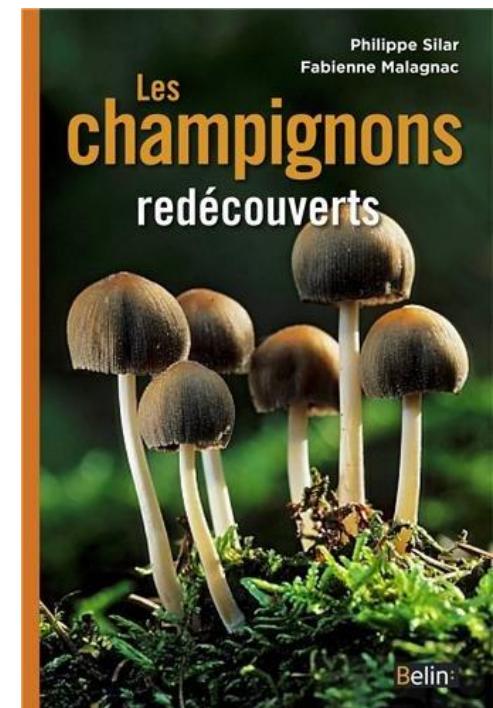
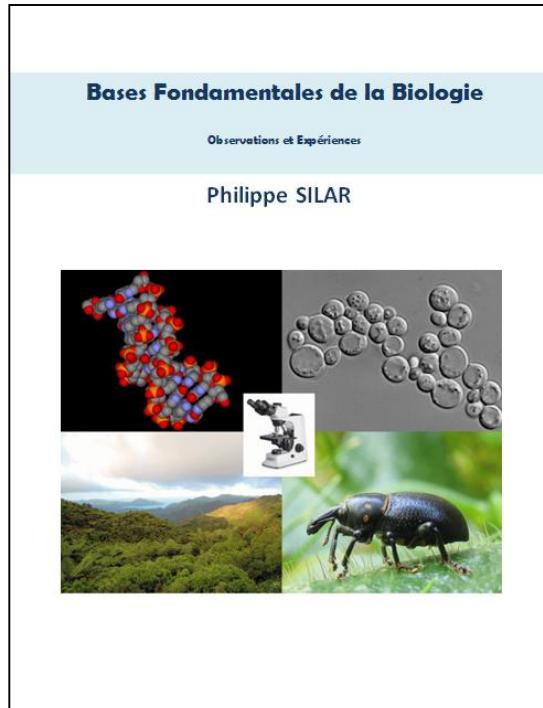
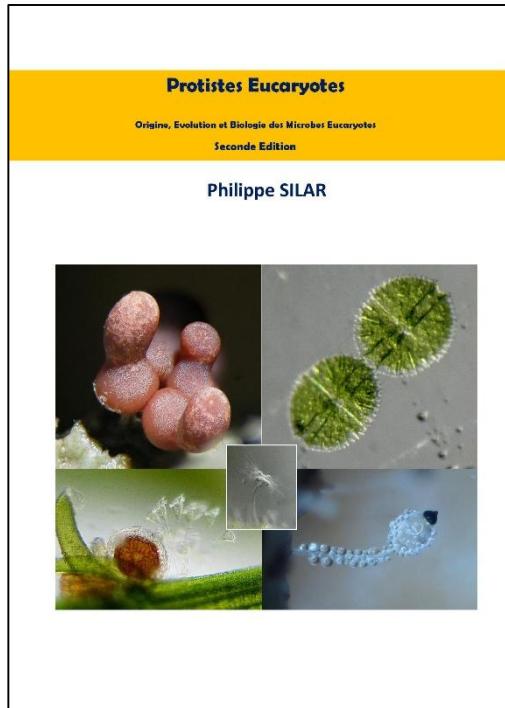


# Les microbes eucaryotes

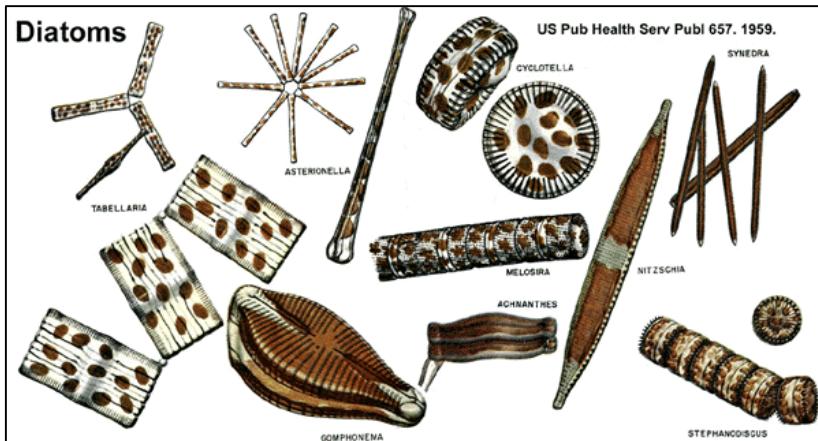
Philippe silar: <http://gec.sdv.univ-paris-diderot.fr/>



Gratuits dans HAL

# Microbe: organisme invisible à l'œil nu

Mais: de nombreux organismes apparentés à des microbes, en particulier chez les eucaryotes, sont bien visibles à l'œil nu:



diatomées

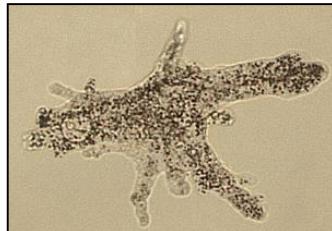


sargasses

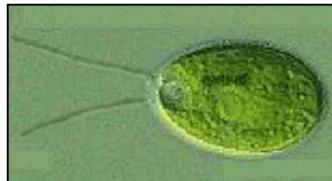
*Ochrophyta*

Il vaut mieux parler de « protistes »:  
→ dans ce cours, tout ce qui n'est pas un animal ou une plante

# L'ancienne terminologie et la classification basée sur la forme



amibes



flagellés



ciliés



levures



moisissures

Algues

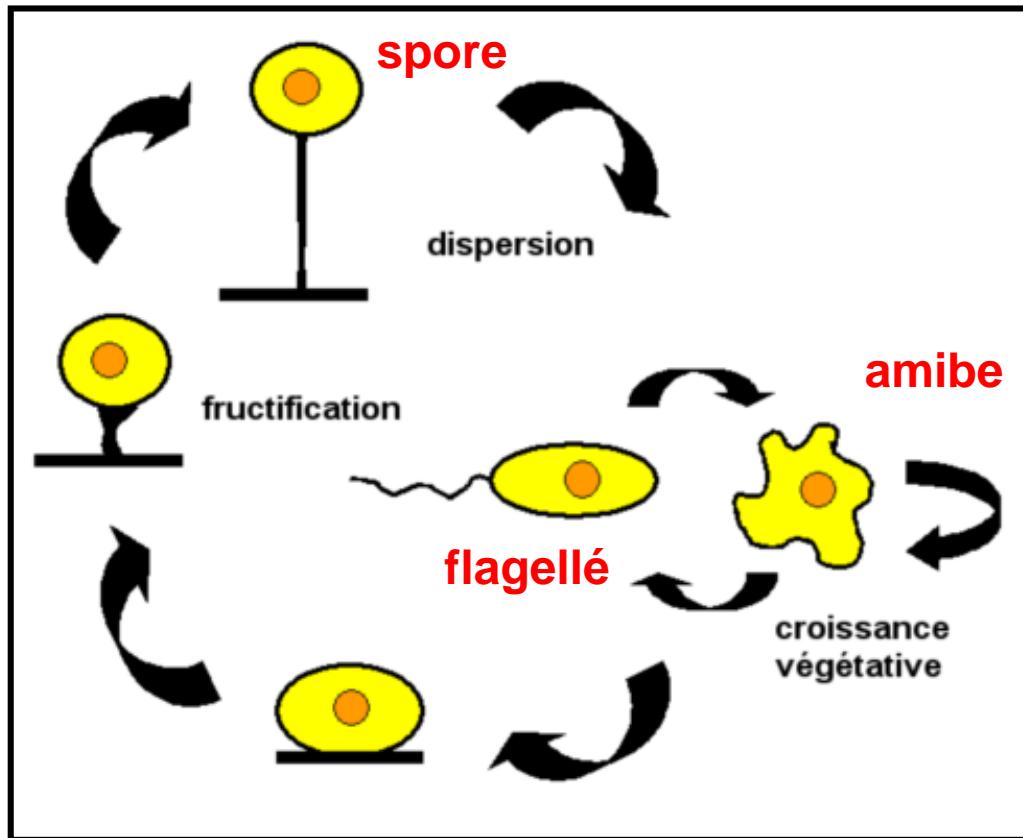
Protozoaires

Protistes

Champignons

# Les problèmes

Diversité des formes morphologiques pour un même organisme



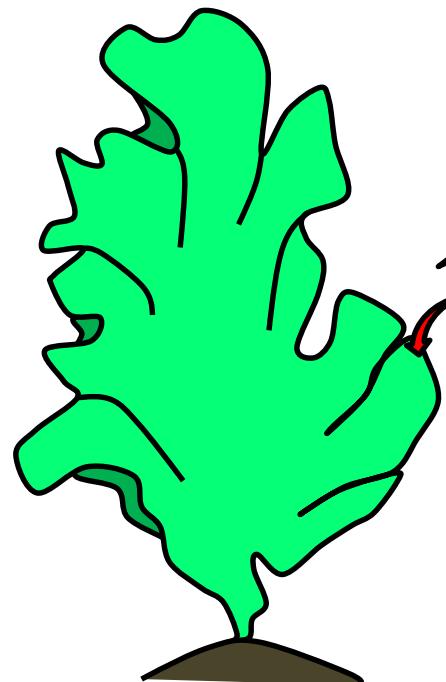
*Cycle de Planoprotostelium aurantium*

→ Plasticité développementale et cycles complexes

# La classification basée sur la stratégie nutritionnelle

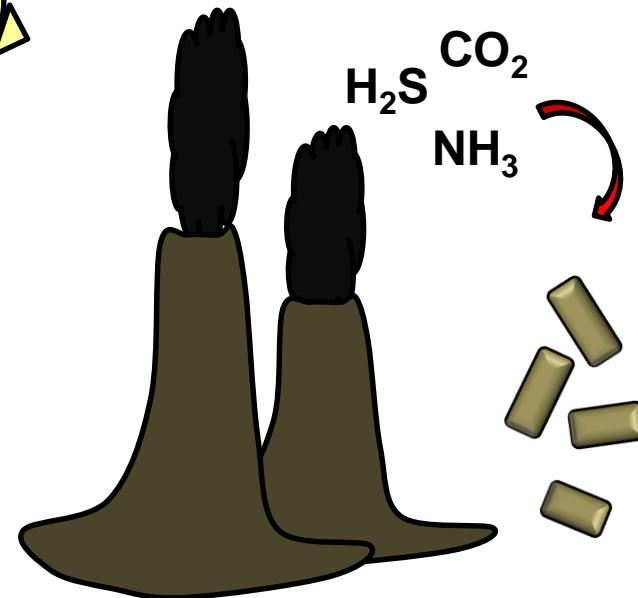
photo-autotrophie

bactéries  
plantes, **algues**



chimio-autotrophie

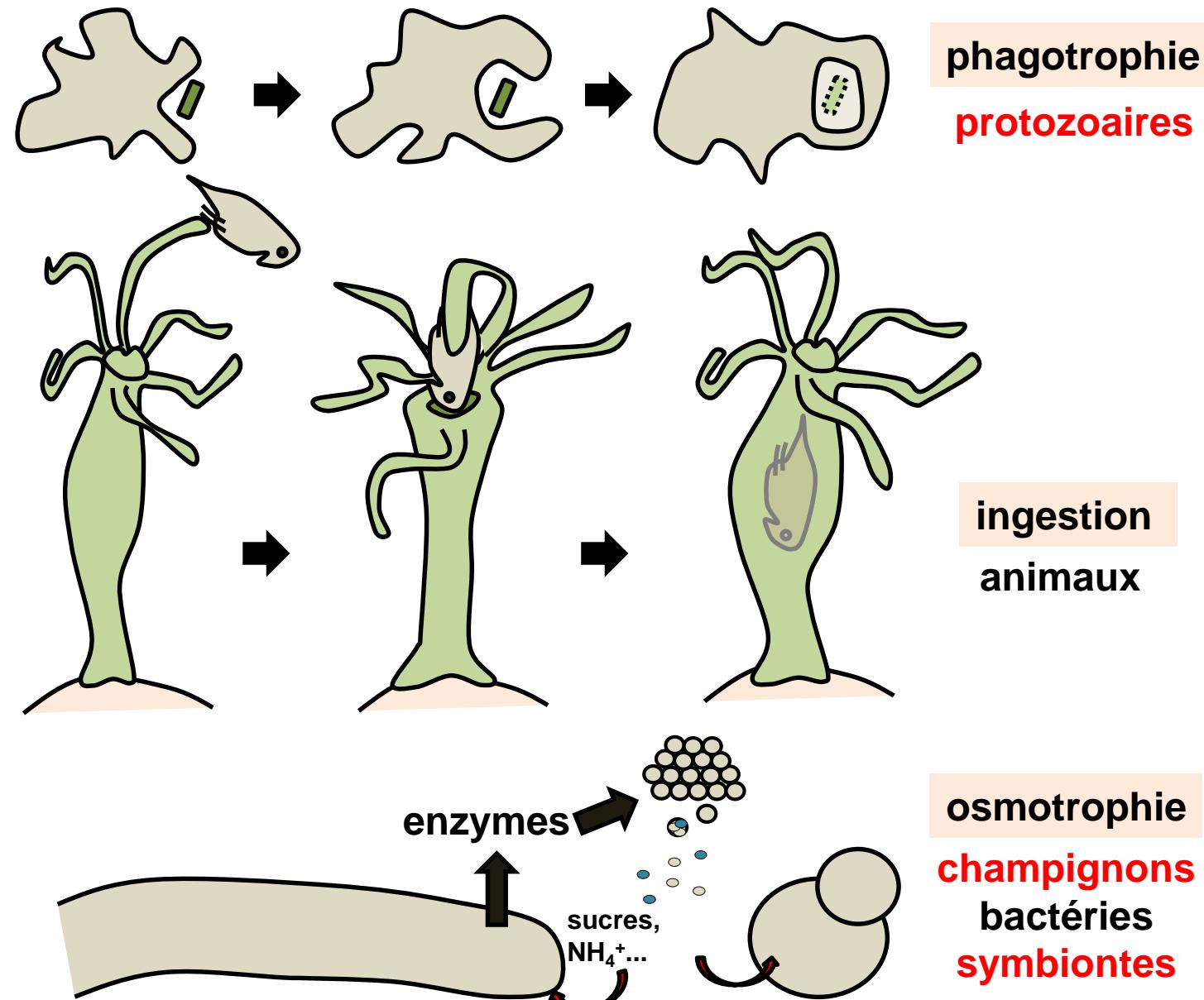
bactéries



sources hydrothermales

## Autotrophie

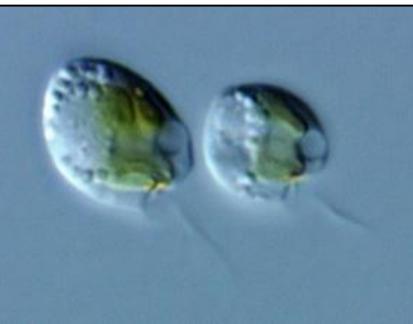
# La classification basée sur la stratégie nutritionnelle



# Les problèmes

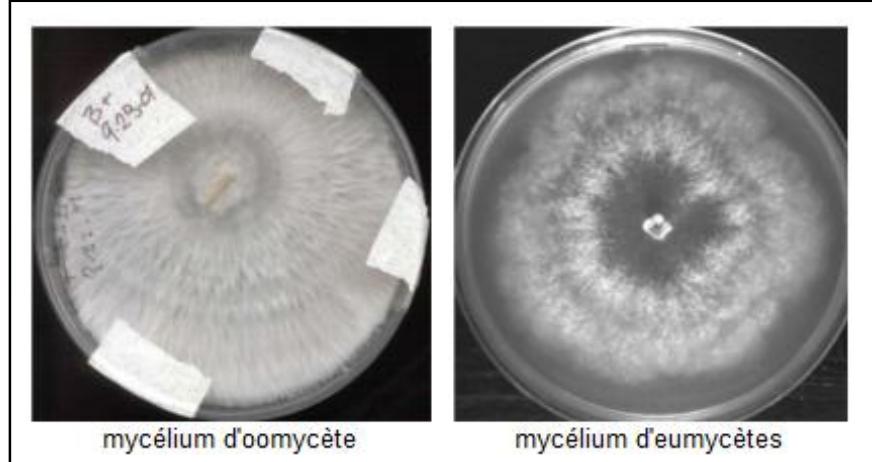


Euglènes:  
Photosynthétiques à la  
lumière  
Osmotrophes au noir



Ochromonas:  
Photosynthétiques et  
phagotrophes

**mixotrophie – plasticité des  
modes nutritionnels**



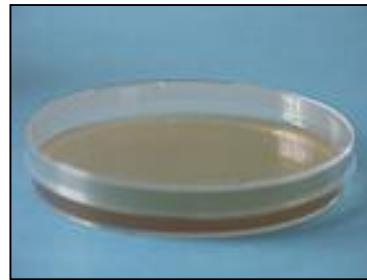
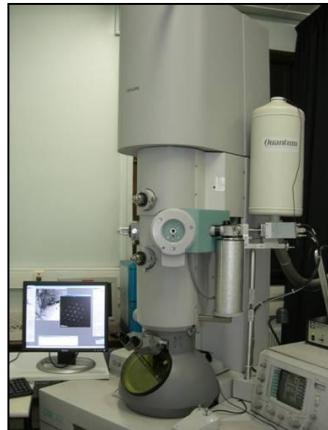
À part leur forme liée à une stratégie nutritionnelle de type saprotrophe, ces deux organismes n'ont rien en commun :

parois différentes, cycles sexuels différents, génomes différents, métabolismes différents...

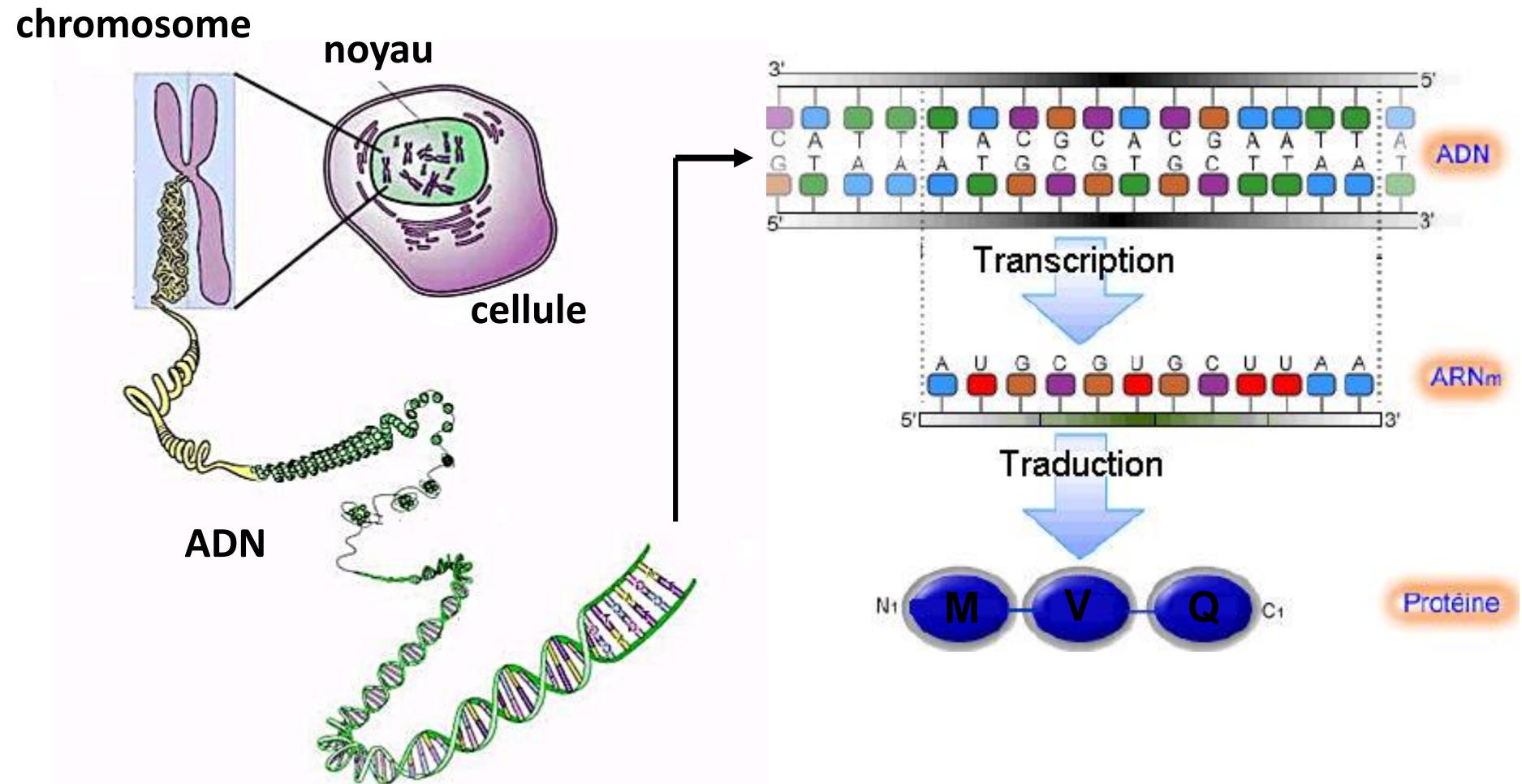
**Evolution convergente des  
stratégies trophiques**

# Méthodes de la classification moderne

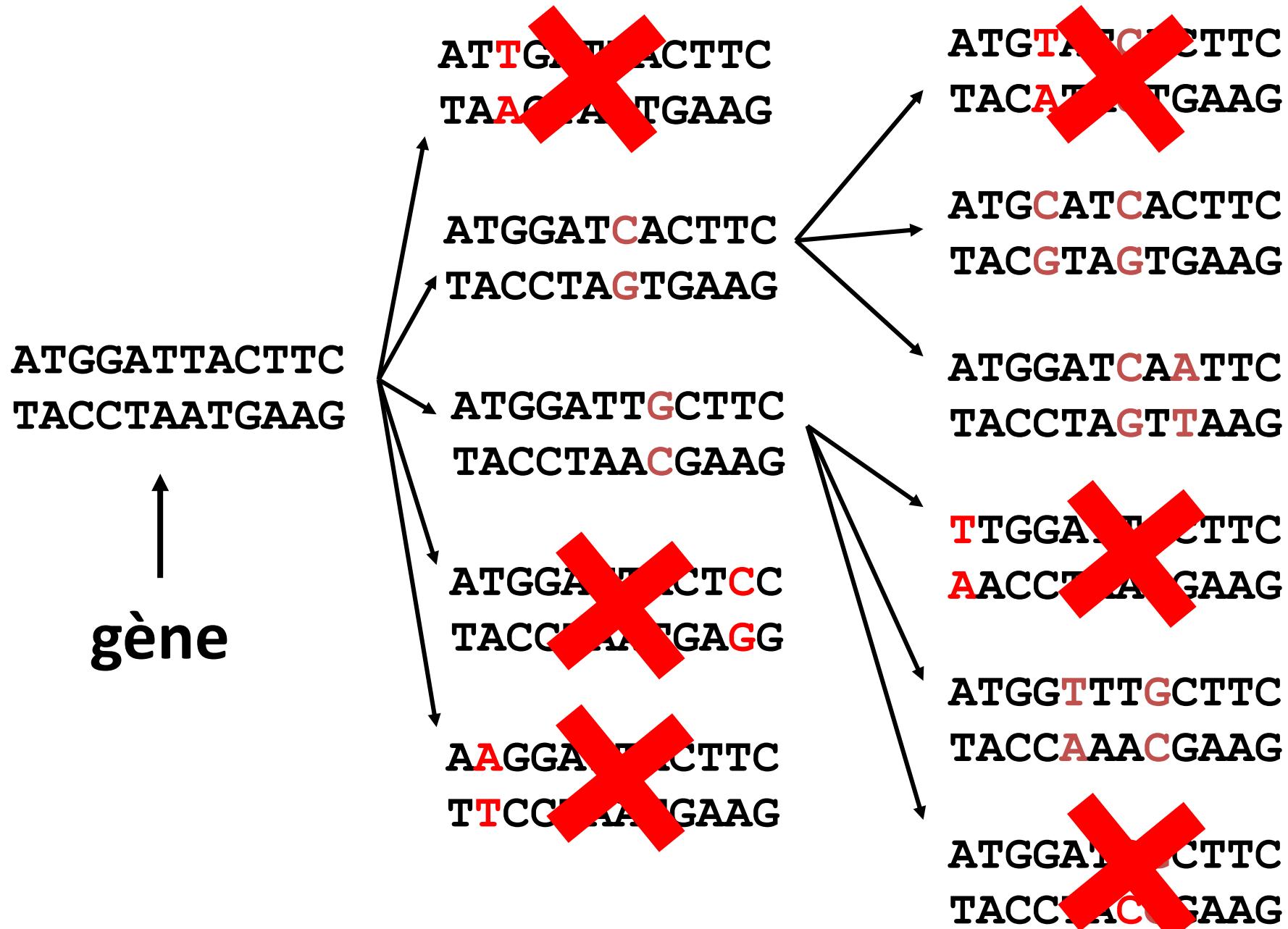
Une combinaison d'études morphologiques (en **microscopie optique et électronique**), culturelles et **maintenant essentiellement de comparaison des gènes**



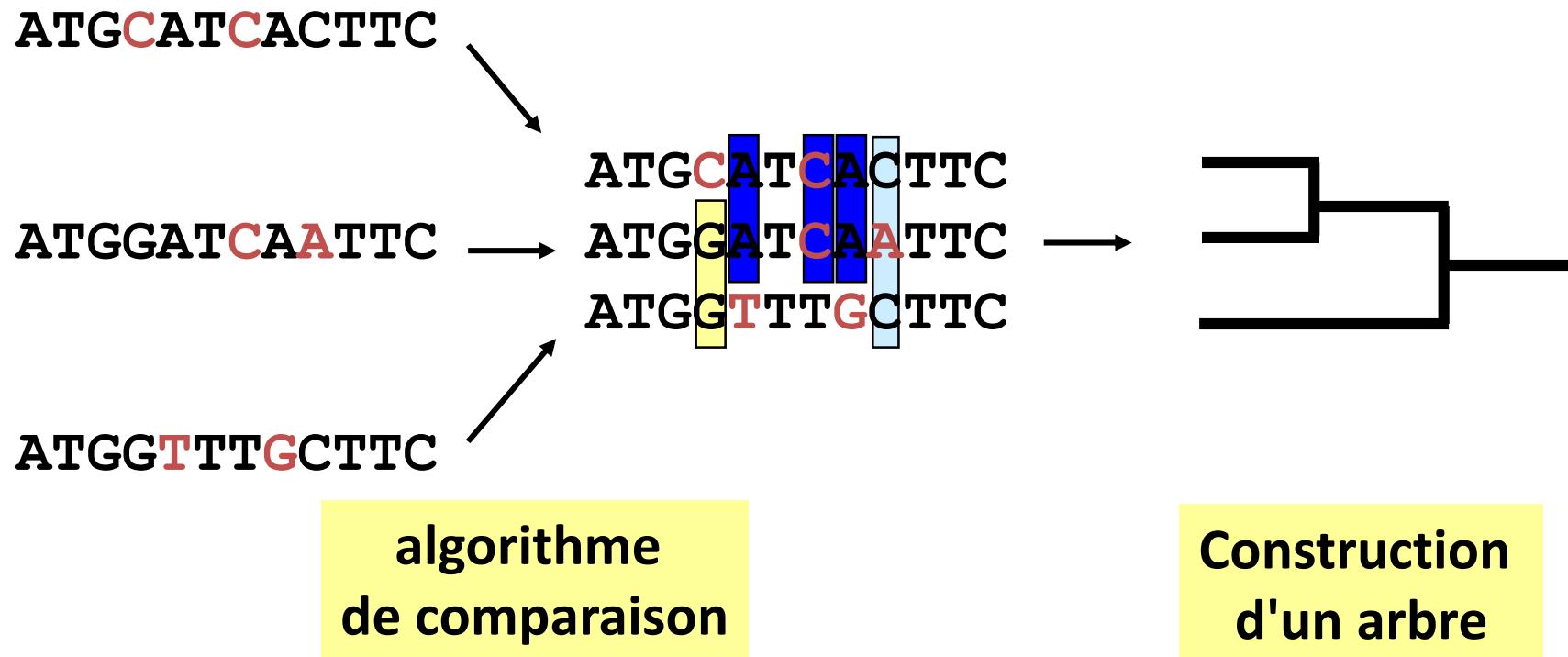
# La comparaison des gènes



# Évolution = mutation + sélection



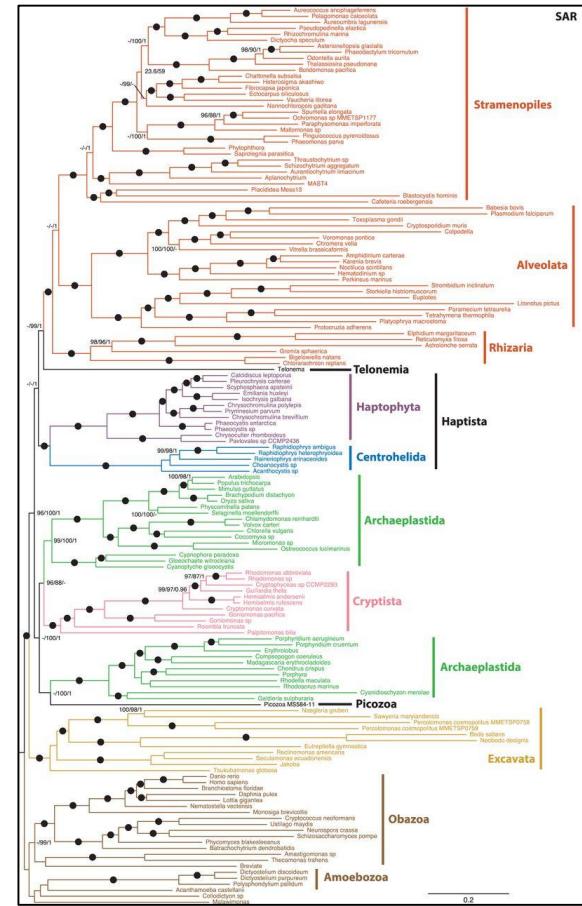
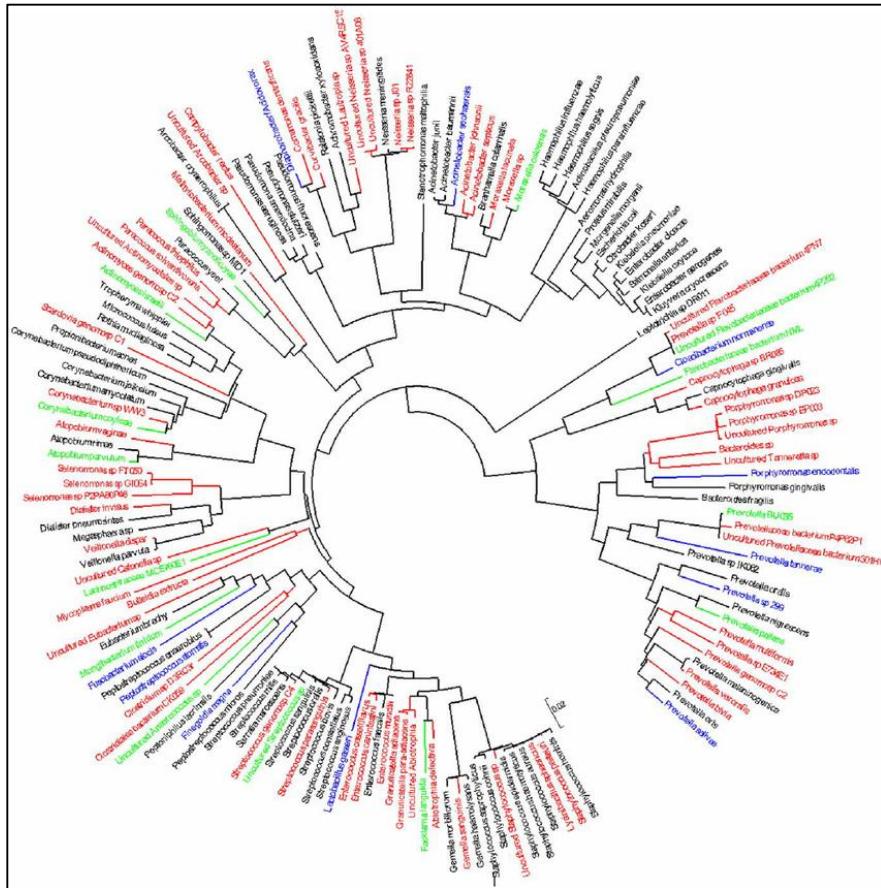
# La "phylogénie moléculaire"



# Les gènes utilisés

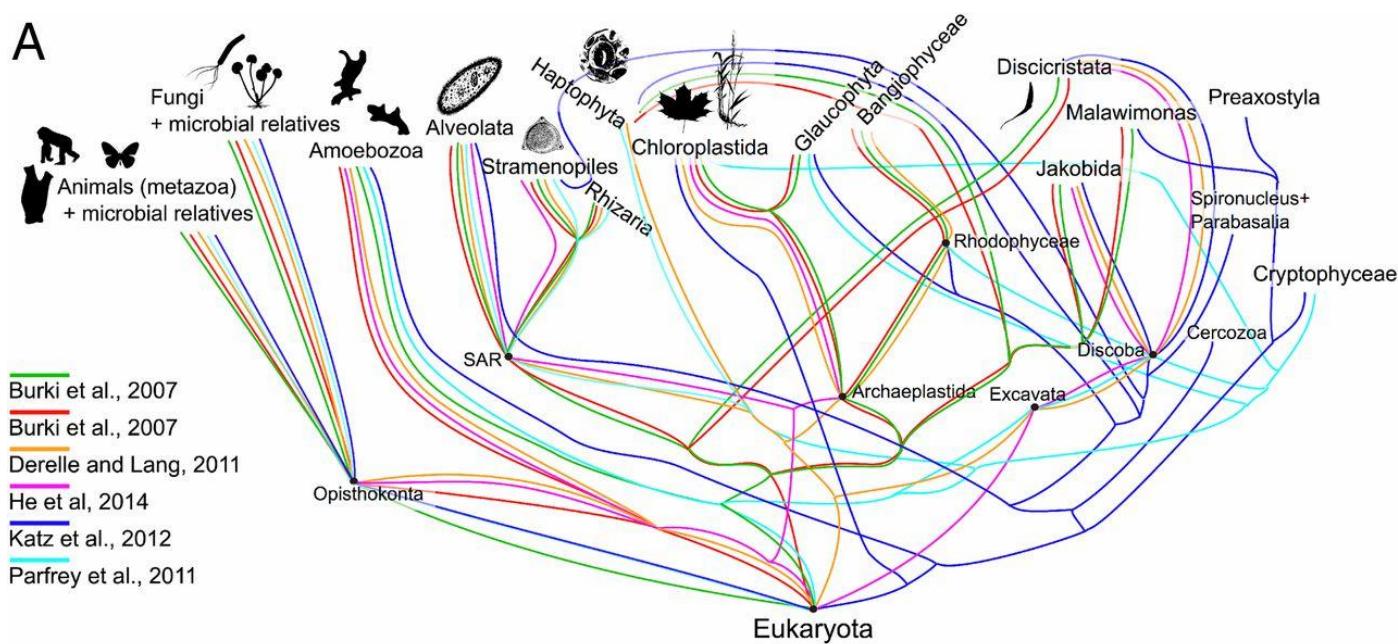
→ Chez les bactéries et les archées: ARNr 16S, « core génome »

→ Chez les eucaryotes: ARNr 18S, ARNr 28S, tubuline, actine, eEF1A... ou « core génome »

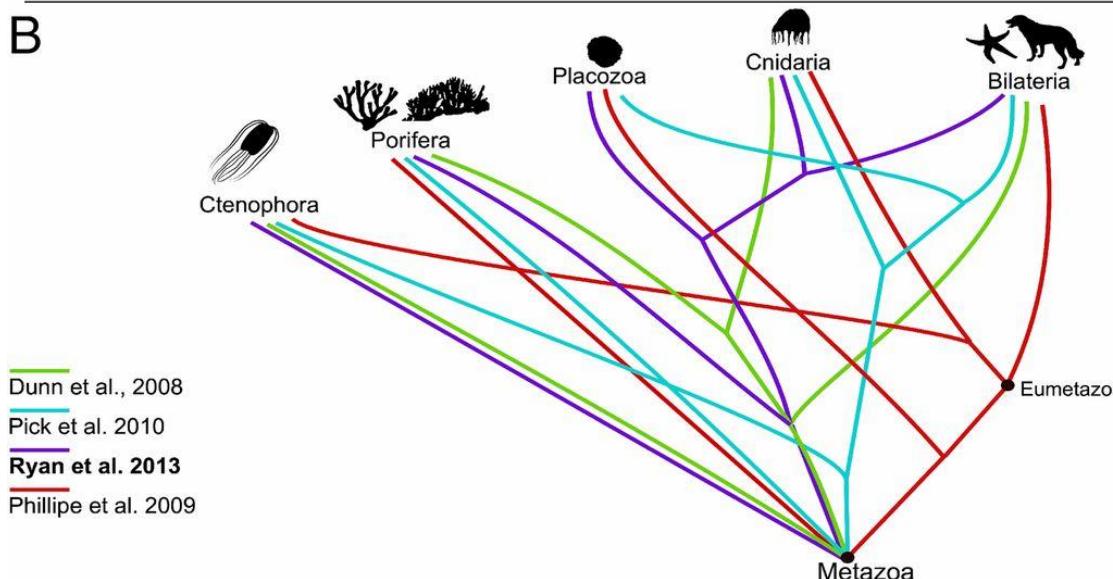


# Les phylogénies moléculaires ne résolvent pas tous les problèmes

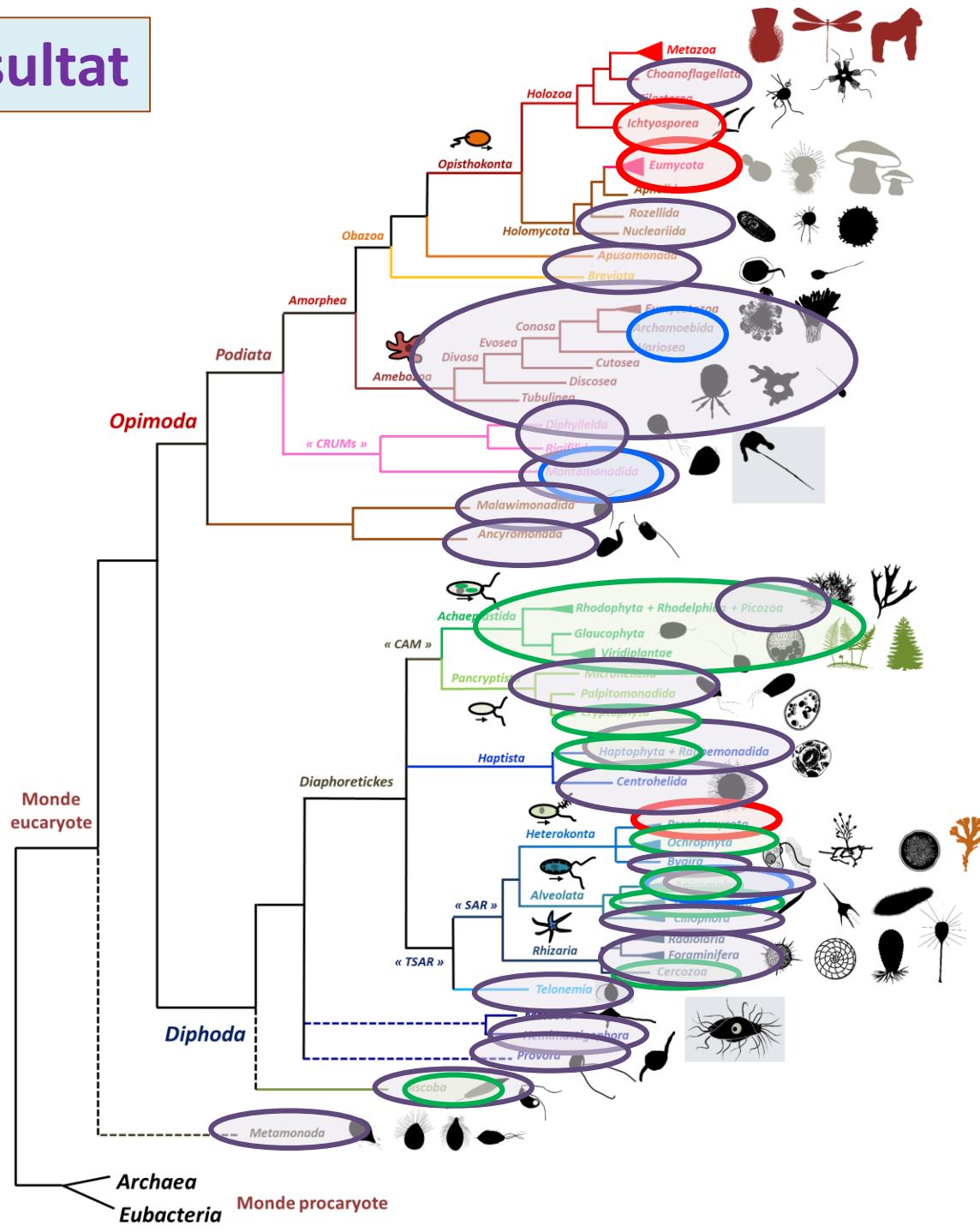
A



B



# Le résultat



« Unikonta »

« Bikonta »

- champignons
- algues
- protozoaires
- parasites

# Comment étudier les protistes eucaryotes?

Observations directes *in situ* souvent difficiles...

→ Prélèvements d'échantillons puis:

- Analyse morphologique
- Analyse moléculaire: la métagénomique et « single cell genome analysis »
- Mise en cultures

# L'observation morphologique nécessite une grande expertise (diversité et plasticité développementale)



Combien d'espèces de d'algues?



Combien d'espèces de lichens?



## A single macrolichen constitutes hundreds of unrecognized species

Robert Lücking<sup>a,1</sup>, Manuela Dal-Forno<sup>b</sup>, Masoumeh Sikaroodi<sup>b</sup>, Patrick M. Gillevet<sup>b</sup>, Frank Bungartz<sup>c</sup>, Bibiana Moncada<sup>d</sup>, Alba Yáñez-Ayabaca<sup>c</sup>, José Luis Chaves<sup>e</sup>, Luis Fernando Coca<sup>f</sup>, and James D. Lawrey<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Science and Education, The Field Museum, Chicago, IL 60605; <sup>b</sup>Department of Environmental Sciences, University of Missouri, Columbia, MO 65211; <sup>c</sup>Biodiversity Assessment, Charles Darwin Foundation, Puerto Ayora, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador; <sup>d</sup>Instituto de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia; <sup>e</sup>José de Caldas, Torre de Laboratorios, Herbario, Bogotá, Colombia; <sup>f</sup>Laboratorio de Hongos, Instituto de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; and <sup>f</sup>Herbario Universidad de Caldas, Edificio Bicentenario, Manizales, A.A. 275, Colombia

Edited by Peter H. Raven, Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO, and approved May 20, 2013

The number of Fungi is estimated at between 1.5 and 3 million. Lichenized species are thought to make up a comparatively small portion of this figure, with unrecognized species richness hidden among little-studied, tropical microlichens. Recent findings, however, suggest that some macrolichens contain a large number of unrecognized taxa, increasing known species richness by an order of magnitude or more. Here we report the existence of at least 126 species in what until recently was believed to be a single taxon: the basidiolichen fungus *Dictyonema glabratum*, also known as *Cora pavonia*. Notably, these species are not cryptic but morphologically distinct. A predictive model suggests an even larger number, with more than 160 species in the genus. This finding highlights the need for a more detailed study of macrolichens to reveal their true species richness. We propose the name *Corella* for this genus and describe 126 new species, including 11 from the Americas. The new species are phylogenetically well supported and have distinct morphologies. The morphological diversity of the species is shown in a grid of photographs. The increased number of species is supported by molecular data, including a phylogenetic tree based on 376 sequences of the internal transcribed spacer (ITS) region. The ITS data show that the 126 species are more closely related to each other than to the type species, *D. glabratum*. The ITS data also support the presence of more than 160 species in the genus. The new species are described and illustrated, and their distribution is mapped. The new species are described and illustrated, and their distribution is mapped.

