanthamoeba_polyphaga

Nanoarchaeum equitans



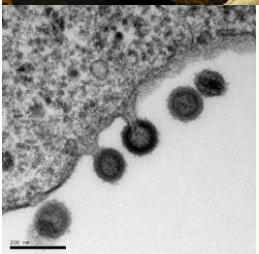
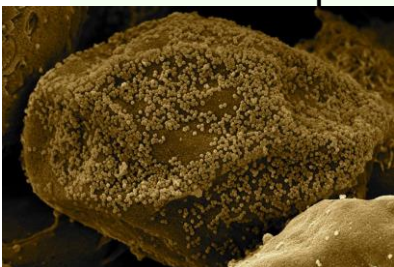
Taille 400 nm (0,4 μm)

Génome 500 kb

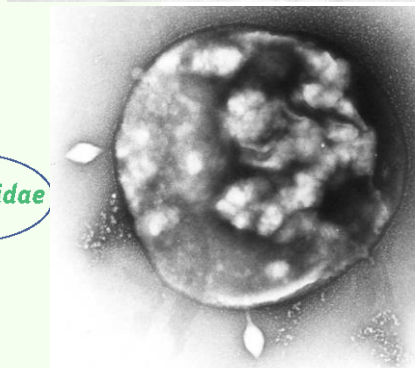
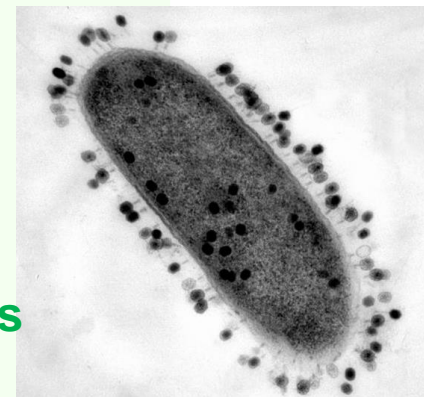
Archée vivant en symbiose (ou parasite ?)
d'une autre archée dans les sources
hydrothermales sous-marines

Représentation schématique des trois domaines du vivant et des virosphères qui leur sont associées

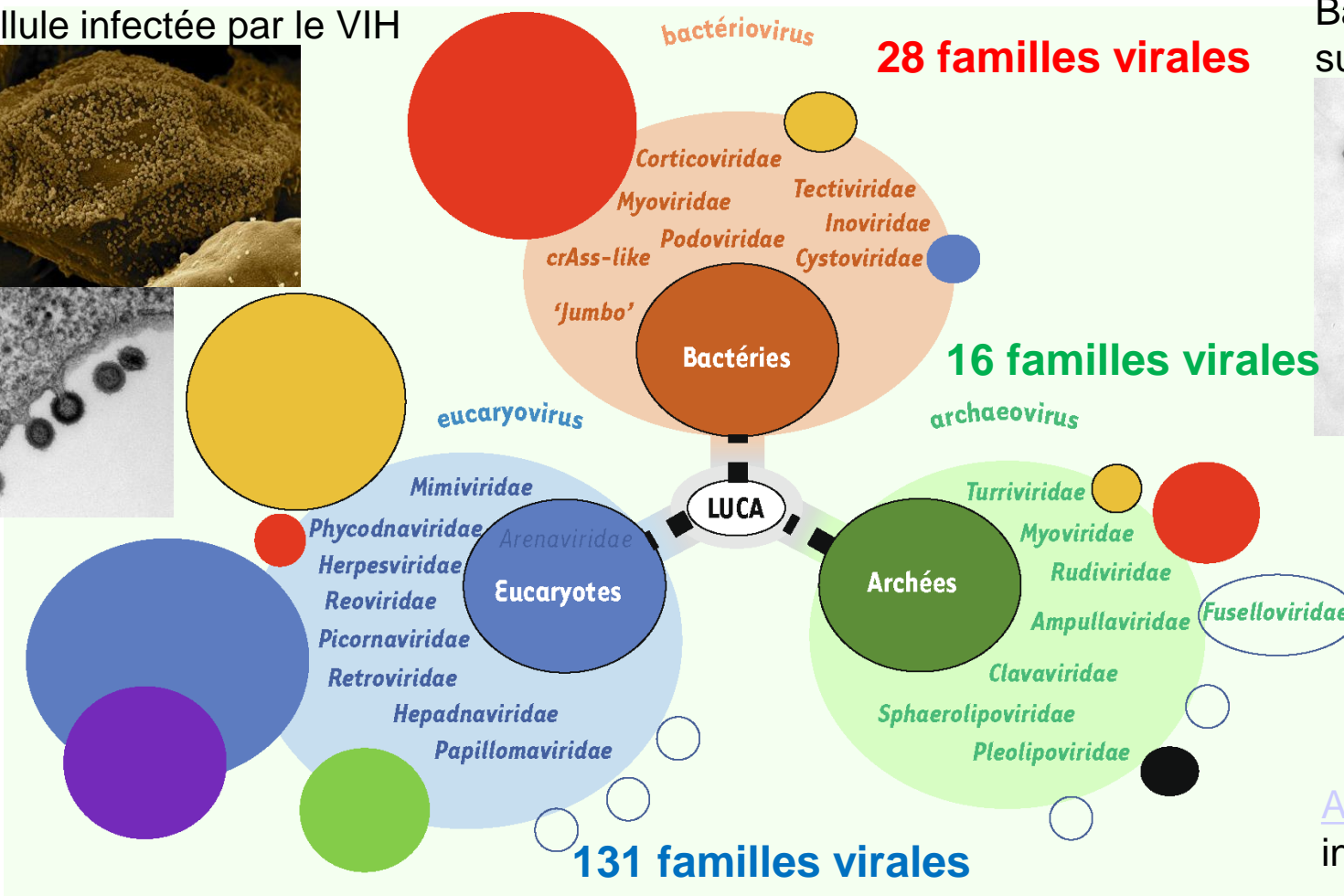
Cellule infectée par le VIH



Bactériophages fixés sur une bactérie



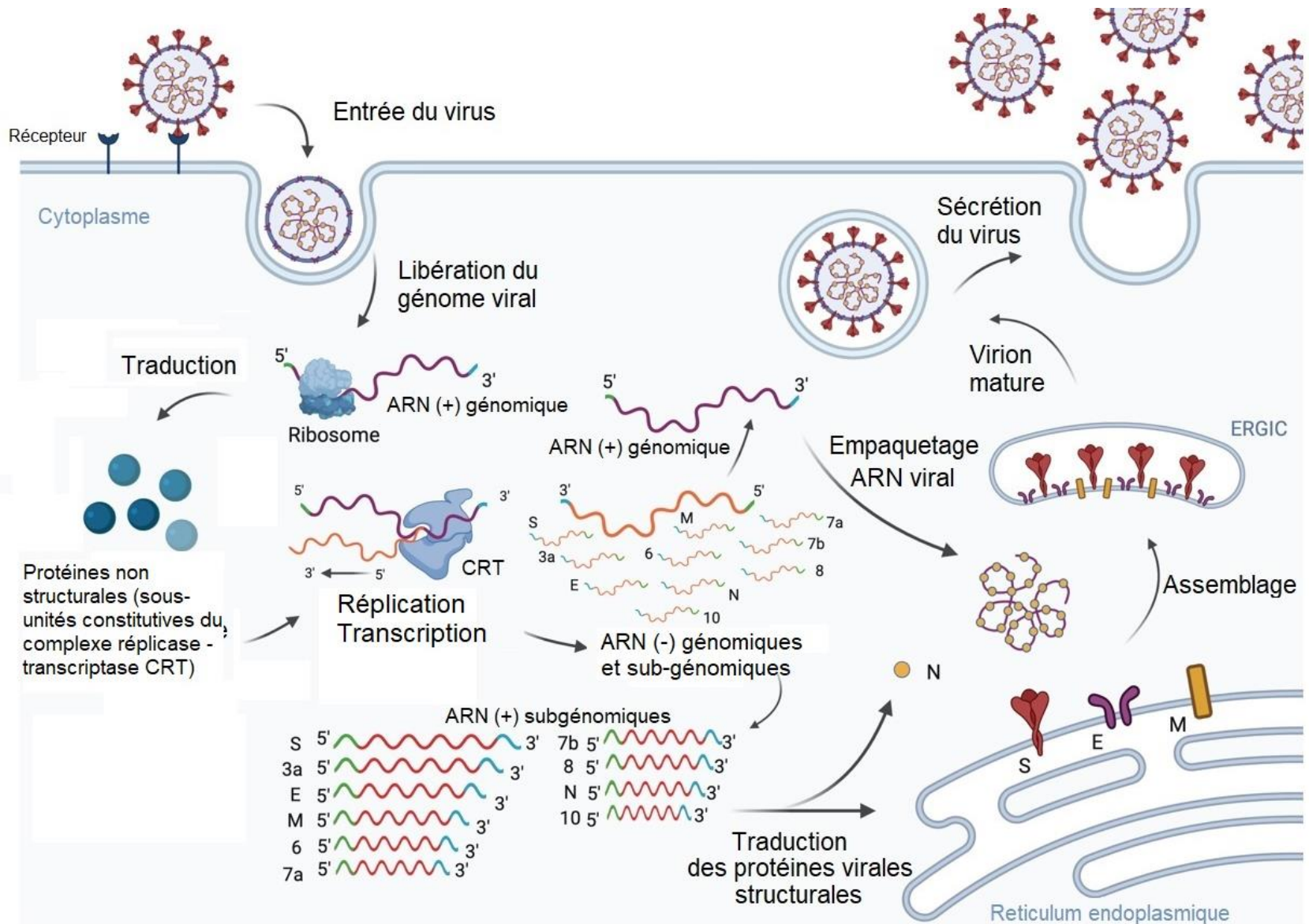
Archaea *Sulfolobus* infectée par *STSV-1*



Les tailles des cercles représentent la proportion relative des virus correspondants dans chacun des trois domaines. Les cercles vides symbolisent des groupes de virus apparentés qui n'ont pas encore été formellement reconnus par l'ICTV comme de nouvelles sphères virales

<https://www.inserm.fr/dossier/sida-et-vih/>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoproteota>

Cycle viral du coronavirus SARS-CoV-2



Phylogénie moléculaire de 3143 génomes de SARS-CoV2 échantillonnés depuis décembre 2019