**Sixteen Species**



Dans ce cas, des différences morphologiques ont été détectées *a posteriori*

→

# La métagénomique

Collecte des échantillons

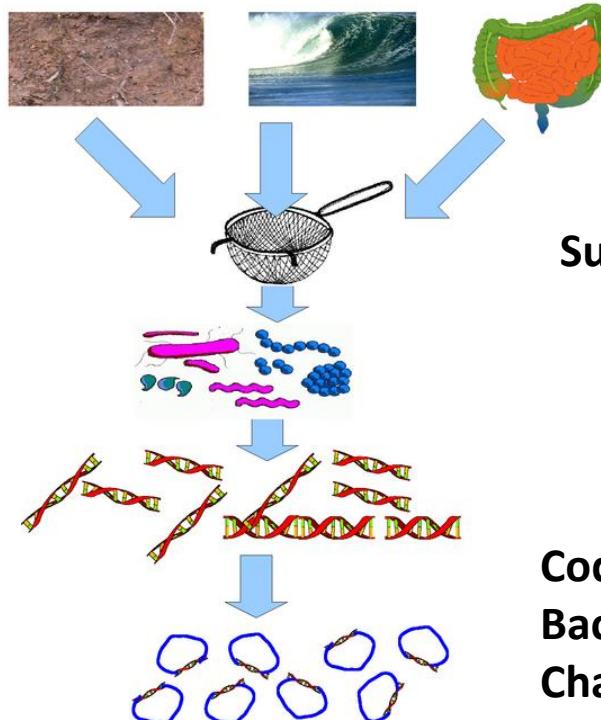
↓  
Tri éventuel

↓  
Extraction d'ADN

↓  
Fragmentation (~300 pb) et  
amplification spécifique  
éventuelle

↓  
Séquence à haut  
débit

↓  
Analyses statistiques



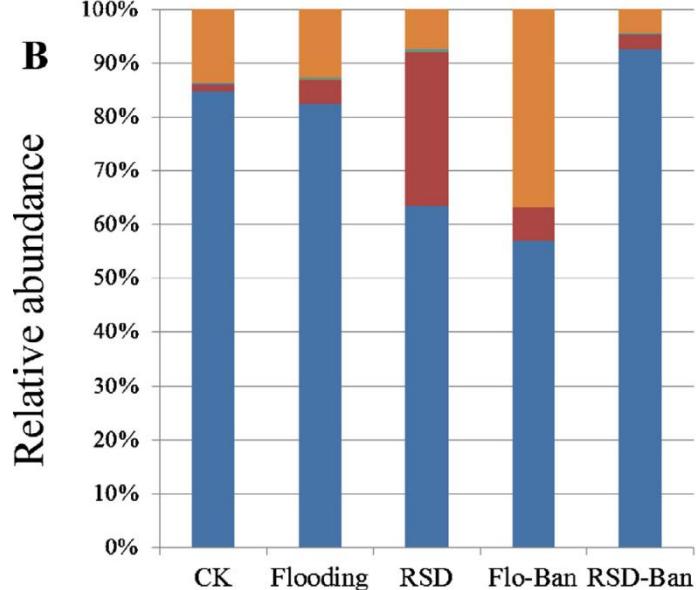
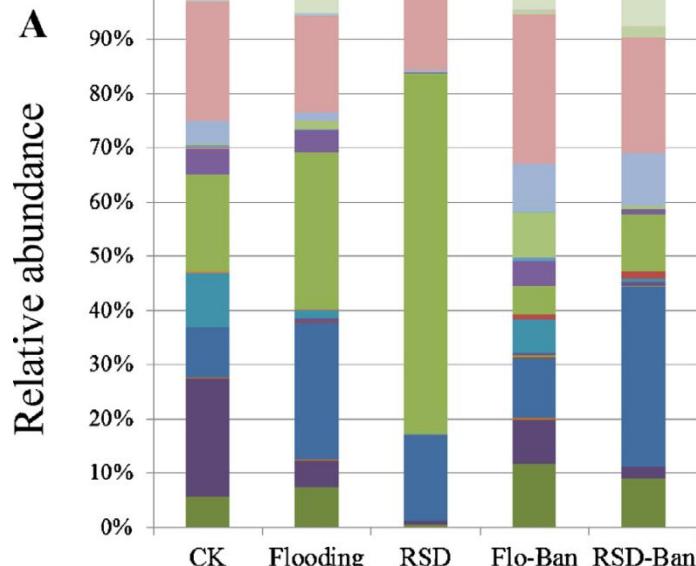
Surtout sur la taille

Code barre:  
Bactéries: 16S  
Champignons: ITS  
Algues et Protozoaires: ADNr  
(nucléaires ou mitochondriaux)



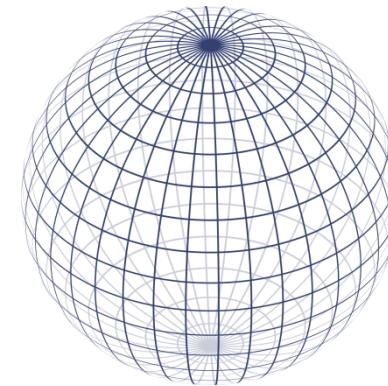
↓  
Analyses de fréquences  
Reconstitution de  
génomes

# Un résultat typique



- WS4
- Verrucomicrobia
- TM7
- Thermi
- Spirochaetes
- Planctomycetes
- OP3
- OD1
- Nitrospirae
- GN02
- Firmicutes
- FCPU426
- Chloroflexi
- Chlamydiae
- Bacteroidetes
- AD3
- Acidobacteria
- WS3
- UC
- TM6
- Tenericutes
- Proteobacteria
- Others
- OP11
- NKB19
- GN04
- Gemmatimonadetes
- Fibrobacteres
- Cyanobacteria
- Chlorobi
- BR1
- Armatimonadetes
- Actinobacteria

eucaryote



procaryote

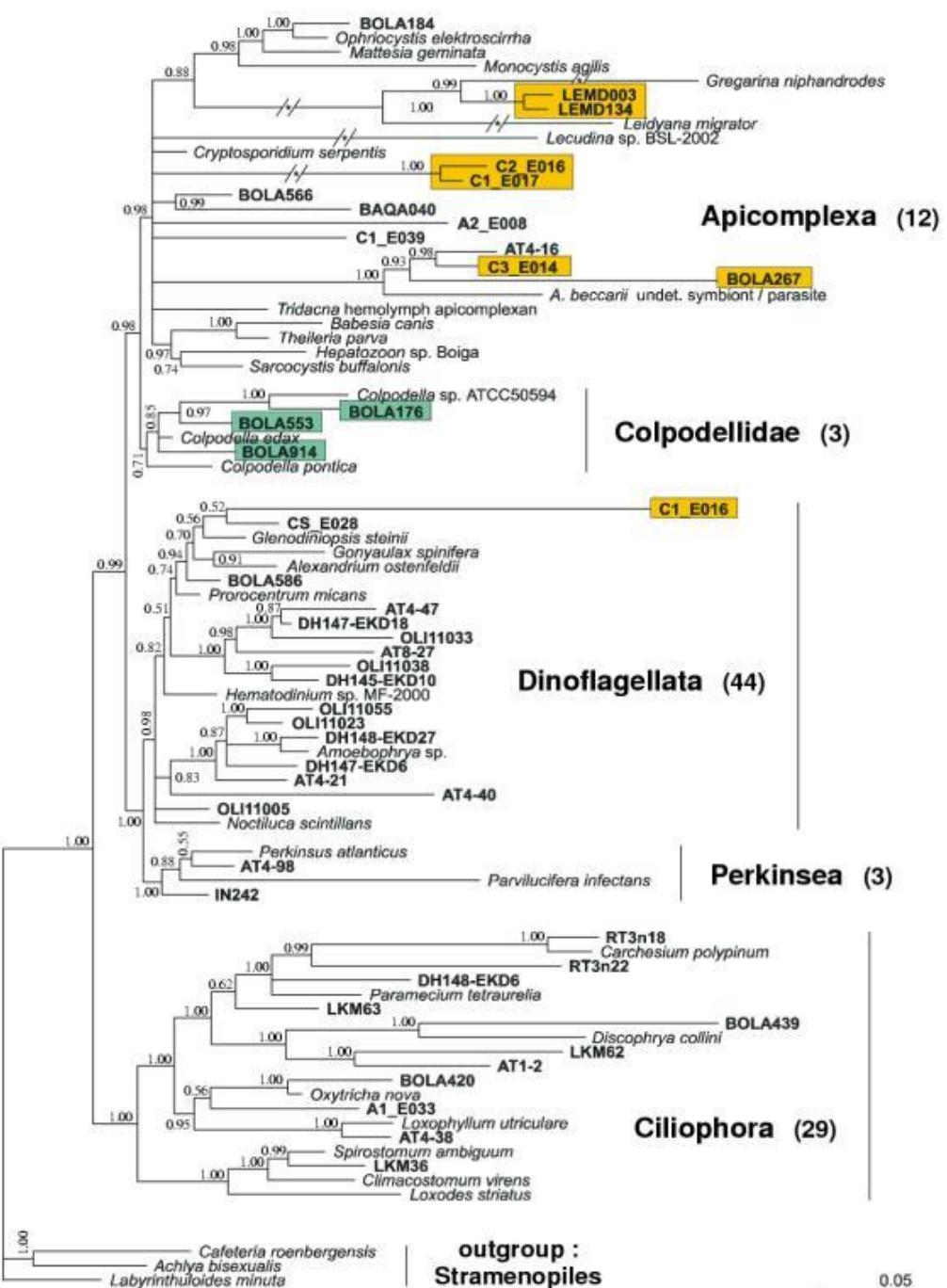
Attention, cette méthode compte les individus et pas la biomasse!

Une cellule eucaryote est beaucoup plus grosse qu'une cellule procaryote! Dans beaucoup de biotopes, bien qu'en nombre moindre, les eucaryotes dominent en biomasse!

Métagénomique, technique très puissante mais:

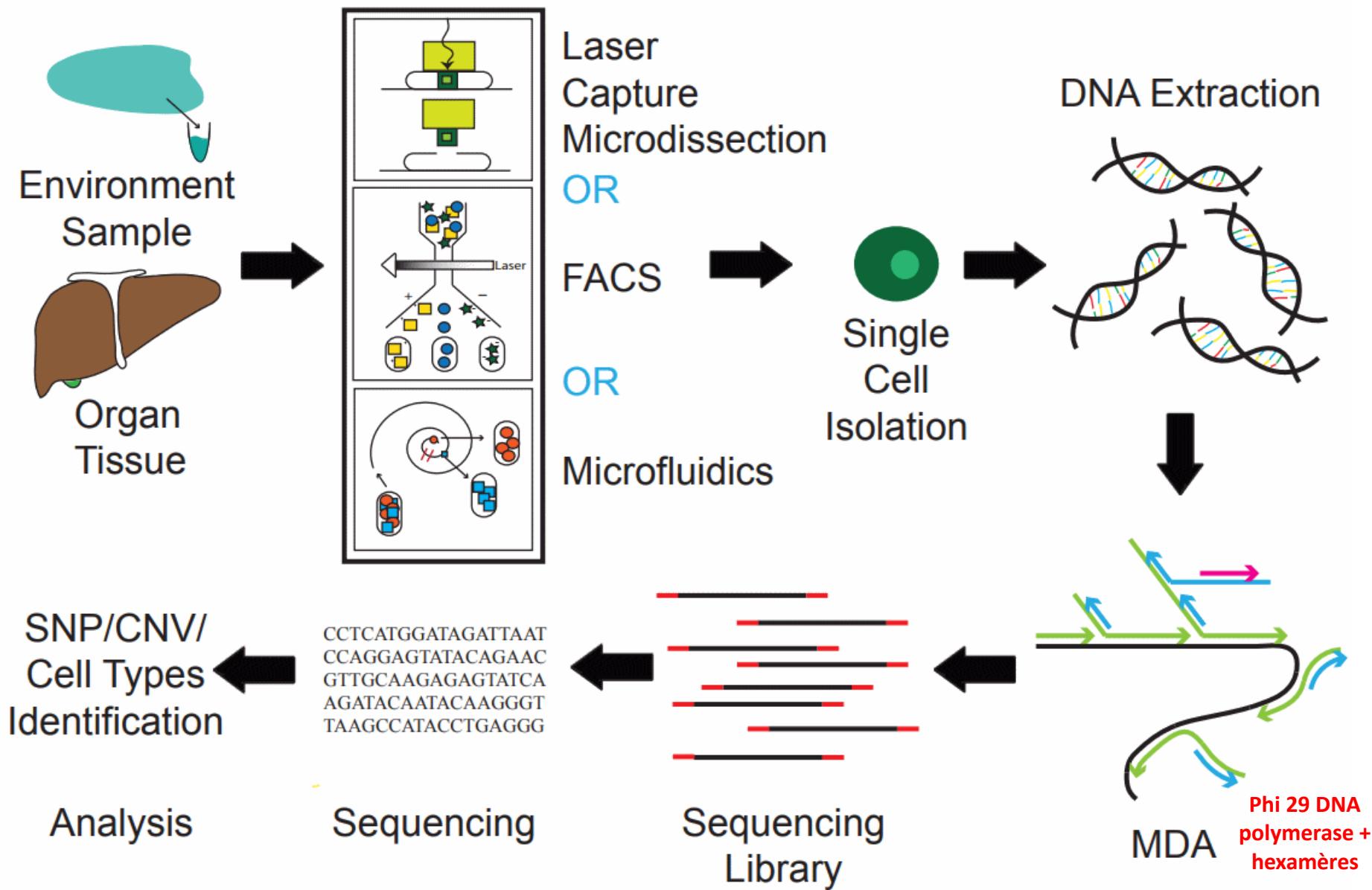
- toujours onéreuse (~100 € par échantillon, mais nécessité de répliques)

- des organismes sont identifiés par leur séquence mais on ne les connaît pas!



# Analyse du génome d'une seule cellule

## Single Cell Genome Sequencing Workflow



# Un exemple:

Current Biology  
Report

## Morphological Identification and Single-Cell Genomics of Marine Diplonemids

Ryan M.R. Gawryluk,<sup>1,\*</sup> Javier del Campo,<sup>1</sup> Noriko Okamoto,<sup>1</sup> Jürgen F.H. Strassert,<sup>1</sup> Julius Lukes,<sup>5,2</sup>  
Thomas A. Richards,<sup>3,4</sup> Alexandra Z. Worden,<sup>3,5</sup> Alyson E. Santoro,<sup>3,6</sup> and Patrick J. Keeling<sup>1,3,7,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Botany, University of British Columbia, 3529-6270 University Boulevard, Vancouver, BC V6T 1Z4, Canada

<sup>2</sup>Institute of Parasitology, Biology Centre, Czech Academy of Sciences and Faculty of Sciences, University of South Bohemia, 370 05 České Budějovice, Czech Republic

<sup>3</sup>Integrated Microbial Biodiversity Program, Canadian Institute for Advanced Research, Toronto, ON M5G 1Z8, Canada

<sup>4</sup>Department of Biosciences, University of Exeter, Geoffrey Pope Building, Exeter EX4 4QD, UK

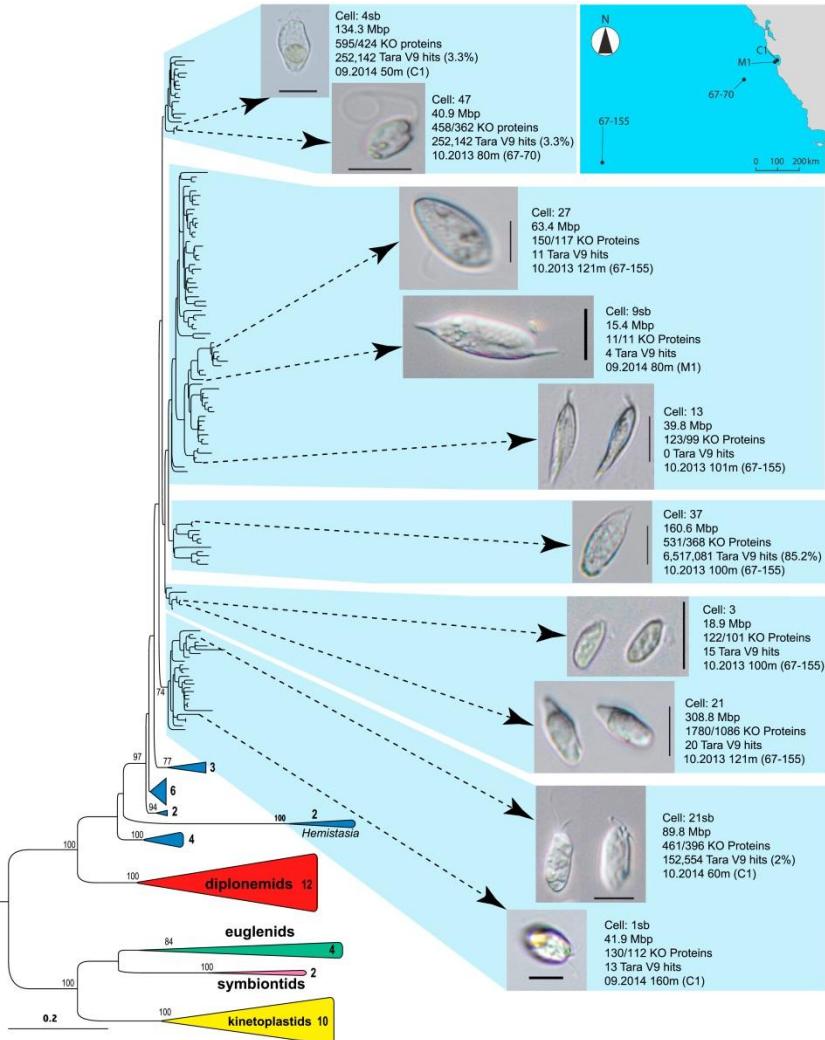
<sup>5</sup>Monterey Bay Aquarium Research Institute, 7700 Sandholdt Road, Moss Landing, CA 95039, USA

<sup>6</sup>Department of Ecology, Evolution and Marine Biology, University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, CA 93106, USA

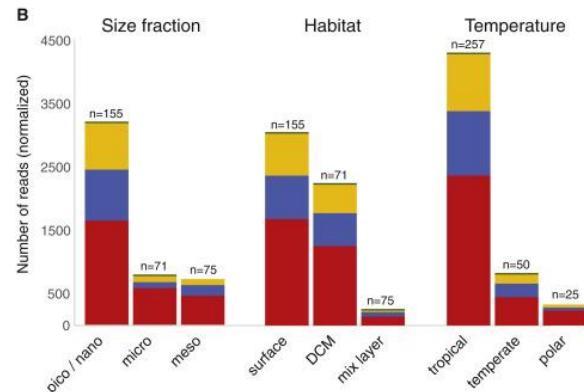
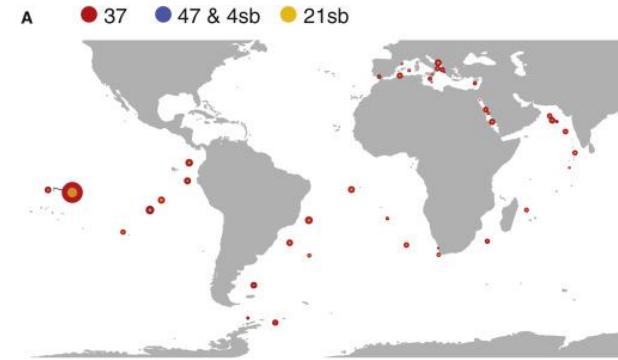
<sup>7</sup>Lead Contact

\*Correspondence: ryan.gawryluk@gmail.com (R.M.R.G.), pkeeling@mail.ubc.ca (P.J.K.)

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.09.013>



Couplage avec la métagénomique



## Les cultures et les collections

La mise en culture, puis en collection, reste la méthode de choix pour étudier les microorganismes (eucaryotes et procaryotes), mais

- De nombreux microbes sont difficilement mis en culture pour des raisons diverses pas toujours claires (temps de génération long, vie en association, dormance...)
- Les microorganismes à croissance rapide et ne vivant pas en symbioses (mutualistes ou parasites) sont souvent surreprésentés dans les collections
- Le maintien des collections pose des problèmes (place, coûts, dérive des souches...)



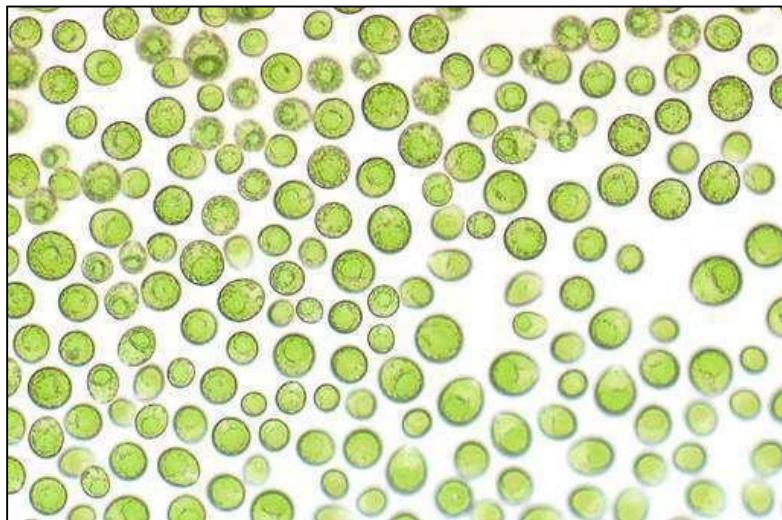
# En fonction des stratégies nutritionnelles les mises en cultures sont plus ou moins difficiles



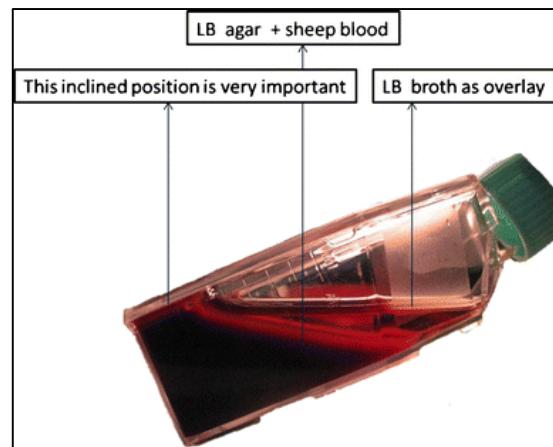
champignons:  
milieu **axénique**  
**simple**  
avec source de  
carbone  
organique



protozoaires: milieu **monoxénique**



algues: milieu **axénique** sans source de carbone autre que CO<sub>2</sub>



symbiontes parasites  
et mutualistes:  
milieu **axénique**  
**complexe**, voire sur  
cultures cellulaires



tubes



Boites de Petri



Fioles de Roux



Erlenmeyer

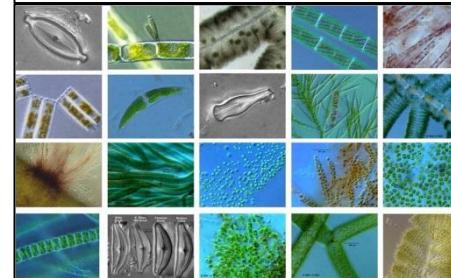
- **Milieu axénique:** sans organisme vivant
- **Milieu monoxénique:** avec une seule proie
- **Milieu polyxénique:** avec plusieurs proies
- **Milieu minimum:** milieu avec source de C, N + oligoéléments et éventuellement vitamines
- **Milieu complet:** milieu avec la totalité des molécules utilisées par un organisme
- **Milieu riche:** avec une grande quantité de carbone (typiquement 10g/L de glucose)
- **Milieu pauvre:** avec une faible quantité de carbone (typiquement 1g/L de glucose)

# Un inventaire illustré de la diversité des eucaryotes

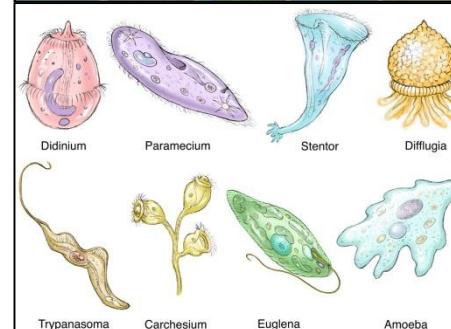
## champignons



## algues



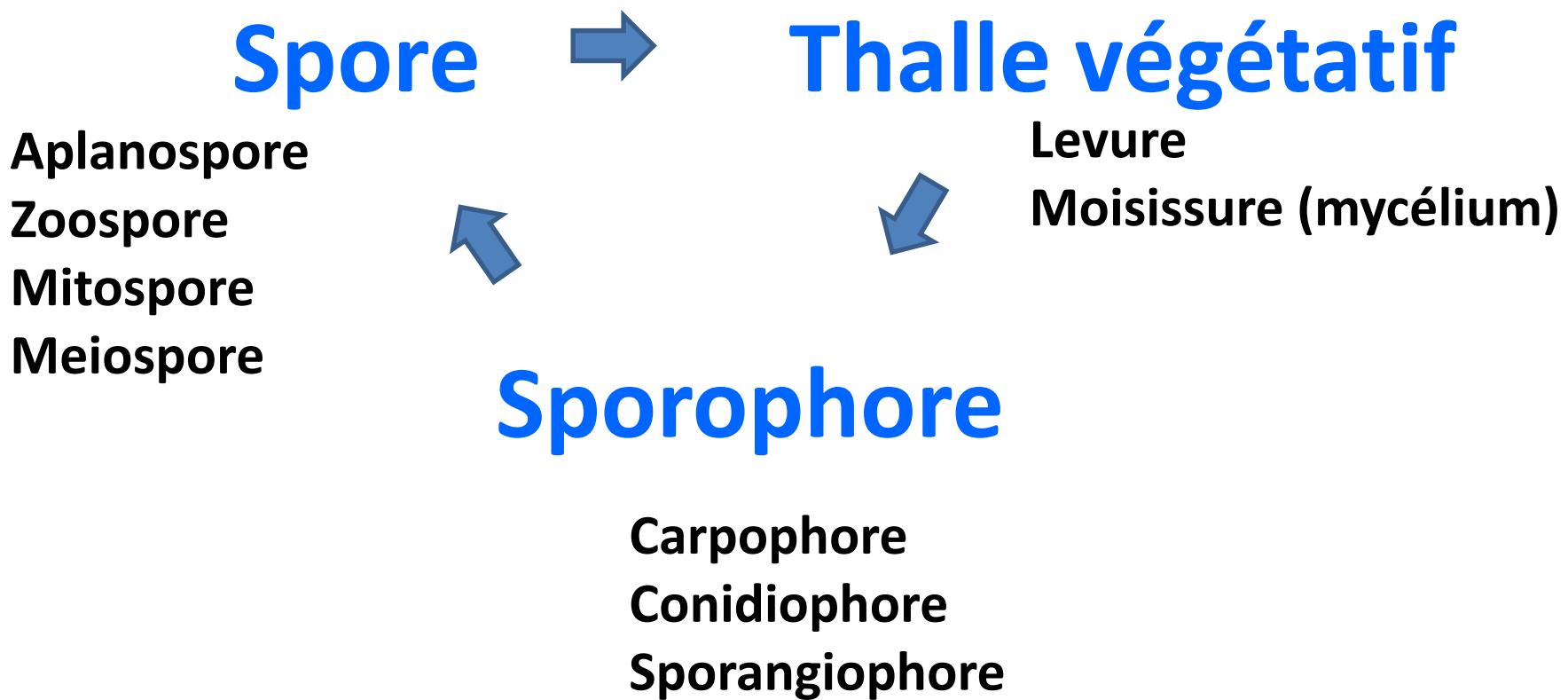
## protozoaires



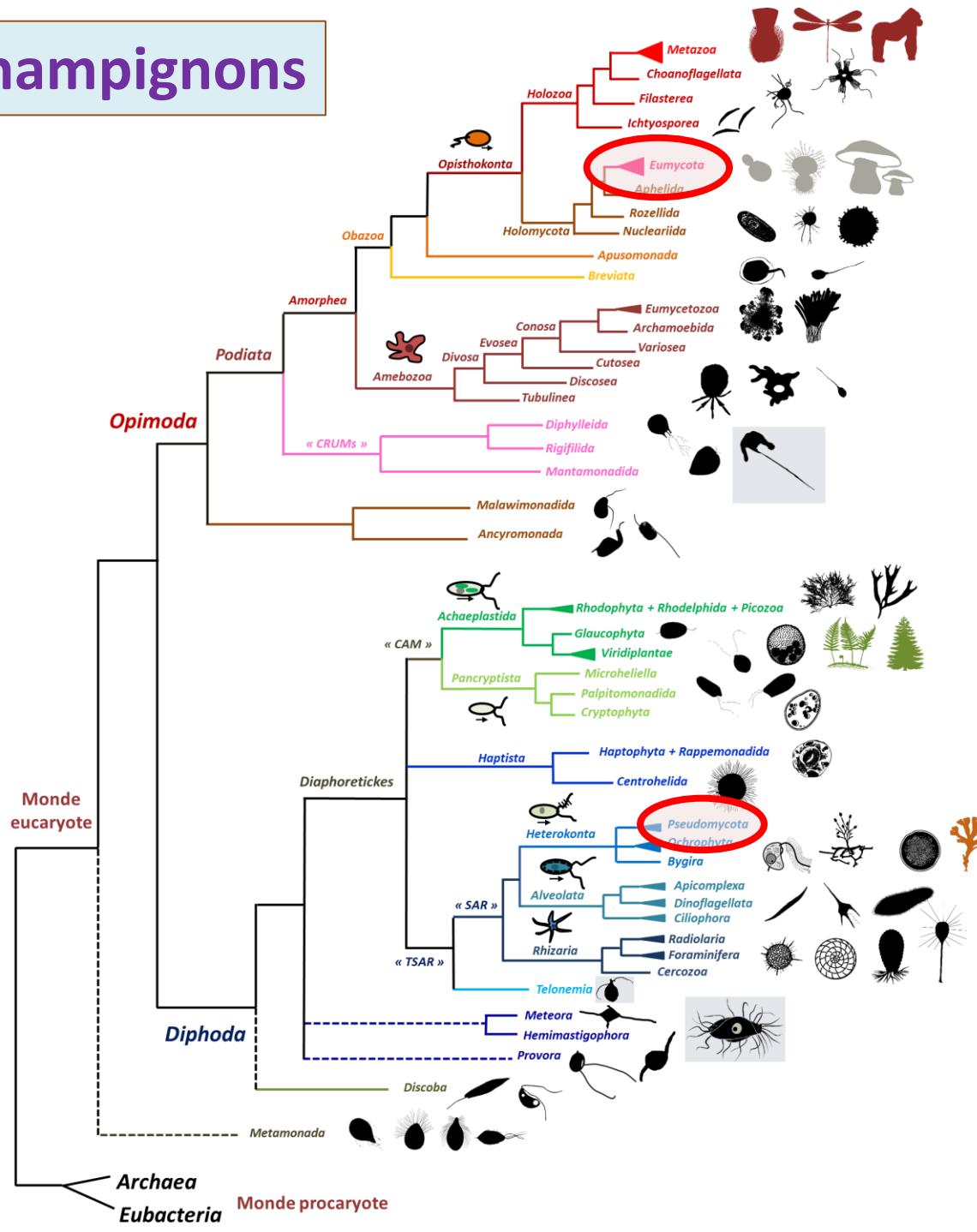
## parasites



# Champignon: le cycle typique



# Les champignons



« Unikonta »

« Bikonta »

# Les oomycètes et autres pseudo-champignons

- Quelques milliers d'espèces
- Champignons qui ne produisent pas de sporophores visibles à l'œil nu, ni des levures
- Très fréquents dans les eaux douces où ils vivent en saprotrophes et en parasites d'insectes, de poissons et d'algues, pas de lichens ou de mycorhizes
- Sortis de l'eau avec les plantes sur les lesquelles ils vivent en parasites

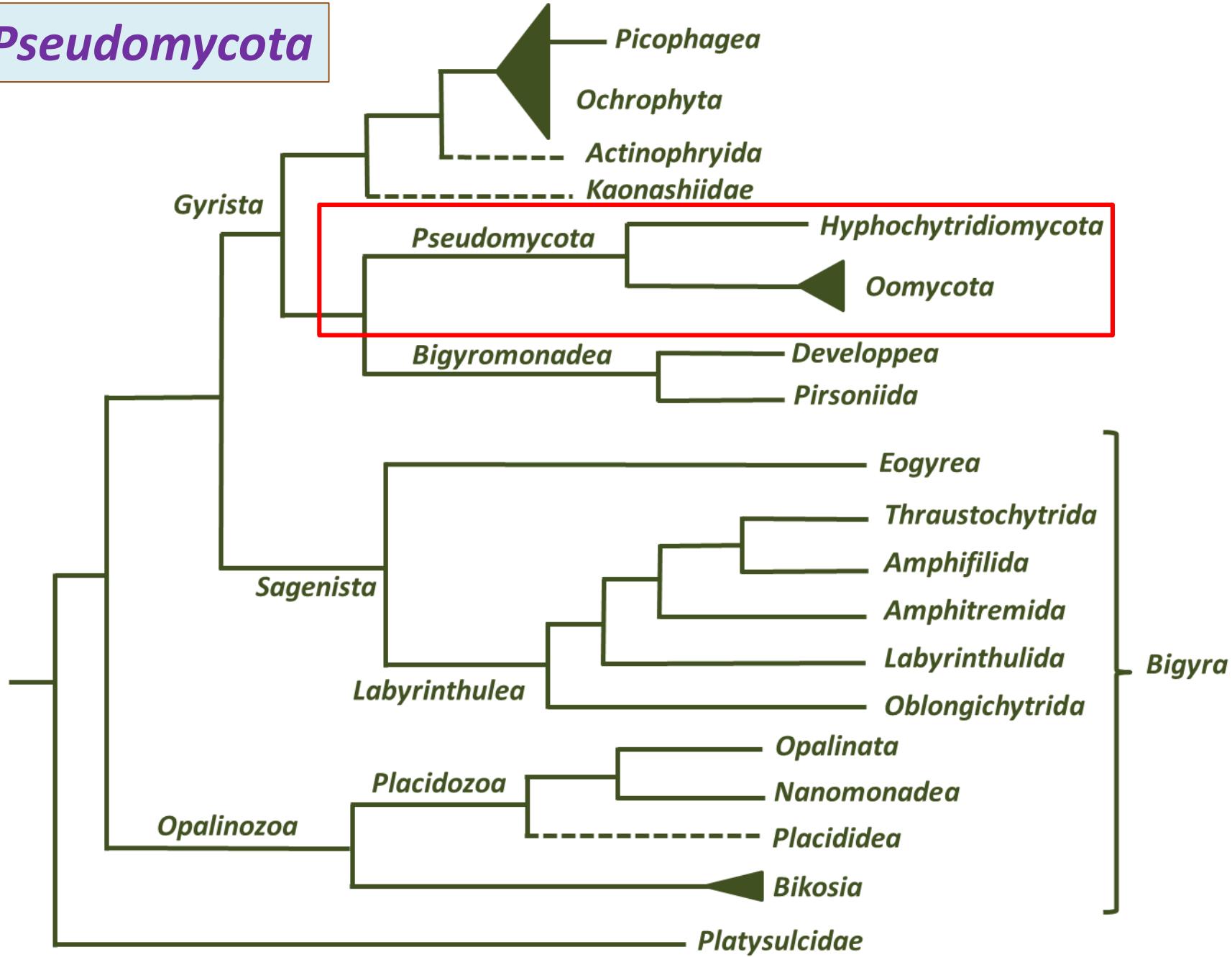
- le mildiou de la vigne  
(*Plasmopara viticola*)



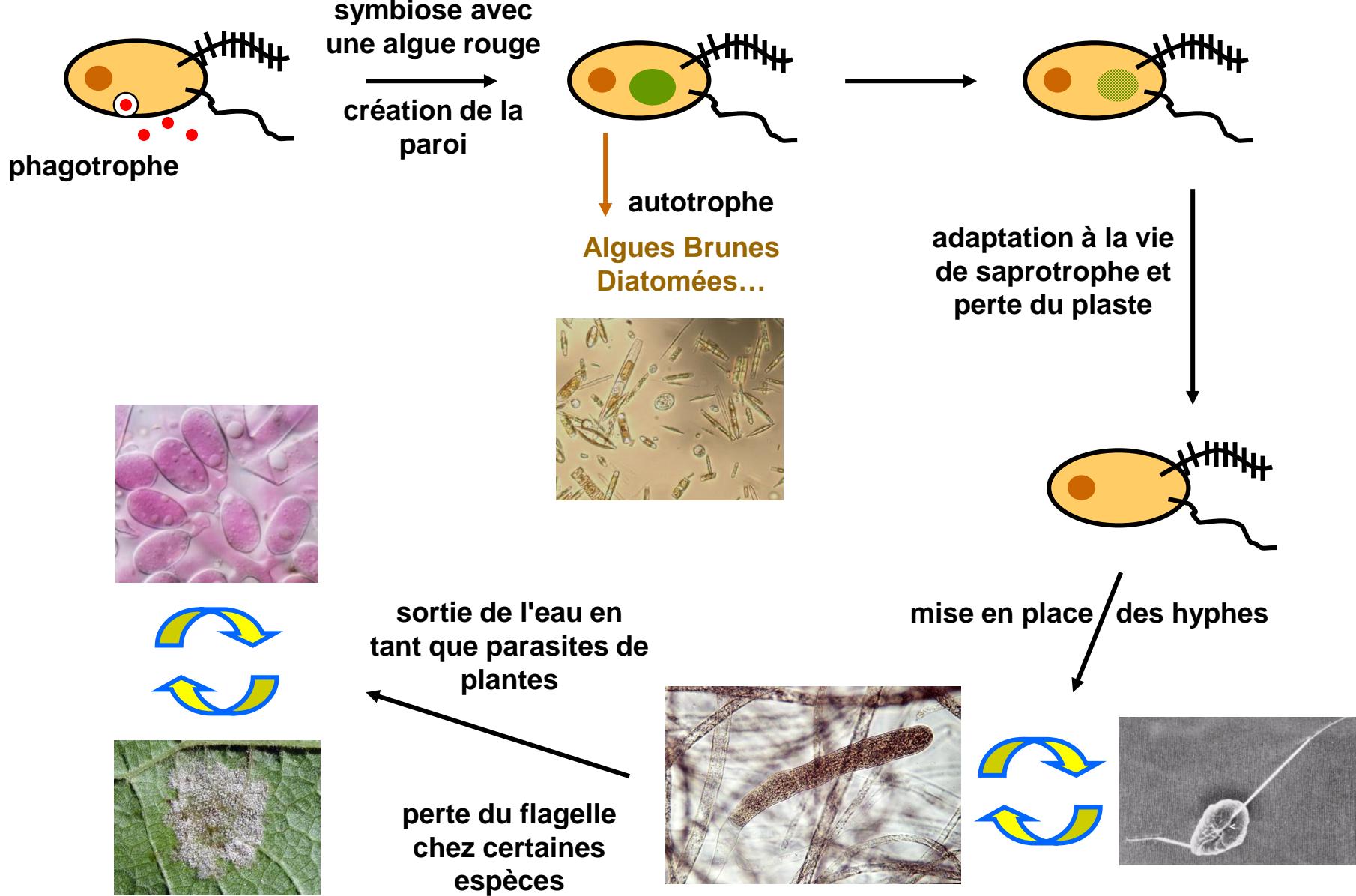
- le mildiou de la patate  
(*phytophthora infestans*)



# Les Pseudomycota



# L'histoire évolutive des oomycètes



# Les eumycètes ou vrais champignons

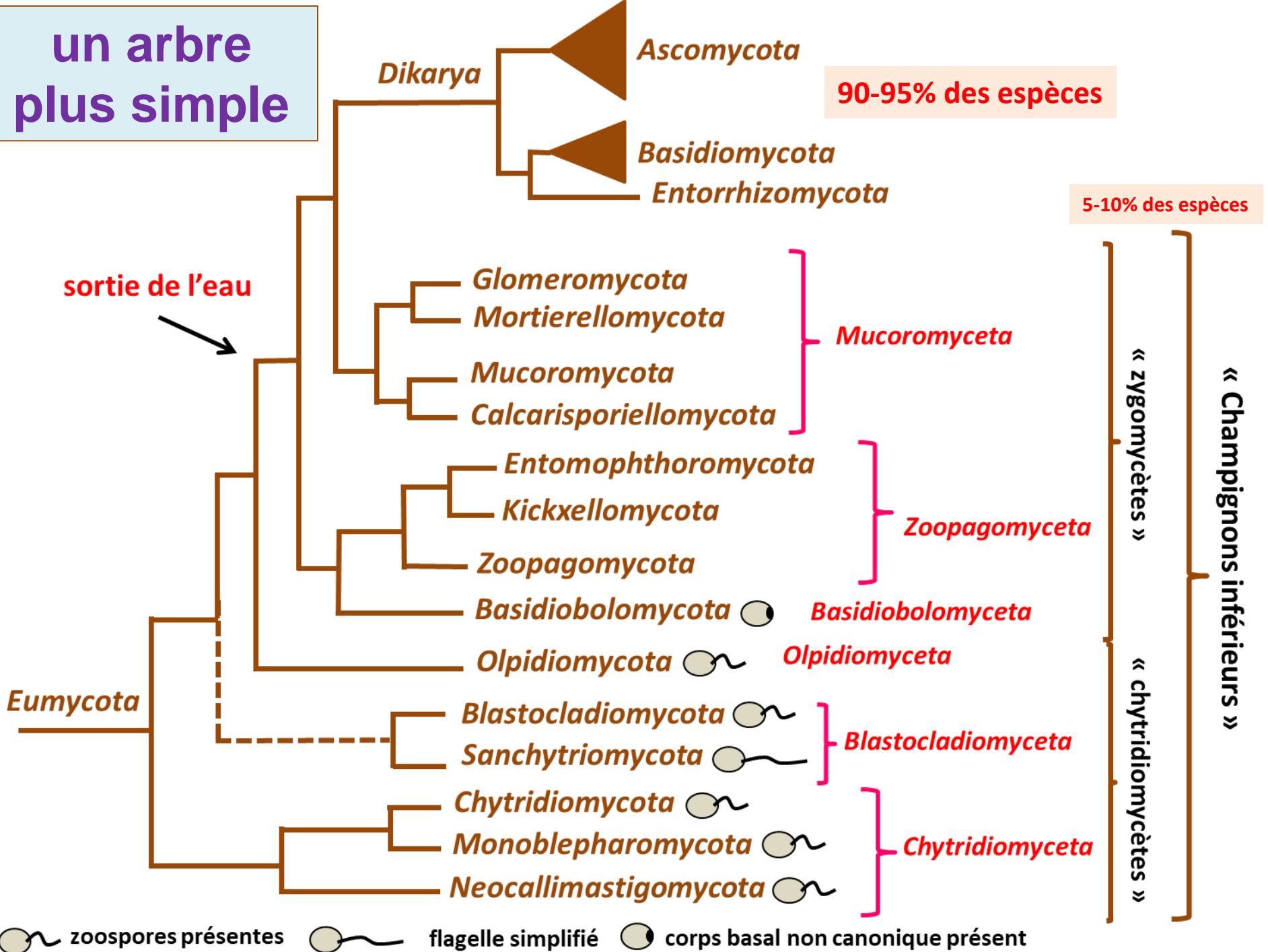
- Plusieurs centaines de milliers (millions?) d'espèces
- Champignons qui produisent les carpophores visibles à l'œil nu, mais aussi les levures et la majorité des moisissures
- ont colonisé pratiquement tous les milieux mais sont particulièrement abondants dans les sols des forêts
- ont adopté des stratégies de vie très différentes, les principales sont:
  - **saprotophages ou saprobes (anc. saprophytes)** (~50% des espèces)
  - **mutualistes de plantes:** mycorhizes et endophytes (~10% des espèces)
  - **mutualistes d'algues et de bactéries:** lichens (~20% des espèces)
  - **parasites de plantes** (~15% des espèces)
  - **mutualistes d'animaux** (~1% des espèces)
  - **parasites d'animaux** (~2% des espèces)
  - **parasites de champignons** (~1% des espèces)