Phylogeny

depuis décembre 2019

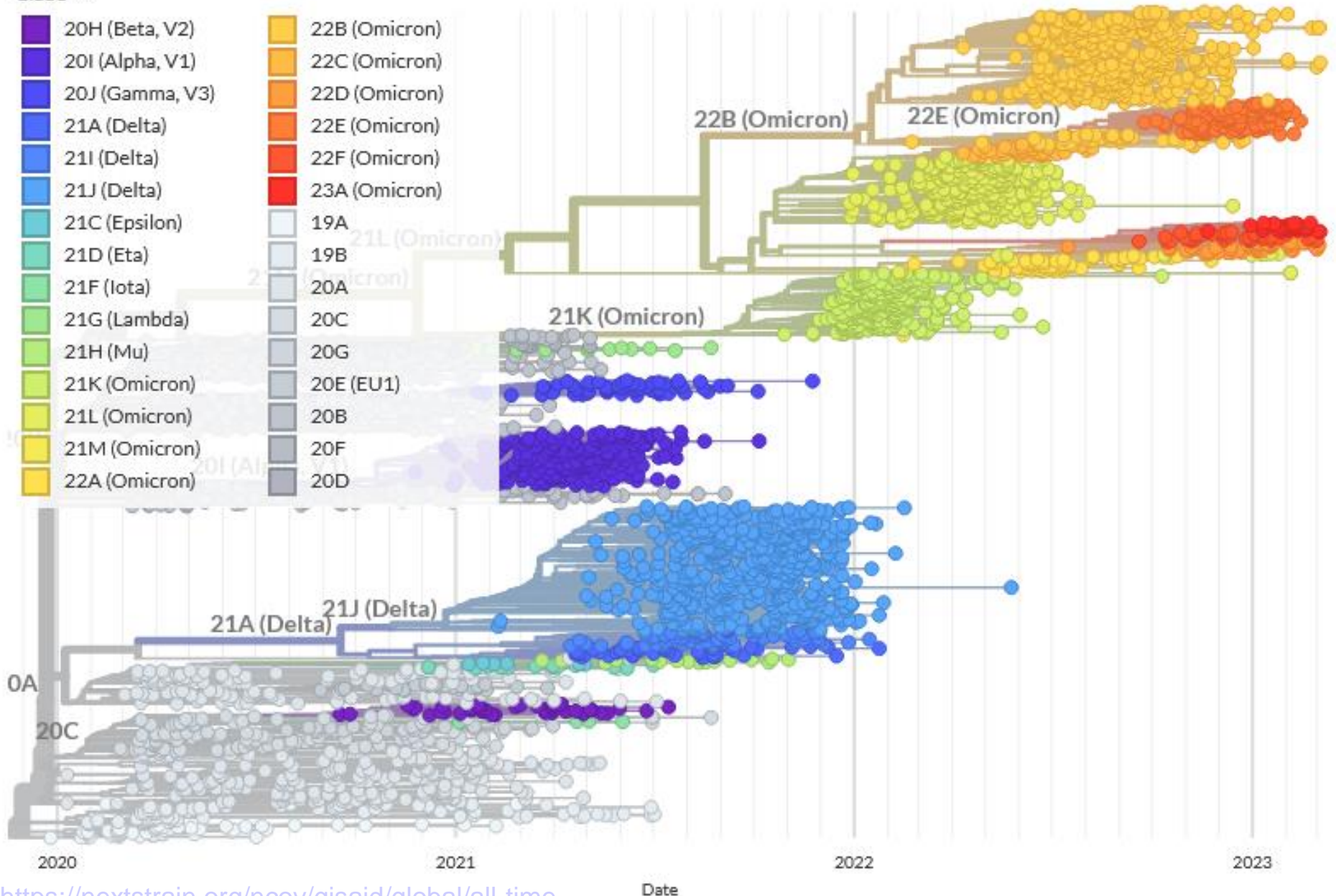


ZOOM TO SELECTED

RESET LAYOUT

Clade ^

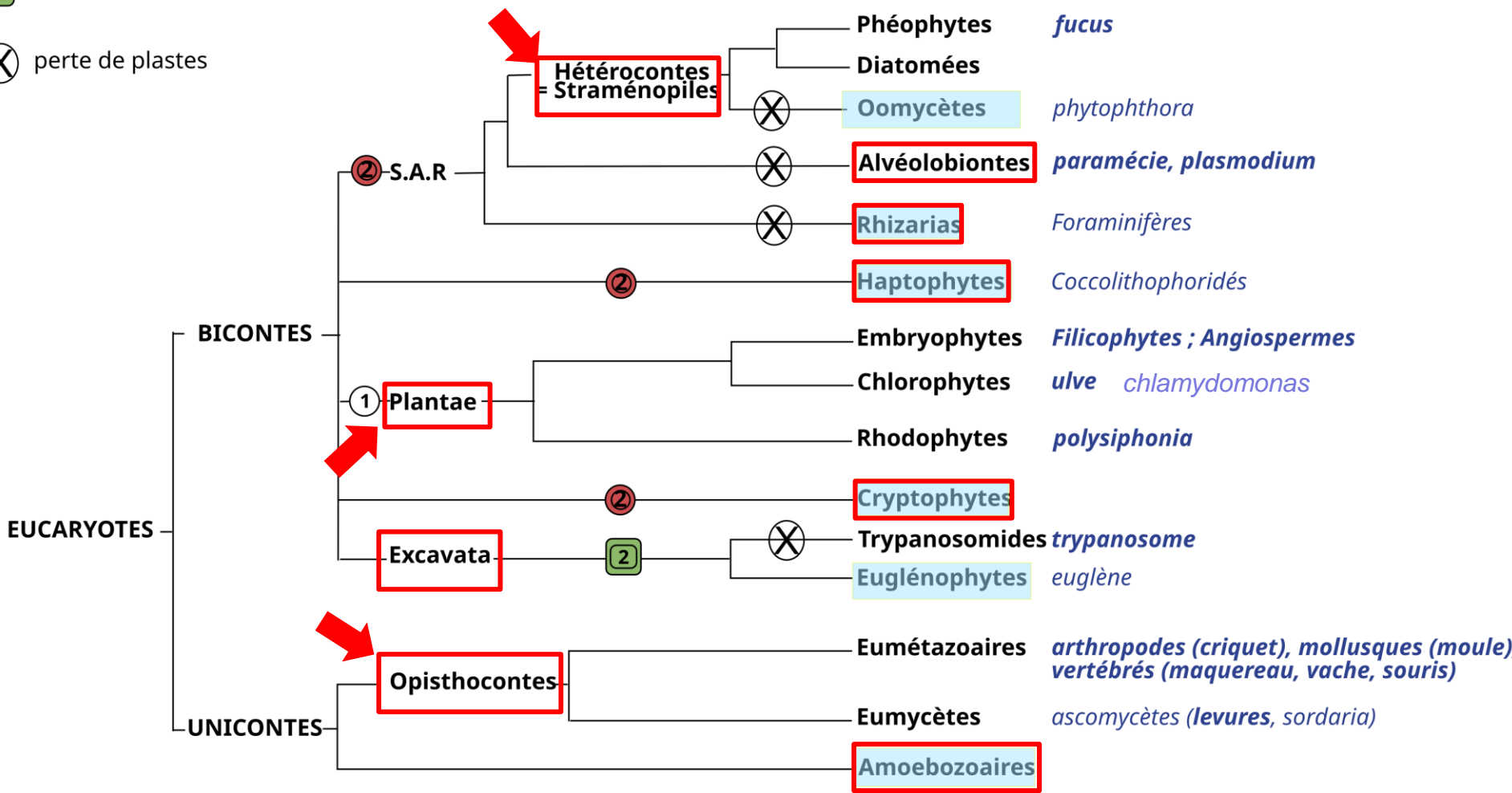
- 20H (Beta, V2)
- 20I (Alpha, V1)
- 20J (Gamma, V3)
- 21A (Delta)
- 21I (Delta)
- 21J (Delta)
- 21C (Epsilon)
- 21D (Eta)
- 21F (Iota)
- 21G (Lambda)
- 21H (Mu)
- 21K (Omicron)
- 21L (Omicron)
- 21M (Omicron)
- 22A (Omicron)
- 22B (Omicron)
- 22C (Omicron)
- 22D (Omicron)
- 22E (Omicron)
- 22F (Omicron)
- 23A (Omicron)
- 19A
- 19B
- 20A
- 20C
- 20G
- 20E (EU1)
- 20B
- 20F
- 20D



Document 5. Arbre phylogénétique simplifié des Eucaryotes.

- ① endosymbiose I (cyanobactérie)
- ② endosymbiose II (algue rouge)
- ③ endosymbiose II (algue verte)
- ⊗ perte de plastes

Principaux clades

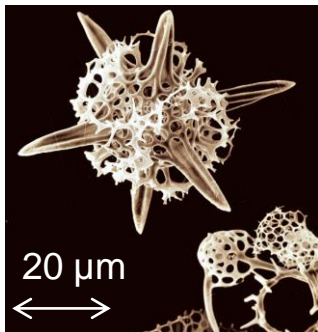
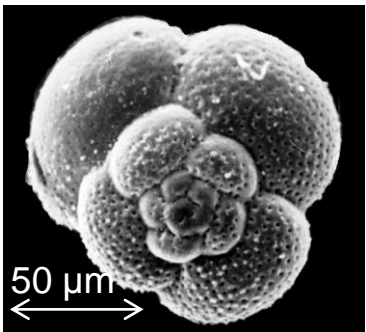


Non étudiés ni en cours ni en TP

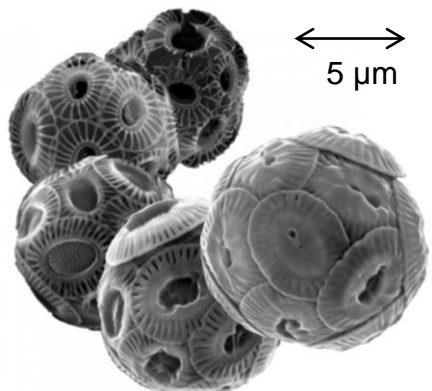
Document 5. Arbre phylogénétique simplifié des Eucaryotes.

Foraminifères

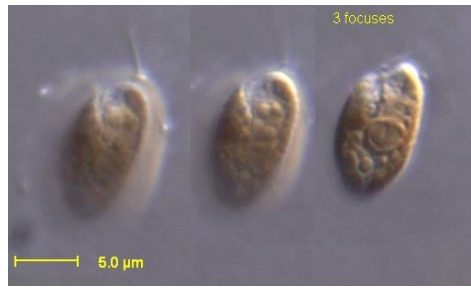
Radiolaires



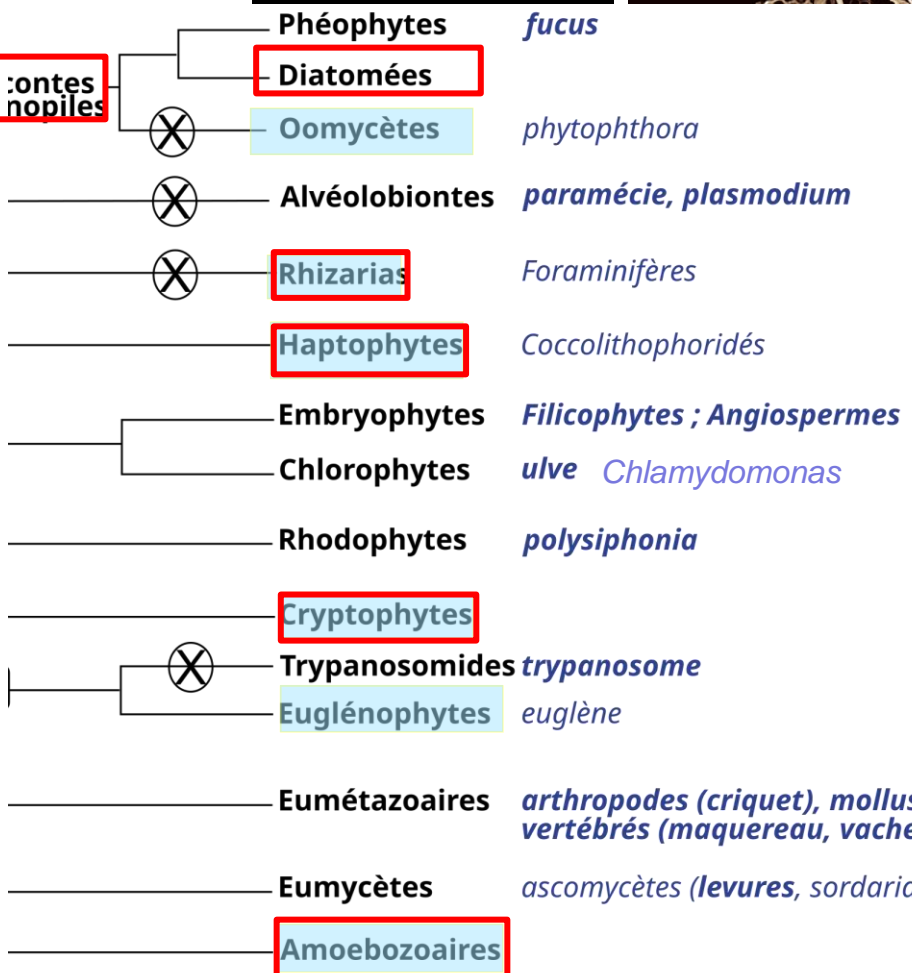
Haptophytes
Coccolithophoridés



Cryptophytes

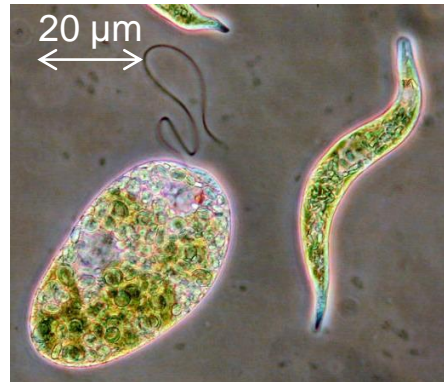


Rhizariens
mnhn.fr



© Luc BEAUFORT/CEREGE/CNRS Photothèque

Trypanosome **Excavata** Euglènes



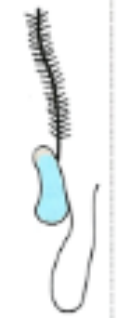
mgm.ufl.edu



Amoebozoaires
Amibe protéé

<https://microbewiki.konyon.edu>

Document 6. Apomorphies cellulaires des trois clades majeurs d'Eucaryotes.

	Opisthocontes	Plantae	Hétérocontes
type trophique	hétérotrophie au carbone	autotrophie au carbone plastes à deux membranes (ou plastes primaires) chlorophylle a et b	autotrophie au carbone plastes à quatre membranes (ou plastes secondaires) chlorophylle a et c
polyosides	glycogène comme molécule de réserve chitine	α 1-4 glucane ramifié (amidon ou molécule proche) comme molécule de réserve	β 1-3 glucane comme molécule de réserve
flagelles	un flagelle unique et propulseur	deux à quatre flagelles (perdus chez les Rhodophytes et les Angiospermes)	deux flagelles différents 

Document 5. Arbre phylogénétique simplifié des Eucaryotes.

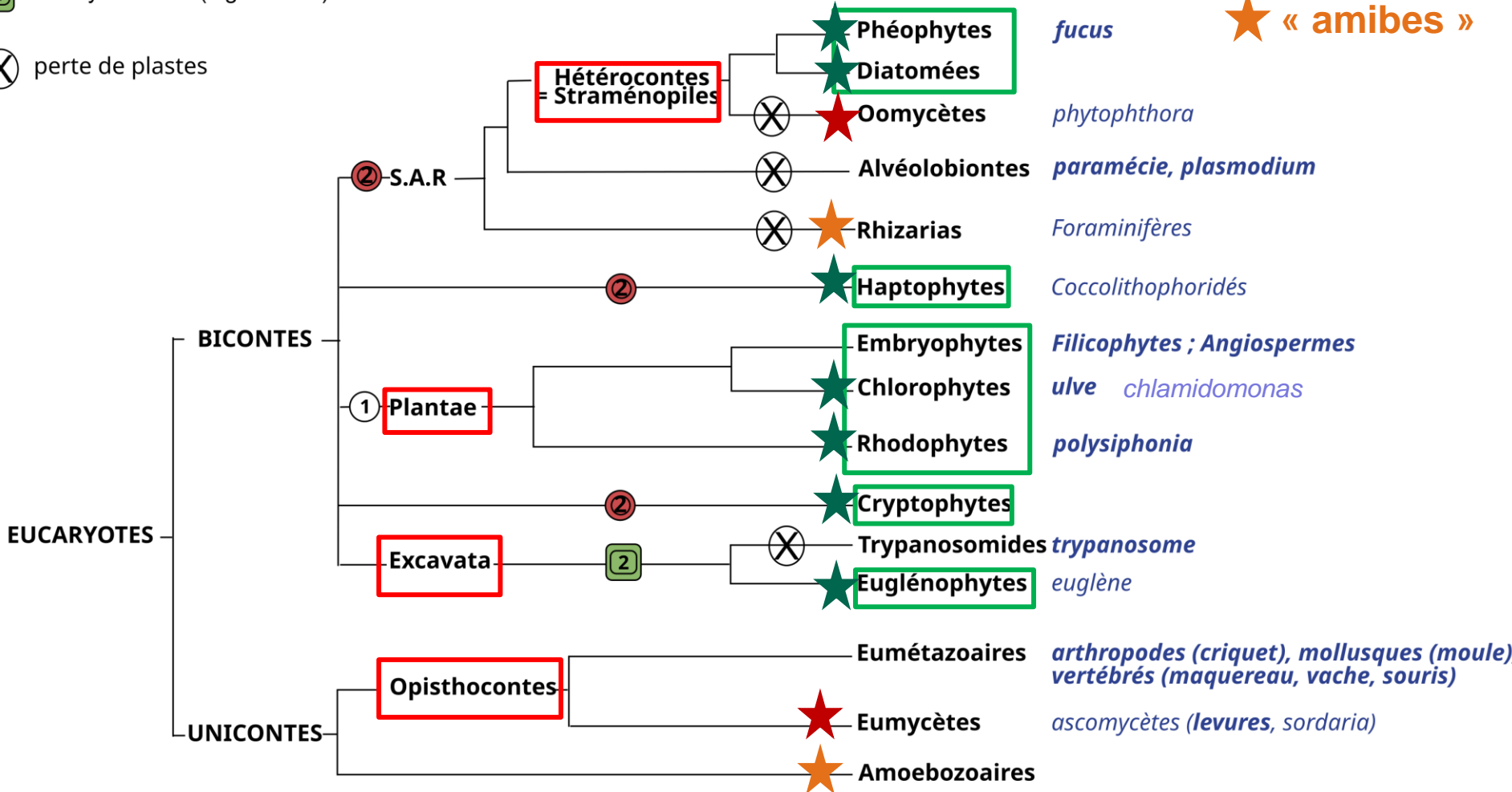
- ① endosymbiose I (cyanobactérie)
- ② endosymbiose II (algue rouge)
- ③ endosymbiose II (algue verte)
- ⊗ perte de plastes

Organismes photosynthétiques

★ « algues »

★ « champignons »

★ « amibes »



Document 3. Tableau comparatif des trois grands clades du vivant.

	Bactéries	Archées	Eucaryotes
Enveloppe nucléaire	absente	absente	présente
Endomembranes	rare	absentes	présentes
Peptidoglycane	présent	absent	absent
Lipides membranaires	ester chaînes carbonées linéaires	ether quelques chaînes carbonées ramifiées	ester chaînes carbonées linéaires
ARN polymérase	une	plusieurs	plusieurs
Acide aminé initiateur	formyl-méthionine	méthionine	méthionine
Introns	absents	présents	présents
Histones	absentes	présentes	présentes
Chromosome circulaire	présent	présent	absent
Possibilité de croître au delà de 100°C	non	oui, parfois	non

Des arguments en faveur d'une eucaryogenèse virale :

des virus de grande taille à l'origine de la formation d'un "noyau viral" dans la bactérie qu'ils infectent