# Les Eumycota

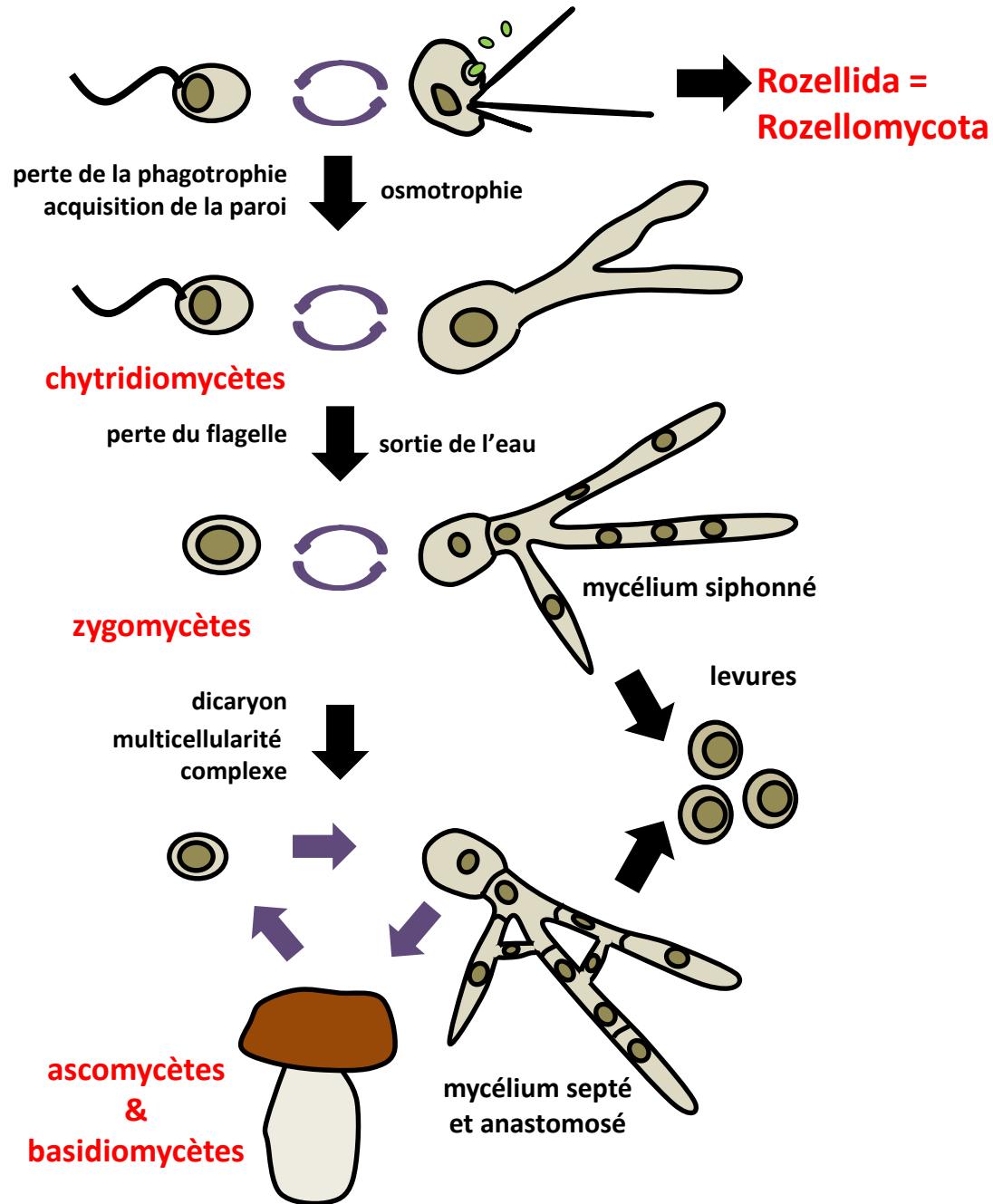
## un arbre récent



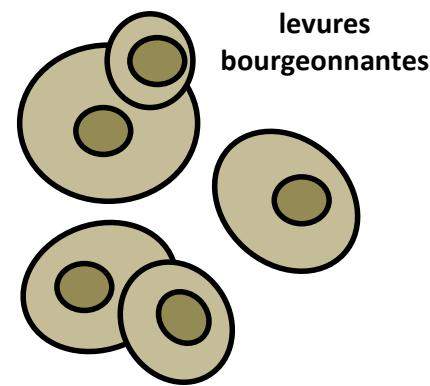
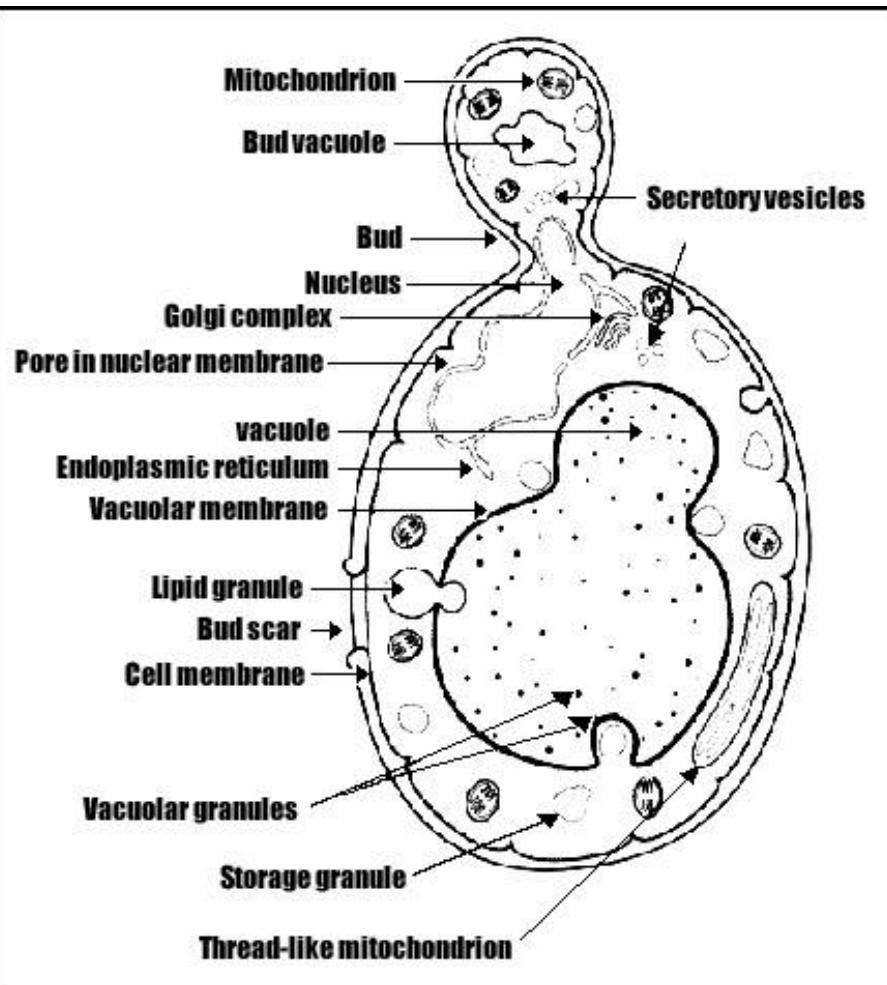
# un arbre plus simple



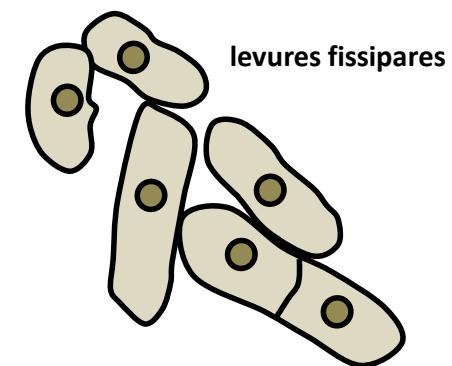
## Schéma évolutif des *Eumycota*



# Structure d'une levure

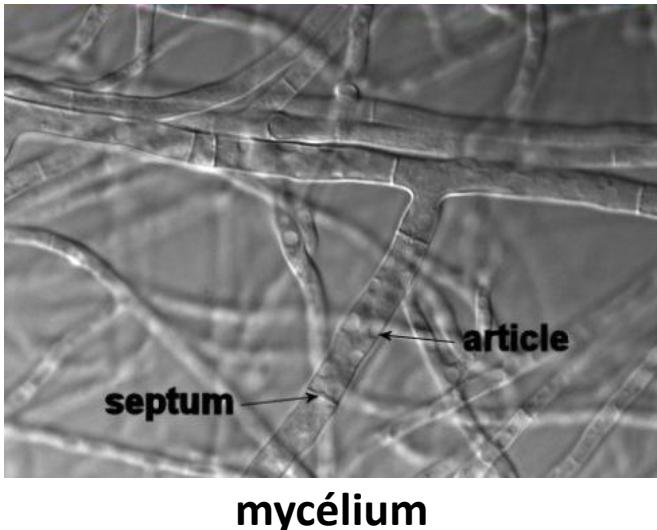


*Saccharomyces cerevisiae*

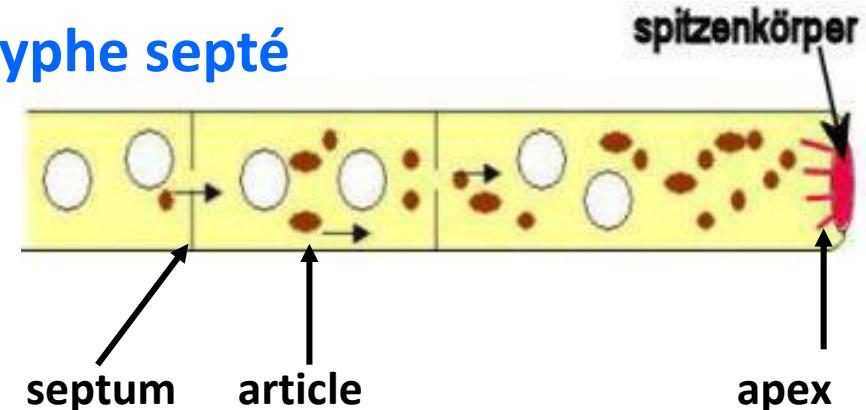


*Schizosaccharomyces pombe*

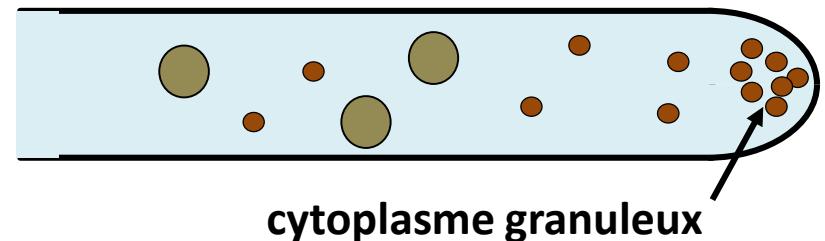
# Structure d'un(e) hyphe



hyphe septé

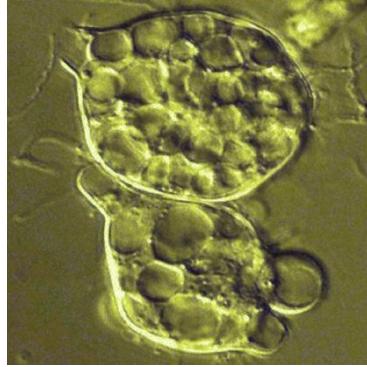


hyphe siphonné

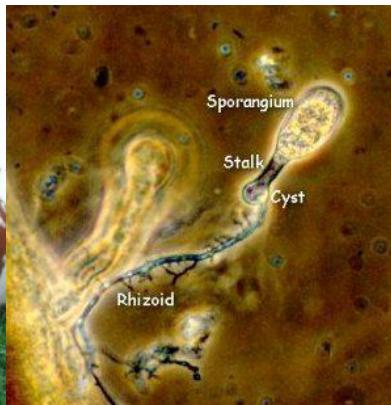


mycélium siphonné vs mycélium septé

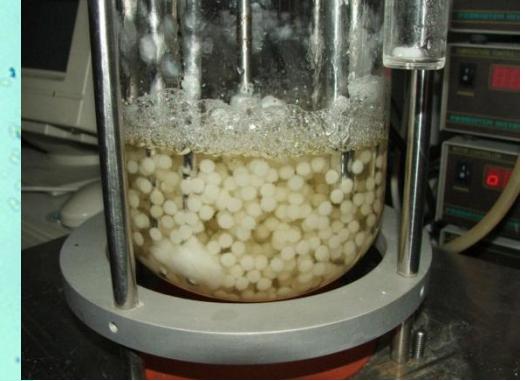
## Quelques champignons « inférieurs »



**Batrachochytrium dendrobatidis**



**Neocallimastix frontalis**



**Rhizopus oryzae**

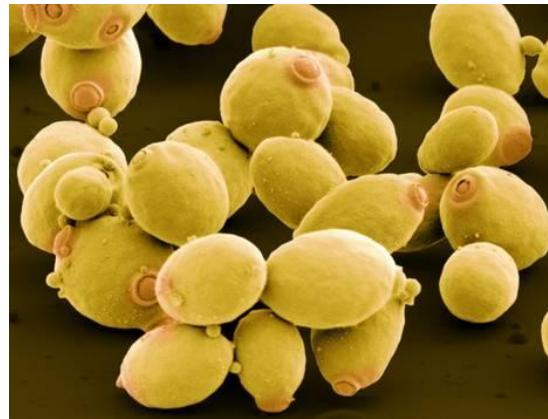


**Mucor mucedo**



**Pilobolus crystallinus**

## Les champignons « supérieurs »:



## Un exemple de *Saccharomycotina*



cycle de *Saccharomyces cerevisiae*

Levure de la bière

Levure du vin

Levure du pain

Haploid invasive growth



Glucose starvation

Mating



a or α

Sporulation

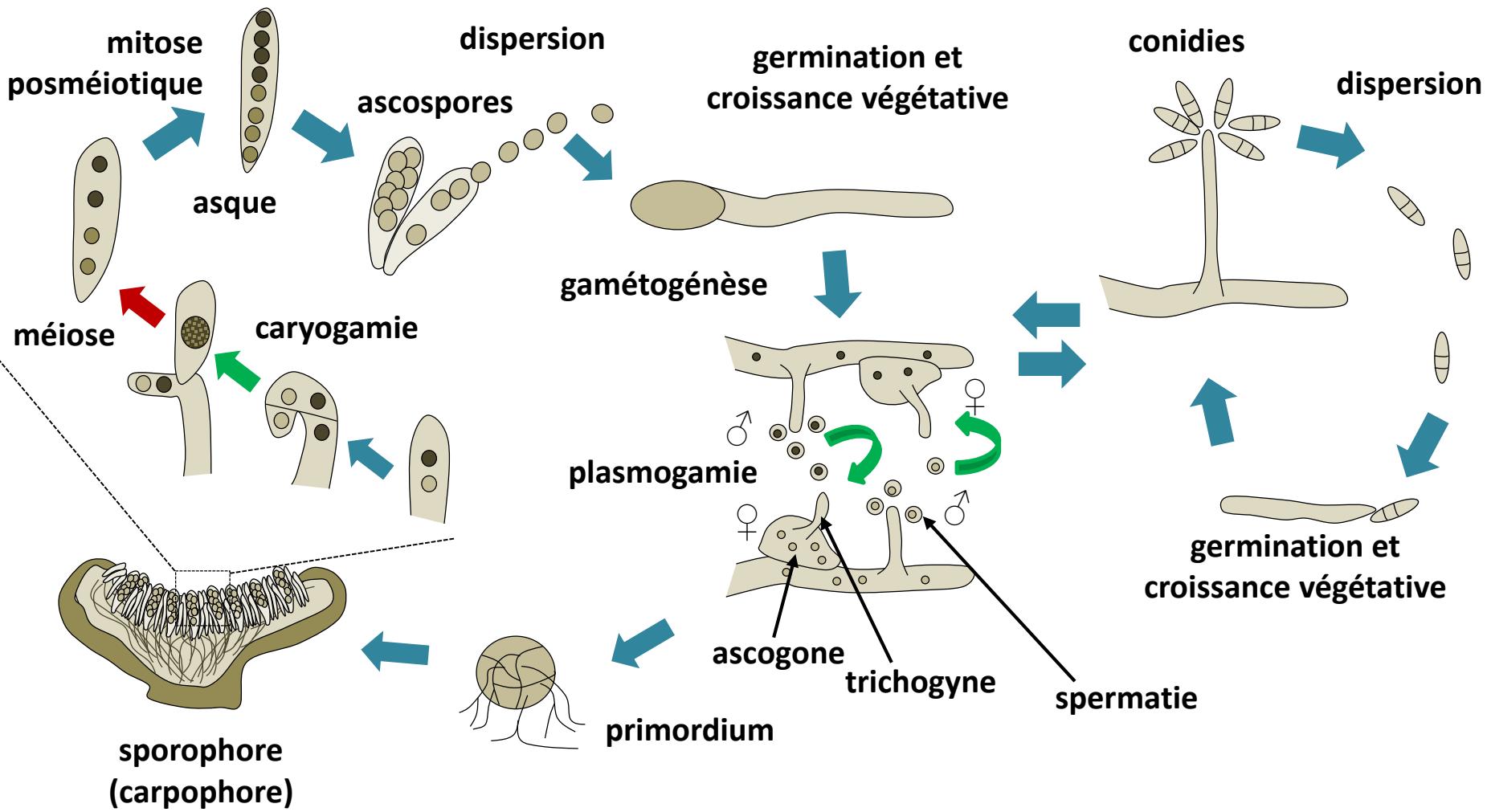


Nitrogen starvation

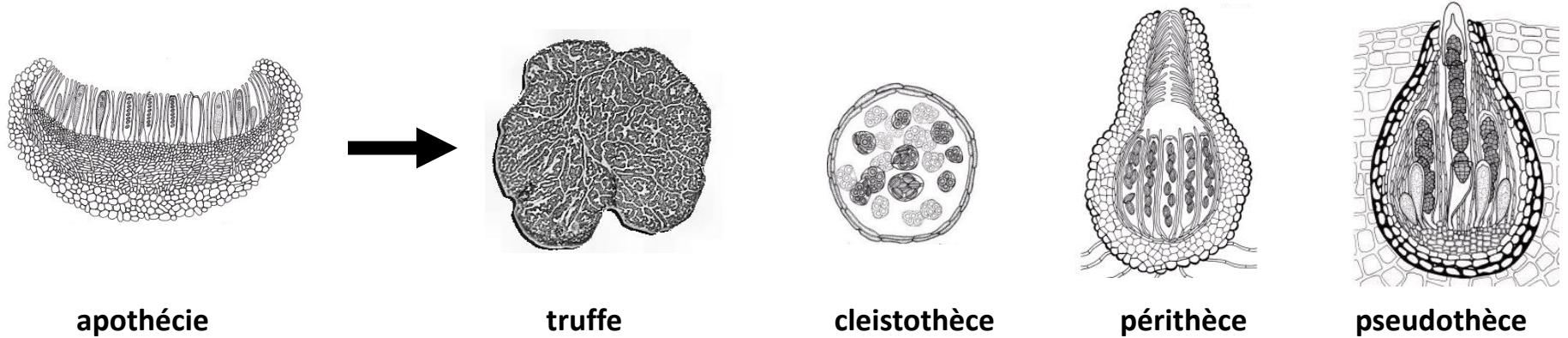
Pseudohyphal development



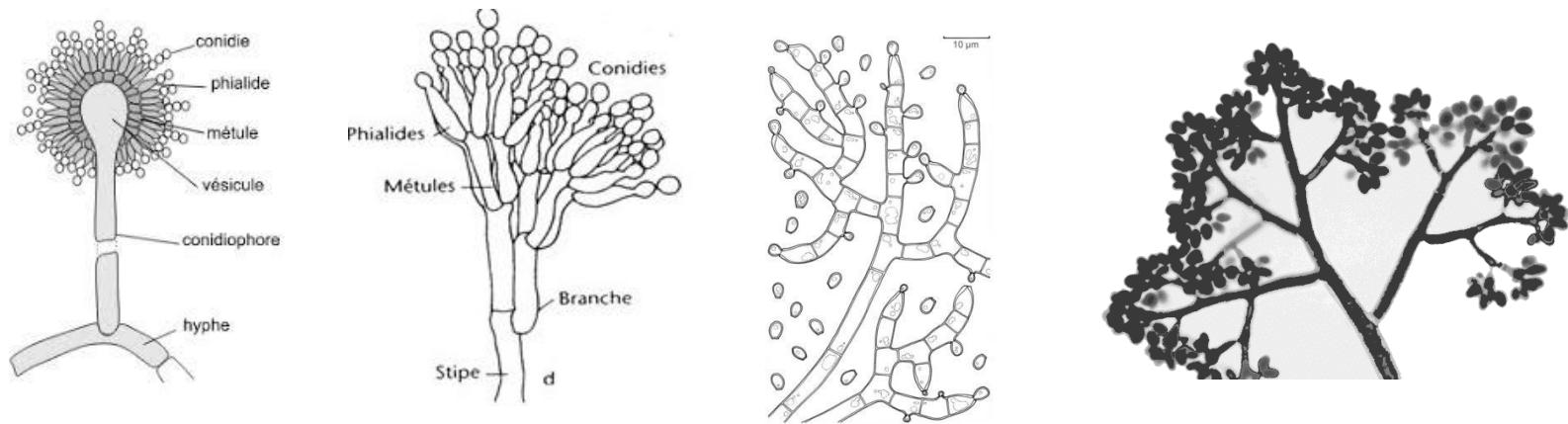
# Les ascomycètes *Pezizomycotina*

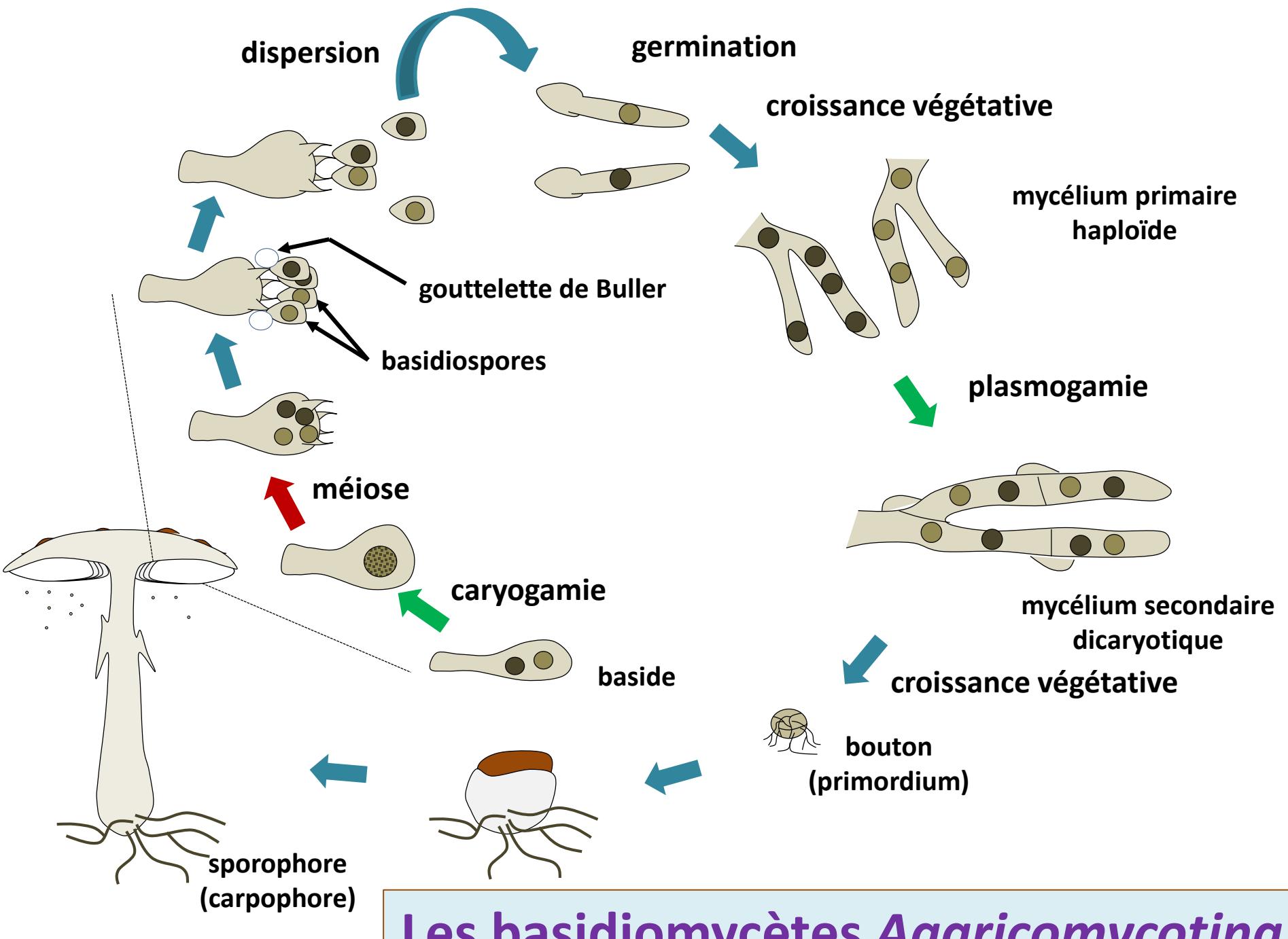


# Carpophores d'ascomycètes



# Conidiophores d'ascomycètes





# Carpophores de basidiomycètes



"croûtes et cervelles"

agarics

bolets

"coraux"

polypores

vesses

## Hymenophore et hyménium (partie fertile)

Chapeau ou pileus

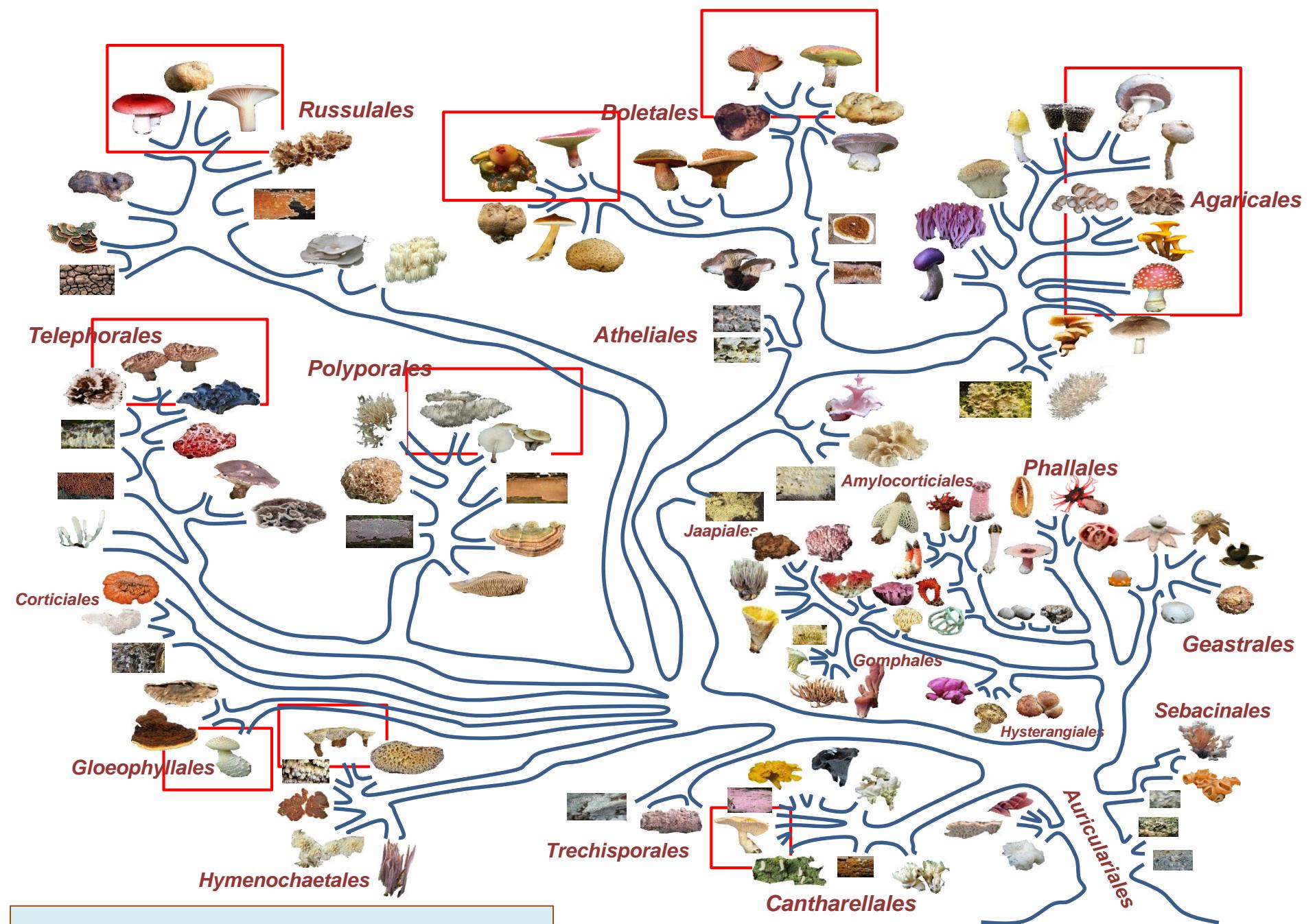


Pied ou stipe

Anneau

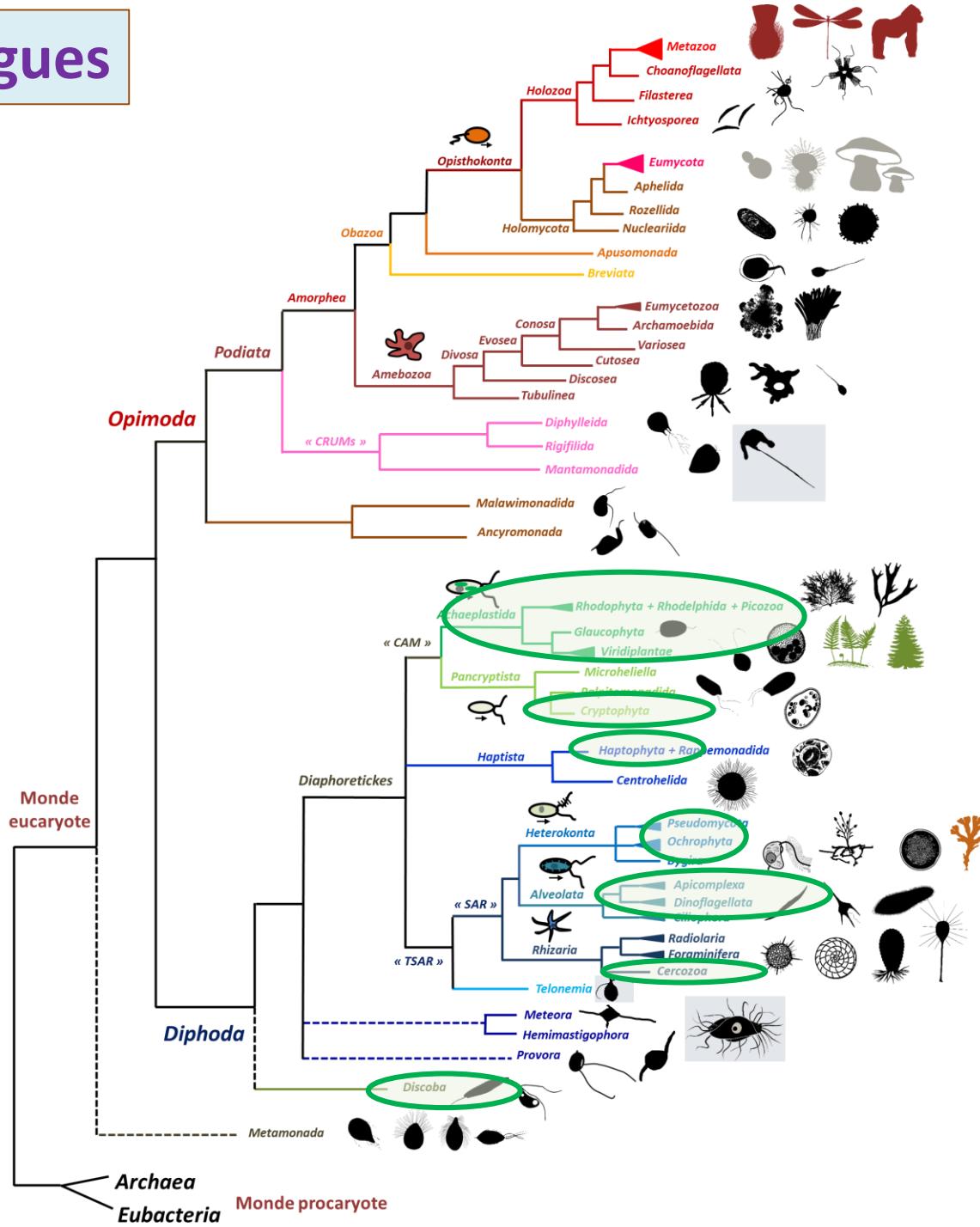
Volve

# L'agaric, une invention récurrente



les agarics sont partout!

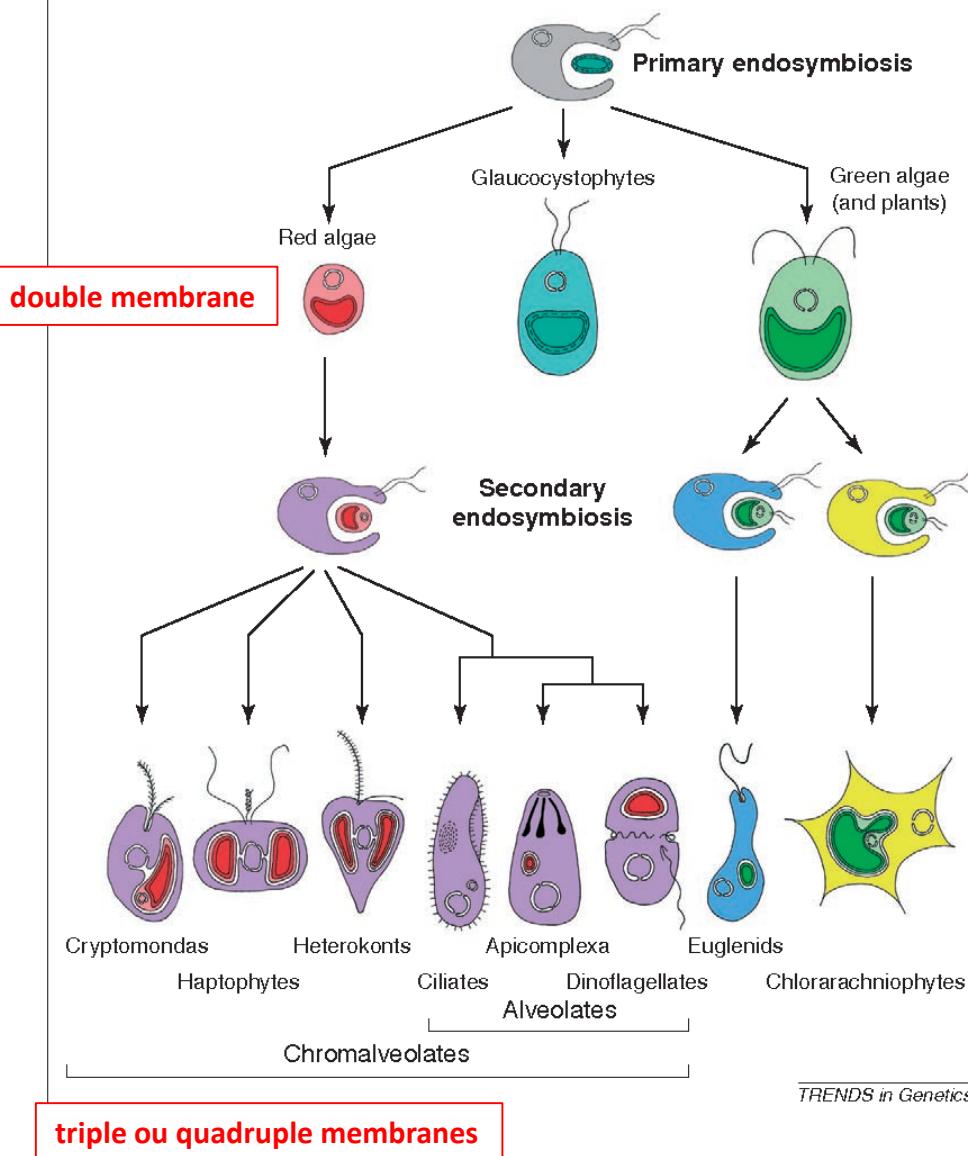
# Les algues



« Unikonta »

« Bikonta »

# L'évolution des algues est complexe

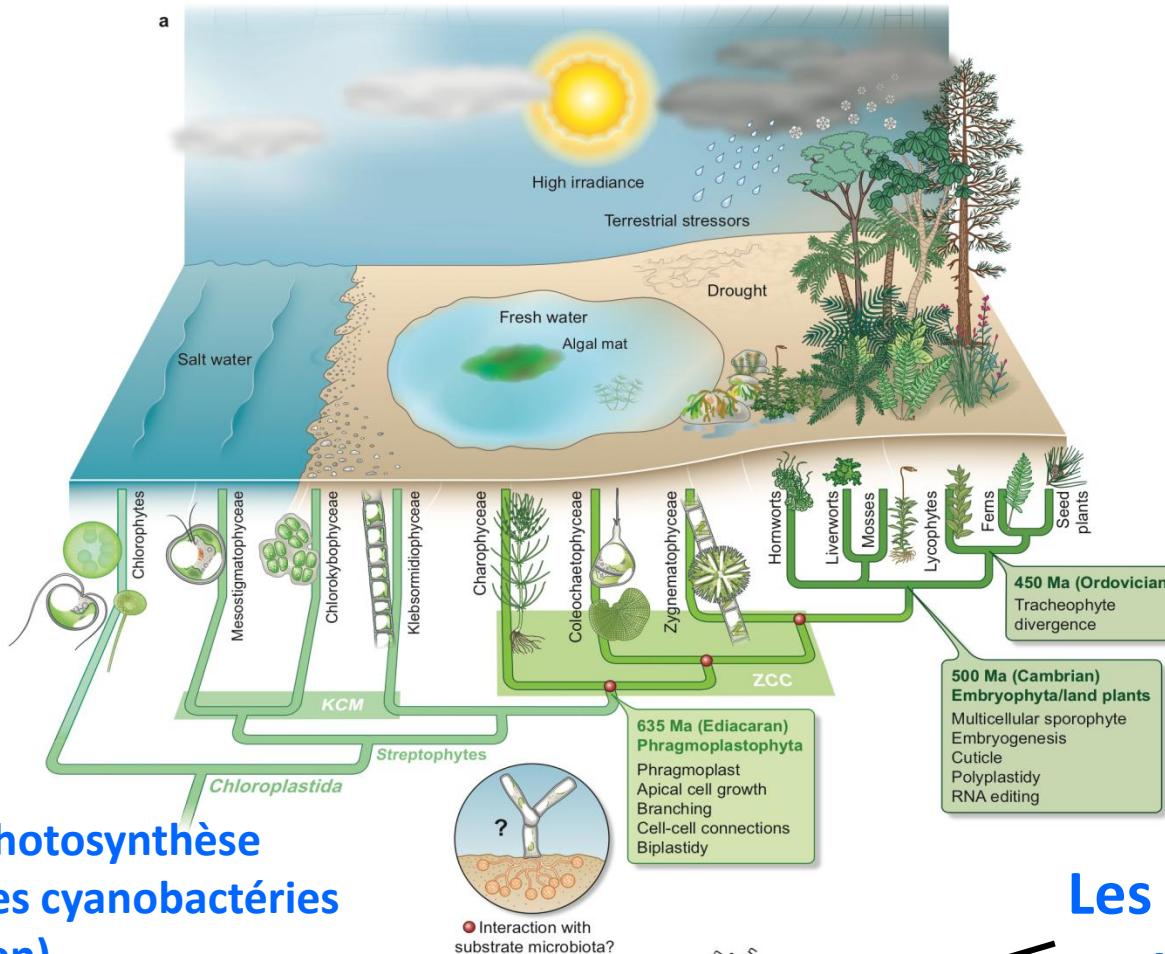


Origines indépendantes multiples → Cycles de vie et biologies très diverses!