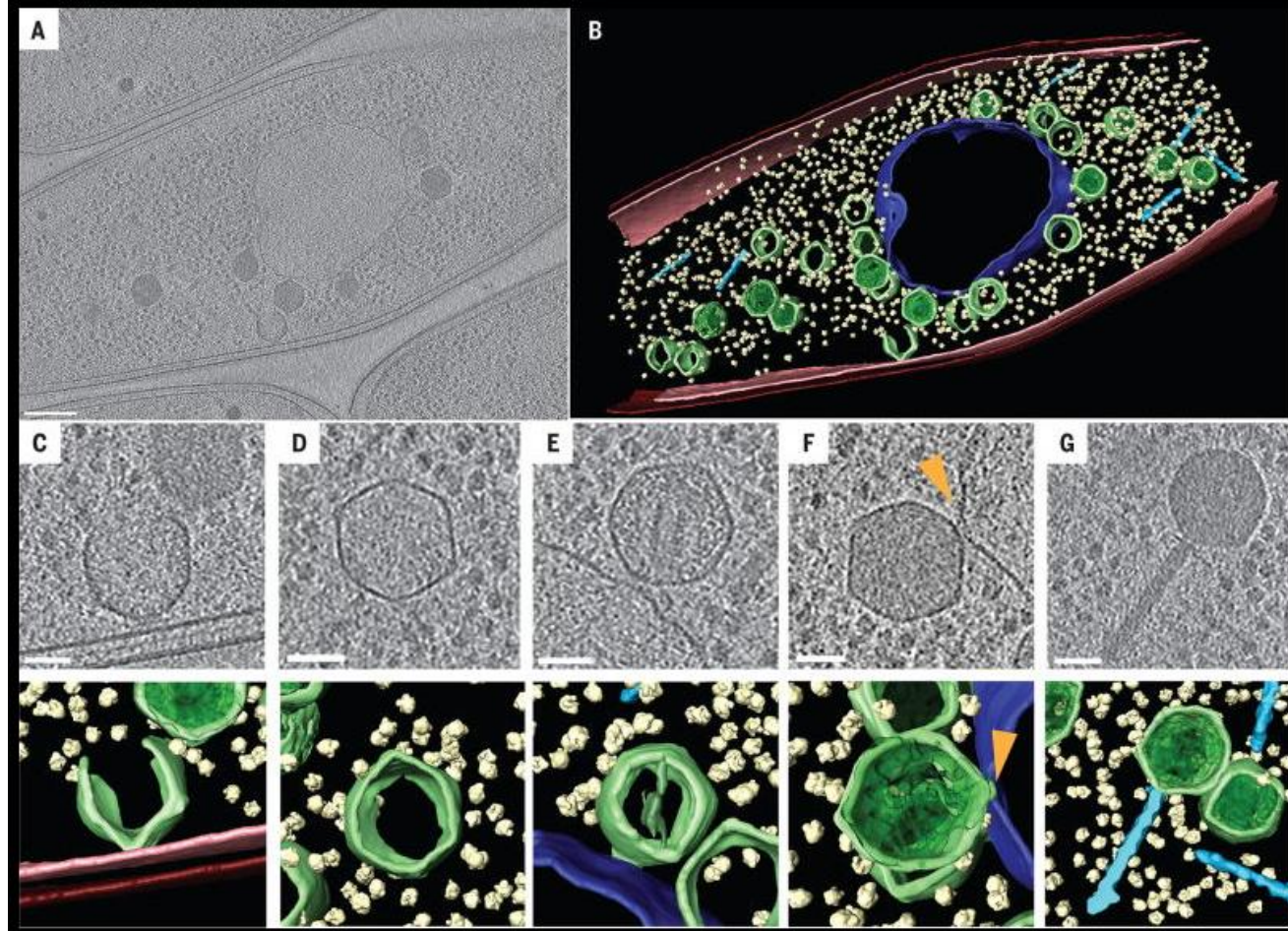
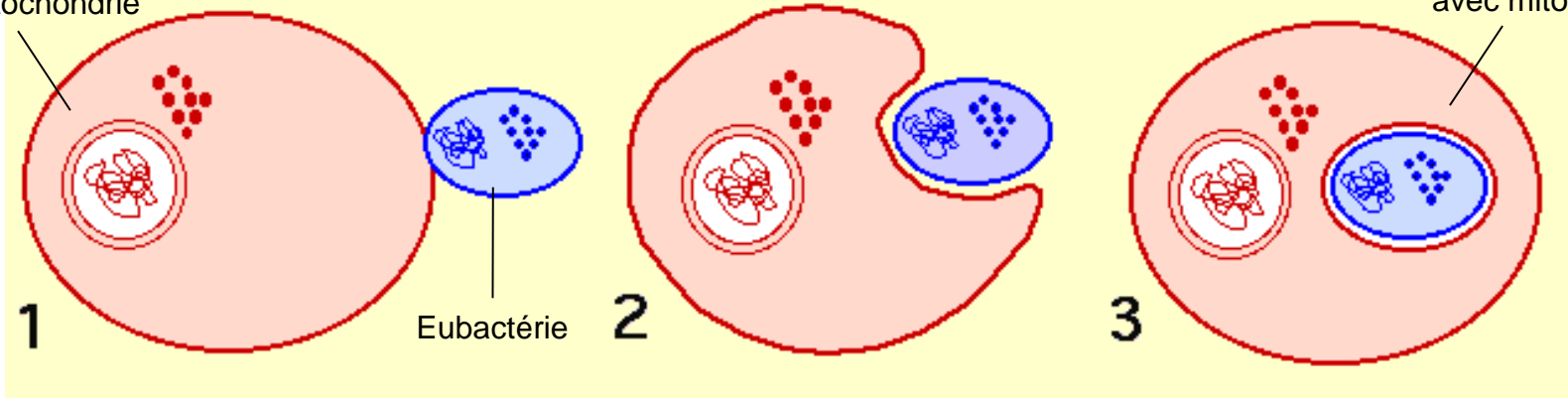


Fig. 4. Cryo-electron tomography of the phage compartment during 201 ϕ 2-1 infection in *P. chlororaphis* (A) Slice through a tomogram of a cryo-focused ion beam-thinned phage-infected cell at 60 mpi. Assembled capsids are docked to an apparently contiguous shell during the process of DNA encapsidation, which produces the darker, filled capsids. Scale bar, 200 nm. (B) Segmentation of the tomogram in (A), showing extracted structures, including the shell (purple), capsids (green), cytoplasmic membrane (pink), outer membrane (red), phage tails (light blue), and ribosomes (yellow). (C to G) Tomographic slices (top) and segmentation images (bottom) of (C) an assembling phage capsid, (D) an empty capsid, (E and F) two capsids docked at the compartment with (E) less or (F) more DNA, and (G) an assembled phage. Scale bars in (C) to (G), 50 nm. The arrowhead in (F) indicates a connecting collar between the capsid and the compartment shell.

Document 7. Origine endosymbiotique des mitochondries et des plastes des Eucaryotes.

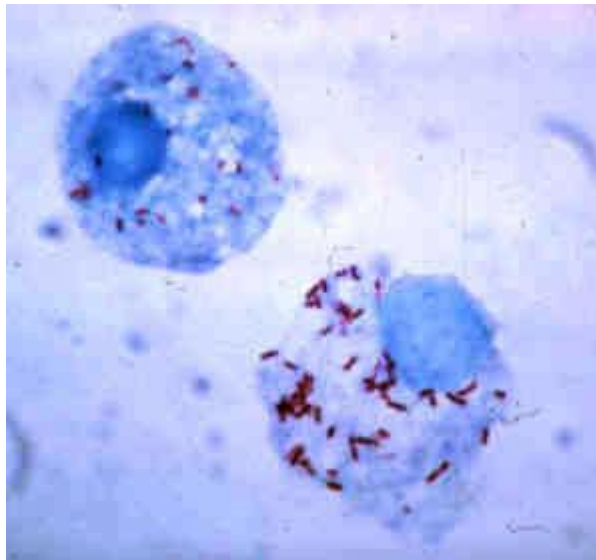
Cellule eucaryote sans mitochondrie

Cellule eucaryote avec mitochondrie



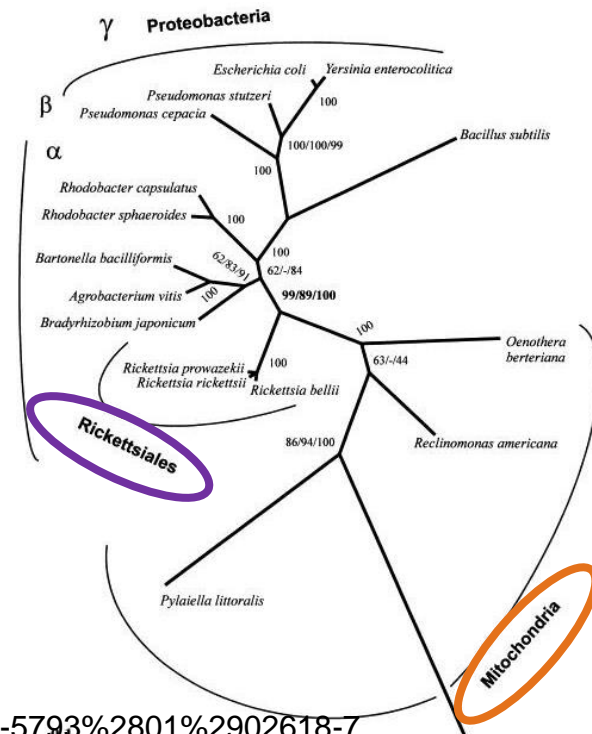
Endocytobiose d'une bactérie par une cellule eucaryote primitive à l'origine des mitochondries

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Chloroplaste/endosymbiose.htm>



Arbre phylogénétique établi à partir de l'analyse de séquences d'ARNr

Cellules d'hémolymphe de tique, infectées par *Rickettsia rickettsii*.



<https://fr.wikipedia.org/wiki/Rickettsia> [https://febs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1016/S0014-5793\(93\)2801%2902618-7](https://febs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1016/S0014-5793(93)2801%2902618-7)

Plastes de différents groupes d'algues observés en MET



A gauche : Algue verte (*Bryopsis*).

Pyrénoïde (py) central et thylacoïdes (th) localement accolés en ébauches de grana (x 9000).