Par exemple,

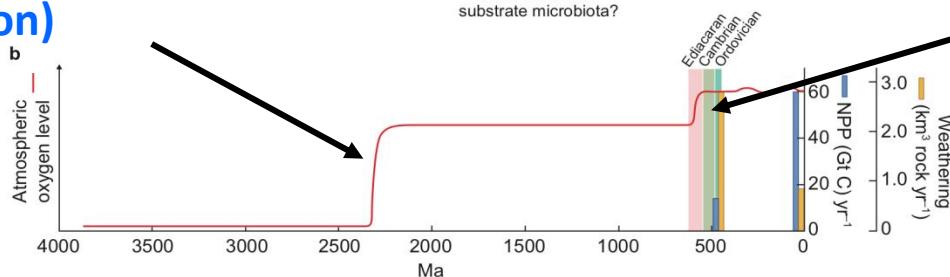
- Certaines sont toujours des prédateurs!
- D'autres vivent en symbioses (lichens, coraux...)
- Les ancêtres du parasite responsable de la malaria étaient des algues!
- Certaines sont unicellulaires, d'autres sont pluricellulaires
- Les plantes sont issues d'une lignée d'algue particulière

# L'origine des plantes

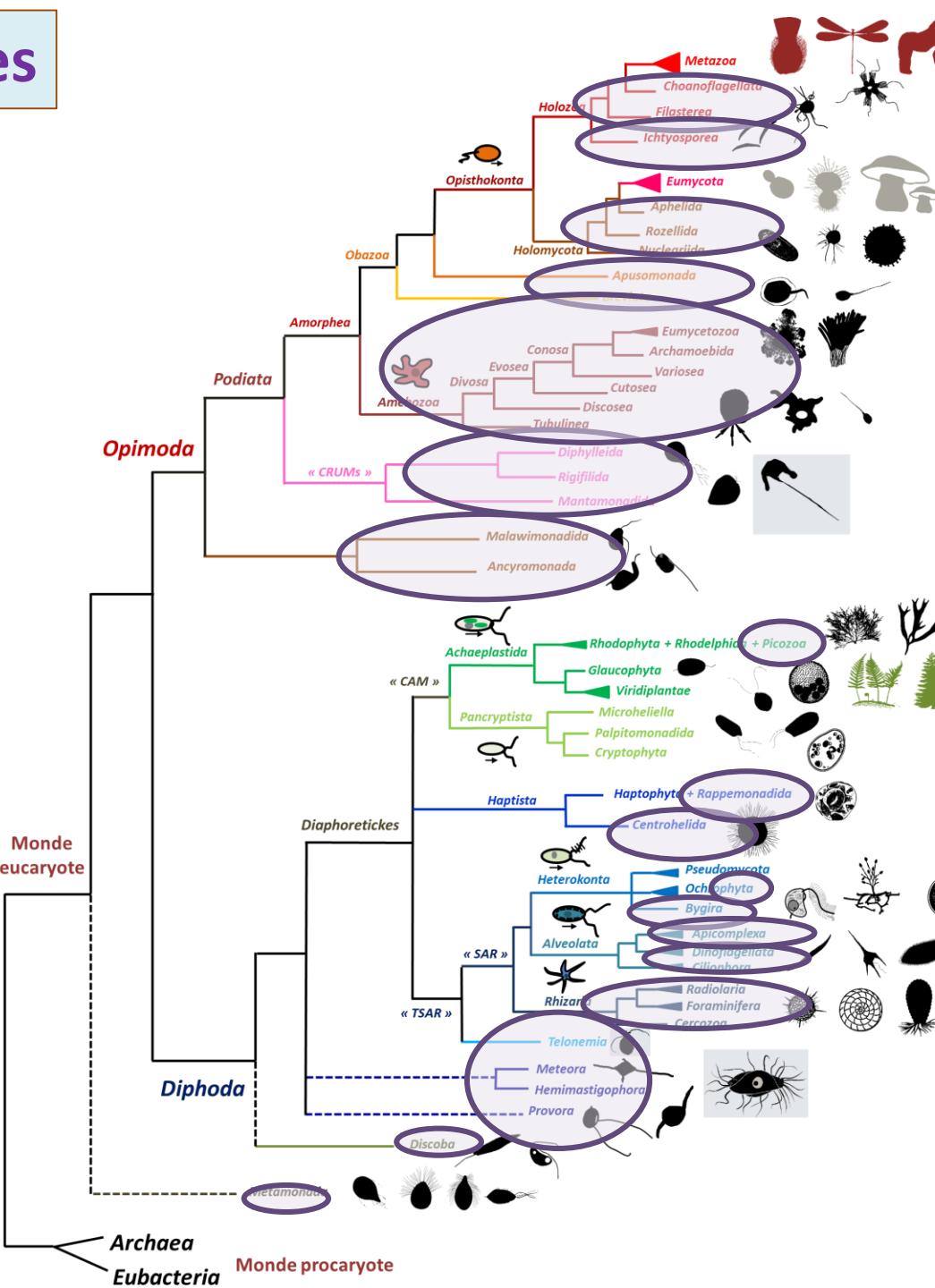


Invention de la photosynthèse oxygénique par les cyanobactéries (Grande Oxydation)

Les plantes sortent de l'eau



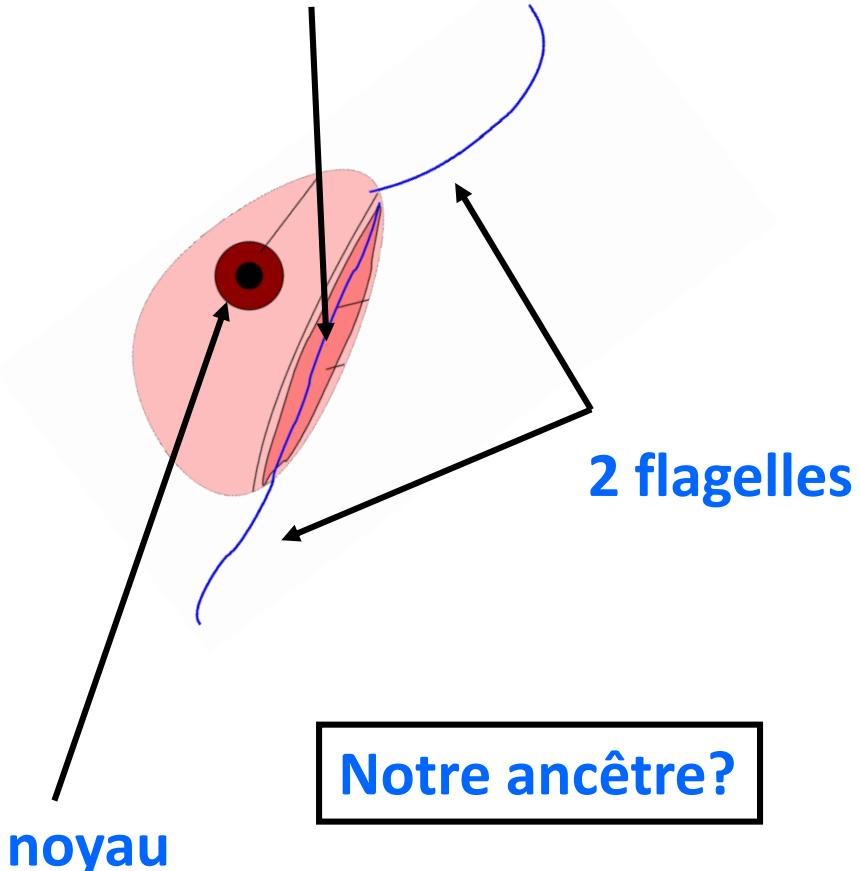
# Les protozoaires



« Unikonta »

« Bikonta »

## Sillon ventral, lieu des phagocytoses

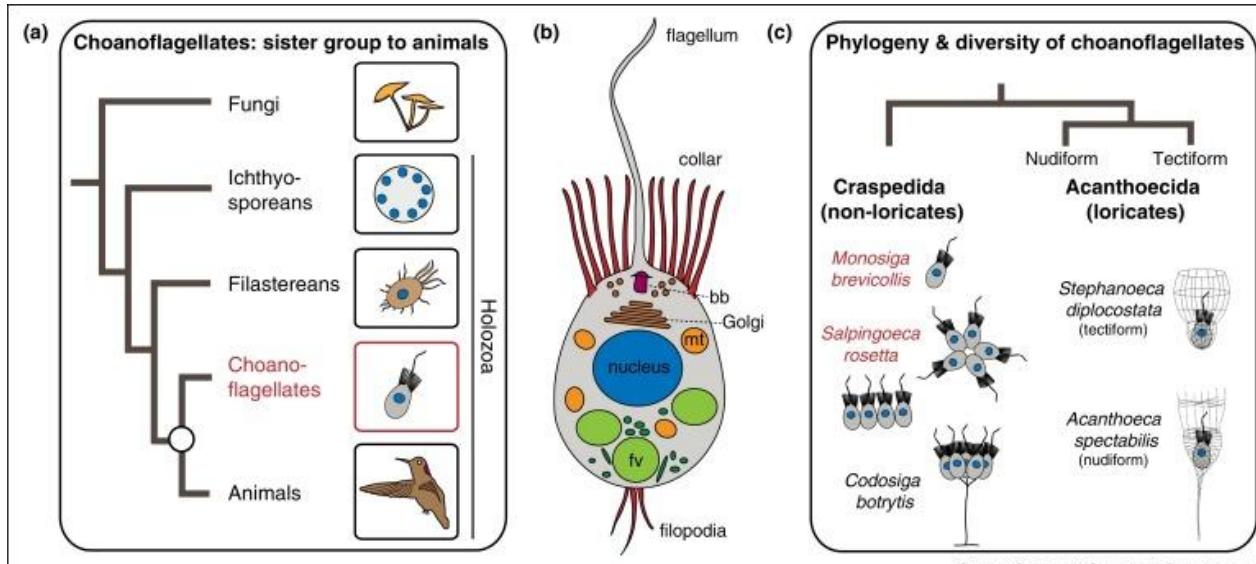


Notre ancêtre?

L'eucaryote ancestral était probablement un protozoaire phagotrophe biflagellé

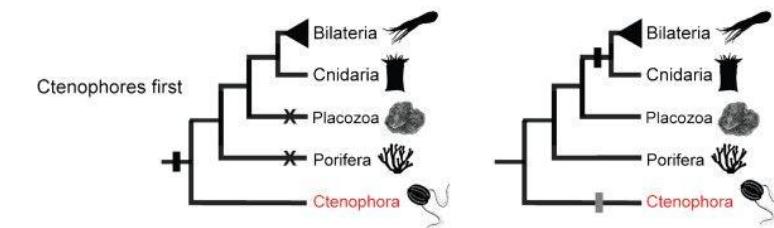
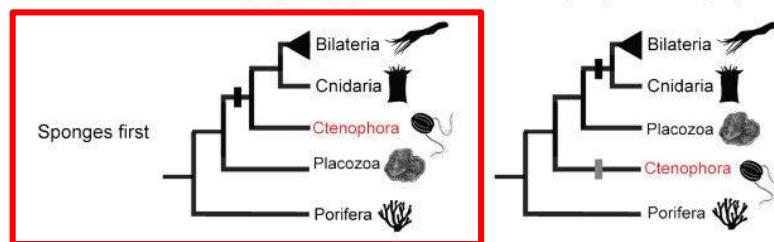
- presque tous les groupes eucaryotes possèdent des espèces phagotrophes
- Tous diffèrentent des formes amoéboïdes
- Évolutions récurrentes de multicellularité simple
- Une lignée de protozoaires a eu un succès important et a donné naissance aux animaux qui ont une pluricellularité complexe

# L'origine des animaux



Homologous nervous systems  
(single origin)

Non-homologous nervous systems  
(independent origins)

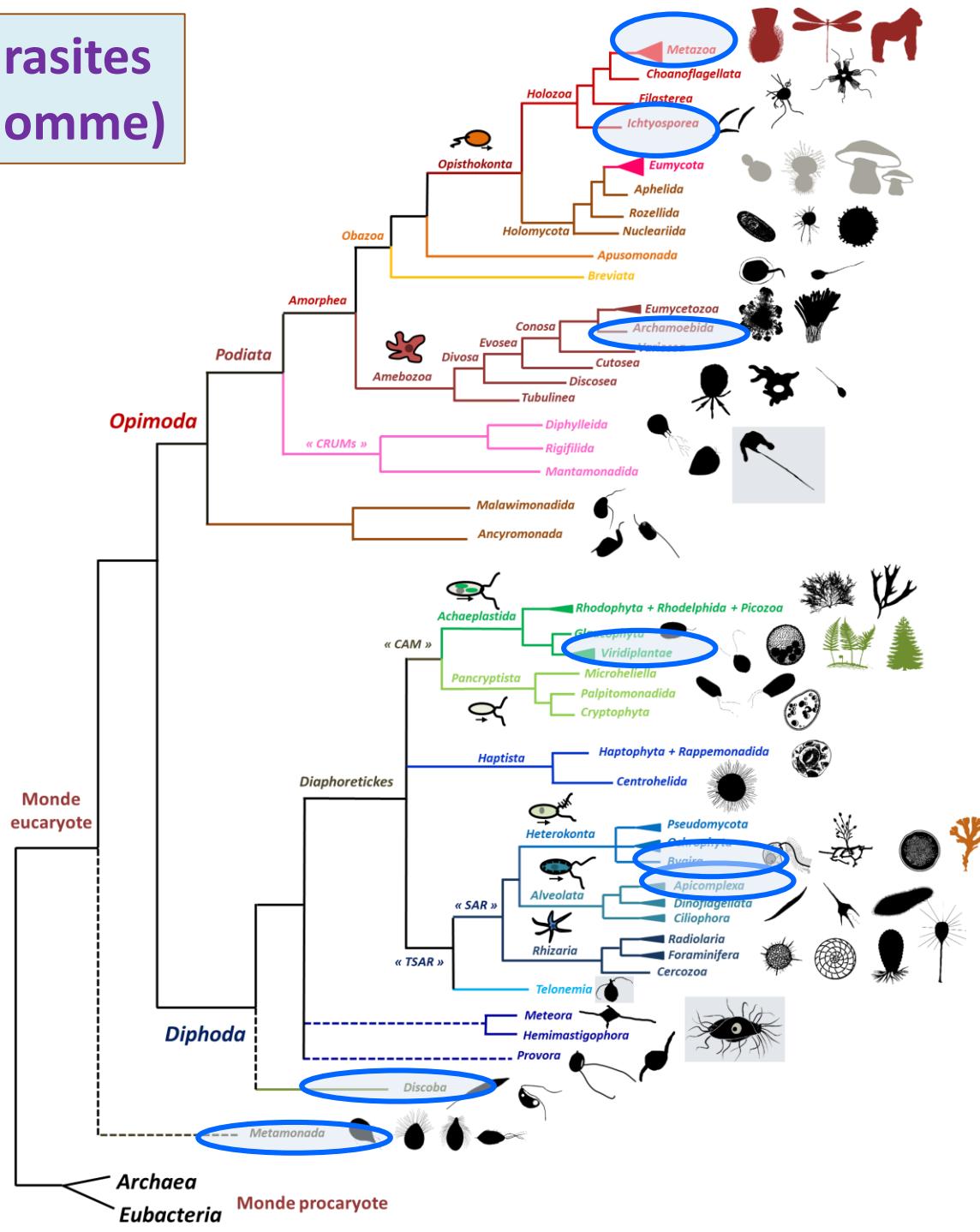


- █ Origin of the canonical nervous system of cnidarians and bilaterians
- █ Origin of alternative nervous system in ctenophores
- ✗ Nervous system loss

Plusieurs modèles  
d'évolution

Mon favori entouré en rouge explique  
les transitions nutritionnelles de la  
phagotrophie vers l'ingestion

# Les parasites (de l'homme)



« Unikonta »

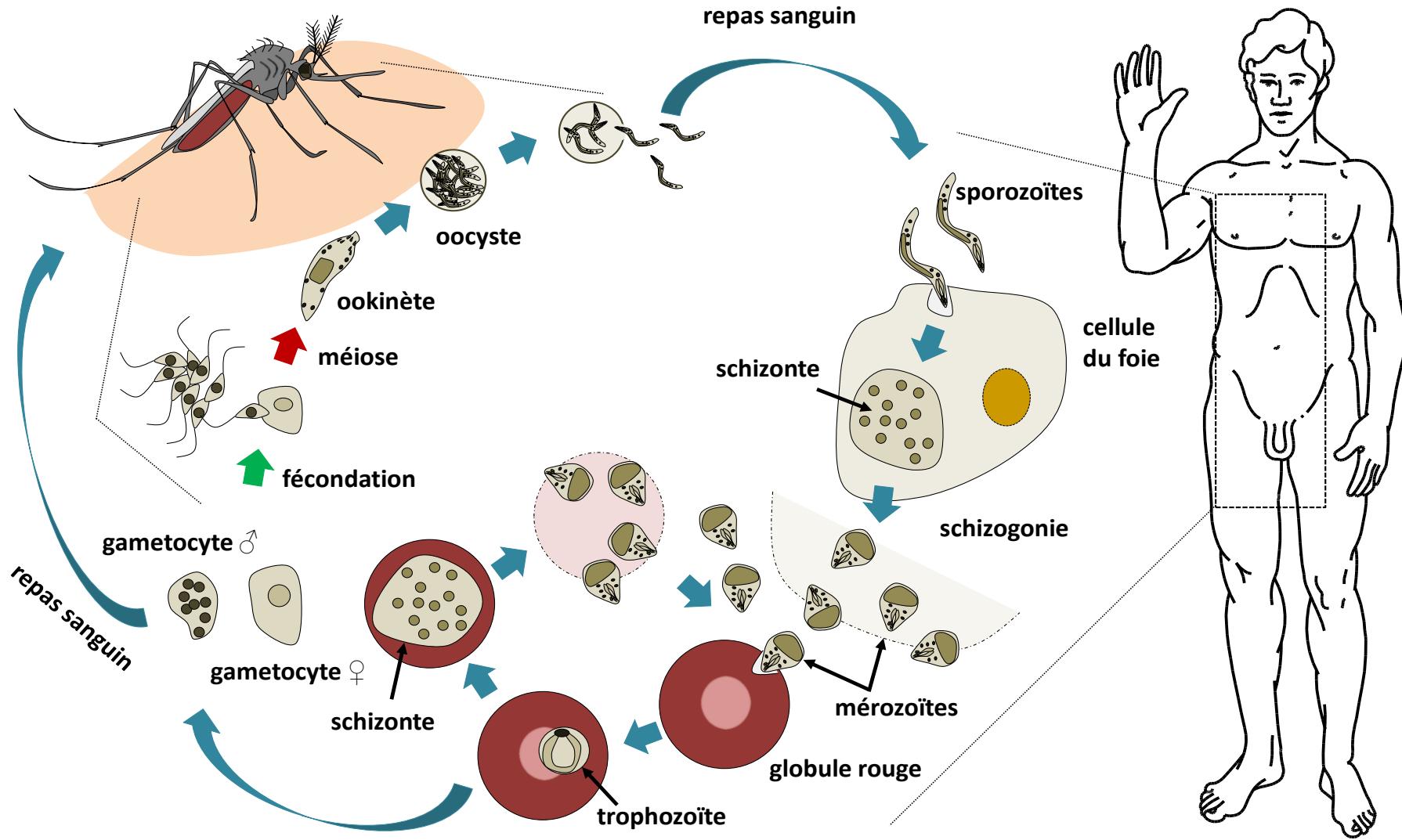
« Bikonta »

# Epidémiologie des parasites de l'homme

Estimation des morts par parasitoses en 2013	
Maladie	nombre de morts
malaria	584 600
leishmaniose (Kala-azar)	62 500
cryptosporidiose	41 900
amibiase	11 300
maladie de Chagas	10 600
trypanosomiases africaines	6 900
“vers” nematodes et plathelminthes	13 000
Total	1 000 700

**Protozoaires (et animaux) ayant des stratégies d'invasion et de maintien au sein de leurs hôtes (homme et vecteurs) qui sont leurs seuls lieux de vie active**

# Un exemple: Plasmodium et le paludisme



# Quelques malades



malaria



Leishmanioses



Maladie de Chagas

Maladie du sommeil



Amibiase

# Et les champignons?

→ Pathogènes « opportunistes »

Estimation des cas de mycoses en 2014

maladie	immuno-compétents	SIDA	malades du système respiratoire	immuno-supprimés cancéreux	patients en soins intensifs
muguet (candidose orale)		9 500 000	100 000	>1 000 000	
candidose vaginale	75 000 000				
candidose de l'œsophage		2 000 000			
candidose systémique				100 000	200 000
aspergillose pulmonaire chronique			3 000 000		
aspergillose invasive			>100 000	>50 000	50 000
cryptococcose (méningite)	>1 000	100 000		>1 000	
pneumocystose (pneumonie)		>200 000		>100 000	
mycoses des yeux	1 000 000				
mycoses de la peau ou des cheveux	200 000 000				
asthmes et autres allergies respiratoires			7 500 000		

→ Leur principales cibles animales: les animaux à sang froid





Mycétome à Madurella



Candidose buccale



Pied d'athlète



Cryptococcose

## En conclusion

- Ni la morphologie, ni les stratégies trophiques ne correspondent à des groupes biologiques « monophylétiques »
- La terminologie « usuelle » permet néanmoins de caractériser facilement les stratégies trophiques et les formes principales adoptées par les organismes eucaryotes
- Il existe une terminologie adaptée mais complexe qui reflète réellement l'évolution
- La biodiversité des eucaryotes est beaucoup plus importante que celle usuellement présentée qui ne caractérise que deux lignées : les animaux et les plantes...

# Les protistes eucaryotes dans la biosphère

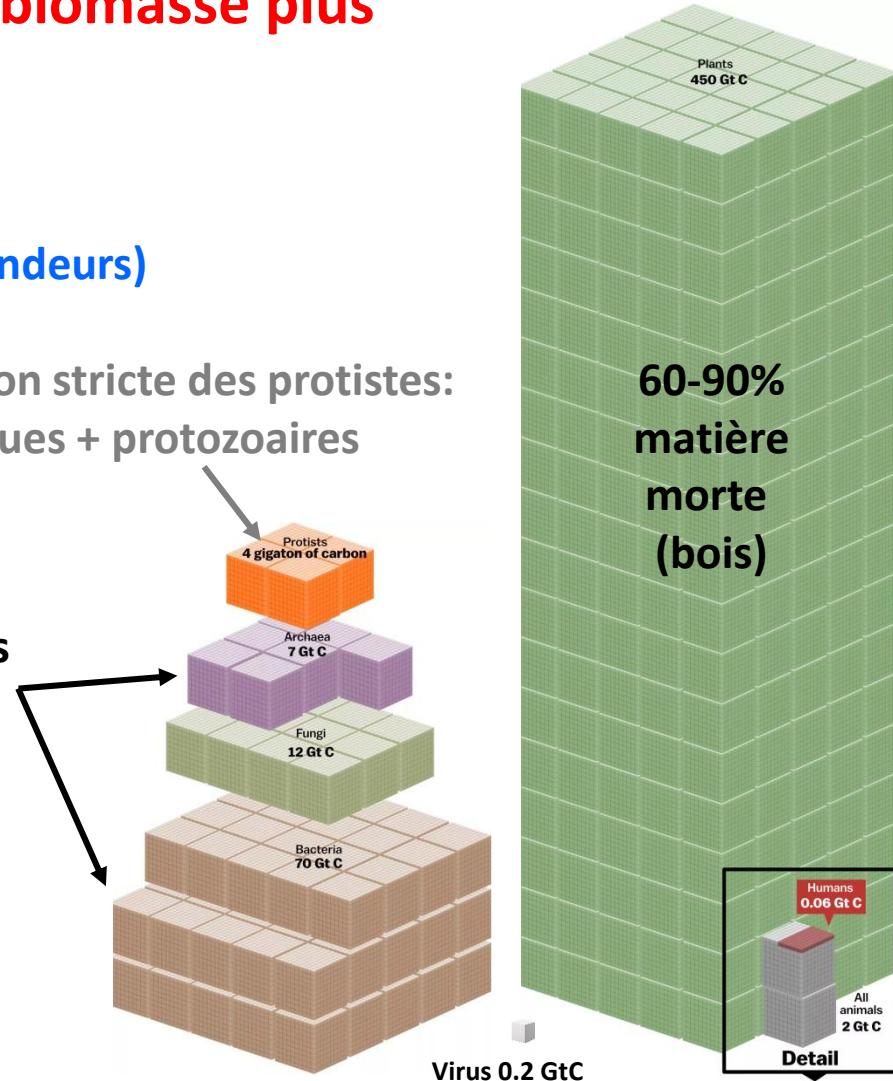
→ Les protistes eucaryotes sont omniprésents dans la biosphères, où ils représentent une biomasse plus importante que celle des animaux !

- Dans les eaux marines et dulçaquicoles
- Dans les sols (jusqu'à plusieurs km de profondeurs)
- Dans et sur les plantes
- Dans et sur les animaux
  - etc.

Définition stricte des protistes:  
algues + protozoaires

Sols profonds  
Et océans

**Une estimation:**  
(attention, il en existe plusieurs estimations contradictoires, surtout au niveau des virus...)



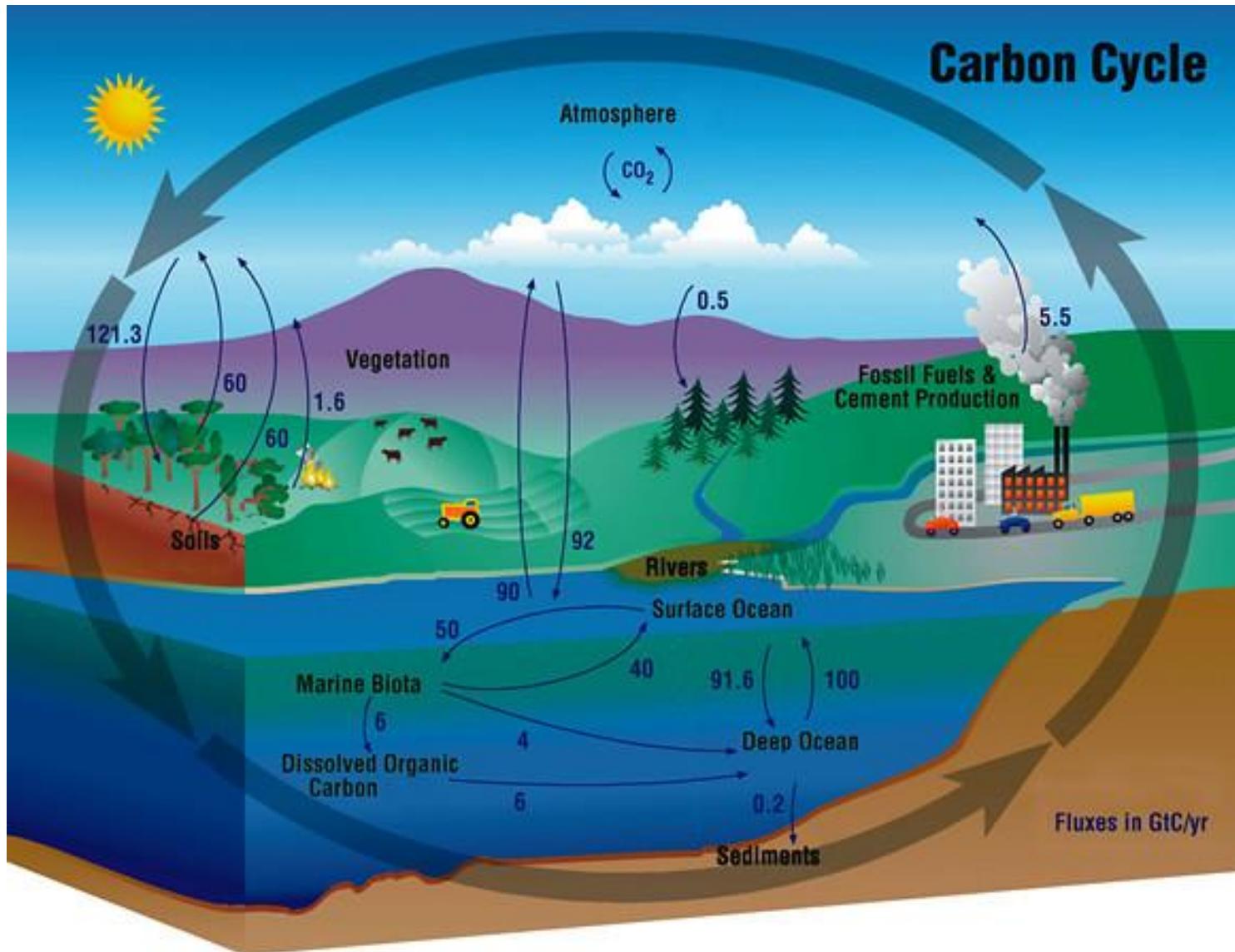
## Les protistes eucaryotes dans la biosphère

→ Ils jouent des rôles écologiques essentiels:

- fixation du carbone atmosphérique
- recyclage des matières mortes et santé des sols
- parasites ou symbiotes de nombreux végétaux et animaux
- contrôle de la prolifération bactérienne

*etc. etc.*

# Les flux de carbones dans la biosphère



Attention chiffres variables...

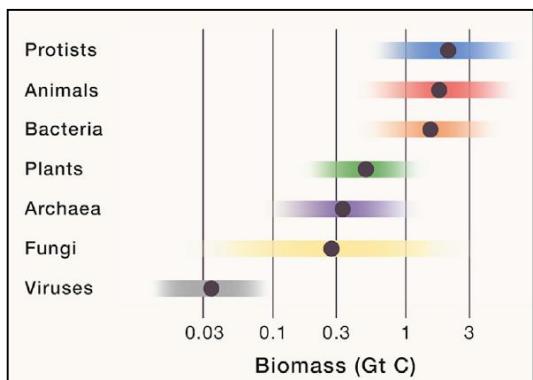
**L'atmosphère contient 750 GtC**

**La photosynthèse fixe  $121.3 + 90 = 211.3 \text{ GtC/an}$**

**=> si le carbone n'est pas recyclé, la photosynthèse vide l'atmosphère de son gaz carbonique en moins de quatre ans...**

**→ Le carbone est remis en circulation principalement grâce à la respiration (aérobie) et à la fermentation (anaérobie) : 210 GtC/an**

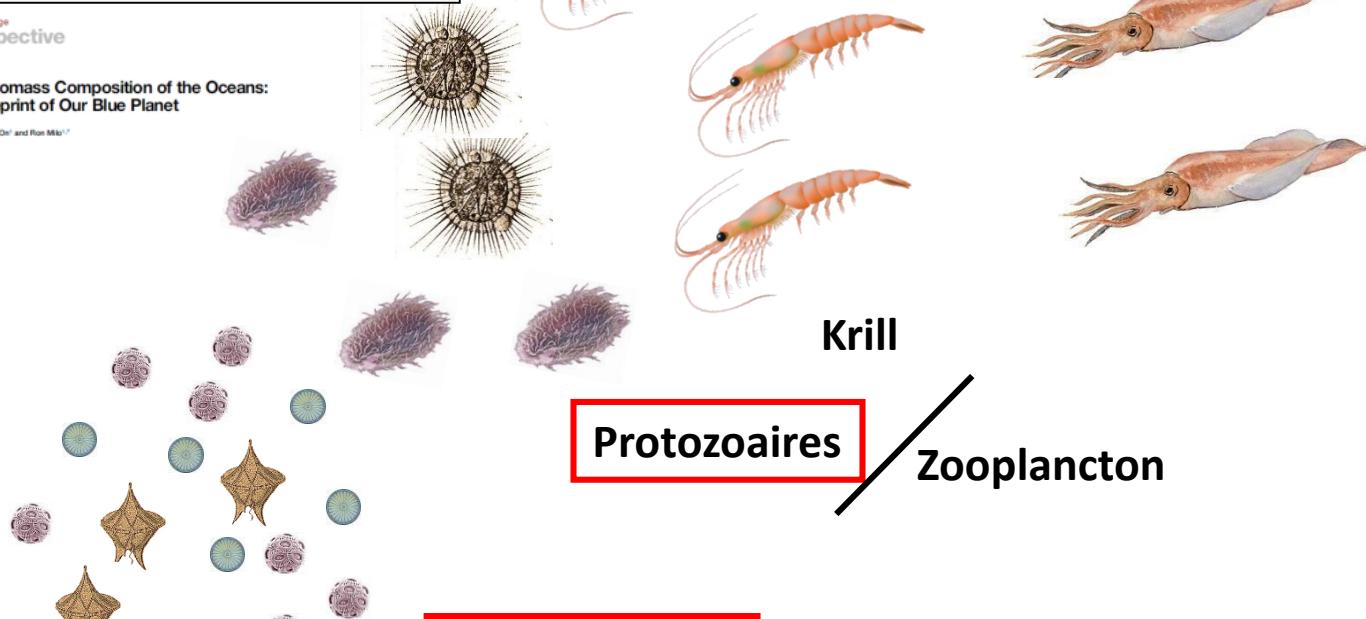
# Qui respire dans les océans?



Leading Edge  
Perspective

The Biomass Composition of the Oceans:  
A Blueprint of Our Blue Planet

Vincent M. Bar-On<sup>1</sup>\* and Ron Milo<sup>1,2</sup>



mégafaune

Krill

Protozoaires

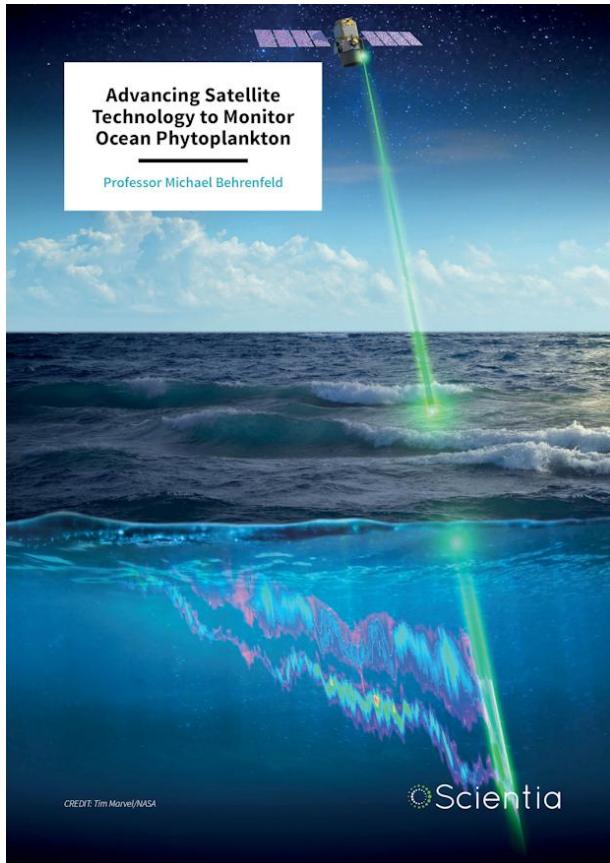
Zooplancton

Phytoplancton

~100 GtC

chaines alimentaires basées sur le « phytoplancton »

Un calcul basé sur l'analyse d'images satellites indique que la biomasse des algues eucaryote représente au moins 77% de la biomasse totale photosynthétiques des océans mesurée en équivalent masse de pigments. La grande majorité de la fixation du carbone dans les océans passe donc par les micro-algues eucaryotes

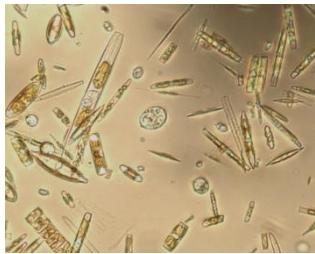


Cette estimation ne tient pas compte des dinoflagellés car probablement pigments trop divers

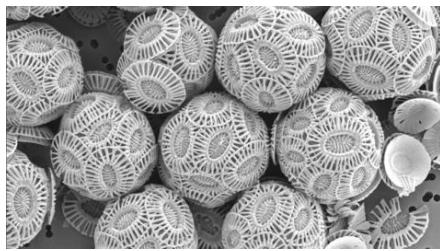
chiffres très variables pour la contribution des cyanobactéries: de 10 à 50%...

# Les groupes importants de micro-algues

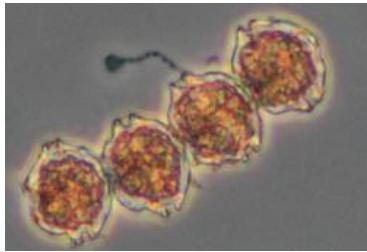
Diatomées



Haptophytes

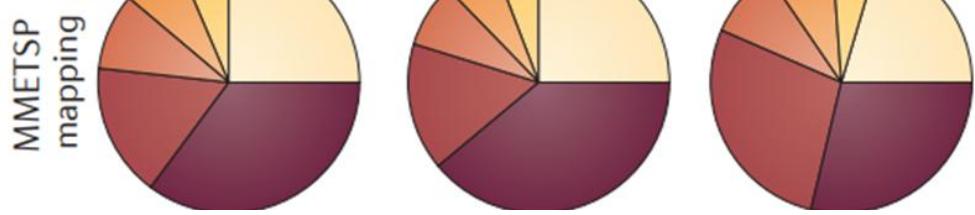
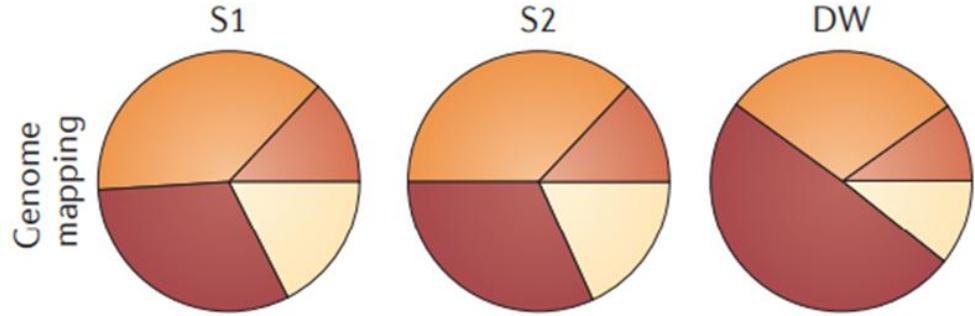


Dinoflagellés

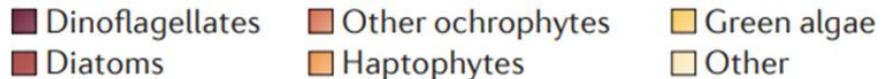


Encore une fois sous estimés  
dans certaines analyses car  
génomes atypiques

## Estimation basée sur les génomes

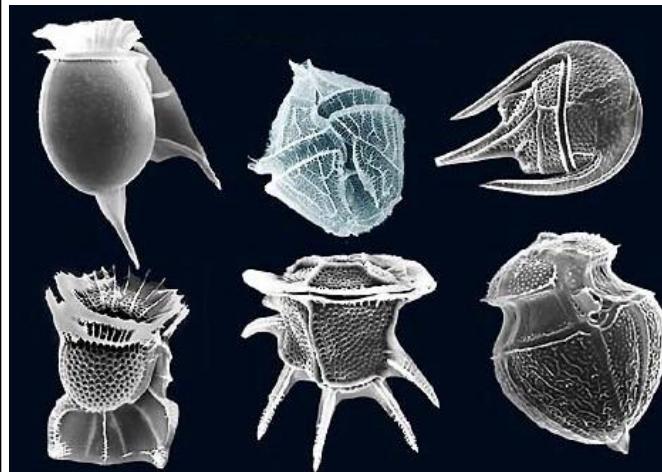
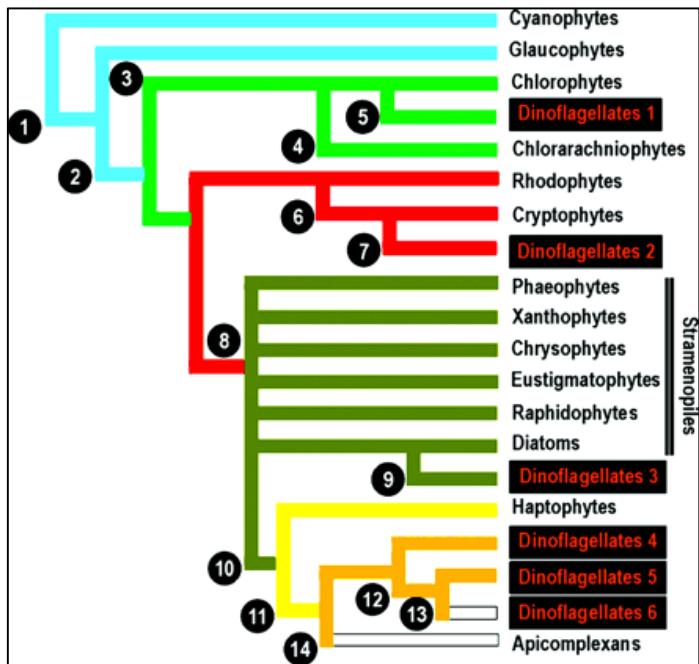


## Estimation basée sur les transcriptomes



Données de métagénomiques

# Un exemple de la nécessité de bien connaître la biologie des organismes pour interpréter les données



origines multiples de leurs  
pigment photosynthétiques

← dinoflagellés →

noyaux avec  
ADN modifié

# Les marées rouges

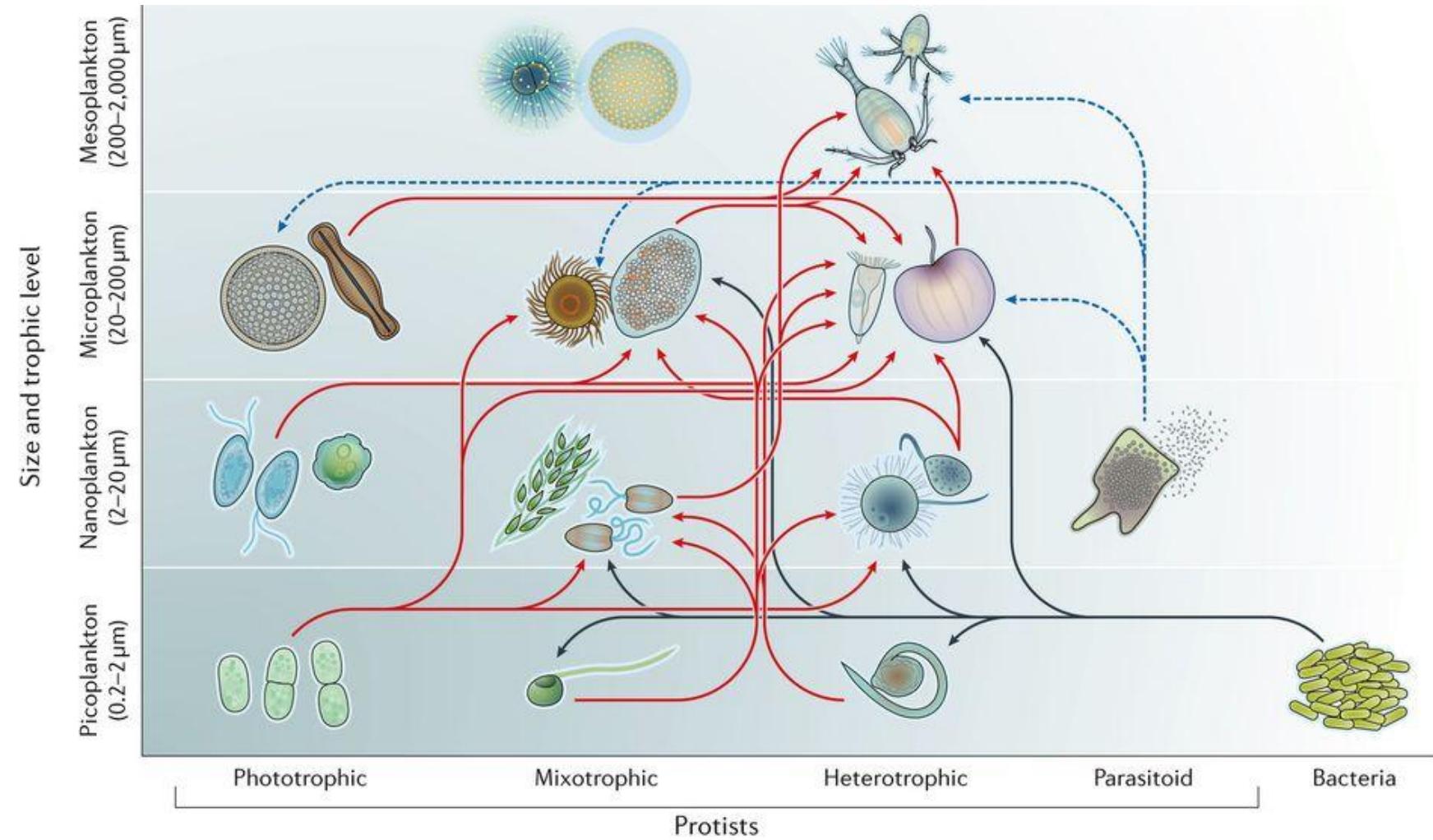


Les haptophytes causent des marée blanches!

causées par  
l'accumulation de  
dinoflagellés



# Les premiers étages des chaînes alimentaires marines sont constitués essentiellement de protistes: protozoaires et algues mixotrophes

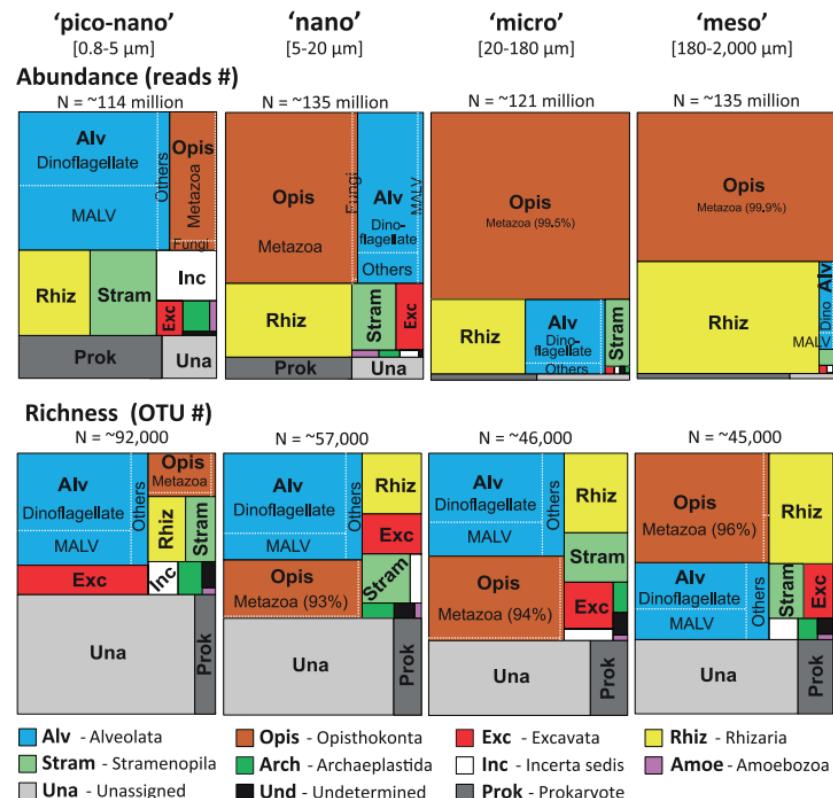


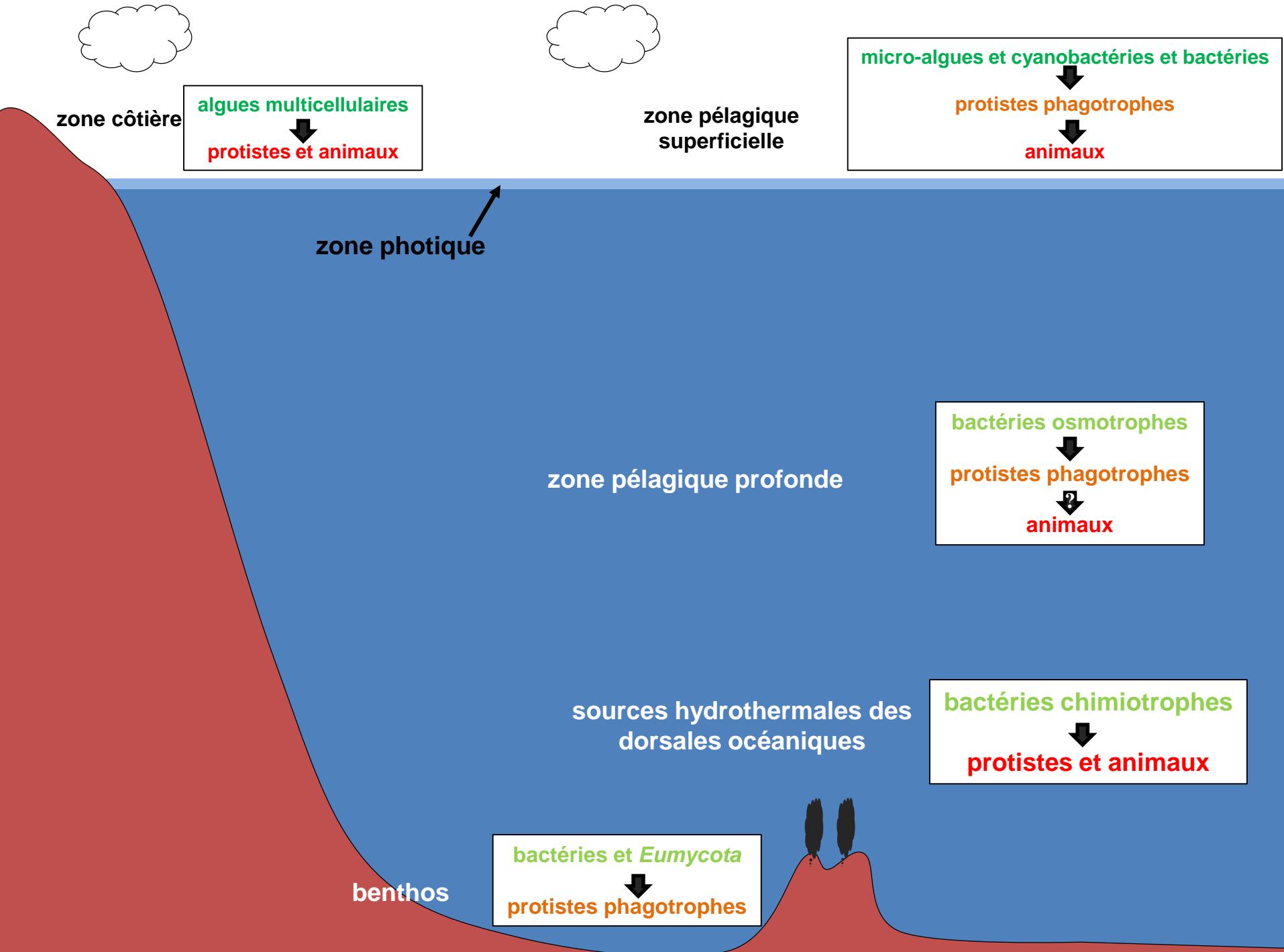
## Projet « Tara Océans »

Marine plankton support global biological and geochemical processes. Surveys of their biodiversity have hitherto been geographically restricted and have not accounted for the full range of plankton size. We assessed eukaryotic diversity from 334 size-fractionated photic-zone plankton communities collected across tropical and temperate oceans during the circumglobal *Tara Oceans* expedition. We analyzed 18S ribosomal DNA sequences across the intermediate plankton-size spectrum from the smallest unicellular eukaryotes (protists, >0.8 micrometers) to small animals of a few millimeters. Eukaryotic ribosomal diversity saturated at ~150,000 operational taxonomic units, about one-third of which could not be assigned to known eukaryotic groups. Diversity emerged at all taxonomic levels, both within the groups comprising the ~11,200 catalogued morphospecies of eukaryotic plankton and among twice as many other deep-branching lineages of unappreciated importance in plankton ecology studies. Most eukaryotic plankton biodiversity belonged to heterotrophic protistan groups, particularly those known to be parasites or symbiotic hosts.

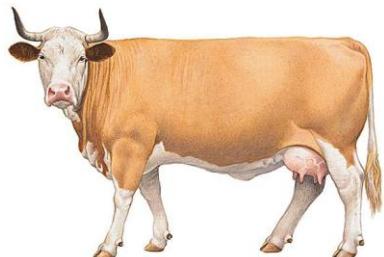


## Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean

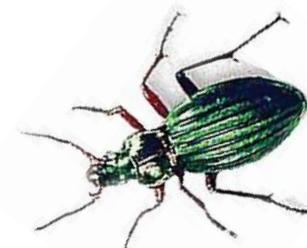
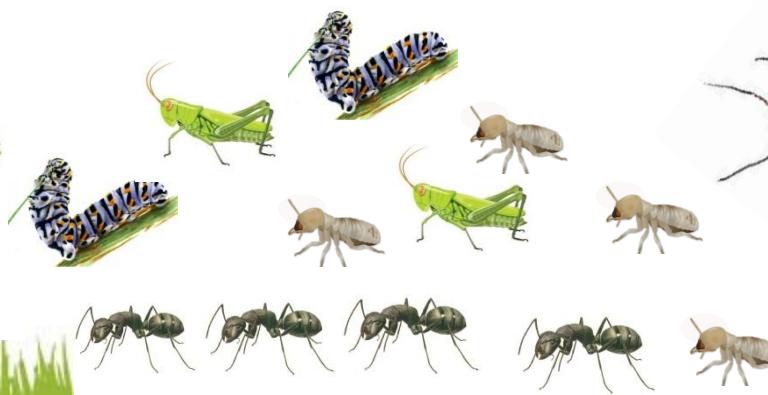




# Qui respire dans les milieux terrestres: ?



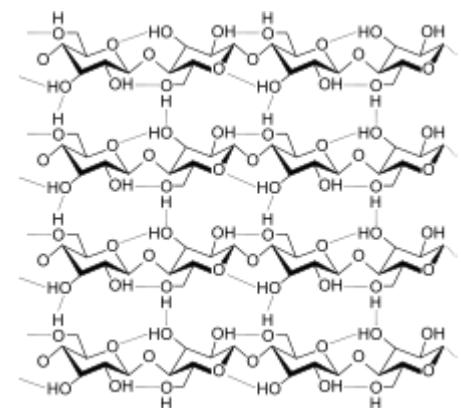
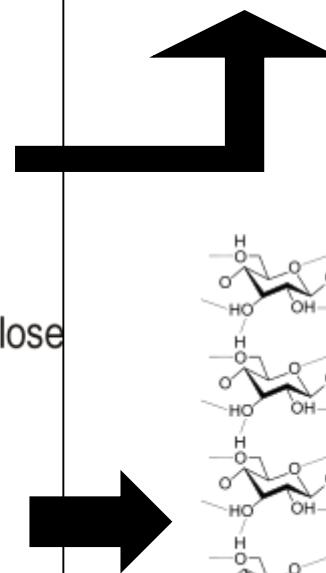
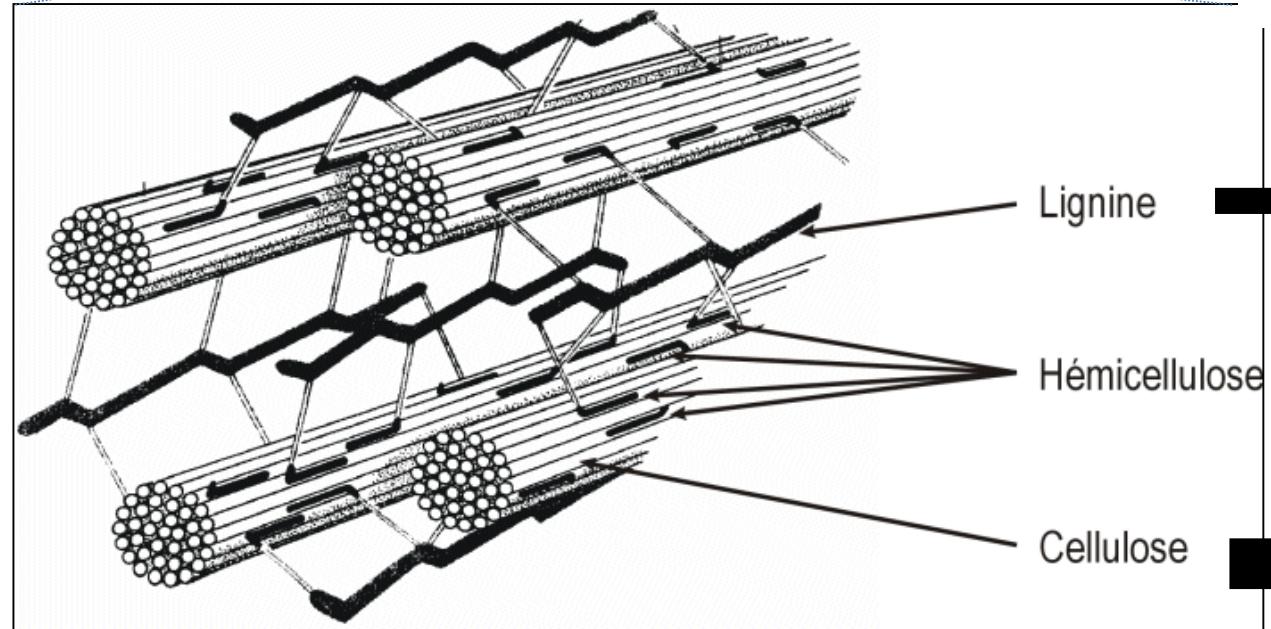
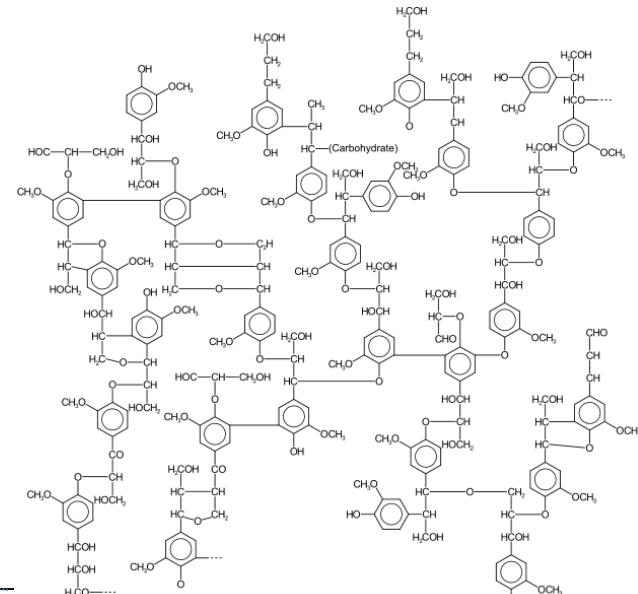
vertébrés



insectes

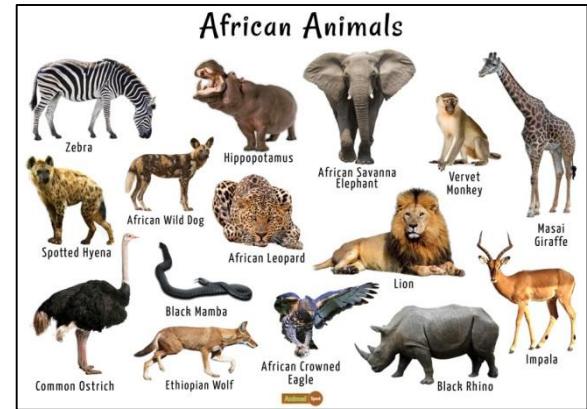
chaines alimentaires basées sur les plantes

# La structure de la paroi végétale rend les plantes difficilement digestes



# Qui respire cette biomasse récalcitrante?

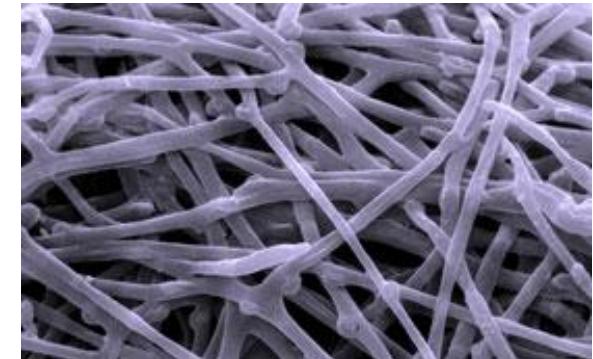
→ les animaux pour ~25 GtC



→ les bactéries pour ~10 GtC



→ les champignons pour ~85 GtC



## Exemple de composition d'un sol typique de forêt (60 premiers cm) hors racines des plantes

- 60-70 % de champignons
- 10-20% de bactéries
- 10% animaux
- 10% autres protistes

zone aérobie  
dominée par les  
champignons

zone anaérobie  
dominée par les  
bactéries



# Les champignons acteurs majeurs de la formation et de la santé des sols

## Quelques chiffres :

- Dans 1 litre de sol: **600 km d'hyphes mycéliens**
- Dans le sol d'un hectare de forêt: **équivalent en masse de 20 vaches**
- Dans l'ensemble des forêts du globe: **équivalent en masse de 2 000 milliards d'êtres humains**
- Les spores fongiques représentent jusqu'à **45% de la masse des grosses particules présentes dans l'air**: cela représente **50 millions de tonnes/an de particule émises dans l'air**, soit la plus grande source d'émission de matière organique dans l'atmosphère...

# Les saprotrophes

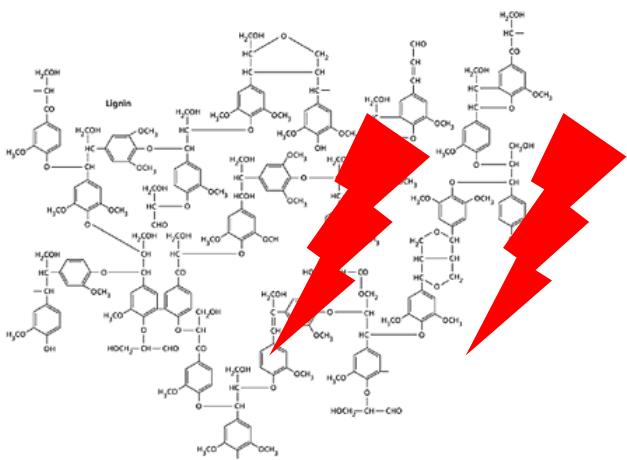
Les eumycètes filamentueux (surtout les basidiomycètes) sont les organismes qui sont les mieux adaptés à la dégradation enzymatique des matières végétales solides: ils recyclent environ 90% de la biomasse végétale morte terrestre



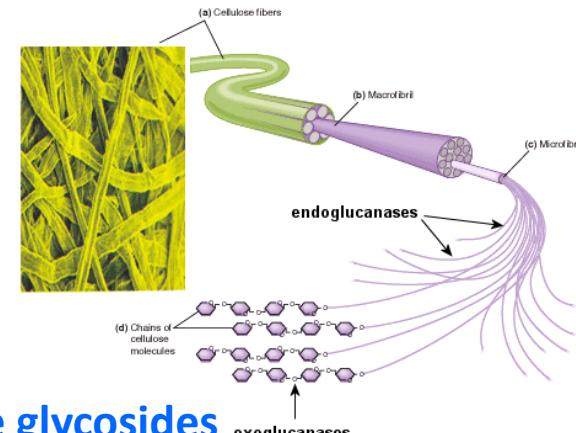
Pourriture cubique et brunes



Pourriture fibreuse blanche

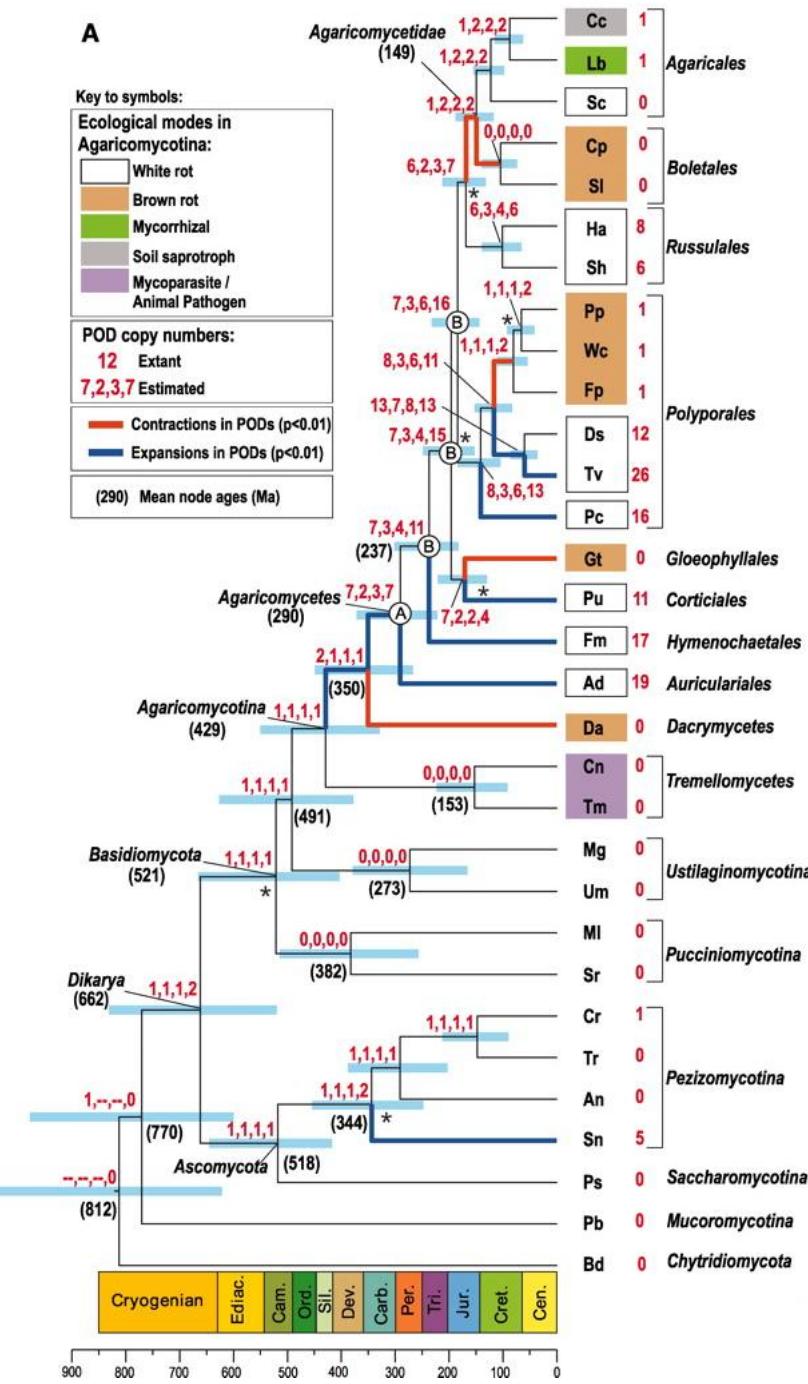


attaques  
radicalaires par des  
oxydases



Dégradation de la lignine

dégradation enzymatique de la cellulose

**A**

**L'apparition de la capacité à dégrader efficacement la lignocellulose est contemporaine de la fin de la déposition importante du matériel végétal qui a donné le charbon...**



**Carbonifère**

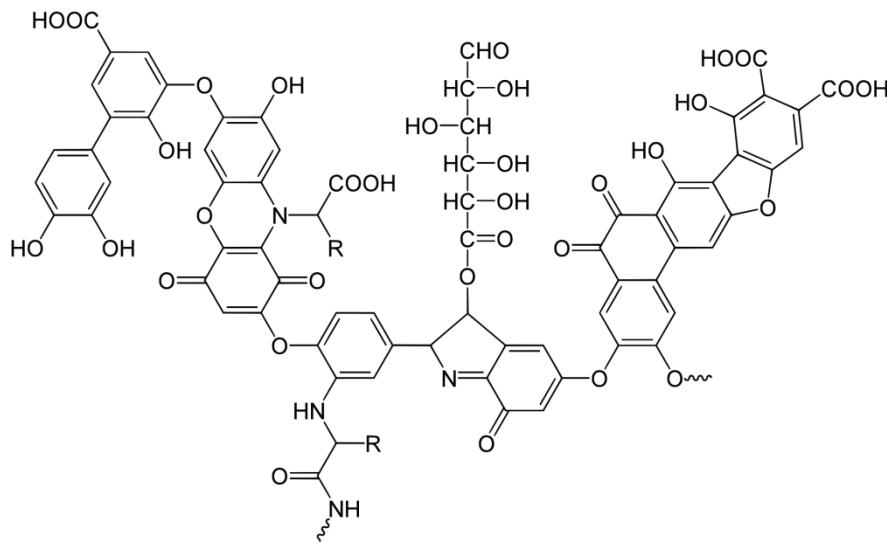
**Un fossile mystérieux: Prototaxites**



**Silurien/Dévonien**

Parrish 2000

## Dans la nature, production d'acides humiques importants pour la santé des sols



monomère supposé d'acide humique

- ➔ rétention de substances (sels minéraux, polluants...)
- ➔ interfère avec l'absorption de l'eau dans les sols

un sol en bonne santé (et donc productif) contient une grande quantité d'acide humique (" l'humus ") qui est fabriqué par les champignons saprotrophes via l'apport (annuel dans nos régions) de biomasse végétale

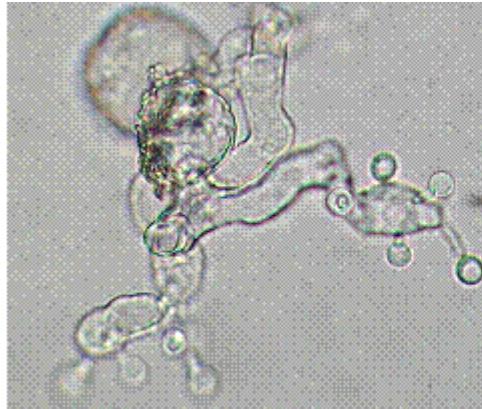
# Des champignons mutualistes d'animaux les aident à digérer les végétaux!



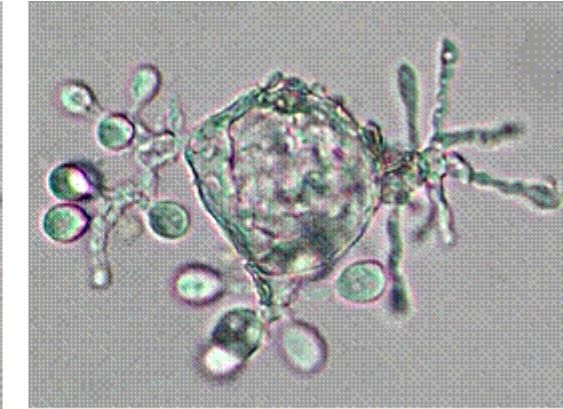
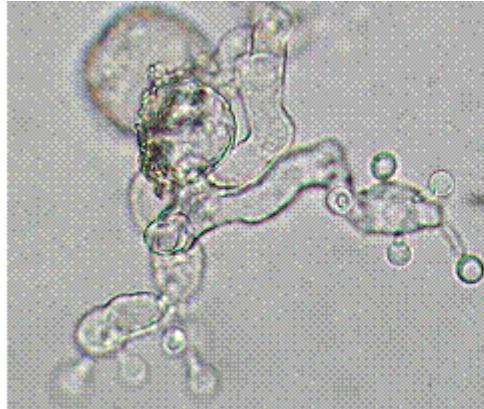
*Leucoprinus, Termitomyces...*



fourmis Atta, termites, insectes xylophages...



*Neocallimastix, Piromyces...*



ruminants



D'autres champignons dégradent les excréments

## Et réciproquement!



collemboles



nématodes



acariens



lombrics

*Plant and Soil* 170: 209–231, 1995.  
© 1995 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

### How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?

George G. Brown

Department of Crop and Soil Sciences and Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA, 30602, USA.  
Present address: Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux, Université Paris VI/IRD, 72 route d'Aulnay,  
Bondy 93143, France

#### Abstract

Much of the work regarding earthworm effects on other organisms has focused on the functional significance of microbial-earthworm interactions, and little is known on the effects of earthworms on microflora and faunal diversity. Earthworms can affect soil microflora and fauna populations directly and indirectly by three main mechanisms: (1) comminution, burrowing and casting; (2) grazing; (3) dispersal. These activities change the soil's physico-chemical and biological status and may cause drastic shifts in the density, diversity, structure and activity of microbial and faunal communities within the rhizosphere. Certain organisms and species may be enhanced, reduced or not be affected at all depending on their ability to adapt to the particular conditions of different earthworm rhizospheres. A large host of factors (including CaCO<sub>3</sub>, enzymes, mucus and antimicrobial substances) influence the ability of preferentially or randomly ingested organisms to survive (or not) passage through the earthworm gut, and their resultant capacity to recover and proliferate (or not) in earthworm casts. Small organisms, particularly microflora and microfauna, with limited ability to move within the soil, may benefit from the (comparatively) long-ranging movements of earthworms. Microflora and smaller fauna appear to be particularly sensitive to earthworm activities, and priming effects enhancing nutrient release, particularly in casts, are common. Larger fauna such as arthropods, enchytraeids and lepidozoans may be enhanced under some conditions (e.g., in earthworm middens), but in other cases earthworm activity may lead to a decrease in their populations due to competition for food (microbes and organic materials), and spatial and temporal changes in food abundance. Nevertheless, considering the presently available data, the beneficial interactions of earthworms and microflora and fauna appear to far outweigh the potential negative effects. However, much is still unknown regarding the interactions of earthworms of different ecological categories on the diversity and function of microfloral and faunal communities, and much more interdisciplinary research is needed to assess the potential role of earthworms in regulating the diversity of microflora and fauna in soil systems and the potentially beneficial or harmful effects this regulation may have on ecosystem function and plant growth in different ecosystems.



www.fraganardi.over-blog.com

Effets antagonistes:  
Consommation des  
champignons

vs

Fragmentation de la biomasse,  
dispersion et autres actions sur  
les champignons

# Cycle du carbone dans nos forêts



Repos hivernal

Germination des spores fongiques

Maximum d'activité photosynthétique

Baisse de la photosynthèse

Réveil des mycorhizes

Maximum d'activité de la dégradation des feuilles

Chute des feuilles

Début de la dégradation des feuilles tombées au sol

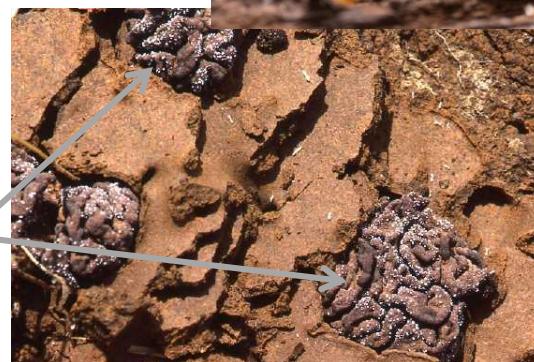
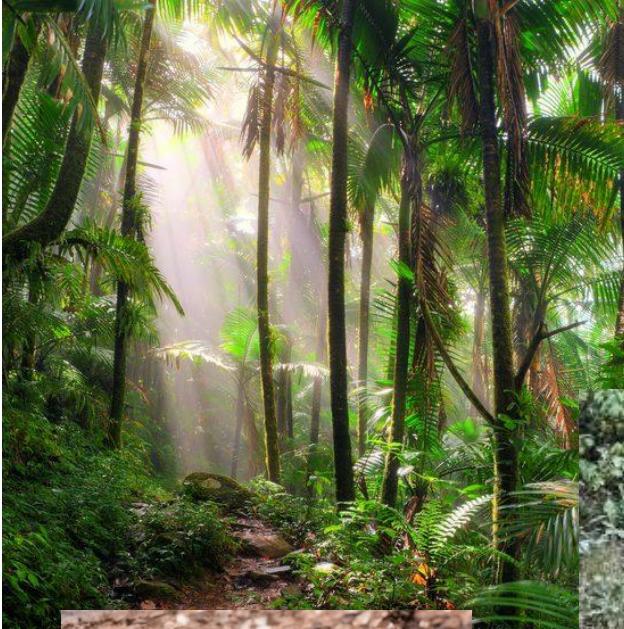
Fabrication de l'humus

Sporulation fongique



# Cycle du carbone dans les forêts et savanes tropicales

Saisonnalité peu marquée:  
production constante de  
biomasse



meules

- grâce à des champignons (*Termitomyces*) chez les « termites supérieurs »  
- grâce à des protozoaires (*Oxymonadida* et *Parabasalia*) chez les « termites inférieurs »

Et les fourmis:

- grâce à des champignons (*Leucoagaricus*, *Leucoprinus*...)

# Les mutualistes mycorhiziens: une plante donne en moyenne 20% de ses produits de photosynthèse à ses champignons mycorhiziens

sans



avec

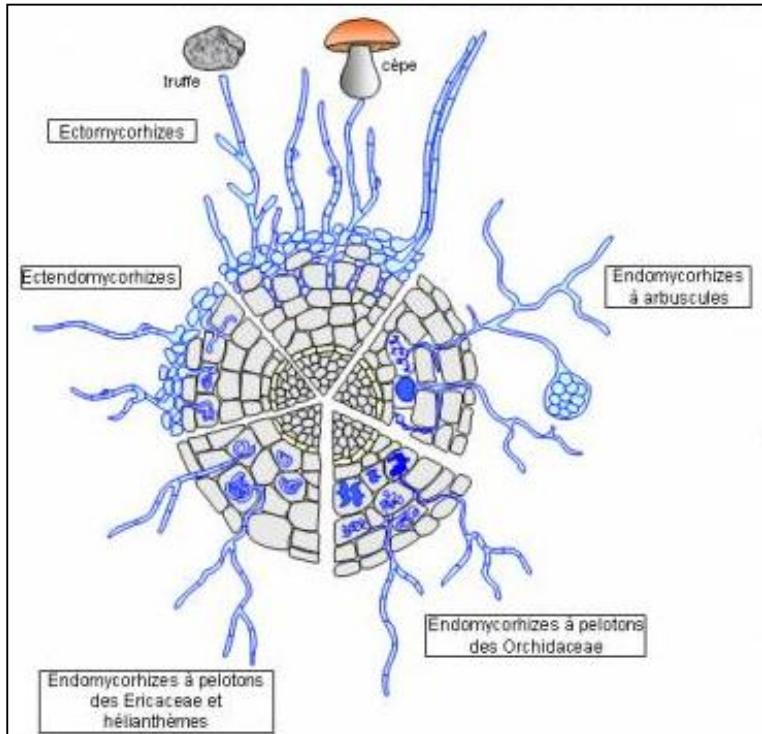
Plante

↔ Champignon

Produits de la photosynthèse

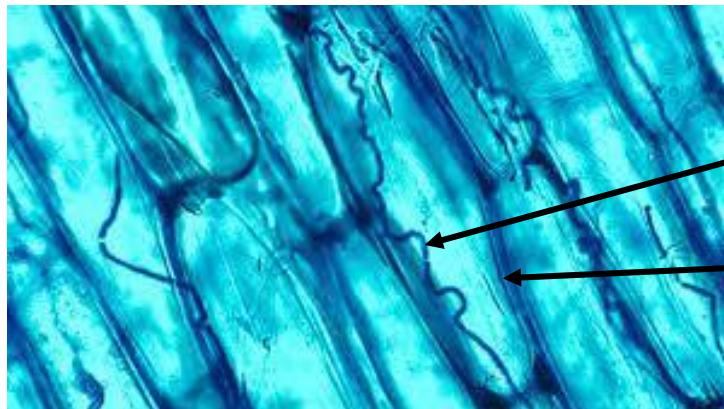
Sels minéraux (N et P)

Eau + protection



# Les endophytes

Omniprésents dans toutes les plantes



hyphes de champignons endophytes (*Neotyphodium*)  
qui se faufile entre les cellules

cellule de plante

2 types principaux:

- vrais endophytes ayant des stratégies de communication avec la plante permettant de maintenir un équilibre: *Epichloë festucae*
- endophytes contingents dits saprotrophes latents: spores de champignons saprotrophes germant sur une plante qui arrivent à contenir la prolifération fongique – le champignon ne meurt pas et attend la mort de la plante pour reprendre sa croissance



## Impact des attaques sur les productions végétales

Au total, de 31 à 42% de pertes sur l'ensemble des cultures mondiales dont:

- Ravageurs (insectes, nématodes...): 12,2%
- Mauvaises herbes: 10,2%
- Maladies : 14,1%, soit 220 milliards de \$ rien qu'aux USA!  
→ ~85% des maladies des plantes sont fongiques!

Importance croissante des champignons phytopathogènes

# Les champignons phytopathogènes

Ils causent **20%** de perte en agriculture en année moyenne, soit  
L'équivalent de la consommation de **600 millions** d'êtres humains!

Les dix pathogènes émergents de plantes qui inquiètent les agronomes

espèces	taxon	maladie	plantes hôtes
<i>Phytophthora infestans</i>	Oomycota	pourriture	patates et tomates
<i>Peronosclerospora sorghi</i>	Oomycota	mildiou	maïs et sorgho
<i>Tilleria indica</i>	Uitilaginomycotina	carie	blé
<i>Phakopsora pachyrhizi et P. meibomiae</i>	Pucciniomycotina	rouille	soja
<i>Puccinia horiana</i>	Pucciniomycotina	rouille blanche	chrysanthème
<i>Puccinia melanocephala</i>	Pucciniomycotina	rouille	canne à sucre
<i>Moniliophthora roreri</i>	Agaricomycotina	moniliose	cacao
<i>Guignardia citricarpa</i>	Pezizomycotina	tâches noires	agrumes
<i>Elsinöe australis</i>	Pezizomycotina	anthracnose	oranger
Virus africain de la mosaïque du manioc		Chlorose	manioc

# Quelques espèces phytopathogènes



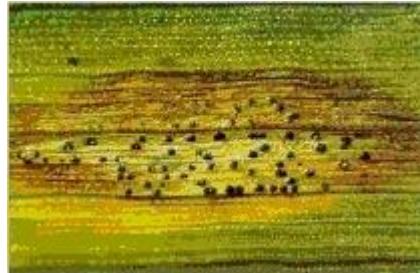
Pyriculariose du riz



Rouille du blé



Maladie hollandaise  
de l'orme



Septoriose du blé



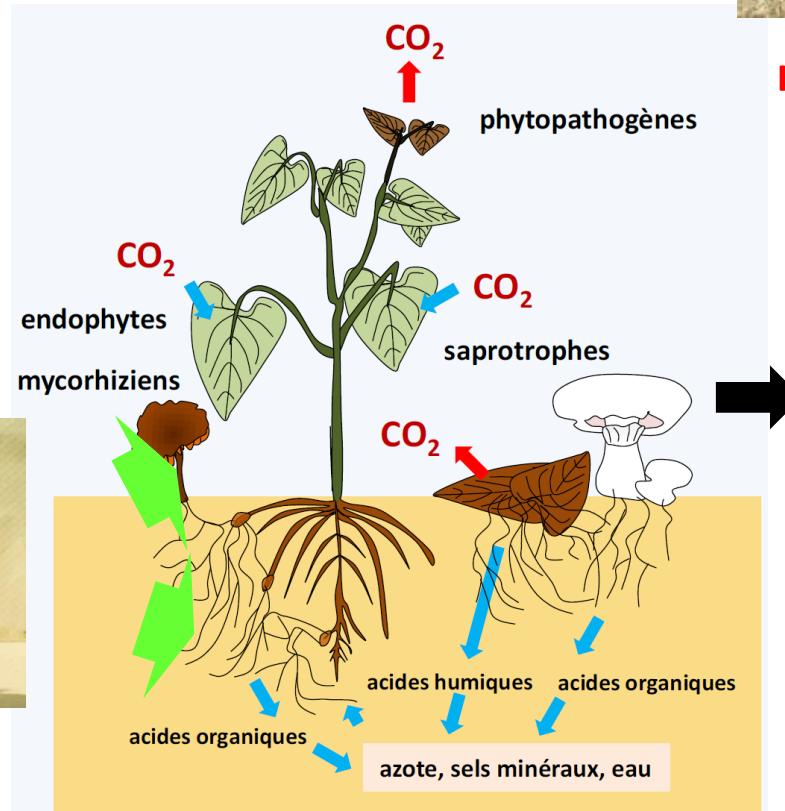
Monilliose de la pomme

Pour un agriculteur: semence 70€, engrais 100€, herbicides 50€, insecticides 5€  
**et 75€ pour les fongicides!**

# Les rôles écologiques essentiels des champignons sont donc en relation avec les plantes



## Nutrition et santé des plantes



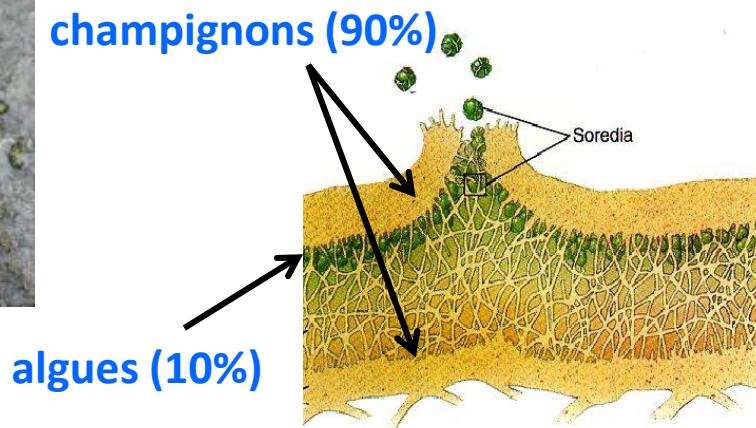
maladies des plantes

relargage de  $\text{CO}_2$  mais  
solubilisation des  
sels minéraux,  
mobilisation de l'azote et  
fabrication de l'humus:

effet net sur la fixation  
de  $\text{CO}_2$  grâce à la santé  
de sols !

# Les lichens

Symbiose champignon/  
algue ou cyanobactérie

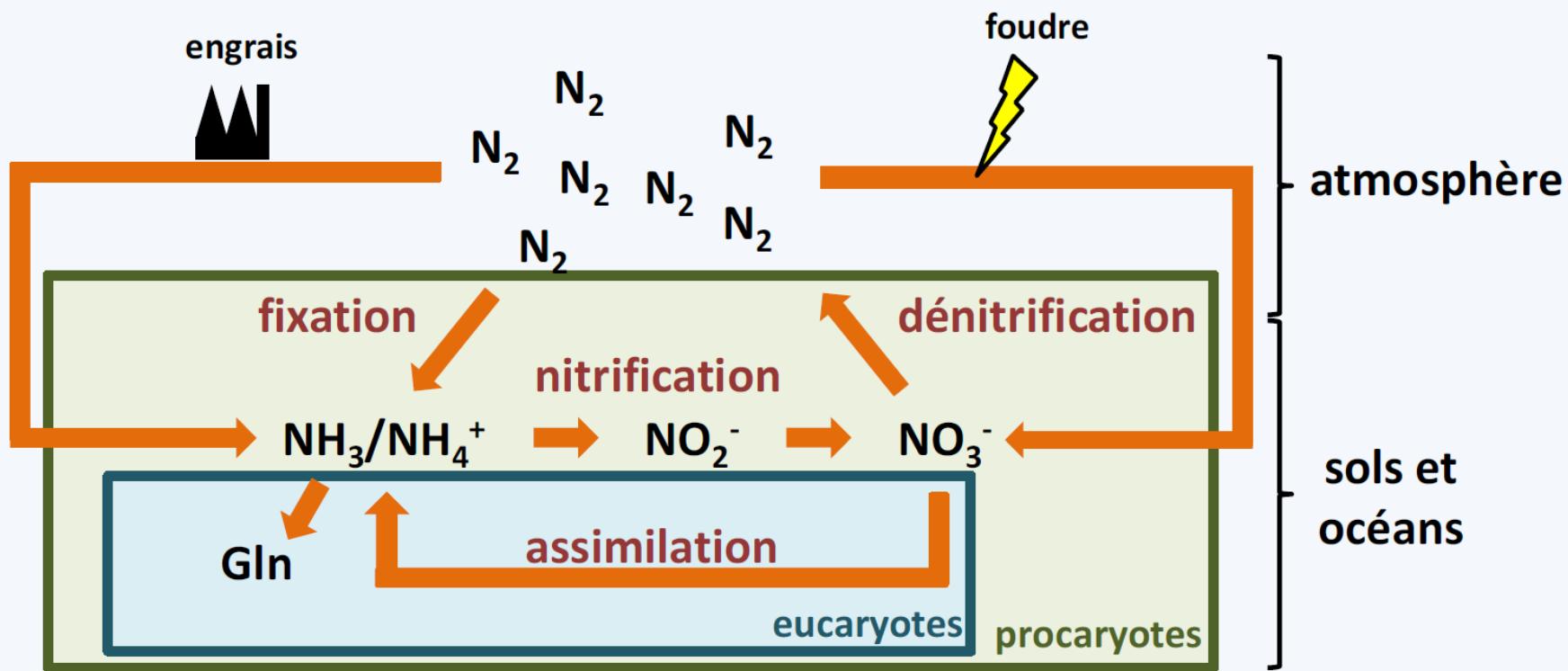
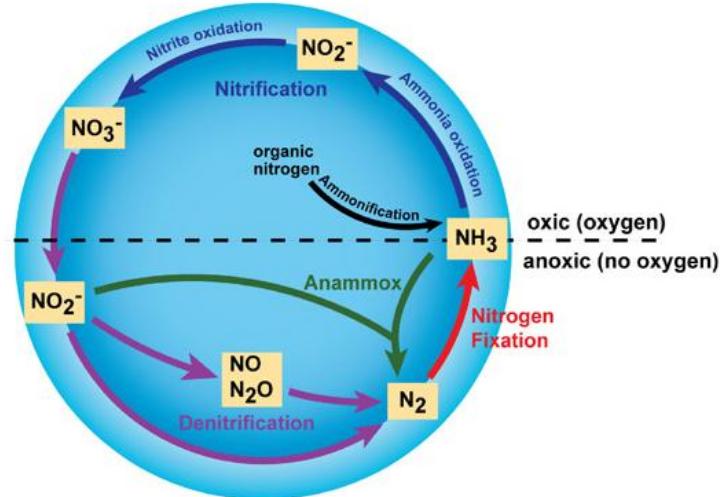


# Les lichens

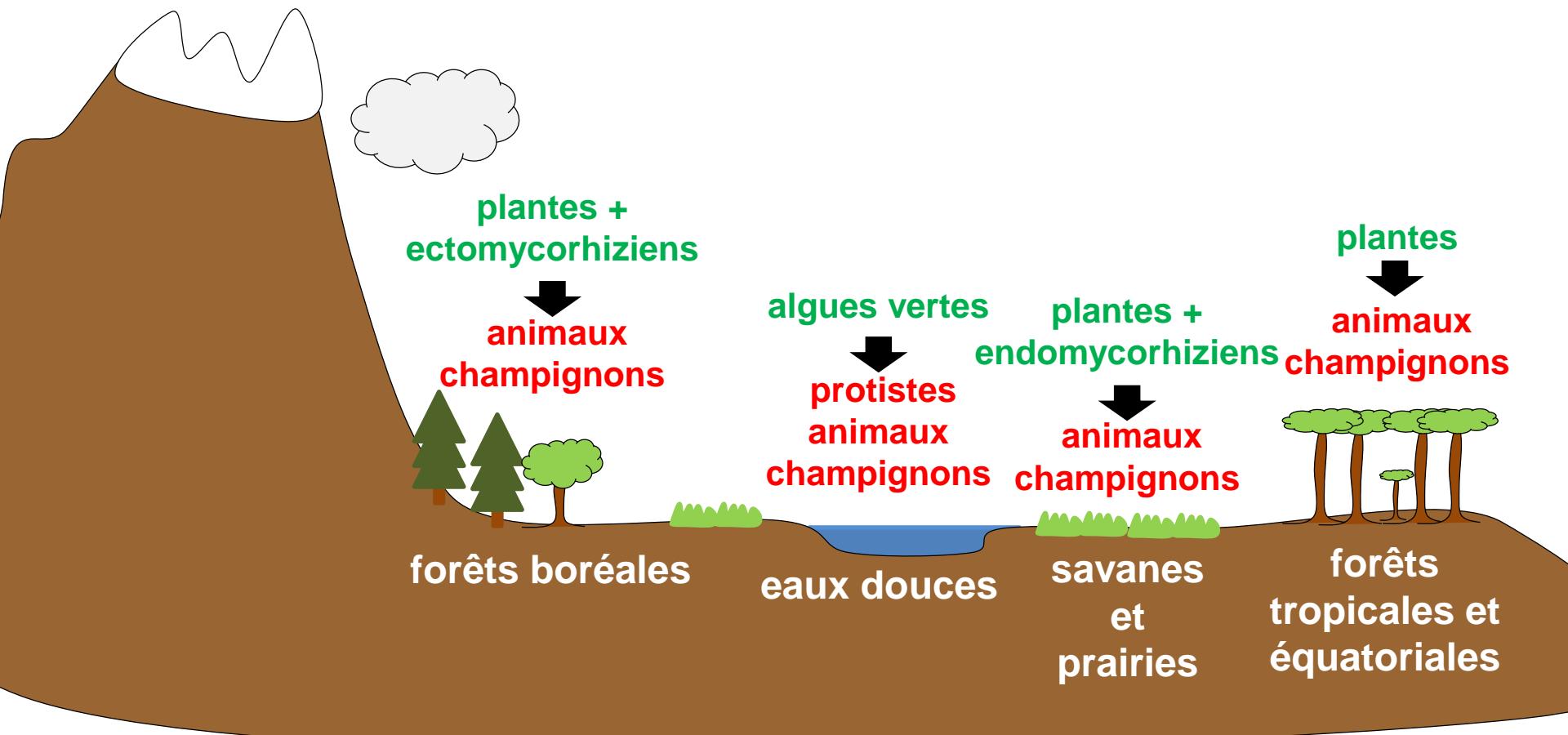
- Recouvrent environ **8%** des surfaces émergées
- Sont les premiers colonisateurs des surfaces émergées nouvellement formées: îles, coulées de laves...  
→ Ils ont créé et continuent de créer les sols via la sécrétion d'acides!