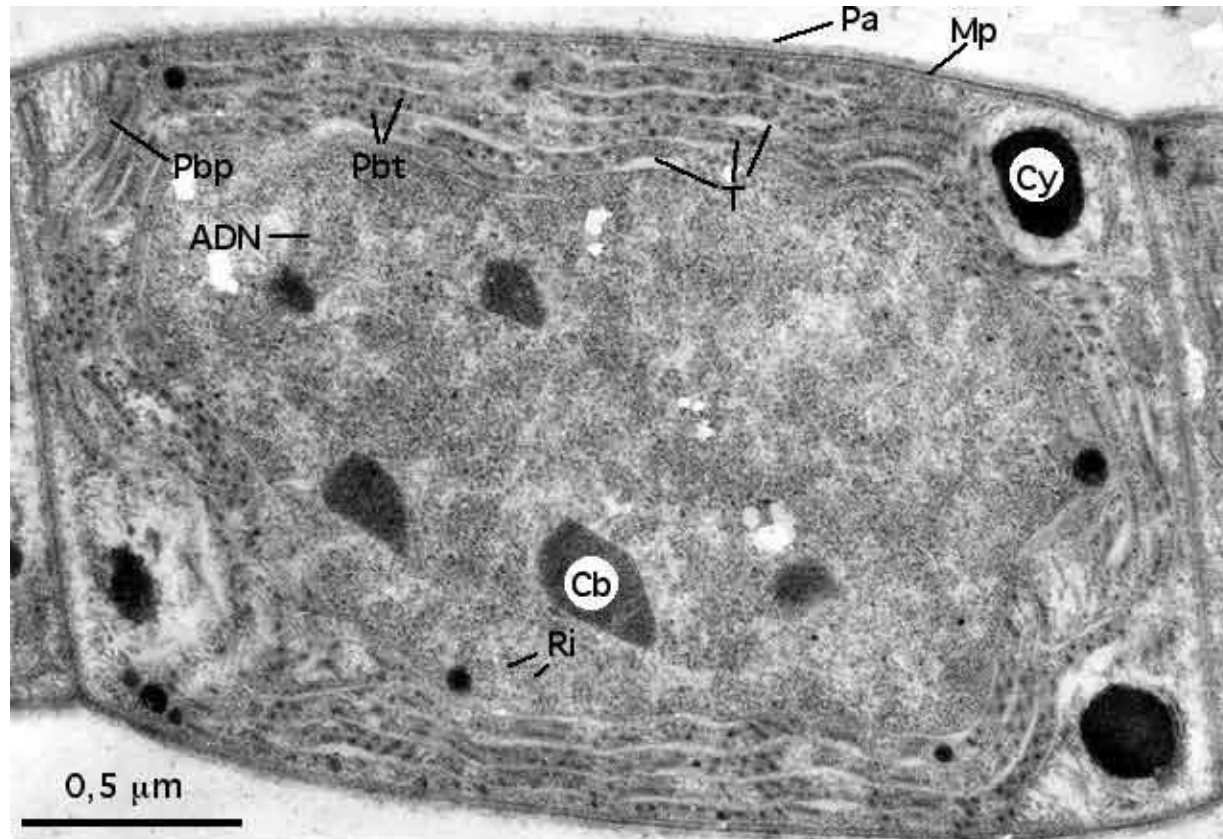
Au centre : Algue rouge (*Porphyridium*).

L'aspect ponctué des thylacoïdes (th) est dû aux phycobilisomes. Rhodamylon (a) situé dans le cytoplasme (x 45 000).

A droite : Algue brune (*Fucus vesiculosus*).

Thylakoïdes (th) accolés par trois sur toute la longueur du plaste (x 20 000).

Vue générale d'une cellule d'une Cyanobactérie filamenteuse (Oscillaire) au MET



T : thylacoïde

Pb : phycobilisome de forme arrondie (Pbt en coupe transversale) ou en bâtonnet (Pbp, en vue de profil)

Mp : membrane plasmique. Pa : paroi.

Ri : ribosome. Cy : cyanophycine. Cb : carboxysome. Po : granule de polyphosphates.

Comparaison de l'organisation des chloroplastes d'une Cyanobactérie et d'une Rhodophyte