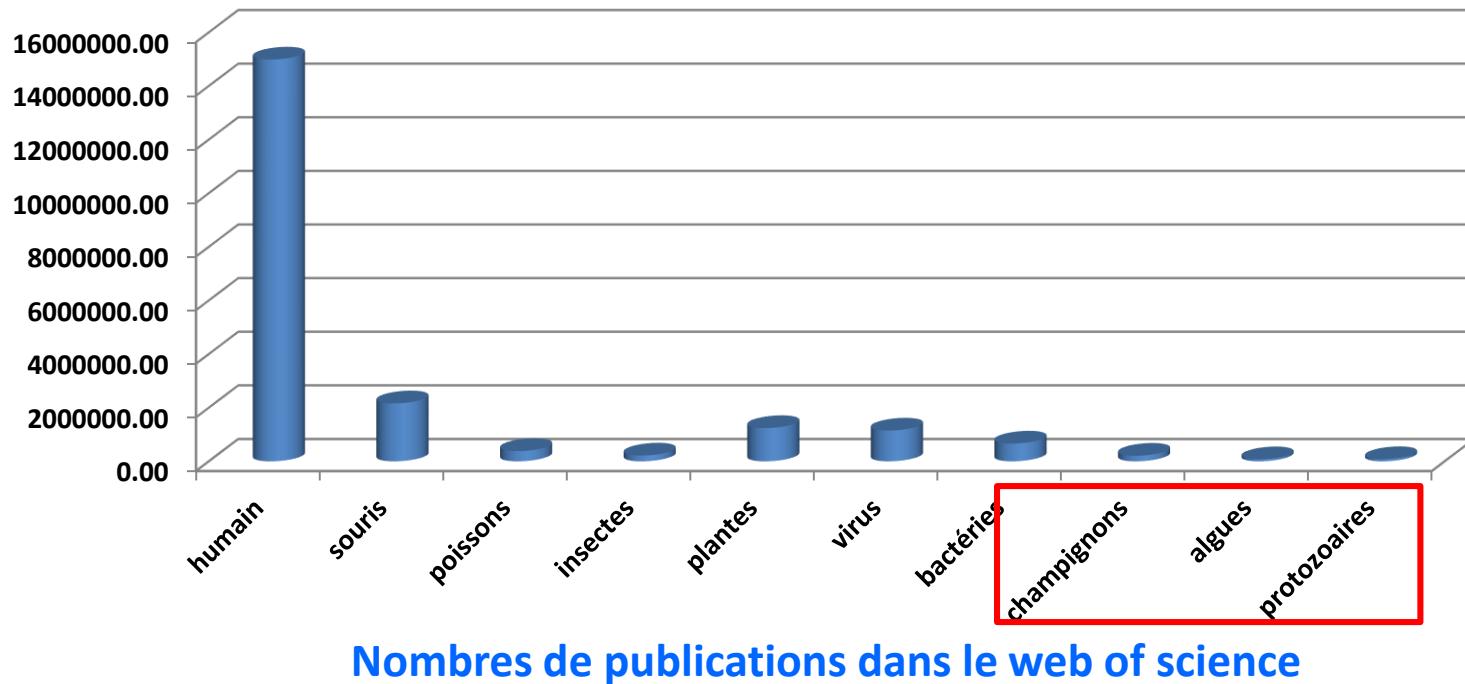
# Le cycle de l'azote



# Résultats des analyses dans les écosystèmes terrestres



# En conclusion



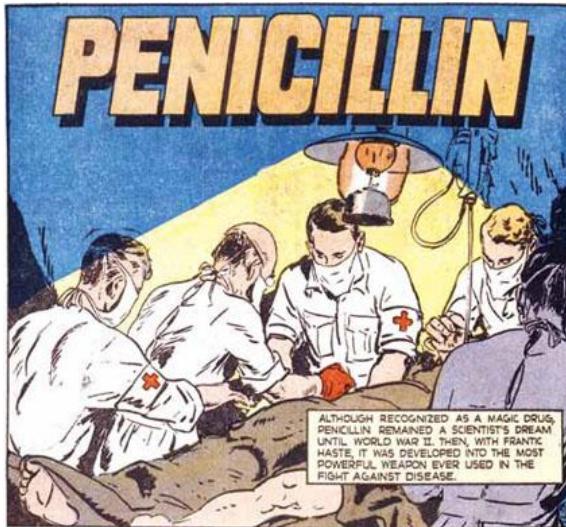
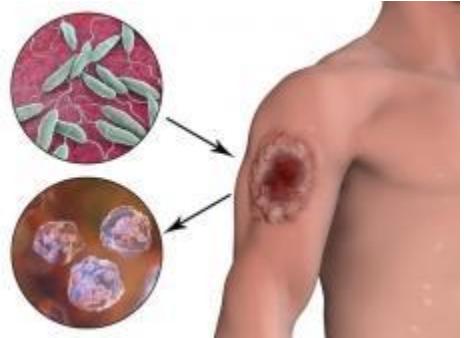
- Bien que sous-étudiés, les microbes eucaryotes ont des rôles essentiels dans les écosystèmes, en particulier au niveau du cycle du carbone
- ils constituent une biomasse considérables, en particulier dans les écosystèmes de sub-surfaces (60 premiers cm du sol: champignons) et marins (micro-algues et protozoaires)

# Interactions des protistes eucaryotes avec les sociétés humaines

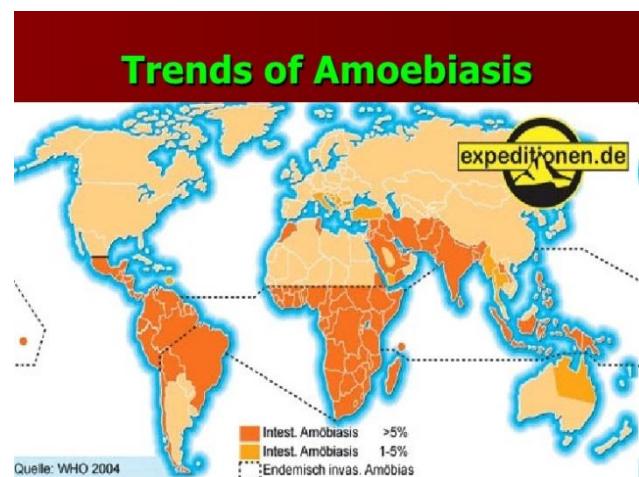
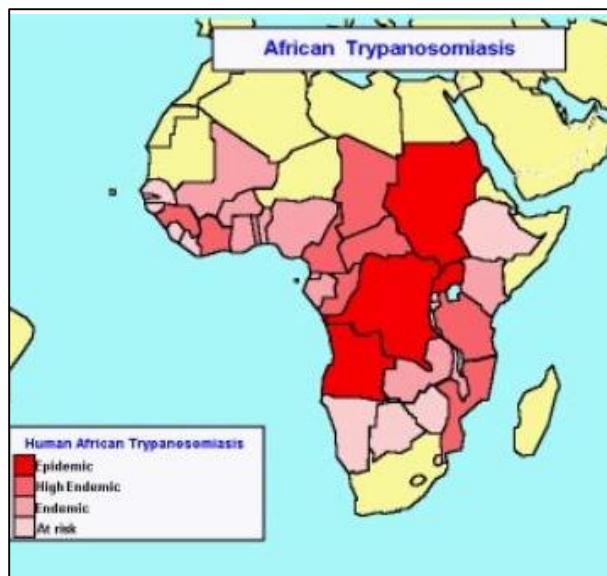
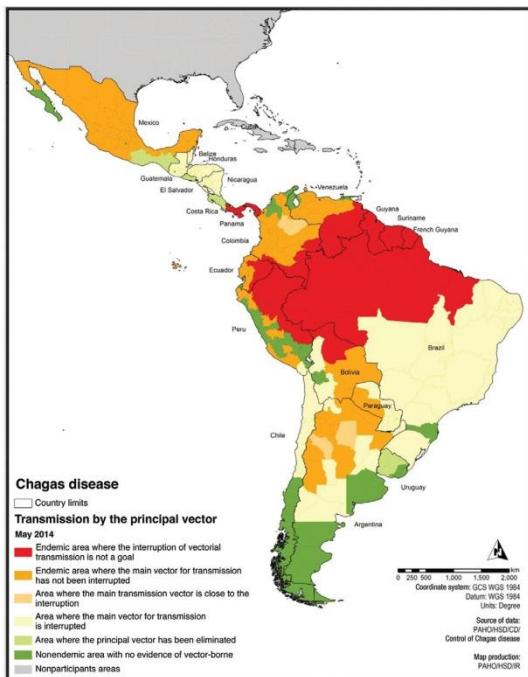
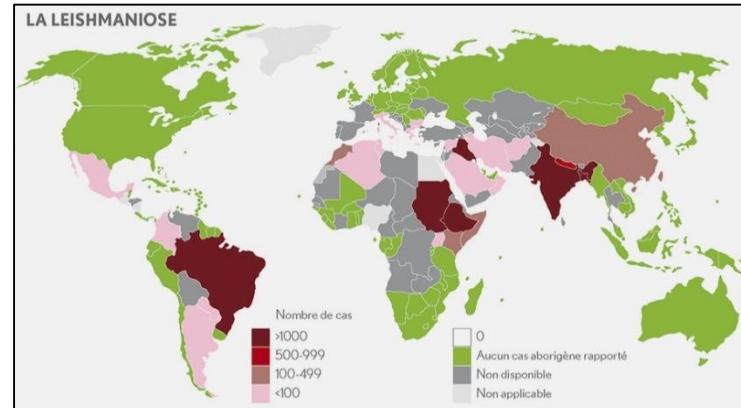
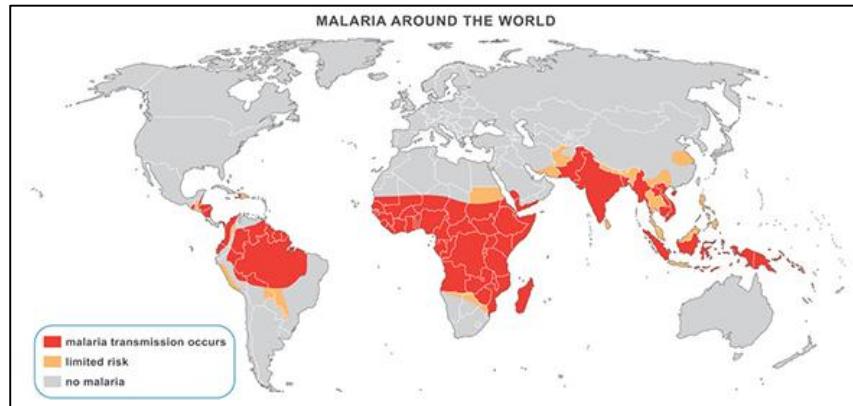
→ **Les microbes eucaryotes jouent des rôles essentiels dans nos sociétés :**

- santé : maladies et médicaments
- dégradation
- alimentation
- recherche
- industrie: pharmacie, biotechnologie, biocarburants...

# Microorganismes Eucaryotes et Santé



# Les parasites sont importants surtout dans la zone intertropicale



# Les problèmes:

- Absence de traitements efficaces
- Développement rapide de résistances
- Pas de vaccins efficaces

→ Dans la plupart des cas, la prévention est plus efficace que les traitements:

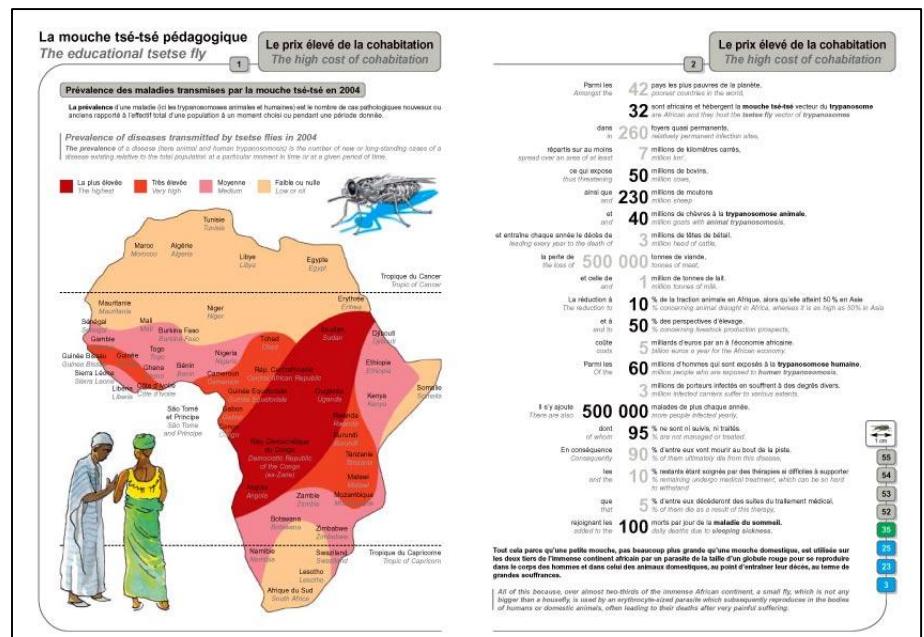
- hygiène (amibiases)
- luttes contre les vecteurs (moustique, mouche tsé-tsé...)
- éducation



toilettes



Insecticides  
Moustiquaires...

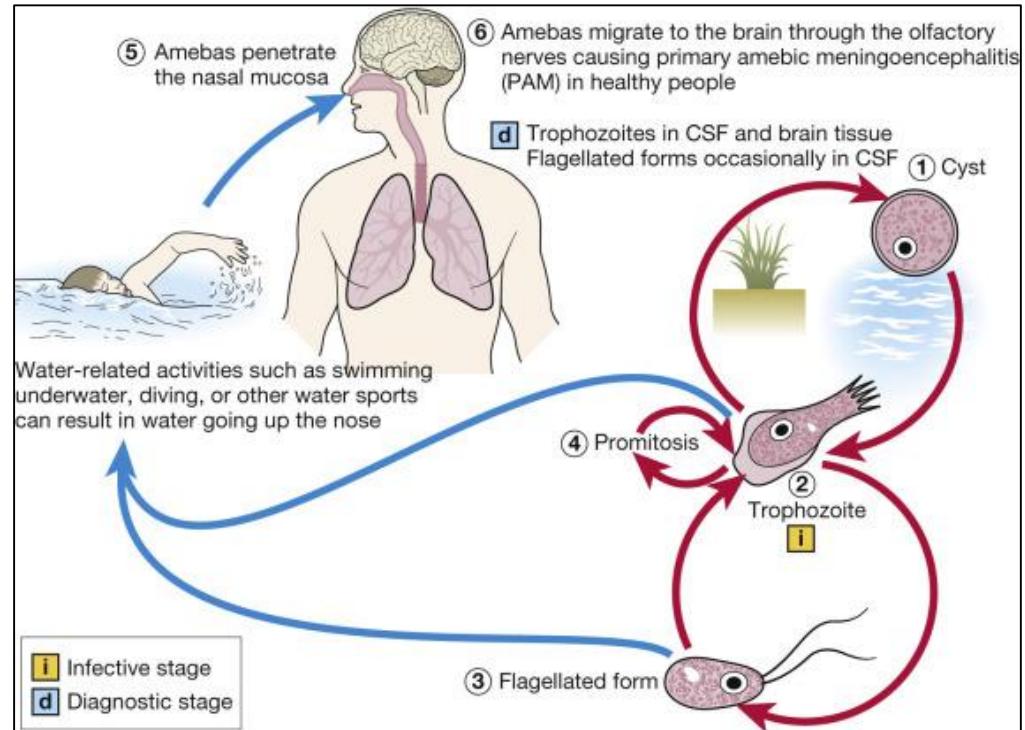


brochures

# Outre les grandes maladies, il existe quelques autres maladies parasitaires plus rares – l'exemple de la « méningo-encéphalite amibienne primitive »



Causée par  
*Naegleria fowleri*



\* ~300-350 cas diagnostiqués dans le monde de 1909 à 2008, 11 survivants

\* 1 seul cas en France en Guadeloupe en 2008

Comme pour les autres maladie: impact du réchauffement climatique ?

# Et les champignons ?

courrierinternational.com/article/sante-le-champignon-microscopique-candida-auris-une-menace-grandissante-pour-la-sante

SOURCE  
The New York Times

PARTAGER



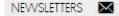
REAGIR



LECTURE ZEN



NEWSLETTERS



ABONNEZ-VOUS  
À PARTIR DE:  
1€

HAUT DE PAGE

**Santé.** Le champignon microscopique "Candida auris", une menace grandissante pour la santé publique

SANTÉ / SCIENCE & TECHNO / THE NEW YORK TIMES - NEW YORK

Publié le 08/04/2019 - 17:26



Une mystérieuse infection due à un champignon résistant aux traitements se développe dans le monde, et ce dans un climat de secret, dénonce le *New York Times*.

Voilà des décennies que les experts en santé publique mettent en garde contre la surconsommation d'antibiotiques, responsable du développement des superbactéries qui provoquent des infections potentiellement mortelles. "Mais depuis quelque temps, on observe aussi une démultiplication des champignons résistants aux traitements, ajoutant ainsi une

NOS SERVICES

PRIX PLUMES LIBRES  
POUR LA DÉMOCRATIE  
Votez dès maintenant  
pour le prix du public  
du meilleur dessin de

## LES PLUS LUS

Animaux: Madrid va exterminer 12 000 perruches

États-Unis: Hunter Biden, le fils qui plombe la campagne de son père

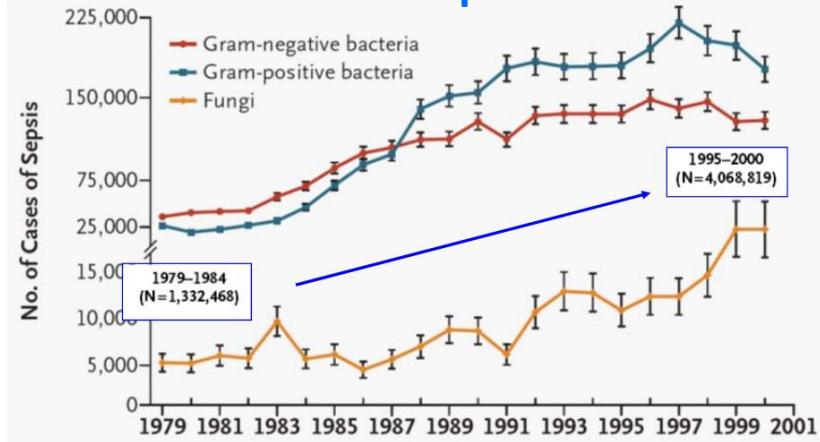
Géopolitique: En "abandonnant" les Kurdes, Donald Trump fâche son propre camp

États-Unis: Trump: Le "deep state" se rebiffe

Le dessin du jour: Mondiaux d'athlétisme au Qatar: fin du fiasco

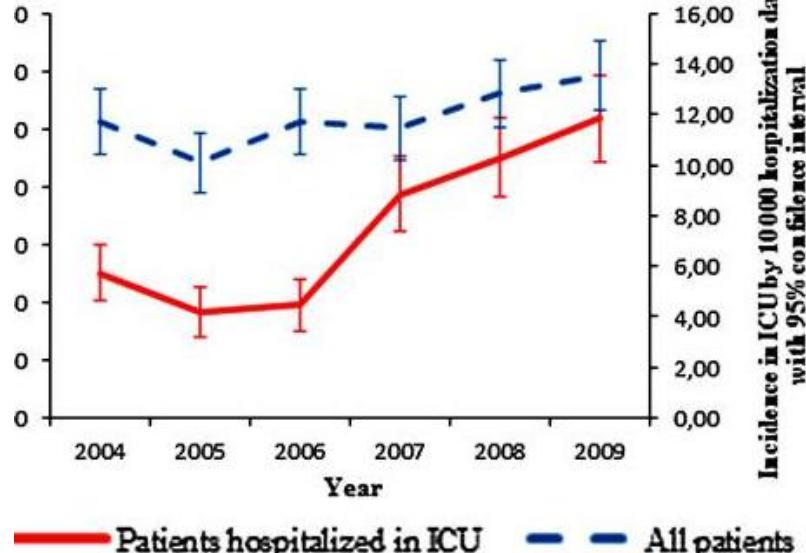
Partager

## Nb de septicémies



Martin GS et al. *N Engl J Med* 2003 ;348(16):1546-54

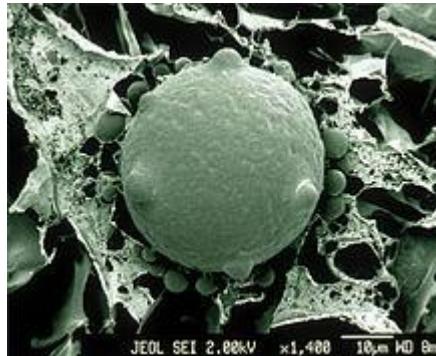
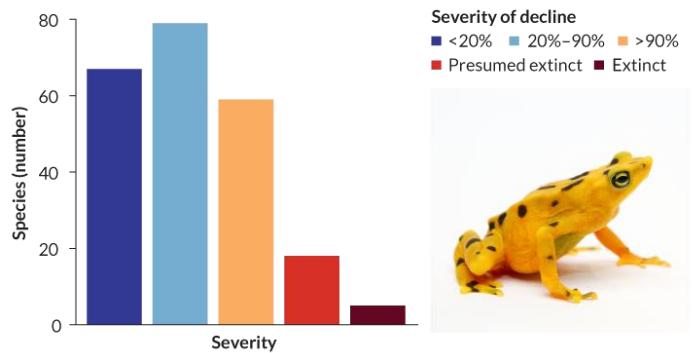
## Incidence des candidoses à Paris



## Les mycoses sont en augmentation

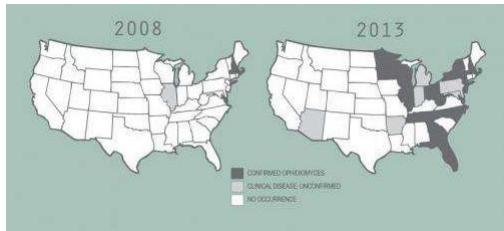
# Les écosystèmes ne sont pas épargnés

## chytridiomycose



## Grenouilles et *Batrachochytrium dendrobatidis*

## Snake fungal disease



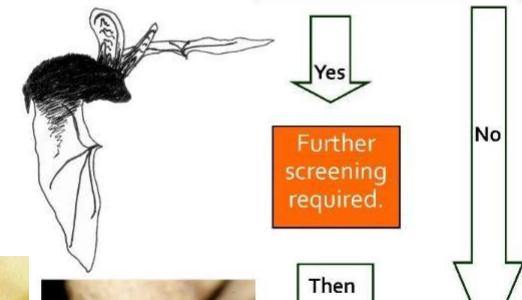
serpents et  
*Ophidiomyces ophiodiicola*

## White-nose bat syndrome

### Attention! Help protect our bats

By following the flow chart you can help slow or stop the advance of white-nose syndrome, a disease fatal to bats.

Have you visited a cave or mine outside of Lava Beds since 2006, or a cave or mine outside of the United States ever?



Chauve-souris et  
*Pseudogymnoascus destructans*

# Les allergies

MARKET MUS X Bulletin moisissures atmosphériques X

[pollens.fr/les-bulletins/bulletin-moisissures](https://pollens.fr/les-bulletins/bulletin-moisissures)

Le RNSA Les événements Les partenaires Liens Contact MedAeroNet Accès adhérents FR



LES BULLETINS RISQUES PAR VILLE RISQUES PAR POLLEN ALERTES POLLENS LE RÉSEAU

[Accueil](#) > Bulletin moisissures atmosphériques

## BULLETIN MOISSURES ATMOSPHÉRIQUES



### Bulletin n°40 du 4 octobre 2019

Vous trouverez ci-dessous le lien pour accéder aux graphiques pour les spores d'Alternaria et de Cladosporium sur chaque site effectuant les analyses.

Télécharger le [Bulletin - Alternaria et Cladosporium](#)

#### Légende

Abscisse : Les graphiques représentent les quantités hebdomadaires de spores enregistrées chaque semaine pour Alternaria et Cladosporium, avec en fond, la moyenne sur 3 ans (2016-2017-2018) de ces mêmes spores de moisissures.

Seuil de risque allergique (en spores/m<sup>3</sup>/semaine) : 3500 à 7000 (Alternaria) et 56000 (Cladosporium).

#### Commentaires

Les concentrations en spores de moisissures sont faibles mais attention aux semaines pluvieuses qui font ressortir les spores.

#### Partenaires

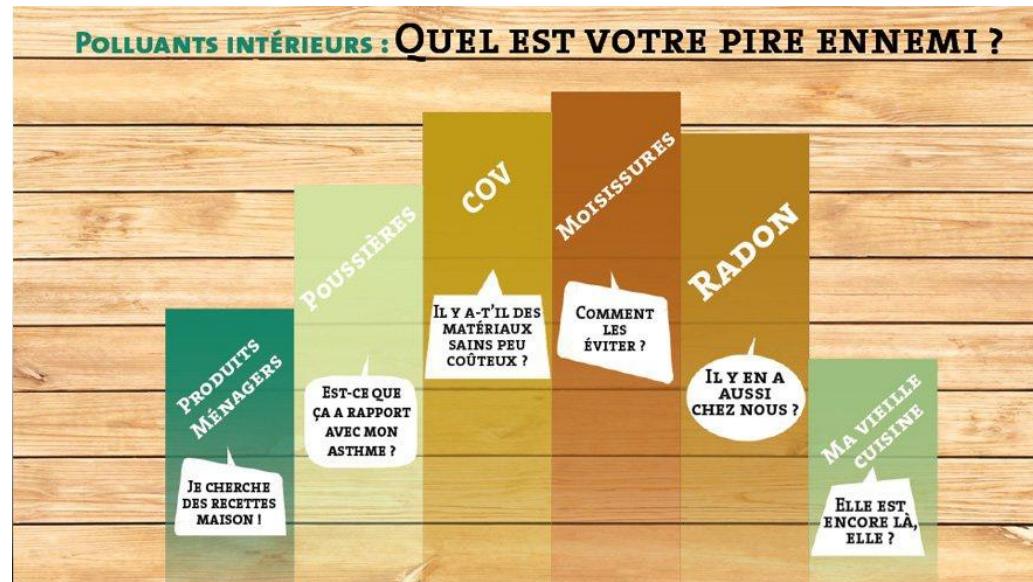
Centre Hospitalier d'Aix-en-Provence  
Service parisien de santé environnementale  
Centre Hospitalier de Strasbourg  
Service de Mycologie des Hôpitaux de Toulouse  
APPA Nord-Pas-de-Calais

#### Changement climatique, moisissures aéroportées et risques sanitaires associés

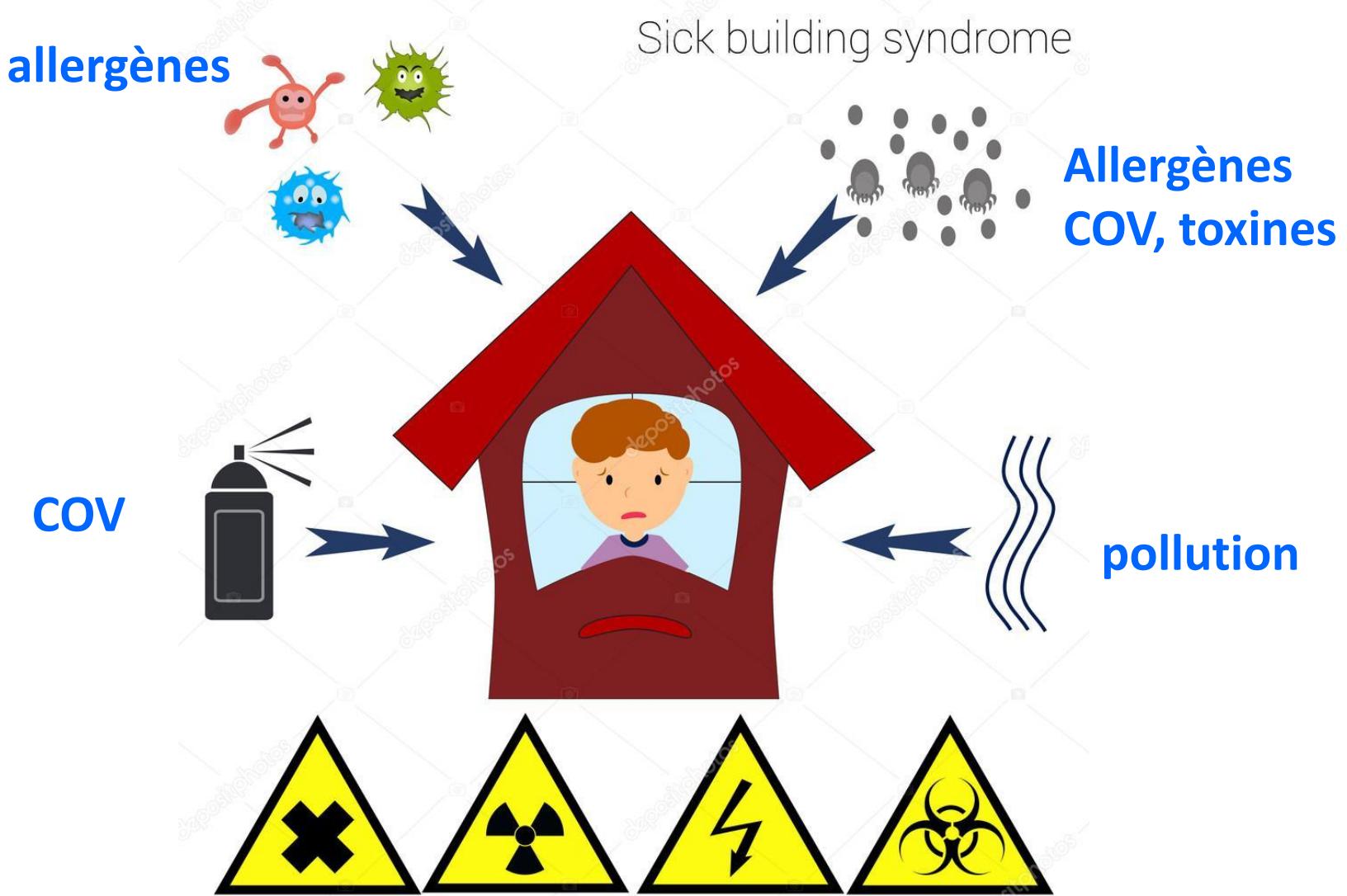
Convention 2010 DGS/RNSA relative au financement d'une étude sur les impacts attendus du changement climatique sur les moisissures aéroportées et les risques sanitaires associés : [rapport définitif](#)



# Qualité de l'air intérieur: en plus des allergènes, les composés organiques volatiles (COVs)!



# Le syndrome des bâtiments malsains (Sbs)



# Productions de métabolites secondaires: poisons et mycotoxines



L'information santé  
au quotidien



27940 articles accessibles gratuitement

27 octobre 2010

English

French

Arabe

>> Recherche avancée

Identification

Login :

Valider

## Champignons : un mort et 24 intoxications graves en France

[8 octobre 2010 - 17h52]  
[mis à jour le 12 octobre 2010 à 10h49]

La Direction générale de la Santé (DGS) signale la mort d'une personne en France à la suite d'une intoxication liée à la consommation de champignons. Au total, 24 cas graves d'intoxication ont été recensés ces dernières semaines. En cause l'amantide phalloïde (photo ci-contre), mais pas seulement.

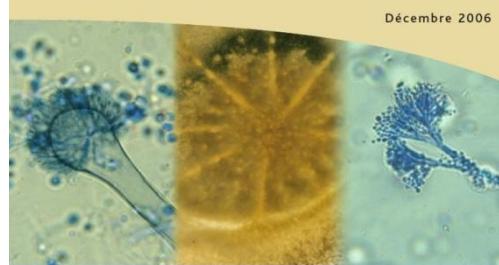
### EN BREF

Gueule de bois : Outox s'attaque à l'ANSES

[26 octobre 2010 - 16h04]

Grippe : les vaccinations démarrent bien

[26 octobre 2010 - 15h19]



## Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale

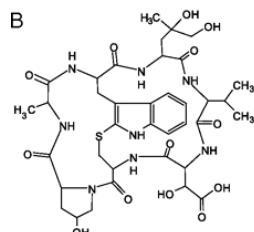
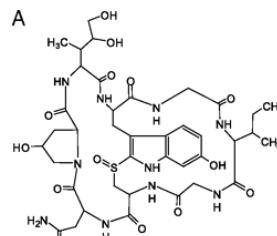
RAPPORT  
SYNTÉTIQUE



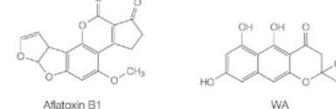
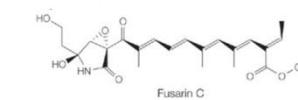
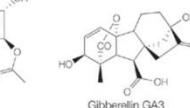
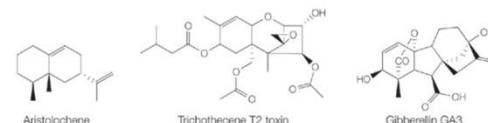
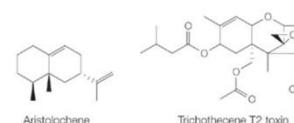
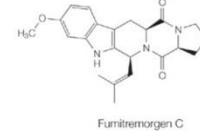
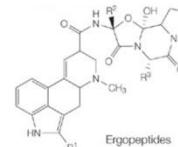
AFSSA  
AGENCE FRANÇAISE  
DE SÉCURITÉ SANITAIRE  
DES ALIMENTS



**Amanita phalloides**



**α-amanitin (A) and phallacidin (B)**



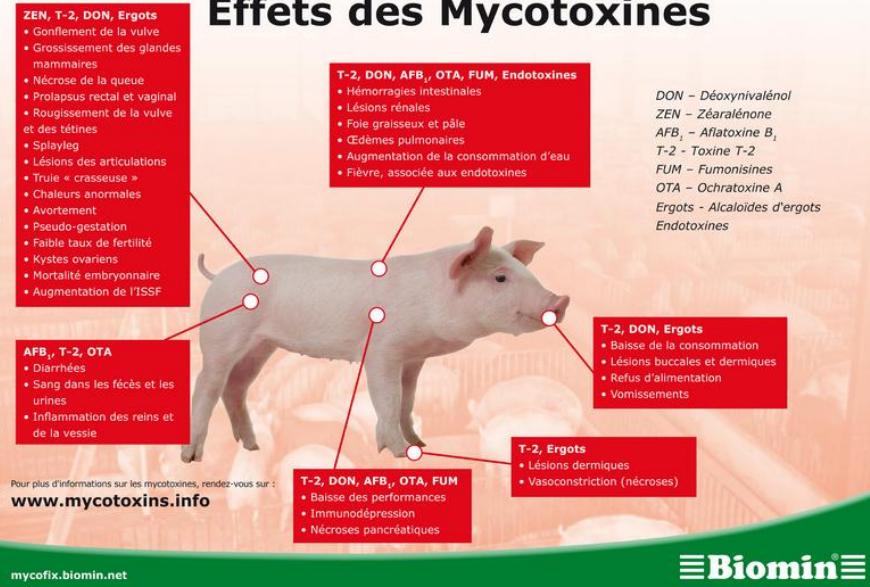
WA

**Mycotoxines: cancérigènes, neurotoxiques...**

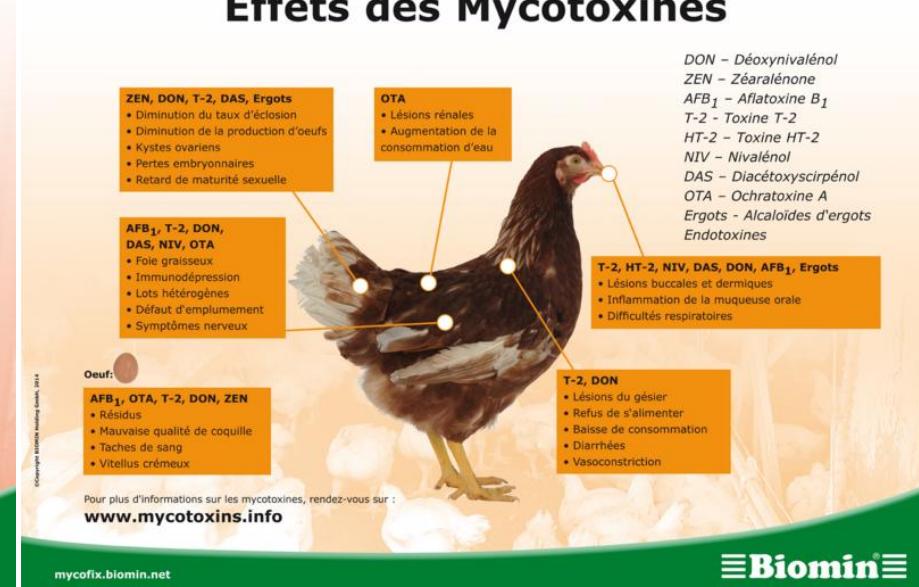
# Quelques mycotoxines et leurs effets chez les animaux

Champignons	Mycotoxines	Matières premières
<i>Aspergillus</i>	Aflatoxines Ochratoxine A Patuline	Maïs, arachides, coton, semences, riz, haricots, lait, tissus animaux, ensilage
<i>Fusarium</i>	Trichothécènes, zéaralénone Fumonisines, fusarine C	Blé, maïs, orge, riz, seigle, avoine, noix
<i>Penicillium</i>	Patuline, citrinine, Ochratoxine A, acide cyclopiazonique	Fruits, jus de fruits, blé, riz Fromage, noix, tissus animaux, ensilage
<i>Byssochlamys</i>	Patuline	Fruits et jus de fruits, ensilage
<i>Claviceps</i>	Alcaloïdes de l'ergot	Seigle, blé
<i>Alternaria</i>	Alternariol Acide tenuazonique	Fruits, légumes Pommes et tomates

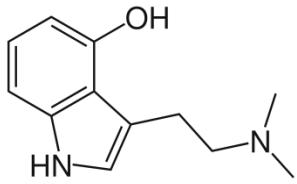
## Effets des Mycotoxines



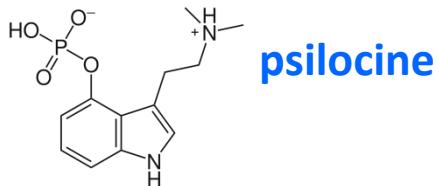
## Effets des Mycotoxines



# Hallucinogènes: psilocybine et psilocine de *Psilocybe*



psilocybine



psilocine

## STATUT LEGAL

Les champignons hallucinogènes sont une drogue classée parmi les stupéfiants.

L'usage est interdit : l'article L3421-1 du Code de la Santé Publique prévoit des amendes (jusqu'à 3 750€) et des peines de prison (jusqu'à 1 an).

L'incitation à l'usage et au trafic et la présentation du produit sous un jour favorable sont interdites : l'article L3421-4 du Code de la Santé Publique prévoit des amendes (jusqu'à 75 000€) et des peines de prison (jusqu'à 5 ans).

Les actes de trafic sont interdits : les articles 222-34 à 222-43 du Code Pénal prévoient des amendes (jusqu'à 7 500 000 €) s'accompagnant de peines de prison (jusqu'à 30 ans de réclusion criminelle).

## EFFETS SECONDAIRES

L'intensité des effets varie selon chaque personne, le contexte dans lequel elle consomme, la quantité et la qualité du produit consommé.

- vertiges, étourdissements,
- troubles digestifs (nausées, douleurs abdominales),
- engourdissement des membres,
- perte d'équilibre, mauvaise coordination des mouvements,
- augmentation de la température corporelle,
- transpiration abondante,
- accélération du rythme cardiaque,
- élévation de la tension artérielle,
- dilatation des pupilles.

## RISQUES ET COMPLICATIONS

Les risques liés à la consommation de champignons hallucinogènes sont essentiellement le surdosage et les complications psychiques et psychiatriques.