Cyanobactérie



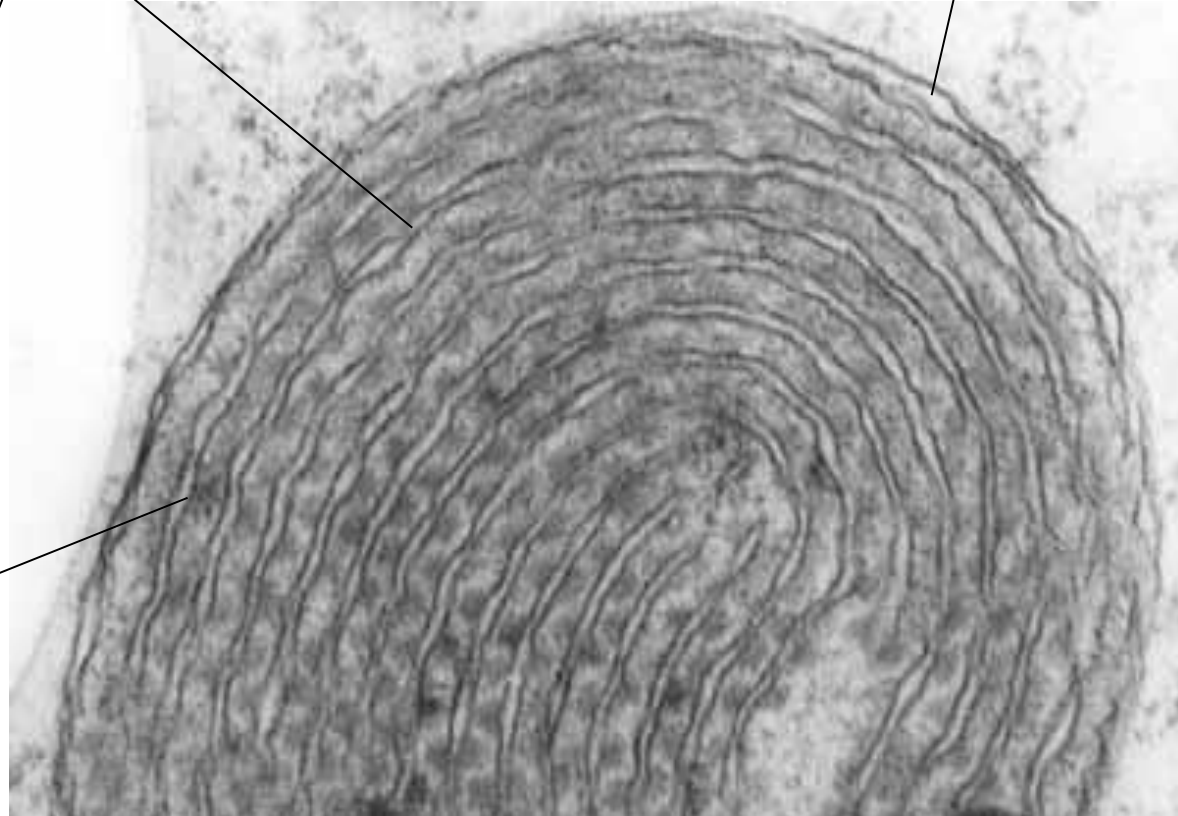
Phycobilisomes

Thylacoïdes périphériques
d'une Cyanobactérie
filamenteuse

Thylacoïdes

Rhodophyte

Double membrane

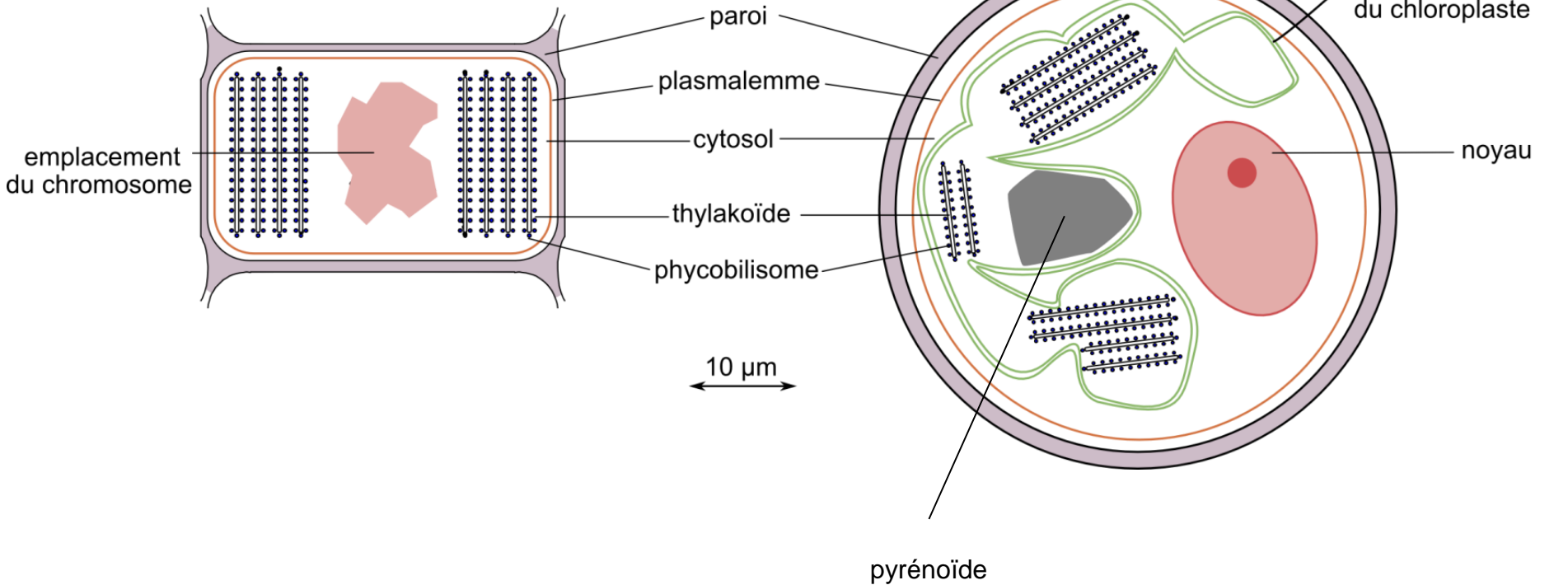


Région d'un chloroplaste
d'une algue rouge

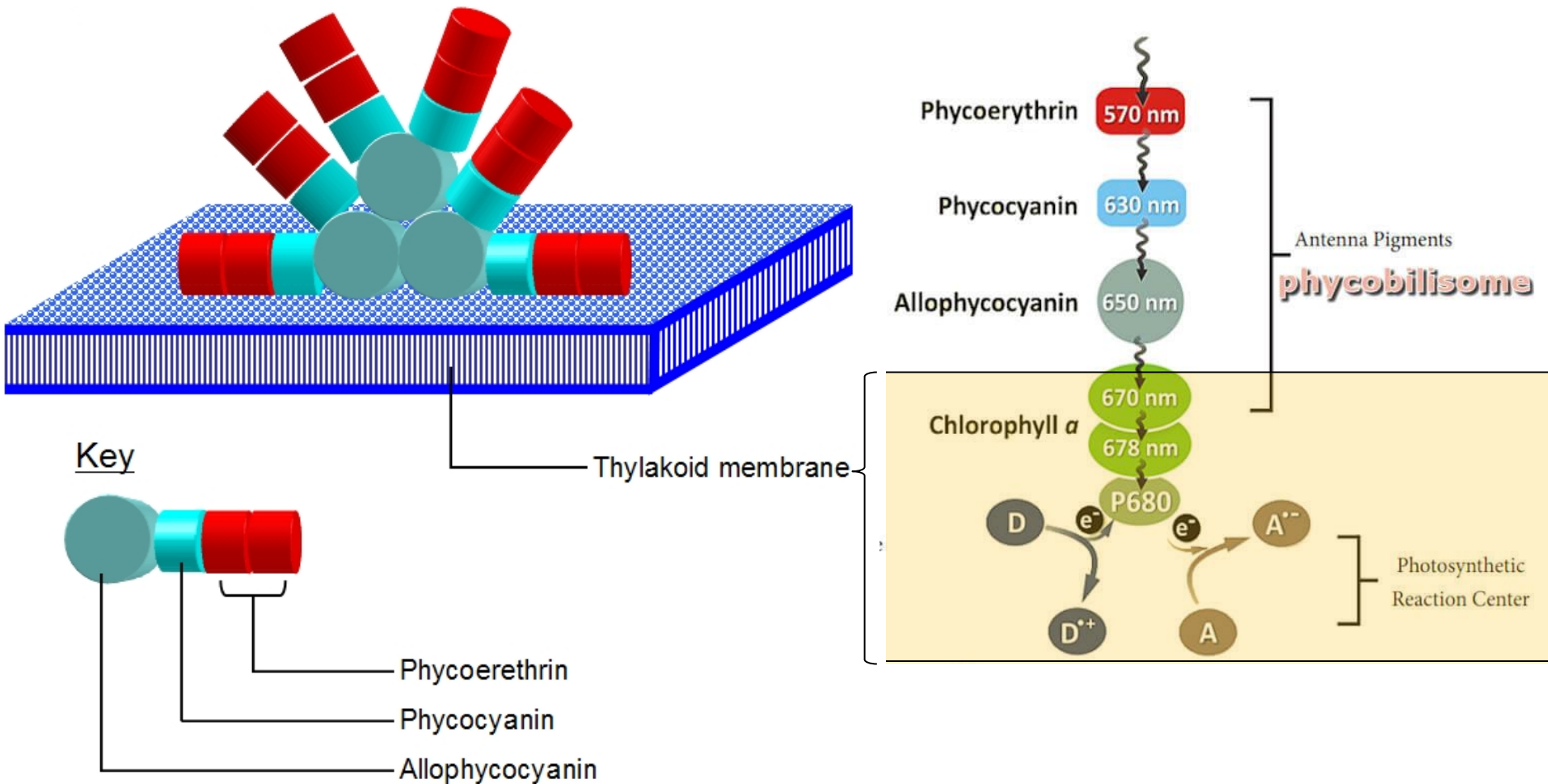
Document 8. Comparaison d'une cellule de Cyanobactérie (a) et de Rhodophyte (b).

a)

b)



Structure schématique d'un phycobilisome



Ce complexe associe des protéines et des pigments qui permettent de capter l'énergie lumineuse

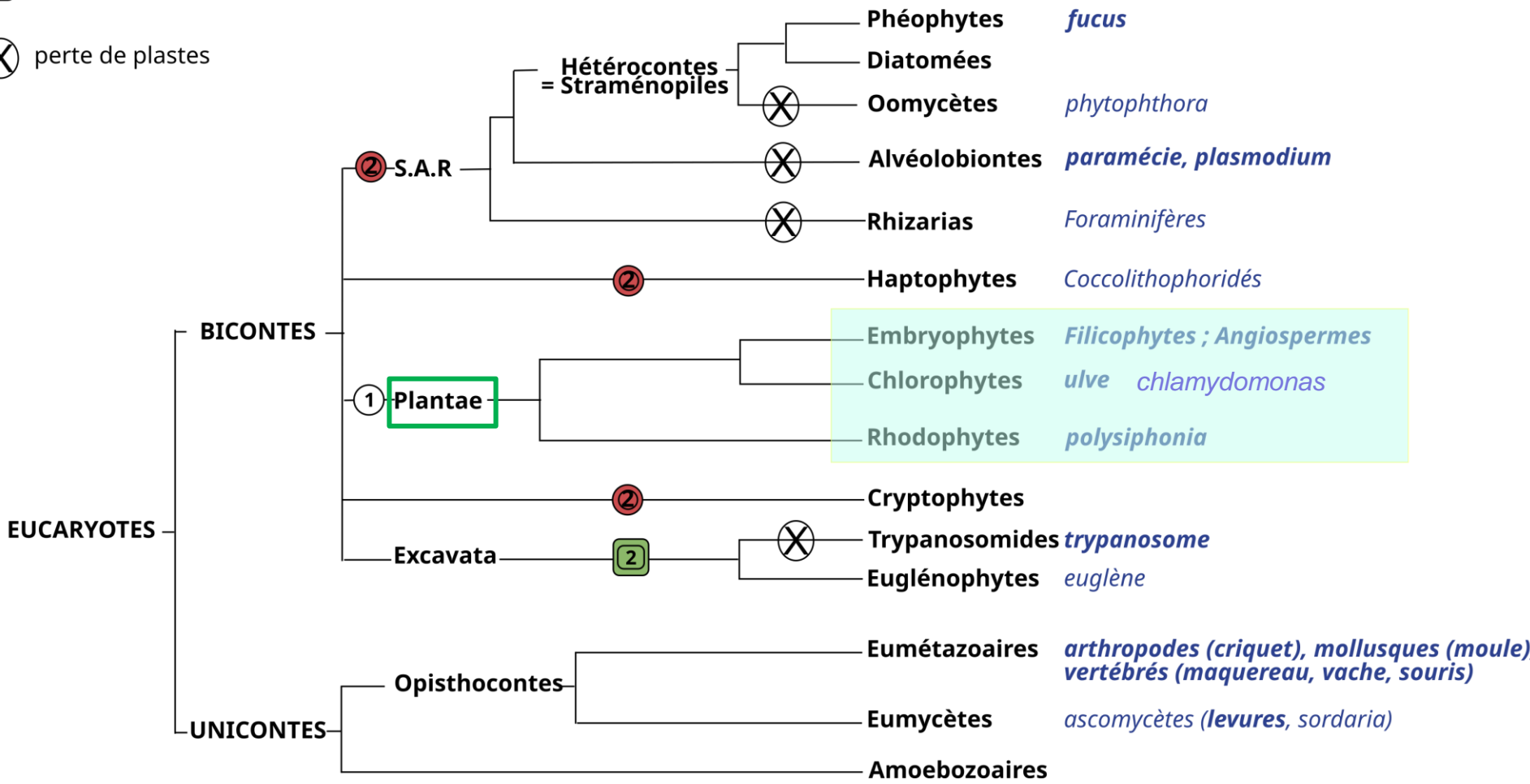
Document 5. Arbre phylogénétique simplifié des Eucaryotes.

① endosymbiose I (cyanobactérie)

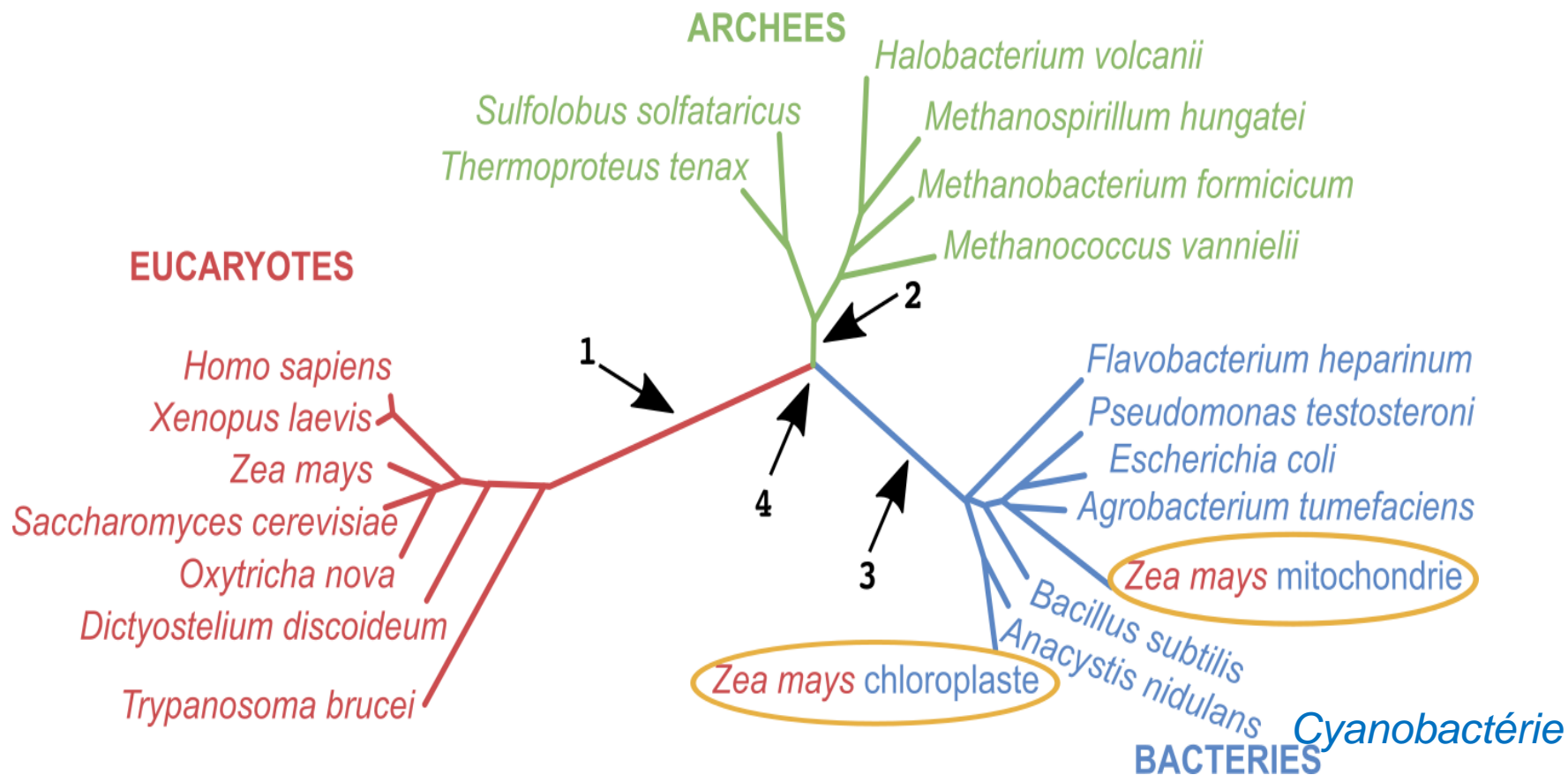
② endosymbiose II (algue rouge)

② endosymbiose II (algue verte)