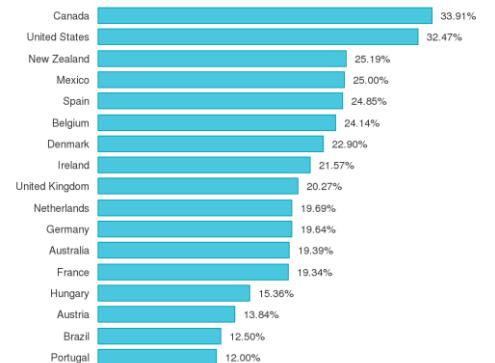
Une ingestion massive de champignons peut entraîner de graves complications (convulsions) évoluant jusqu'au décès, mais cela reste très rare. L'usage de l'amantide tue-mouche est particulièrement problématique (la frontière entre doses hallucinogènes et toxiques étant très étroite), et peut causer délire, convulsions, coma, décès par arrêt cardiaque.

La consommation de champignons peut être vécue comme une expérience très traumatique appelée « bad trip ». Il se caractérise par une anxiété, une désorientation, des crises de panique, une incapacité à distinguer illusions et réalité, une peur de ne plus retrouver son état normal, une impression de ne plus rien contrôler.

Des complications psychiatriques plus sévères peuvent survenir, en particulier chez les consommateurs d'amantide tue-mouche. Elles se traduisent par un délire paranoido (idées délirantes, perte de la réalité) pouvant être accompagné de comportements violents (actes d'autoumltuation, tentatives de suicide...) pouvant nécessiter une hospitalisation et/ou un traitement médicamenteux.

Par ailleurs, pendant quelques semaines, voire quelques mois, l'usager peut, de manière involontaire et imprévisible, retrouver certains effets ressentis lors de la consommation, dans des moments de fatigue, de stress ou d'autres usages de drogues. Ce phénomène est appelé le « flash-back ».

% of magic mushroom users that have had a bad trip



Attention identification difficile



Source: Global Drug Survey 2014

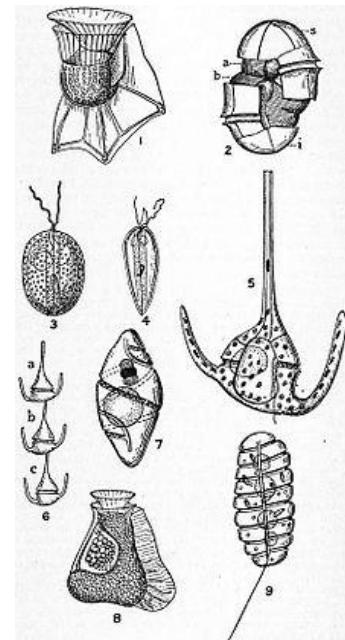
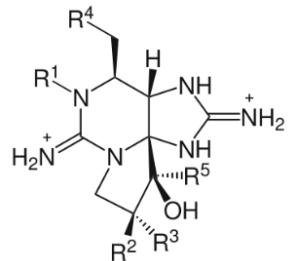
Created with Datawrapper

# Des algues produisent aussi des toxines

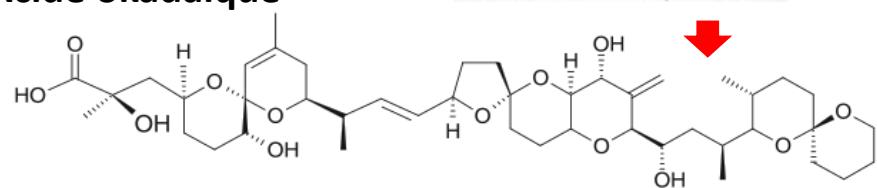
dinoflagellés



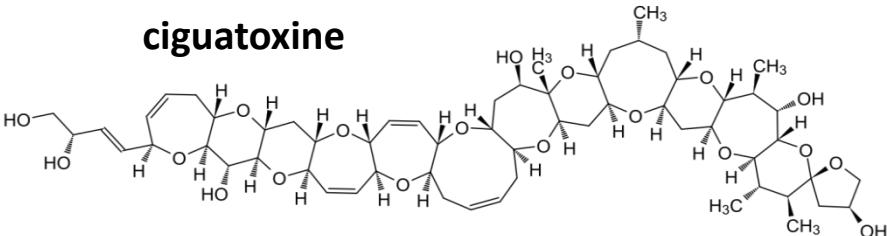
saxitoxine



Acide okadaïque



ciguatoxine



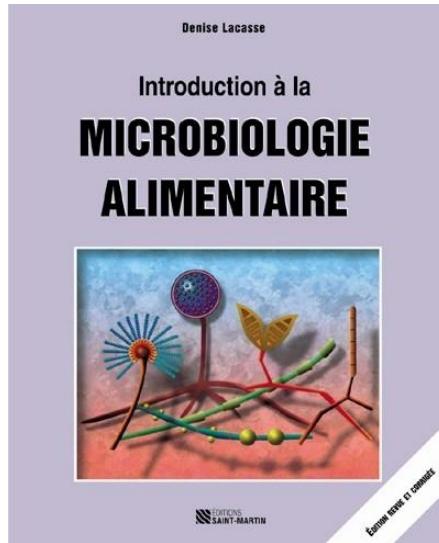
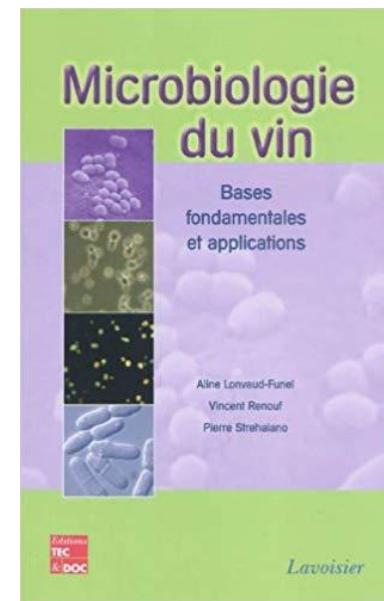
# Destructions des habitats, livres, films, tableaux...



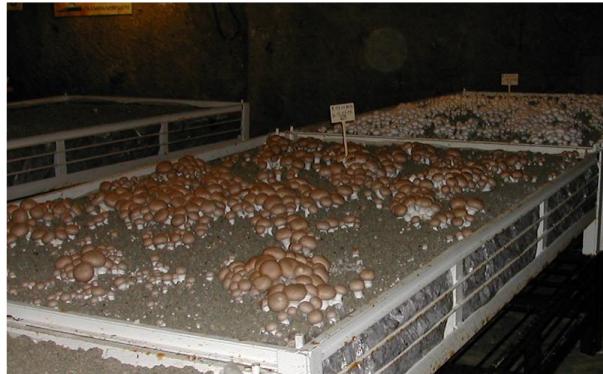
habitats



# Microorganismes Eucaryotes et Alimentation



# Alimentation : Les carpophores de champignons



culture

récolte

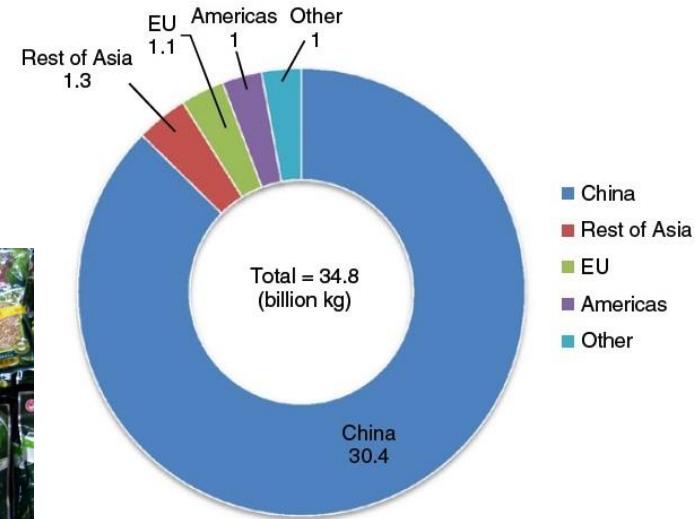


Pâte de levure

# La consommation et la culture des champignons est très importante en Extrême-Orient (Chine, Japon, Thaïlande...)



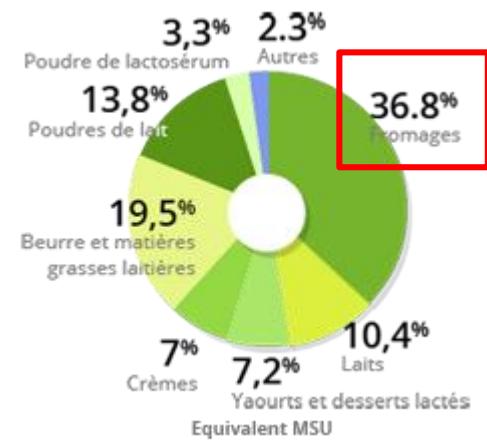
Figure 2.3 Cultivated mushroom production in China and selected regions of the world, 2013 (billion kg).



# Alimentation: la transformation des aliments



*Saccharomyces cerevisiae*



*Penicillium carneum*  
*Penicillium paneum*



*Penicillium roqueforti*  
*Penicillium camemberti*  
*Geotrichum candidum* ...

# Alimentation: la transformation des aliments suite

## D'un continent à l'autre

**L**a culture du cacao se partage entre les pays dont il est originaire (Amérique du Sud) et les pays d'Afrique de l'Ouest où il a été cultivé de toute autre manière. Ces Etats africains (Ghana, Côte d'Ivoire...) sont désormais les principaux producteurs. Mais pour un récolteur, l'activité n'est pas forcément rentable. On estime que 6 % du prix final revient au producteur tandis que les pays (la plupart occidentaux) qui transforment le cacao en chocolat s'octroient une part importante des marges. Tout au long des dernières décennies, l'enjeu a été pour les pays producteurs de rompre avec la chaîne de valeur, et d'implanter chez eux des usines de transformation.



## De la fève de cacao au carré de chocolat

### PHASE AGRICOLE



#### 1 Récolte

Le cacaoyer fournit sa première récolte entre novembre et mars, et une seconde, plus faible, entre mai et juillet. À la récolte, le cacaoyer sépare le fruit de la branche en veillant à ne pas abîmer l'écorce ni les autres fruits.

#### 2 Ecabossage

Un cacaoyer fournit une quarantaine de cabosses par an. Mûres, elles prennent une couleur jaune orangé. Le fruit est fermement attaché à la longue tige. Une cabosse renferme 20 à 40 petits enroulements d'une pulpe blanche et humide à la saveur sucrée, le mucilage. Il faut une vingtaine de cabosses pour 1 kg de fèves séchées.



#### 3 Fermentation

Les fèves sont entreposées dans des bacs où elles fermentent pendant un à sept jours. La fermentation empêche la fève de germer; lui enlève une partie de son amertume et développe les précurseurs d'arômes.

Source : Sénégal du chocolat



#### 4 Séchage

Une fois fermentées, les fèves risquent de moisir. Elles sont posées sur des séchoirs « souvent de simples plans clémentés », mises à sécher au soleil et retournées régulièrement. Leur taux d'humidité passe de 70 à 7%.

### PHASE INDUSTRIELLE



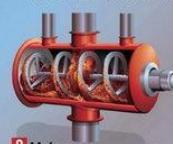
#### 5 Concassage

Sorties du sac de jute dans lequel elles ont voyagé, les fèves sont nettoyées de la poussière et des résidus. Elles sont ensuite placées dans un concasseur qui les débarrasse de la coque et du germe : reste l'amande.



#### 6 Torréfaction

Cette étape peut avoir lieu avant le concassage, la fève perdant son enveloppe pendant la cuisson. C'est lors de la torréfaction que, grâce à la chaleur, le cacao se charge des arômes qui lui donnent sa fraîcheur et perd son amertume.



#### 7 Broyage

La fève concassée et torréfiée s'appelle le grué. Broyé, il se transforme en une pâte semi-liquide, aussi appelée masse ou liquide de cacao. Elle peut être vendue sous cette forme aux industriels du chocolat.



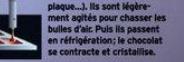
#### 8 Pressage

La pâte de cacao passe dans des presses munies de filtres. Sont extraits le beurre, liquide, qui est désodorisé et coulé dans des moules, et le tourteau, concassé pour devenir de la poudre de cacao.



#### 9 Malaxage

Pâte de cacao et beurre de cacao issu du pressage sont méliés ; on obtient le chocolat. Pour du noir, on ajoute du sucre; puis de la poudre de lait pour le chocolat au lait. Dans le blanc, il n'y a pas de pâte de cacao. Résultat : une pâte homogène à la texture fine.

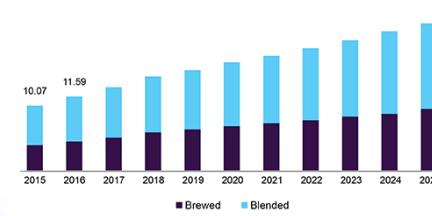


#### 10 Conchage

La pâte est chauffée à 70°C tout en étant lentement brassée afin de développer son onctuosité et ses arômes. On peut ajouter du beurre de cacao et de la lécitine de soja, un émulsifiant qui rend le mélange plus homogène.

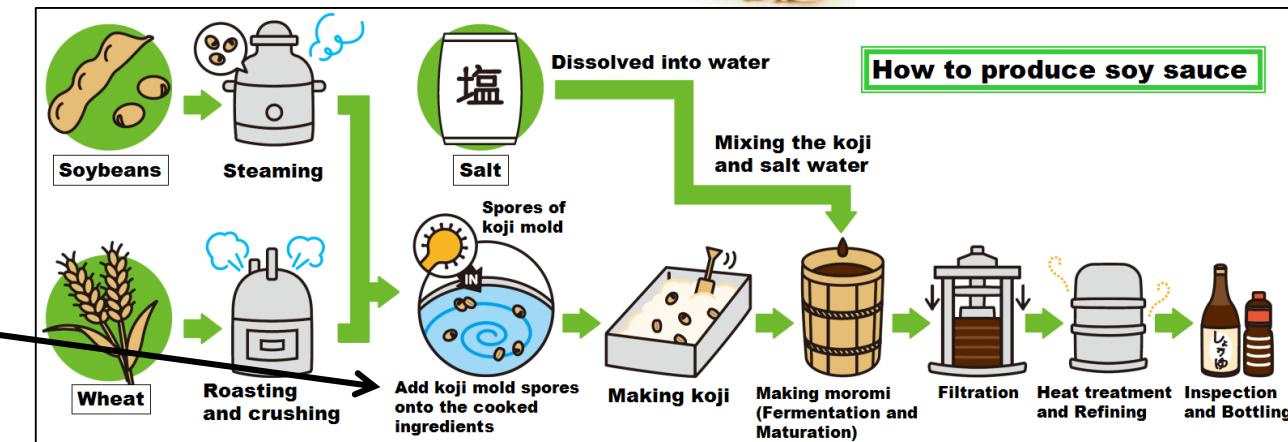


China soy sauce market size, by type, 2015 - 2025 (USD Billion)



**Levures :**  
fermentation alcoolique

**Koji mold:**  
*Aspergillus oryzae*



Et les algues?

## Consommation directe



*Porphyra*



nori



sushi



*Ulva*

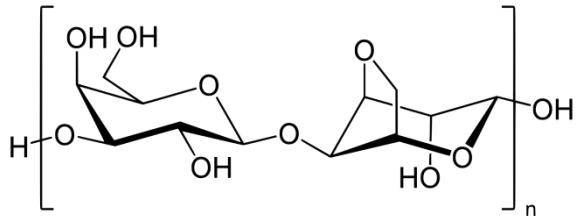


*Undaria*

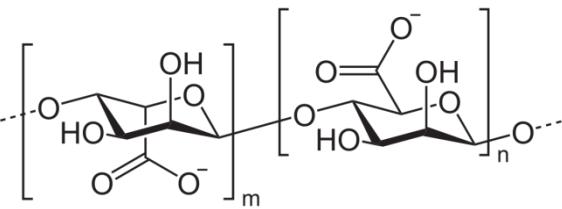


wakame

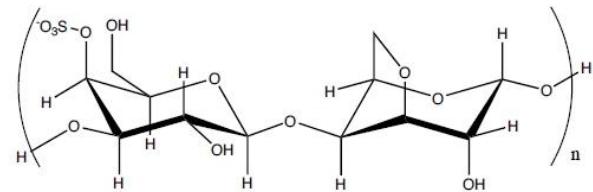
# Les produits tirés des algues: les gélifiants, émulsifiants, épaississants...



Agar-agar



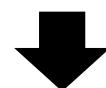
Alginates



Carraghénanes

**Table 12 : Polymères produits par les *Rhodophyta* et les *Phaeophyta***

polymère	algues utilisées	masse (tonnes)	Prix (€/kg)	valeur totale (millions d'€)
<b>Agar</b>	<b>Gelidium sp.</b> <b>Pterocladia sp.</b> <b>Gracilaria.sp.</b>	<b>10 161</b>	<b>20</b>	<b>203</b>
<b>Carraghénane</b>	<b>Kappaphycus alvarezii</b> <b>Eucheuma denticulatum</b> <b>Betaphycus gelatinum</b> <b>Chondrus crispus</b> ...	<b>25 403</b>	<b>8</b>	<b>203</b>
<b>Alginates</b>	<b>Laminaria sp.</b> <b>Macrocystis pyrifera</b> <b>Ascophyllum nodosum</b> ...	<b>&gt;25 000</b>	<b>6</b>	<b>150</b>
<b>Total</b>		<b>&gt;61 000</b>	-	<b>560</b>



# Microorganismes Eucaryotes et Recherche

NCBI Resources How To

PubMed saccharomyces cerevisiae Create RSS Create alert Advanced

Article types Clinical Trial Review Customize ... Text availability Abstract Free full text Full text Publication dates 5 years 10 years Custom range... Species Humans Other Animals Clear all Show additional filters

Format: Summary Sort by: Most Recent Per page: 20

Send to: Filters: Manage Filters

Sort by: Best match Most recent

Results by year Download CSV

Best matches for *saccharomyces cerevisiae*:

*Saccharomyces cerevisiae* growth media. Dymond JS et al. Methods Enzymol. (2013) *Genomics and Biochemistry of Saccharomyces cerevisiae Wine Yeast Strains*. Eldarov MA et al. Biochemistry (Mosc). (2016) [Physiological changes of *Saccharomyces cerevisiae* during serial re-pitching: a review]. Ding H et al. Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao. (2018)

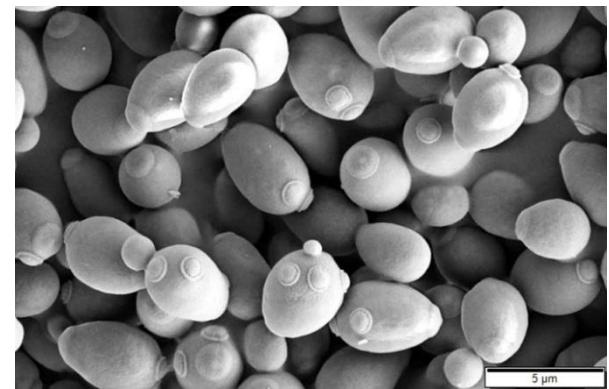
Switch to our new best match sort order

Search results Items: 1 to 20 of 127291 << First < Prev Page 1 of 6365 Next > Last >>

Engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for the production of (+)-ambrein. 1. Moser S, Leitner E, Plocek TJ, Vanhessche K, Pichler H. Yeast. 2019 Oct 12; doi: 10.1002/yea.3444. [Epub ahead of print] PMID: 31606910 Similar articles

Functional effects of phytate-degrading, probiotic lactic acid bacteria and yeast strains isolated from Iranian traditional sourdough on the technological and nutritional properties of whole

## *Saccharomyces cerevisiae*



## Modèle d'étude de la biologie de la cellule eucaryote

1<sup>er</sup> génome eucaryote séquencé (1996)

1<sup>ere</sup> collection de délétions systématiques des gènes

...

SGD *Saccharomyces* GENOME DATABASE Analyze Sequence Function Literature Community

search: actin, kinase, glu

5 of 20

Redistribution of Msn5 pools from the nucleus to the cytoplasm upon glucose deprivation. Image courtesy of H. Huang and A. Hopper, Ohio State University.

About SGD

The *Saccharomyces* Genome Database (SGD) provides comprehensive integrated biological information for the budding yeast *Saccharomyces cerevisiae* along with search and analysis tools to explore these data, enabling the discovery of functional relationships between sequence and gene products in fungi and higher organisms.

Try this?

Meetings

35th International Specialised Symposium on Yeasts (ISSY) October 21 to October 25, 2019

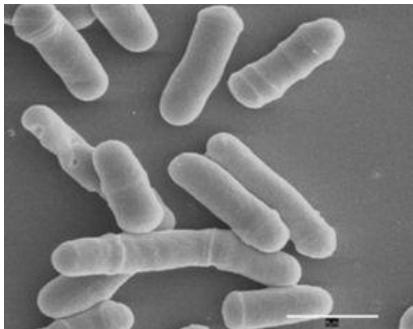
New & Noteworthy

@yeastgenome

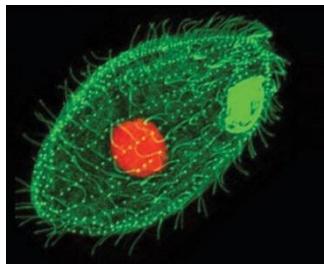
Browse Metabolic Pathways at SGD - August 02, 2019

Did you know that SGD has over 200 curated

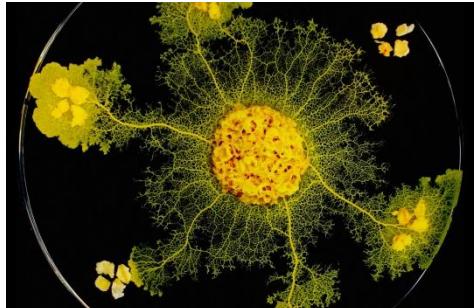
## Quelques autres modèles



*Schizosaccharomyces pombe*  
analyse du cycle cellulaire...



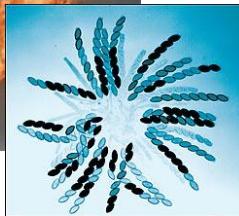
*Tetrahymena thermophila*  
télomerase



*Physarum polycephalum*  
Bio-ordinateurs...



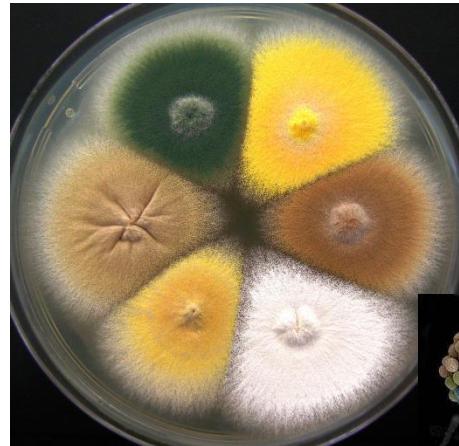
*Neurospora crassa*  
(Un gène-un enzyme)  
Cycle circadien, fusion cellulaire...



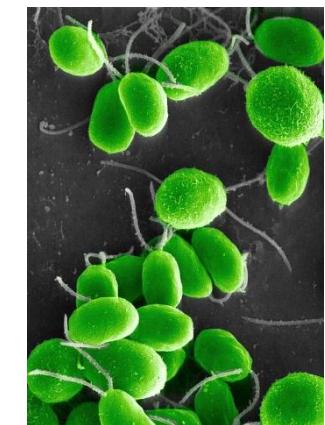
*Paramecium spp.*  
Cytosquelette  
Cycle sexuel...



*Dictyostelium discoideum*  
Biologie cellulaire  
Apoptose  
Chimiotactisme ...

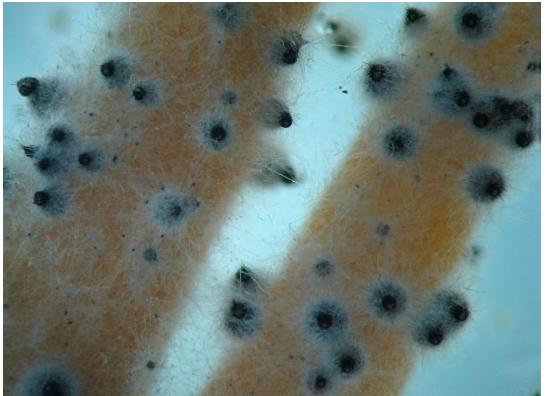


*Aspergillus nidulans*  
(cycle parsexuel)  
Cytosquelette, chromatine...



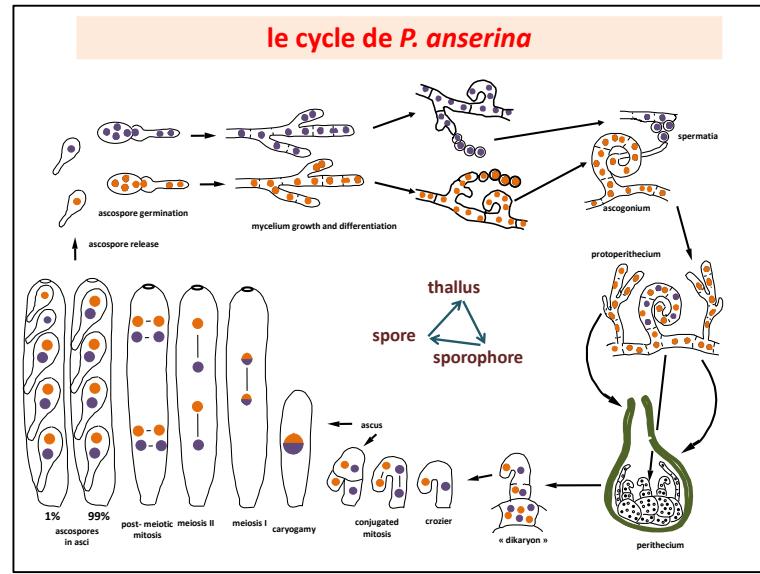
*Chlamydomonas reinhardtii*  
Photosynthèse, flagelle...

# Celui que nous étudions dans mon laboratoire



## Podospora anserina

Culture facile  
Cycle d'une semaine  
Transformation génétique  
Séquence du génome



**GÉNÉTIQUE.** — Sur l'impossibilité d'obtenir la multiplication végétative ininterrompue et illimitée de l'Ascomycète *Podospora anserina*. Note de M. GEORGES RIZET, présenté par M. Roger Heim.

Les souches de *Podospora anserina*, quels que soient apparemment leur génotype et le milieu de culture utilisé, meurent au bout d'un certain temps de croissance ininterrompue. Les longévités observées pour les souches étudiées sont très diffé-

## Sénescence et mitochondries

OPEN ACCESS Freely available online

PLOS GENETICS

## Genes That Bias Mendelian Segregation

Pierre Grognet<sup>1,2\*</sup>, Hervé Lalucque<sup>1,2</sup>, Fabienne Malagnac<sup>1,2</sup>, Philippe Silar<sup>1,2\*</sup>

Spore killer

OPEN ACCESS Freely available online

PLOS GENETICS

## A Network of HMG-box Transcription Factors Regulates Sexual Cycle in the Fungus *Podospora anserina*

Jinane Ait Benkhali<sup>1,2</sup>, Evelyne Coppin<sup>1,2</sup>, Sylvain Brun<sup>1,2,3</sup>, Leonardo Peraza-Reyes<sup>1,2</sup>, Tom Martin<sup>4</sup>, Christina Dixielus<sup>5</sup>, Noureddine Lazar<sup>5</sup>, Herman van Tilburgh<sup>5</sup>, Robert Debuchy<sup>1,2\*</sup>

Cycle sexuel

nature

Vol 435/9 June 2005 doi:10.1038/nature03793

## LETTERS

### Correlation of structural elements and infectivity of the HET-s prion

Christiane Ritter<sup>1\*</sup>, Marie-Lise Maddelein<sup>2\*</sup>, Ansgar B. Siemer<sup>3</sup>, Thorsten Lührs<sup>1</sup>, Matthias Ernst<sup>3</sup>, Beat H. Meier<sup>1</sup>, Sven J. Sauer<sup>2</sup> & Roland Riek<sup>1</sup>

## Prions

Research

### The genome sequence of the model ascomycete fungus *Podospora anserina*

Eric Espagne<sup>1\*\*†</sup>, Olivier Lepinet<sup>2\*\*†</sup>, Fabienne Malagnac<sup>1,2,3</sup>, Corinne Da Silva<sup>4</sup>, Olivier Jaillon<sup>1</sup>, Béatrice Séguens<sup>1</sup>, Arnaud Couloux<sup>1</sup>, Jean-Marc Aury<sup>5</sup>, Béatrice Séguens<sup>1</sup>, Julie Poulaïn<sup>1</sup>, Véronique Anthouard<sup>6</sup>, Sandrine Grossesse<sup>7</sup>, Hamid Khalil<sup>1</sup>, Evelyne Coppin<sup>1</sup>, Michelle Déquard-Chablat<sup>8</sup>, Marguerite Picard<sup>1</sup>, Véronique Contamine<sup>1</sup>, Sylvie Arnaise<sup>1</sup>, Anne Bourdais<sup>1</sup>, Véronique Bertaux-Leclerc<sup>1</sup>, Daniel Gautheret<sup>1</sup>, Ronald P de Vries<sup>1</sup>, Evy Battaglia<sup>1</sup>, Pedro M Coutinho<sup>9</sup>, Etienne GJ Danchin<sup>2</sup>, Bernard Henrissat<sup>1</sup>, Riyad EL Khoury<sup>1</sup>, Annie Sainsard-Chanet<sup>10</sup>, Antoine Boivin<sup>10</sup>, Bérangère Pinan-Lucarre<sup>11</sup>, Carole H Sinsland<sup>11</sup>, Robert Debuchy<sup>1</sup>, Patrick Wincker<sup>12</sup>, Jean Weissenbach<sup>13</sup> and Philippe Silar<sup>1,2</sup>

## Génomes

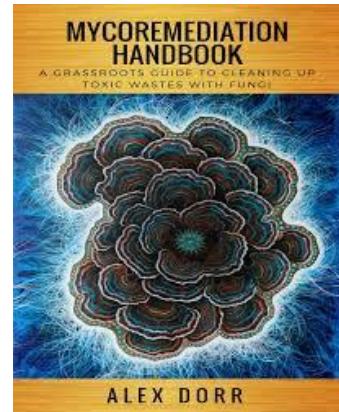
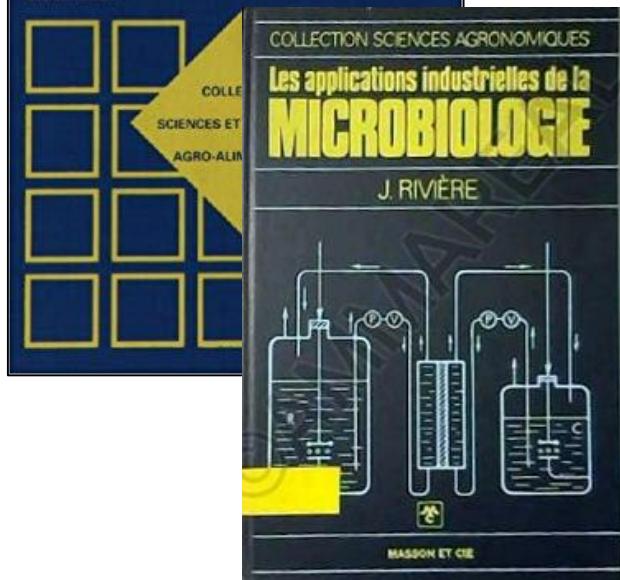
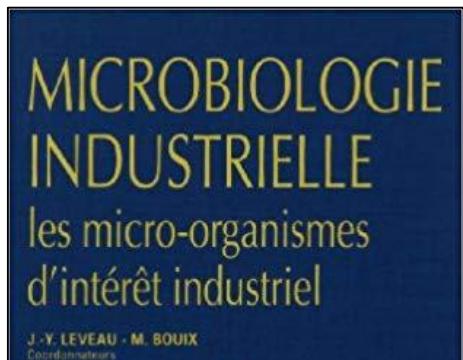
PNAS

### A mitotically inheritable unit containing a MAP kinase module

Sébastien Kicka\*, Crystel Bonnet<sup>1</sup>, Andrew K. Sobering<sup>1</sup>, Latha P. Ganesh<sup>2</sup>, and Philippe Silar<sup>1</sup>

Epigénétique

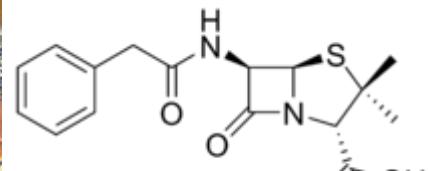
# Microorganismes Eucaryotes et Industrie



# Productions de métabolites secondaires: médicaments



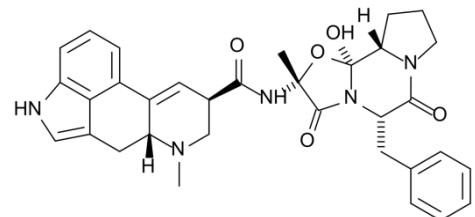
*Penicillium  
chrysogenum*



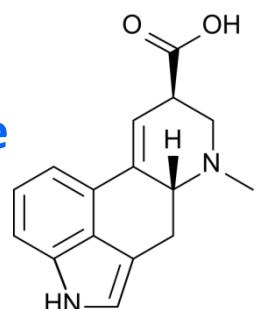
Pénicilline  
(antibiotique)



*Claviceps purpurea*



Ergotamine  
(vasoconstricteur)

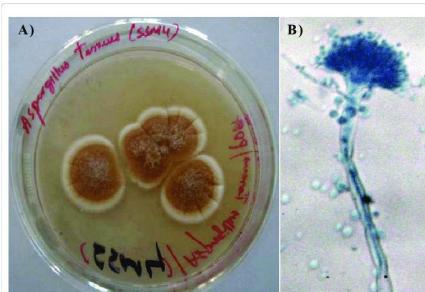
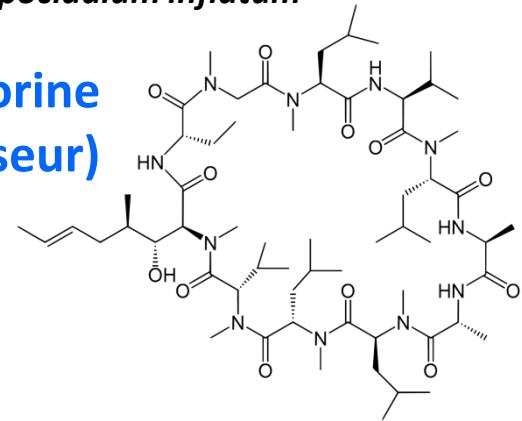


Acide lysergique  
(hallucinogène)



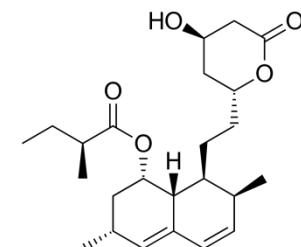
*Tolypocladium inflatum*

Ciclosporine  
(immunosuppresseur)



*Aspergillus terreus*

Lovastatine  
(anticholestérolémique)



## *Ophiocordiceps sinensis*



20 000€/kg



Culture du mycélium

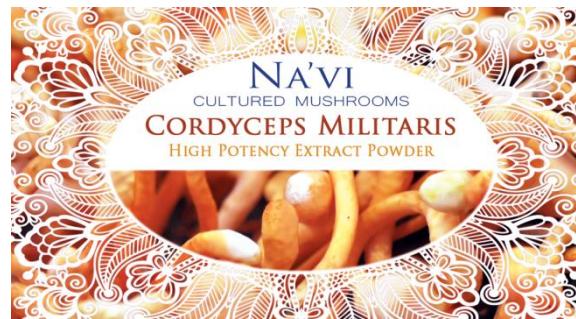
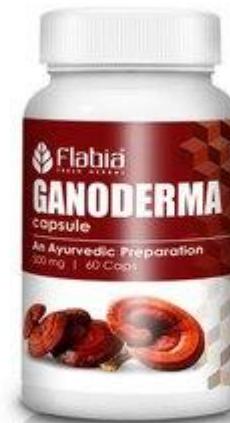


Réduction en poudre

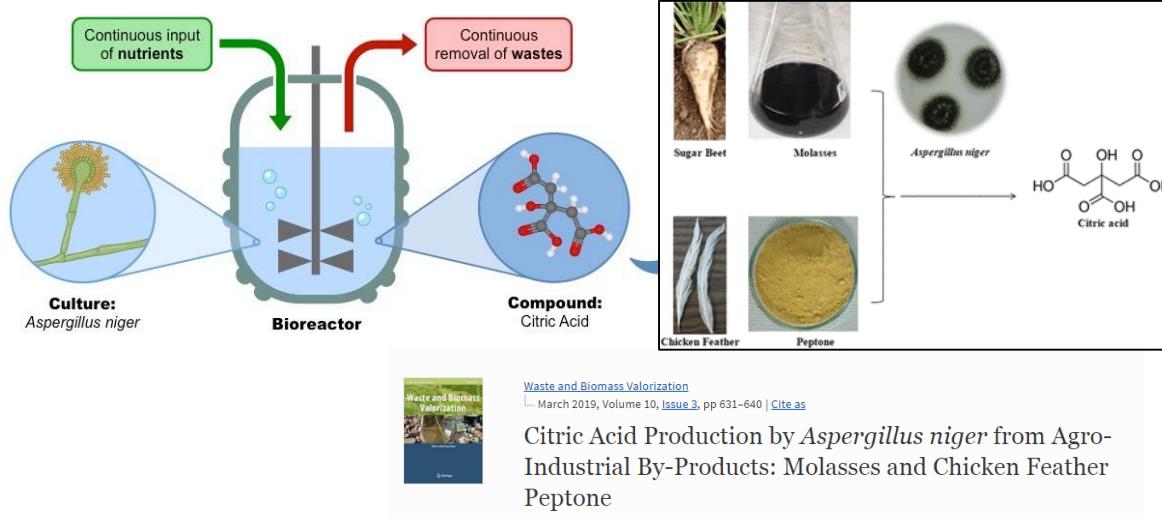


9.99€

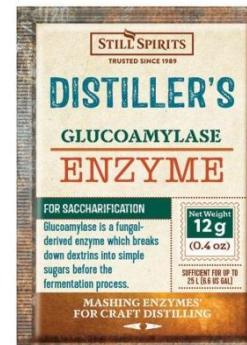
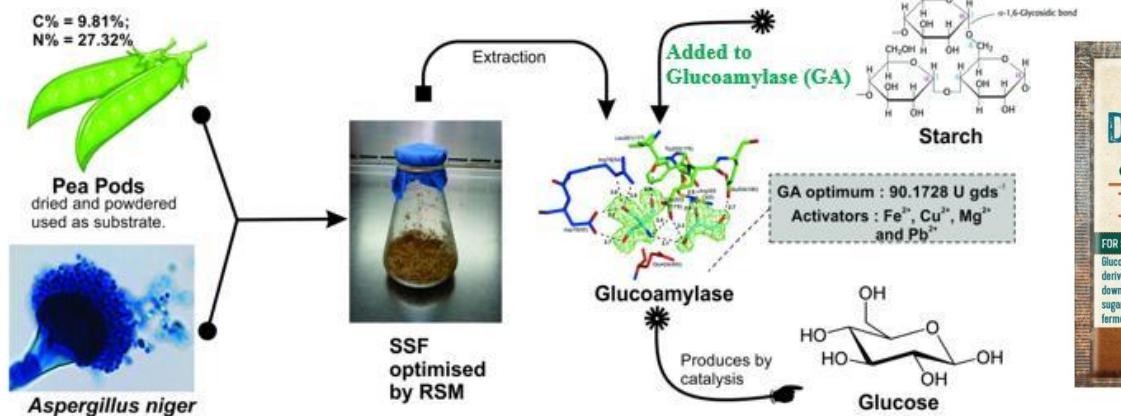
## La médecine traditionnelle chinoise



# Utilisation en biotechnologie: la production d'acide citrique et de glucoamylase par *Aspergillus niger*



- Acidifiant E330 (bonbons, glaces...) mais aussi dans les cosmétiques et médicaments
- Préservatif (sang)
- Dissolution de la rouille
- Supplément alimentaire...



- Production de sucre
- Aide à la fermentation
- Aide au brunissement de la croute de pain
- Bières « low calories »
- Aide à la digestion ...

# Les autres « mycotechnologies »

L'International e  
Search The  
Guardian  
News website of the year  
Readers  
Sport Culture Lifestyle More

## Can mushrooms replace plastic?

A company in New York uses mushrooms to turn agricultural biowaste into packaging. Will its market mushroom, too?



‘Mushroom packaging’ is the company’s first commercial offering. ‘We’re leveraging the power of biology,’ says the company’s CEO. Photograph: Ecovative

Mushrooms, as any cook knows, are versatile: they enhance soups, stews, pasta, salads and omelettes, and they can be stuffed, baked, fried or sautéed.

As it turns out, they are equally versatile outside of the food world. They can produce paper, surfboard.

So says Ebba Eberle, company t

**OILPRICE**.com  
The No. 1 Source for Oil & Energy News

## A Biofuel Cell that Uses Fungus to Generate Cheap Electricity

By Brian Westenhaus - Jul 11, 2013, 5:34 PM CDT



In a new concept for biofuel cells Sabine Sané, doctoral candidate in the research training group [Micro Energy Harvesting](#) at the Department of Microsystems Engineering (IMTEK) of the University of Freiburg, has found a way to make a species of tree fungus useful for the production of electricity.

The idea is so innovative and unique that the [new energy conversion concept](#) was chosen as the cover story of *ChemSusChem*, a journal for chemistry, sustainability, energy and materials.

### SHARE

[Facebook](#)

[Twitter](#)

[LinkedIn](#)

[Reddit](#)

### PREMIUM CONTENT

## Yale Environment 360

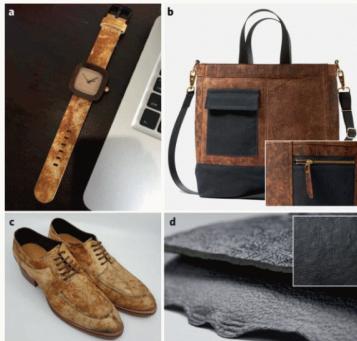
Published at the Yale School of the Environment

Explore Search About E360

E360 DIGEST  
SEPTEMBER 21, 2020

### Could New Fungi-Based Leather Replace the Real Thing?

Scientists have found that new faux-leather textiles made from fungi look, feel, and are as durable as leather made from cows or synthetic fabrics, according to a new study published in the journal *Nature Sustainability*. The research supports claims made by companies in Korea, Indonesia, and the United States that fungi-derived leather is a competitive, sustainable option for the clothing industry.