⊗ perte de plastes

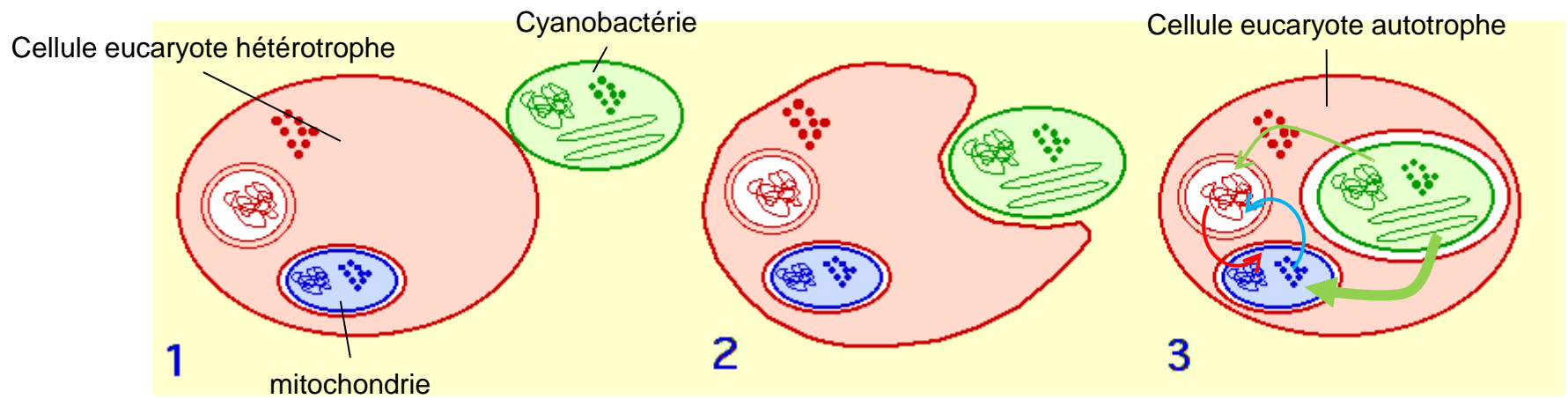


Document 2. Arbre phylogénétique des ARN ribosomiques 16S/18S.



Document 7. Origine endosymbiotique des mitochondries et des plastes des Eucaryotes.

Endosymbiose primaire : plastes des *Plantae* (Archéoplastidiés)

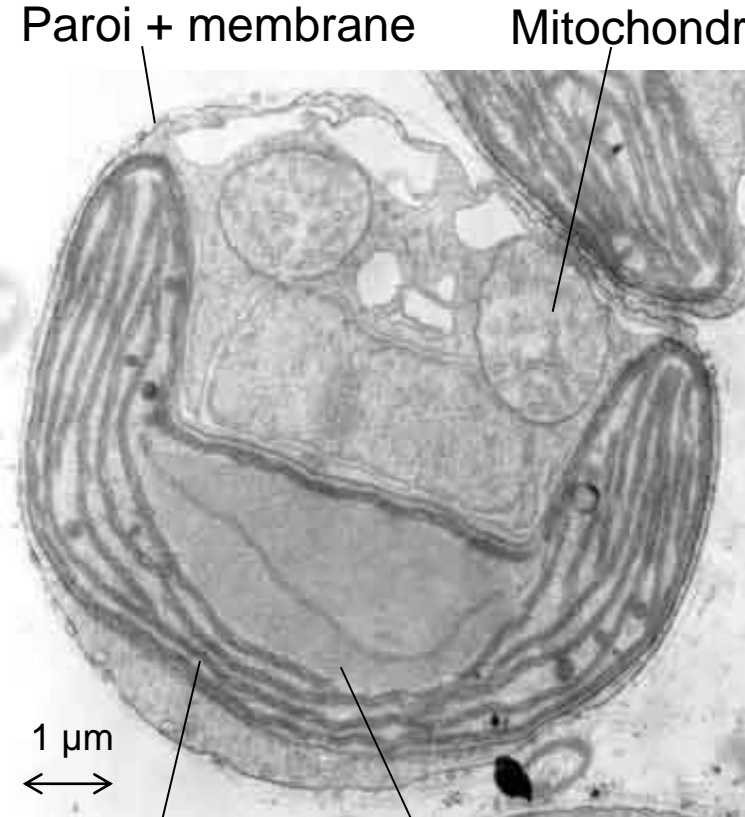


Transferts de gènes

Endocytobiose d'une bactérie photosynthétique par une cellule eucaryote à mitochondries à l'origine des chloroplastes

Chloroplaste de Straménopile

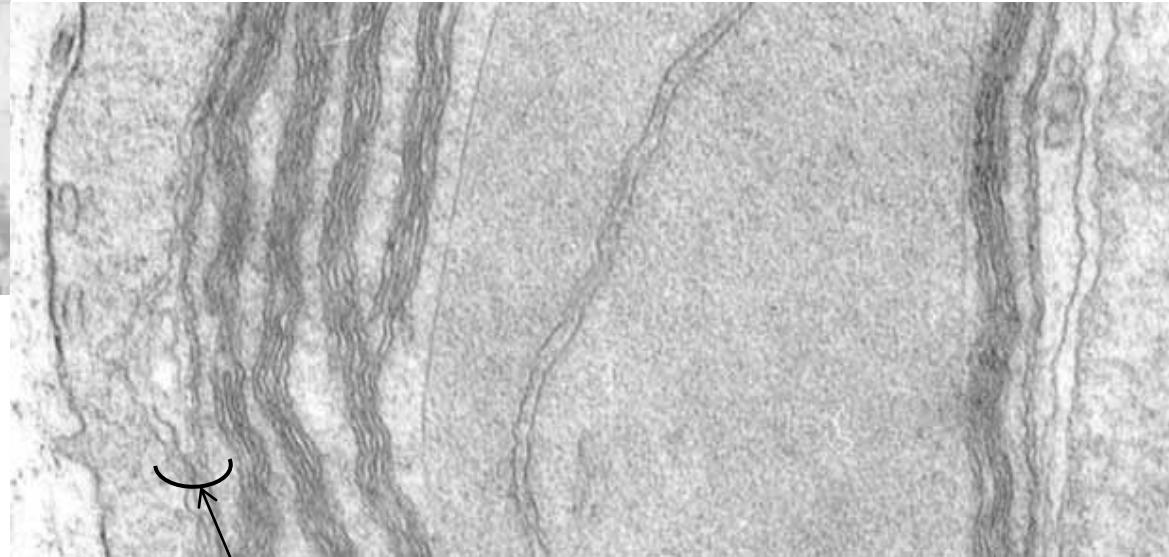
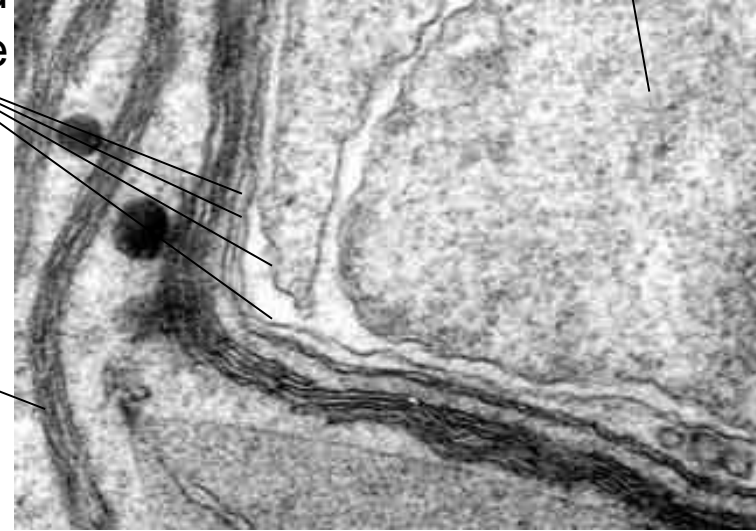
Vue d'ensemble de la cellule



4 membranes du chloroplaste

Thylacoïdes groupés par trois

Noyau



4 membranes du chloroplaste

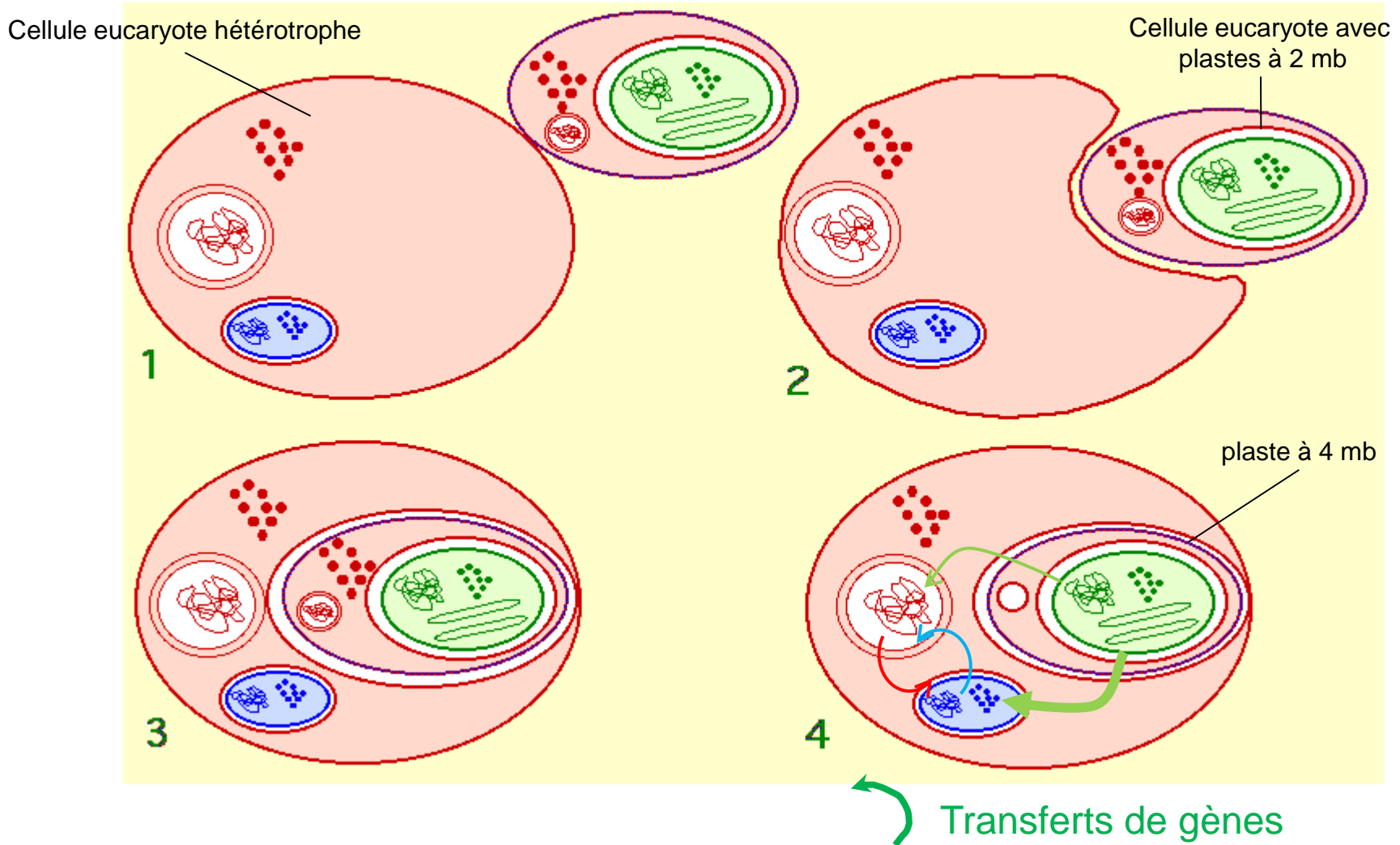
Document 9. Comparaison de différentes caractéristiques cytologiques et biochimiques des Cyanobactéries et des plastes des Eucaryotes.

Phylum	Nb mb	Thylacoïdes	Chlorophylles	Phycobilines	Caroténoïdes	Localisation
Cyanobactéries	-	Non accolés	a	PC, APC, PE	-	-
Eucaryotes						
Phéophytes	4	Par 3	a et c	-	Fucoxanthine	Lumière REG
Haptophytes	4	Par 3	a et c	-	Fucoxanthine	Lumière REG
Cryptophytes	4	Par 2	a et c	PE, (PC)	Alloxanthine	Lumière REG
Dinophytes	3	Par 3	a et c	-	Peridinine	Cytoplasme
Euglénophytes	3	Par 3	a et b	-	Diadinoxanthine	Cytoplasme
Glaucophytes	2	Non accolés	a	PC, APC	-	Cytoplasme
Rhodophytes	2	Non accolés	a (et d)	PC, APC, PE	-	Cytoplasme
Chlorophytes	2	Par 2 à 6 (grana)	a et b	-	Zéaxanthine	Cytoplasme
Embryophytes	2	Associés, grana	a et b	-	Zéaxanthine	Cytoplasme

PE : Phycoérythrine ; PC : Phycocyanine, APC : Allophycocyanine

Document 7. Origine endosymbiotique des mitochondries et des plastes des Eucaryotes.

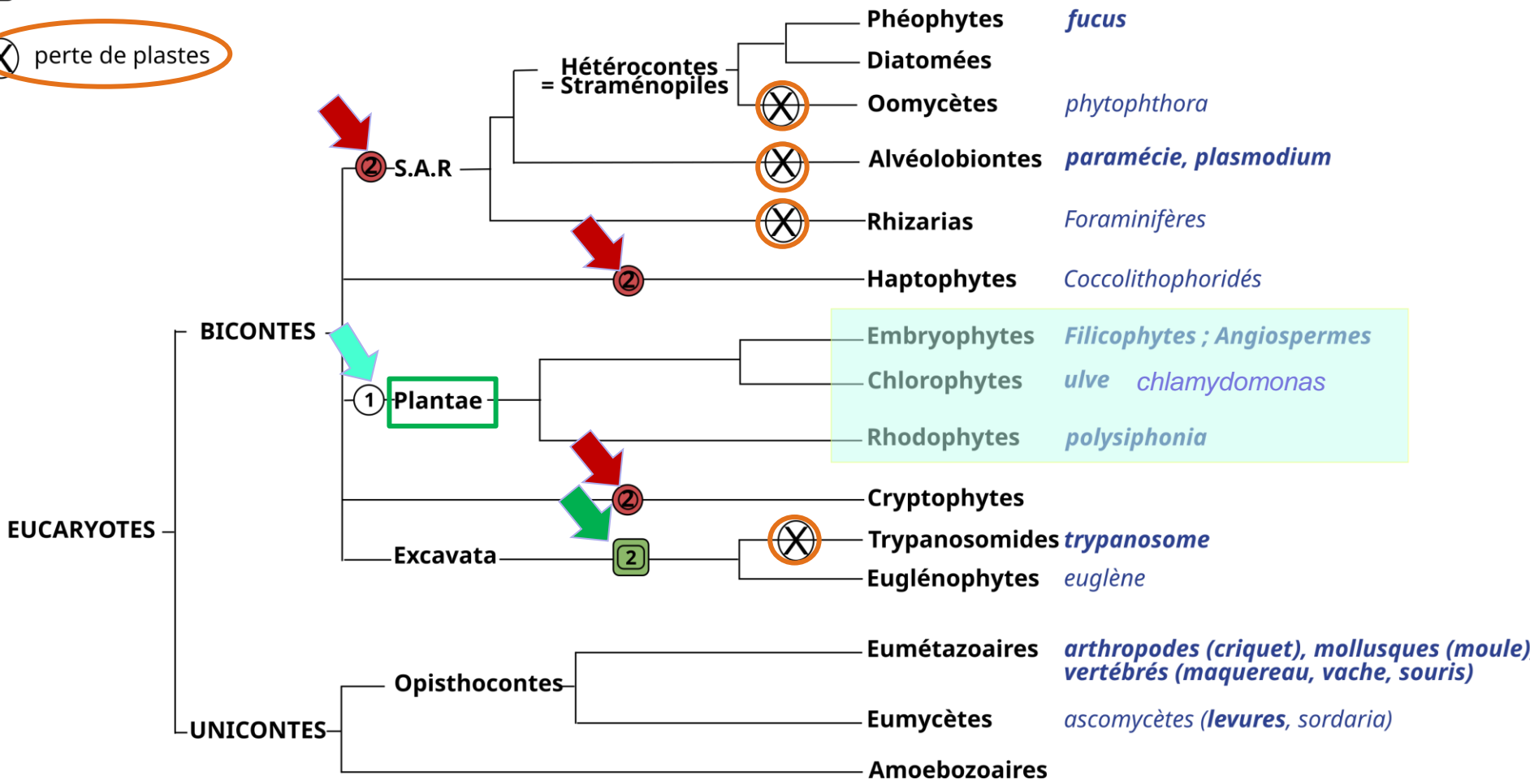
Endosymbiose secondaire : plastes des Straménopiles



Document 5. Arbre phylogénétique simplifié des Eucaryotes.

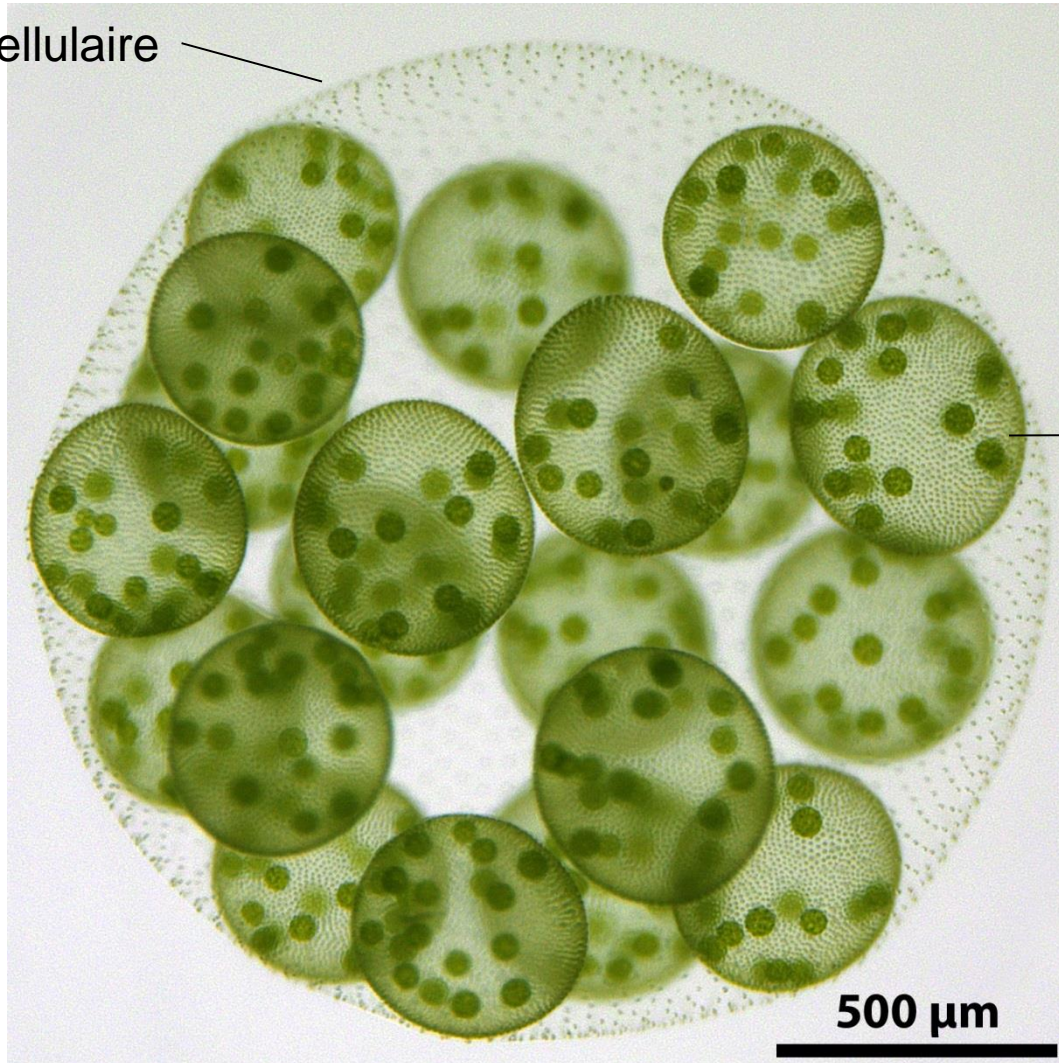
- ① endosymbiose I (cyanobactérie)
- ② endosymbiose II (algue rouge)
- ③ endosymbiose II (algue verte)

⊗ perte de plastes



Colonie de *Volvox* (Chlorophytes)

matrice extracellulaire



une cellule

500 μm

Document 10. Arbres phylogénétiques en miroir des Pigeons et de leurs Poux (genre *Columbicola*).