Various fungi-leather products created by the companies MycoTech in Indonesia (photos a & c) and Bolt Threads Inc. in the United States (photos b & d). JONES ET AL., NATURE SUSTAINABILITY 2020

WIR ED BACKCHANNEL BUSINESS CULTURE GEAR IDEAS SCIENCE SECURITY SIGN IN SUBSCRIBE

MATT REYNOLDS SCIENCE AUG 8, 2021 9:00 AM

## Watch Out, Beyond Burgers—the Fungi Renaissance Is Here

While the popular plant-based meats grab all the headlines, a much more humble foodstuff is poised to lead the next wave of alternative proteins.

f t e-mail



Fungal Diversity (2019) 97:1–136  
<https://doi.org/10.1007/s13225-019-00430-9>

### REVIEW

## The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially

Kevin D. Hyde<sup>1,2,3,4,5,9</sup> · Jianchu Xu<sup>1,10,21</sup> · Sylvie Rapior<sup>22</sup> · Rajesh Jeewon<sup>18</sup> · Saisamorn Lumyong<sup>9,13</sup> · Allen Grace T. Niego<sup>2,3,20</sup> · Pranami D. Abeywickrama<sup>2,3,7</sup> · Janith V. S. Aluthmuhandiram<sup>2,3,7</sup> · Rashika S. Brahamanage<sup>2,3,7</sup> · Siraprapa Brooks<sup>3</sup> · Amornrat Chaiyasen<sup>28</sup> · K. W. Thilini Chethana<sup>23,7</sup> · Putarak Chomnunt<sup>2,3</sup> · Clara Chepkiru<sup>12</sup> · Boonytip Chuankid<sup>2,3</sup> · Nimali I. de Silva<sup>1,2,4,13</sup> · Mingkwan Doilom<sup>1,4,13</sup> · Craig Faulds<sup>5</sup> · Eleni Gentekaki<sup>3</sup> · Venkat Gopalani<sup>14</sup> · Pattana Kakumyan<sup>2,3</sup> · Dulanjalee Harischandra<sup>2,3,7</sup> · Hridya Hemachandran<sup>24</sup> · Sinang Hongasan<sup>26,27</sup> · Anuruddha Karunaratna<sup>2,17</sup> · Samantha C. Karunaratna<sup>1</sup> · Sehrunn Khan<sup>10</sup> · Jaturong Kumla<sup>13,9</sup> · Ruvishika S. Jayawardena<sup>23</sup> · Jian-Kui Liu<sup>11</sup> · Ningguo Liu<sup>2,3</sup> · Thatsanee Luangham<sup>1,21,22,29</sup> · Allan Patrick G. Macabao<sup>12,23</sup> · Diana S. Marasinghe<sup>2,3</sup> · Dan Meeks<sup>19</sup> · Peter E. Mortimer<sup>1,10</sup> · Peter Mueller<sup>19</sup> · Sadia Nadir<sup>10,15,21</sup> · Karabi N. Nataraja<sup>16</sup> · Sureeporn Nontachaiyapoom<sup>3</sup> · Meghan O’Brien<sup>19</sup> · Watsana Penkhru<sup>9,13</sup> · Chayanard Phukhamasakda<sup>2,3</sup> · Uma Shaanker Ramanan<sup>16,25</sup> · Achala R. Rathnayaka<sup>2,3</sup> · Resurreccion B. Sadaba<sup>29</sup> · Birthe Sandargo<sup>12</sup> · Binu C. Samarakoon<sup>2,3</sup> · Danushka S. Tennakoon<sup>2,3</sup> · Ramamoorthy Siva<sup>24</sup> · Wasan Sriprrom<sup>9,13</sup> · T. S. Suryanarayanan<sup>30</sup> · Kanaporn Sujarit<sup>9,13</sup> · Nakarin Suwannarach<sup>9,13</sup> · Thitipone Suwanwong<sup>3,8</sup> · Benjarong Thongbai<sup>12</sup> · Naritsada Thongklang<sup>2</sup> · Deping Wei<sup>1,2,3,17</sup> · S. Nuwanthika Wijesinghe<sup>2,3</sup> · Jake Winiski<sup>19</sup> · Jiye Yan<sup>7</sup> · Erandi Yasanthika<sup>2,3</sup> · Marc Stadler<sup>12</sup>

Check for updates

# Enzymes, piles et batteries...

## Des champignons dans les (futures) batteries

Tweeter 0

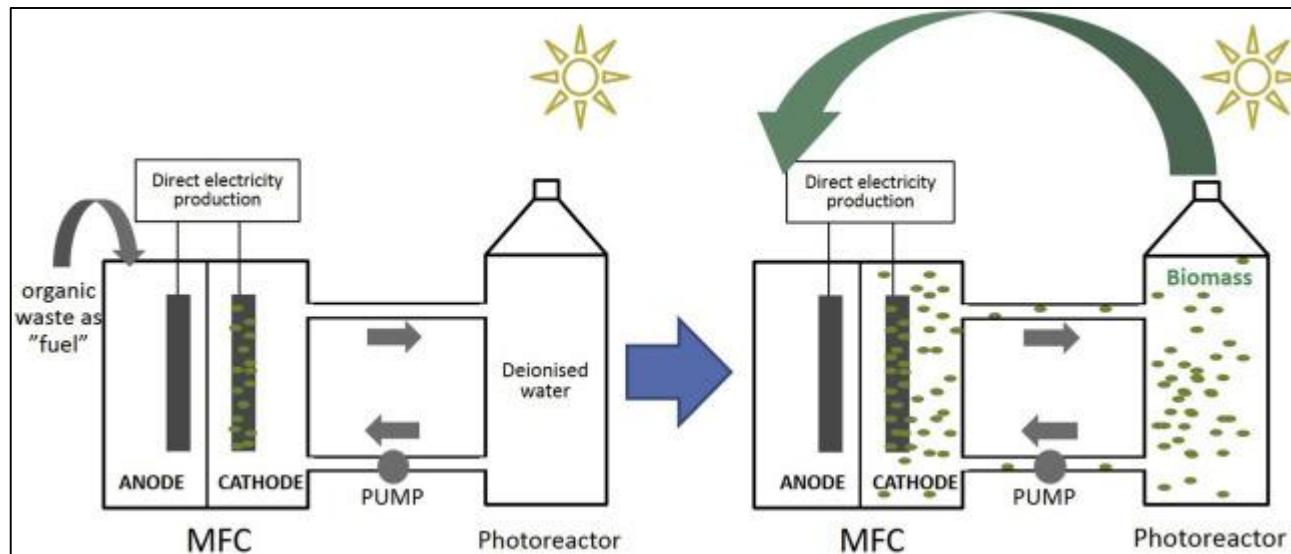
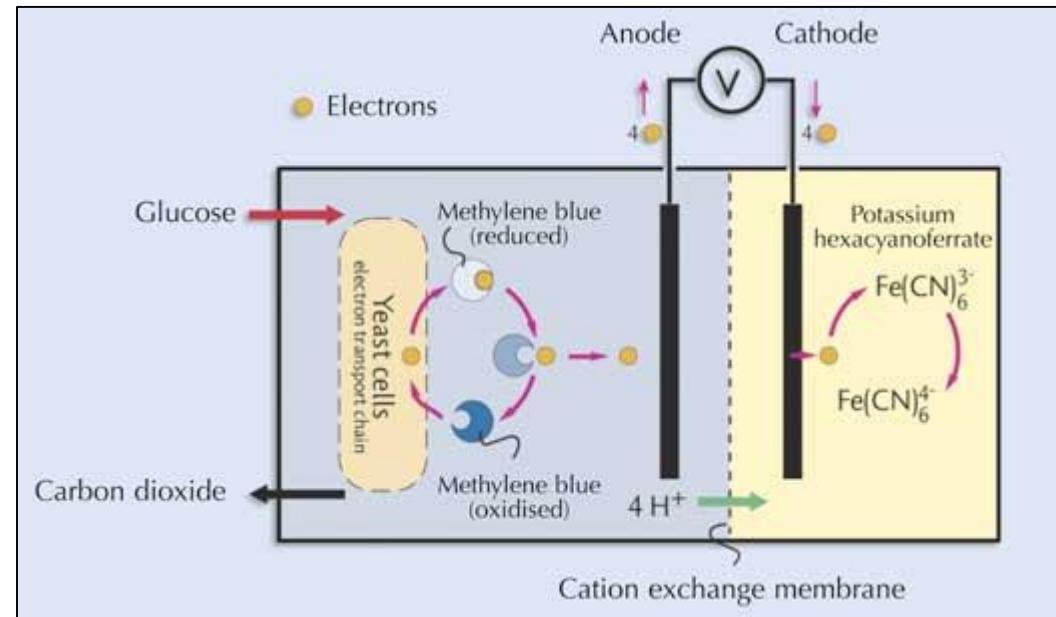
Partager



Les métaux rares utilisés dans les batteries conventionnelles et les piles à combustibles pourraient un jour être remplacés par des enzymes produites par des champignons.

Des chercheurs de l'Université d'Oxford ont démontré que les enzymes laccases, produites par des champignons qui poussent sur la pourriture du bois, peuvent être utilisées comme catalyseur, moins cher et plus efficacement que les métaux nobles comme le platine.

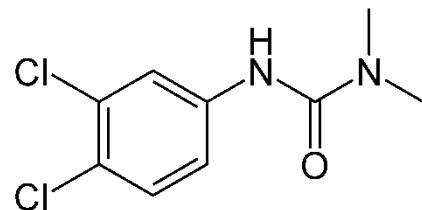
par des champignons qui poussent sur la pourriture du bois, peuvent être utilisées comme catalyseur, moins cher et plus efficacement que les métaux nobles comme le platine.



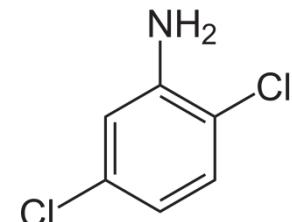
# Les enzymes fongiques peuvent transformer/dégrader les polluants: la mycoremédiation



3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea)



bactéries

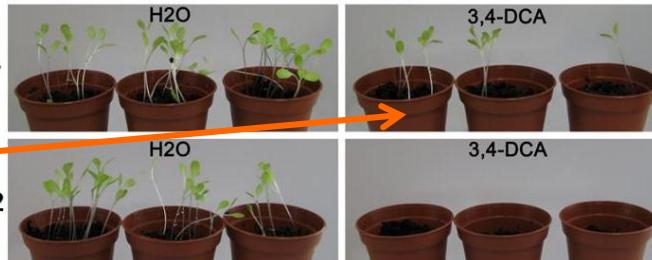


3,4 dichloroaniline

Control



WT



$\Delta$ PaNat1/2

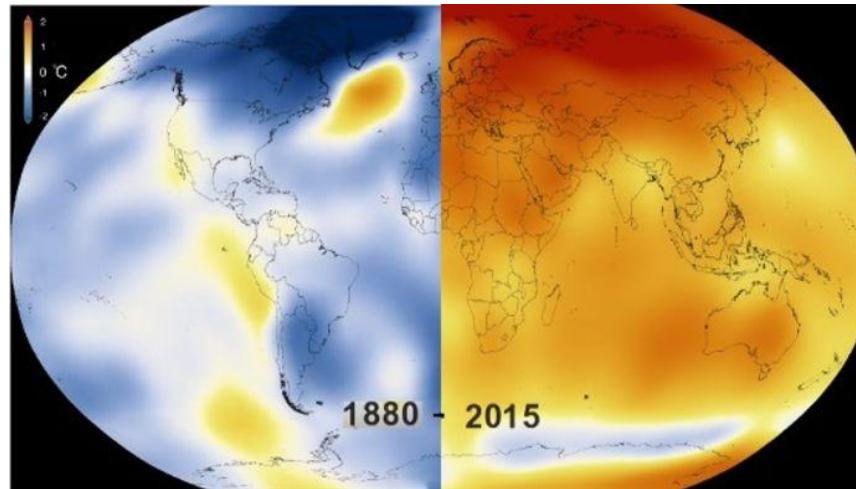


minéralisation

Action de l'arylamine N-acétyltransferase

De *Podospora anserina*

# Changement climatique



## Nécessité d'une transition énergétique

LA TRANSITION ENERGETIQUE UN NOUVEAU MODELE  
**ENERGETIQUE FRANCAIS**  
ENERGIES D'AVENIR | CROISSANCE Verte | EMPLOIS DURABLES

### L'ASSEMBLÉE NATIONALE A ADOPTÉ LE PROJET DE LOI



< l'EnerGEEK />

MAR 15 OCT 2019

NUCLEAIRE | RENOUVELABLES | THERMIQUE | RESEAU | DATAVIZ | LE FIL DE L'ENERGEEK

RESEAUX

Vers une nouvelle hausse des prix de l'électricité en janvier ?  
ven 27 Sep 2019 0

THERMIQUE

Océans et cryosphère : le très alarmant rapport du GIEC  
jeu 26 Sep 2019 0

NUCLEAIRE

L'énergie nucléaire, un symbole pour la transition énergétique ?  
mer 25 Sep 2019 3

PROCHAINS EVENEMENTS :

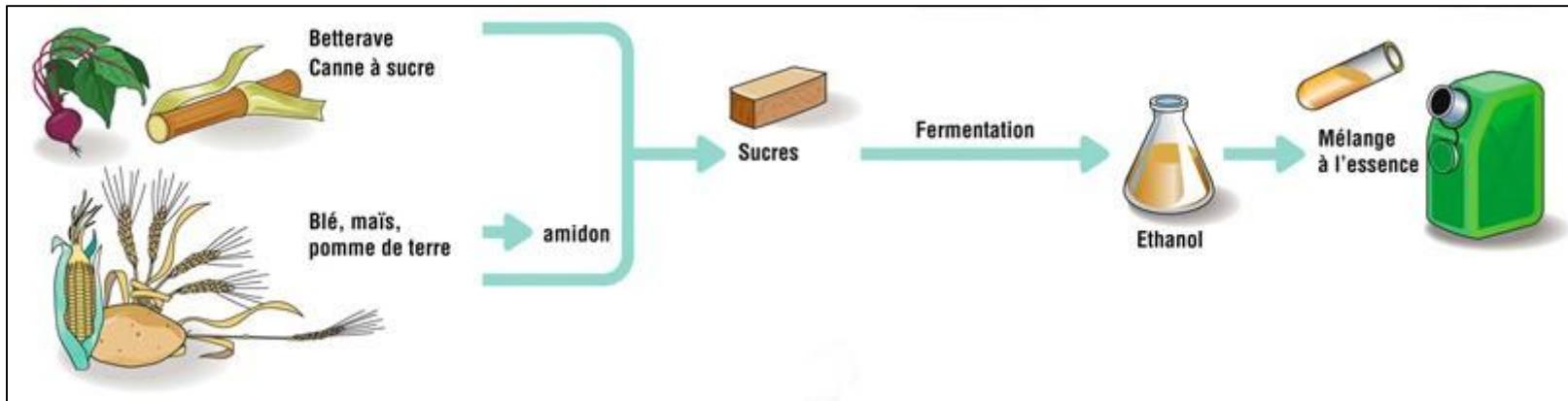
MAR 15 OCT 2019 JEU 17 OCT 2019 COEUR DEFENSE, IIO esplanade

MAR 15 OCT 2019 JEU 17 OCT 2019 COEUR DEFENSE, IIO esplanade

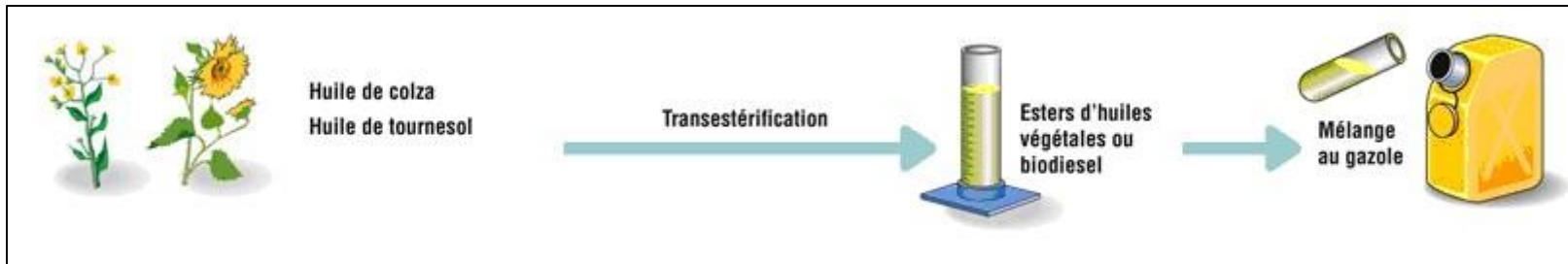


# biocarburants de 1ere génération: les agro-carburants

## Bioéthanol



## Biodiesel



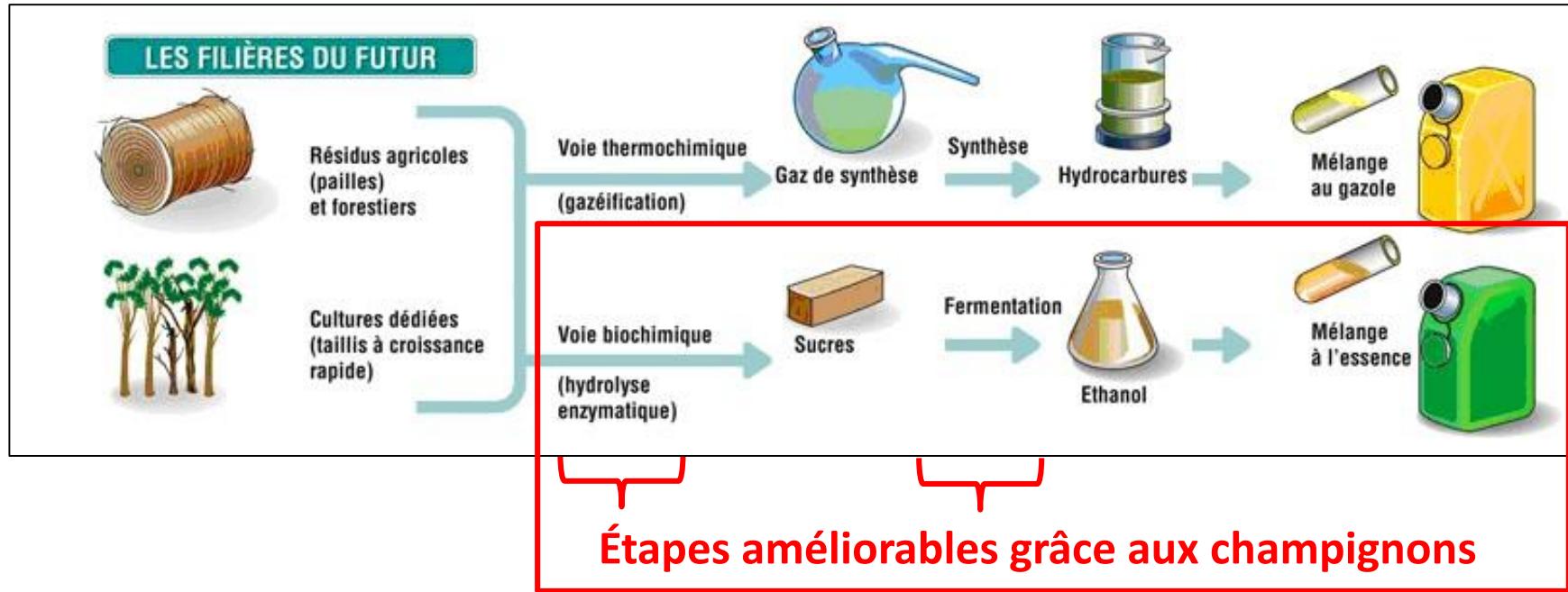
### Évolution des objectifs d'incorporation de biocarburants (part énergétique en %)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Essence	7	7	7	7	7	7	7	7	7.5	7.5	7.9
Gazole	7	7	7	7	7	7,7	7,7	7,7	7.7	7.7	7.9

Soit  
3 335 000  
tonne-  
équivalent-  
pétrole en  
2017

facilité de production mais compétition avec l'alimentation humaine

# biocarburants de 2eme génération



transformation de matériaux récalcitrants et solides en matériaux facilement transformables

# Les enzymes proviennent des champignons du bois

## Les pourritures blanches fibreuses

→ dégradent la cellulose, l'hémicellulose et surtout la lignine



## Les pourritures brunes cubiques

→ ne dégradent pas la lignine, seulement la cellulose et l'hémicellulose



*Trametes*



*Phanerochaete*



*Postia*

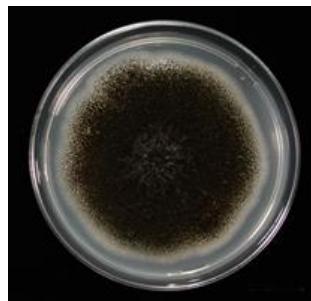


*Phomitopsis*

« mauvais » modèles d'études et engineering quasi inexistant

# Une alternative : les champignons industriels et modèles

Les industriels:



*Aspergillus niger*



*Trichoderma reesei*  
(= *Hypocrea jecorina*)

Dégradent la cellulose et l'hémicellulose  
Production d'enzymes de dégradation (cellulases, héli-cellulases, ...)

Les modèles:



*Neurospora crassa*



*Podospora anserina*

Dégrade aussi la lignine

# Un grand programme de séquence de génomes fongiques pour identifier des enzymes d'intérêt pour les biocarburants

Mycocosm x + mycocosm.jgi.doe.gov/mycocosm/home

JGI MycoCosm THE FUNGAL GENOMICS RESOURCE

Home Outreach Video Tutorials About

**1000 Fungal Genomes project**  
[Nominate New Species!](#)  
**Genomic Encyclopedia of Fungi**  
[Submit CSP proposal](#)

Announcements

March 22-26, 2020  
15th Annual JGI Genomics of Energy & Environment Meeting  
Oakland Marriott City Center

**Latest Additions**

October 01, 2019 Hypoxylon sp. FL1150 v1.0  
October 01, 2019 Xylaria nigripes YMJ 653 v1.0  
October 01, 2019 Xylaria sp. CBS 124048 v1.0  
October 01, 2019 Hypoxylon argillaceum CBS 527.63 v1.0  
October 01, 2019 Xylaria digitata CBS 161.22 v1.0  
September 30, 2019 Phakopsora pachyrhizi MG2006 v1.0  
September 30, 2019 Lentinula lateritia TMI1499 v1.0  
more...

All MycoCosm Groups ▾

To use the tree navigation click a branch name and select an organism from the list.  
For MycoCosm, please cite: Grigoriev IV, Nikitin R, Haridas S, Kuo A, Ohm R, Ottilar R, Riley R, Salamov A, Zhao X, Korzeniewski F, Smirnova T, Nordberg H, Dubchak I, Shabalov I. (2014) MycoCosm portal: gearing up for 1000 fungal genomes. Nucleic Acids Res. 42(1):D699-704.

For JGI Fungal Program, please cite: Fueling the future with fungal genomics. Grigoriev IV, Cullen D, Goodwin SB, Hibbett D, Jeffries TW, Kubicek CP, Kuske C, Magnuson JK, Martin F, Spatafora JW, Tsang A, Baker SE. (2011) Mycology. 20(3):192-209.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY Office of Science

Our Science  
Home > Our Science > Science Programs > Fungal Program

## Fungal Program

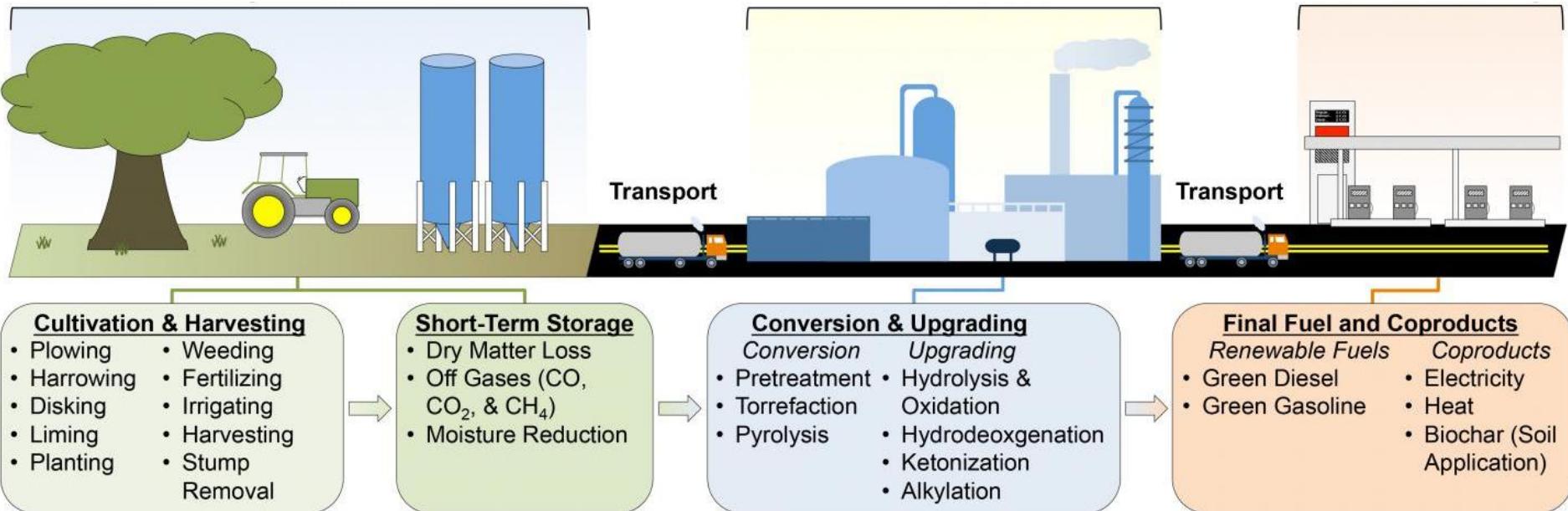
The Fungal Program scales up sequencing and analysis of fungal genomes to explore the diversity of fungi important for energy and the environment, and to promote functional studies on a system level. Encoded in the genomes of the organisms of the kingdom Fungi are biological processes with high relevance to the Department of Energy missions in bioenergy production, carbon cycling and biogeochemistry. Combining new sequencing technologies and comparative genomics analysis, we work on large and complex sequencing projects such as surveying the broad phylogenetic and ecological diversity of fungi, and capturing genomic variation in natural populations and engineered strains. This approach allows us to build a foundation for translating the genomic potential of fungi into practical applications.



Among the major initiatives of the Fungal Program are:

- [MycoCosm](#), the DOE JGI's web-based fungal genomics resource, which integrates fungal genomics data and analytical tools for fungal biologists. It provides navigation through sequenced genomes, genome analysis in context of comparative genomics and genome-centric view. MycoCosm promotes user community participation in data submission, annotation and analysis.
  - [Genomic Encyclopedia of Fungi](#), which focuses on aspects of plant feedstock health (including symbiosis, pathogenicity and biocontrol), biorefinery mechanisms (conversion of biopolymers to sugars for fuel production), and fungal diversity.
  - [1000 Fungal Genomes Project](#), a five-year international collaboration to sequence 1000 fungal genomes from across the Fungal Tree of Life.
- MycoCosm, the fungal genomics resource, provides access to annotated fungal genomes and tools for their analysis.
- 
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY Office of Science

# Comment ça marche?



Production de biomasse

conversion

distribution



# Les carburants de seconde génération sont-ils « éco-compatibles »?



Type of plant	Plant capacity ranges, and assumed annual hours of operation.	Biomass fuel required. (oven dry tonnes / year)	Truck vehicle movements for delivery to the plant.	Land area required to produce the biomass. (% of total land within a given radius).
Small pilot	15,000-25,000 l/yr 2000 hr	40-60	3 - 5 / yr	1 - 3% within 1 km radius
Demonstration	40,000-500,000 l/yr 3000 hr	100-1200	10 - 140 / yr	5 - 10% within 2 km radius
Pre-commercial	1-4 M l/yr 4000 hr	2,000-10,000	25 - 100 / month	1 - 3% within 10 km radius
Commercial	25-50 M l/yr 5000 hr	60,000-120,000	10 - 20 / day	5 - 10% within 20 km radius
Large commercial	150-250 M l/yr 7000 hr	350,000-600,000	100 - 200 / day and night	1-2% within 100 km radius

# biocarburants de 2eme génération en France



ACTU Energie Eau Déchets Risques Bâtiment Transport Aménagement

Solutions & Innovations Réglementation Formation professionnelle Agenda Librairie

## Biocarburants de 2e génération : la France veut mettre « le paquet »

Après le lancement, en 2008, du projet Futurol pour la production de bioéthanol de 2e génération, c'est au tour du projet Bio-T-Fuel de se pencher sur la production de biodiesel. Objectif : une production industrielle effective dès 2020.

Energie | 19 octobre 2009 | Carine Seghier

A- A+



© Filipevarela

"La France va mettre le paquet sur la deuxième génération de biocarburant", a souligné, le 14 octobre dernier, la secrétaire d'Etat à l'Écologie, Chantal Jouanno, à l'occasion d'une visite de l'Institut Français du Pétrole (IFP) à Rueil-Malmaison (Hauts-de-Seine).

Si les doutes se font toujours plus nombreux quant à l'intérêt des agrocarburants de première génération, un consensus semble en revanche émerger pour mener des recherches sur ceux de seconde génération. Contrairement aux agrocarburants utilisés à l'heure actuelle qui utilisent surtout le sucre et l'amidon et qui ne sont produits qu'à partir de certains éléments des plantes (graines ou tubercules), ceux de seconde génération peuvent être produits à partir de plantes entières. Il deviendrait alors

En 2009

Or, la consommation française de biocarburants liquides a dépassé 35 TWh en 2017, soit déjà ~70% de l'objectif 2050, ce qui pourrait préjuger d'une faible évolution du marché à long terme. C'est cependant sans compter le changement de génération de biocarburants qui devrait s'opérer en 30 ans. Alors que la SNBC mise sur les biocarburants dits « avancés », donc de deuxième et troisième génération, ceux-ci représentent actuellement moins de 10% de la consommation française de biocarburants liquides. De plus, ces volumes sont produits essentiellement à partir de déchets de cultures ou d'huiles usagées et non de biomasse lignocellulosique<sup>3)</sup>, et ne requièrent donc pas des procédés différents de ceux de première génération. Ainsi une véritable filière de deuxième génération, à base de biomasse lignocellulosique, n'existe pas encore en France et aucune décision d'investissement n'a été prise à date.



## Quels risques pour les investisseurs dans la filière de biocarburants de deuxième génération ?

Le développement d'une véritable industrie française de biocarburants de deuxième génération pourrait être retardé par des objectifs 2030 insuffisamment ambitieux pour de potentiels investisseurs. En effet, 2 facteurs minimisent l'objectif de 3,5% d'incorporation d'ici 2030 annoncé par RED II :

- Un système de double-comptage permet de multiplier par 2 la part réelle d'énergie renouvelable des biocarburants avancés, faisant passer l'objectif de 3,5% à 1,75% dans la réalité.
- Lors des entretiens effectués, les acteurs de la filière ont évoqué la porosité actuelle de la définition de « déchets » dans la liste des intrants de deuxième génération (résidus de silos, pulpe de betterave, effluents d'huileries de palme, marcs de raisin). Certains marchés de niche pourraient ainsi être créés sans que soit développée une véritable industrie de deuxième génération fondée sur de nouveaux procédés et de nouveaux types d'intrants.

A date, alors que de nombreux acteurs<sup>12)</sup> ont déjà investi en R&D sur les procédés de deuxième génération, notamment à travers les projets BioTfuel et Futurol, aucune décision d'investissement à l'échelle industrielle n'a été réalisée en France.

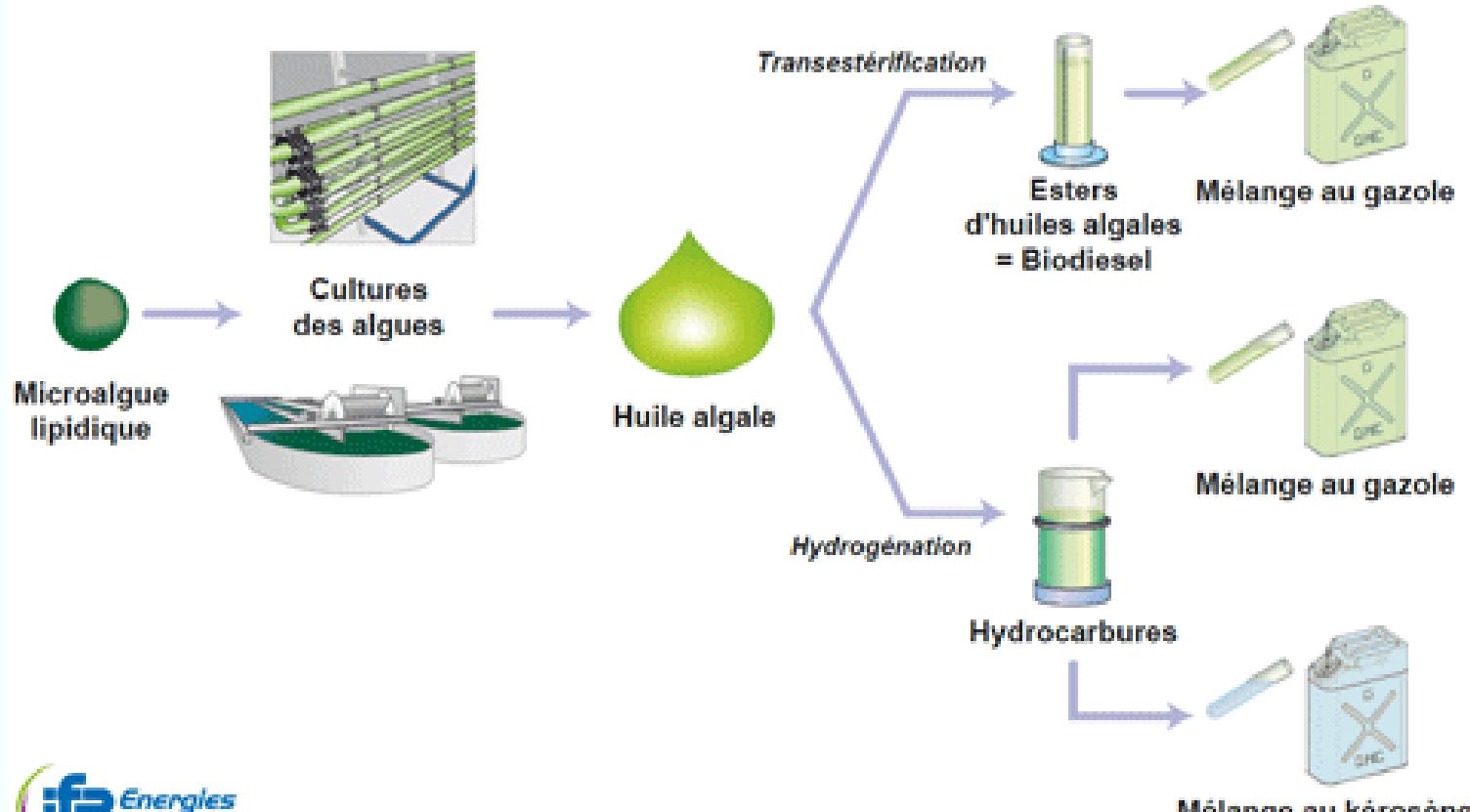
Ce risque de retard contraste fortement avec les objectifs politiques annoncés à long terme par la SNBC,



En 2019

# biocarburants de 3eme génération

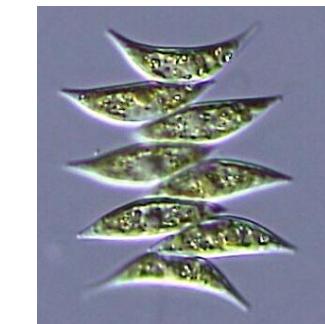
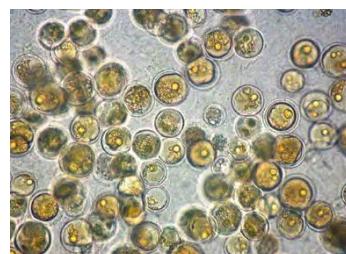
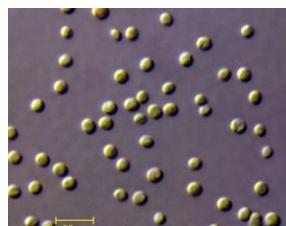
## LES BIOCARBURANTS ISSUS DE MICROALGUES LIPIDIQUES



# Quelques espèces envisagées: principalement des micro-algues eucaryotes



Name of microorganisms	Oil content per ton of biomass (w.t% dry mass)	Lipid content (%, w/w <sub>dw</sub> )
<b>Microalgae</b>		
<i>Schizochytrium</i> sp.	50–77	35–55
<i>Botryococcus braunii</i>	64	25–75
<i>Nitzschia laevis</i>	69.1	—
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–65	29–65
<i>Chlorella vulgaris</i>	63.2	5–58
<i>Parietochloris incise</i>	62	—
<i>Cryptothecodium cohnii</i>	56	20–51.1
<i>S. obliquus</i>	35–55	11–55
<i>Nannochloris</i> sp.	—	20–56
<i>Nannochloropsis oculata</i>	50	22.7–29.7
<i>Nitzschia</i> sp.	45–47	16–47
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	16–40	
<i>Monodus subterraneus</i>	39.3	16
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30	18–57
<i>Haematococcus pluvialis</i>	25	25
<i>Dunaliella primolepta</i>	23	23.1
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23	8.5–23
<i>Chlorella sorokiniana</i>	22	19–22
<i>Monallanthus salina</i>	>20	20–22
<i>Dunaliella salina</i>	14–20	6–25
<i>Porphyridium cruentum</i>	19.3	9–18.8



# Deux méthodes principales de production



Cultures à ciel ouvert



Peu coûteux

Mais

Contamination facile  
(crustacés, champignons,  
autres algues plus compétitives...)

Contrôle de la croissance réduite donc  
Rendements souvent faibles



Photo-bioréacteur  
(fermenteur « éclairé » avec contrôle partiel ou  
total des intrants: CO<sub>2</sub> stérile, eaux propres ou  
usagées...)



Coûteux à très coûteux  
mais

Contrôle de la croissance facile donc rendements  
élevés et  
contaminations réduites à absentes

# Où en est-on?



## Bad News from the National Research Council (NRC)

The NRC has stated that large-scale production of biofuels from algae is untenable with existing technology and would require too much water, energy, and fertilizer. According to the NRC, using algae to produce one litre of gasoline requires 3.15 litres of water as a minimum (maximums range up to 3650 litres). Furthermore, meeting the demand for only 5% of the fuel used in the United States would require 6-15 million metric tons of nitrogen and up to 2 million metric tons of phosphorus. That is up to twice the amount of nitrogen fertilizers used to grow all the food the U.S. currently produces.

The NRC has stated that none of its concerns is a definitive barrier, but that research and development is needed to determine if the process can be made sustainable. Some solutions include the recycling of used water and nutrients and many strategies are currently under development with help from government grants.



Feuille de route  
biocarburants avancés



On sait produire de façon industrielle les microalgues :

- en lagunages (bassins naturels) : des populations multialgales s'installent naturellement. Les coûts sont faibles mais la qualité médiocre,
- en systèmes ouverts (bassins artificiels) : les productions monoalgales ne sont possibles que dans des conditions particulières de culture (pH alcalin, hypersalinité), ou bien avec des espèces à croissance très rapide (Chlorella). Par ailleurs, une algue spécialisée de laboratoire, livrée aux aléas extérieurs, ne croît pas.
- en aquaculture marémotrice : les conditions de culture sont difficiles, mais les rendements peuvent être élevés.

Toutefois, pour conquérir le marché de l'énergie, il faudra travailler sur le coût des procédés et sur la sélection des souches, sur les conditions de culture et d'extraction des produits d'intérêt et sur une vision totalement intégrée de la filière car :

- la forte dilution dans l'eau des microalgues nécessite des étapes coûteuses de récolte et de séchage des algues avant extraction de l'huile,

# La 4eme génération: des exemples fongiques

Agro-industrial  
waste



Glycerol



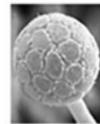
Ricotta cheese  
whey



Orange peels

Bioconversion  
Valorization

*Mortierella  
isabellina*  
inoculum



STR scale up



Biomass  
separation

Direct  
transesterification

similar to

Palm oil



Fungal oil



similar to

Jatropha oil



Microbial  
biodiesel



Production de lipides par les *Mortierella*

# Et la production de mycodiesel!



Journals ▾ Information for Authors ▾ Microbiology Society

MICROBIOLOGY Volume 154, Issue 11

Other | Free

## The production of myco-diesel hydrocarbons and their derivatives by the endophytic fungus *Gliocladium roseum* (NRRL 50072) ♂

Gary A. Strobel<sup>1</sup>, Berk Knighton<sup>2</sup>, Katreena Kluck<sup>1</sup>, Yuhao Ren<sup>1</sup>, Tom Livinghouse<sup>2</sup>, Meghan Griffin<sup>3</sup>, Daniel Spakowicz<sup>3</sup>, Joe Sears<sup>4</sup>



THE SCIENCE OF EVERYTHING

# COSMOS



SOMETHING from NOTHING An evening with RICHARD DAWKINS & LAWRENCE K SYDNEY Thursday 12

Home Subscribe Shop Teachers Libraries Newsletter About Us Contact Advertise Digital Access

news  
features  
opinion  
factfile  
profiles  
blogs  
fiction  
reviews  
media room

### News

#### Rainforest fungus gives off biodiesel

Agence France-Presse

PARIS: A reddish microbe discovered at a secret location in the rainforests of northern Patagonia has been found to expel hydrocarbon gas, with promise as a new source of biofuel.

Its potential is so startling that the discoverers have coined the term "myco-diesel" - a derivation of the word for fungus - to describe the various hydrocarbons that it produces as a gas.

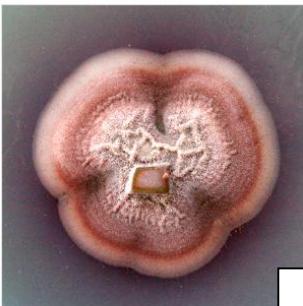
A study detailing the find appears next week in the British journal, *Microbiology*.

#### Lucky breaks

"This is the only organism that has ever been shown to produce such an important combination of fuel substances," said Gary Strobel, a biologist at Montana State University in Bozeman, USA.

"The fungus can even make these diesel compounds from cellulose, which would make it a better source of biofuel than anything we use at the moment," he said.

Strobel, a 70-year-old veteran of the world's



The Patagonian tree fungus, *Gliocladium roseum* expels hydrocarbons which could be used as fuel scientists say. Image shows the microbe growing a culture on a petri dish.

Credit: Gary Strobel

Table 1. GC/MS air-space analysis of the volatile compounds produced by *G. roseum* after 18 days incubation under microaerophilic conditions at 23 °C on medium A (oatmeal agar)

Time (min)	Relative area	Std*†‡	Possible compound§	Mol. mass (Da)
1.603	5.4	‡	Oxirane, ethyl-	72.06
2.081	3.4	*†	Heptane, 2-methyl-\$	114.14
2.666	14.1	*†	Octane§	114.14
3.138	15.5	*†	1-Octene§	112.13
4.598	24.5	*	Ethanol	46.04
4.872	1.2	*	Cyclohexene, 4-methyl-	96.09
5.204	13.5	‡	Hexane, 2,4-dimethyl- (possible isomer)	114.14
5.378	10.8		Undecane, 2,6-dimethyl-	184.22
5.533	13.5	‡	Hexadecane§ (possible isomer)	226.27
5.941	10.5		Heptane, 5-ethyl-2,2,3-trimethyl- (or isomer)	170.20
6.365	8.7	†	Undecane, 4-methyl-\$	170.20
6.418	5.4		Heptane, 5-ethyl-2,2,3-trimethyl- (or isomer)	170.20
6.668	6.1		Octane, 3-ethyl-2,7-dimethyl-	170.20
6.768	12.1		Decane, 2,2,6-trimethyl-	184.22
6.931	6.8	*†	Undecane§	156.19
7.112	5.4		Decane, 3,3,5-trimethyl-	184.22
7.173	6.4	*	Nonane, 3-methyl-\$	142.17
7.232	7.3	*	1-Propanol, 2-methyl-	74.07
7.325	10.0		Furan, 4-methyl-2-propyl-	124.09
7.481	6.7		Undecane, 4,4-dimethyl-	184.22
7.491	12.3	*	1-Propanol, 2-methyl-	74.07

OPEN ACCESS Freely available online

PLOS GENETICS

## Genomic Analysis of the Hydrocarbon-Producing, Cellulolytic, Endophytic Fungus *Ascocoryne sarcoides*

Tara A. Gianoulis<sup>1,2,3,9†</sup>, Meghan A. Griffin<sup>4\*</sup>, Daniel J. Spakowicz<sup>4\*</sup>, Brian F. Duncan<sup>4</sup>, Cambria J. Alpha<sup>4</sup>, Andrea Sboner<sup>3,4</sup>, A. Michael Sismour<sup>1,2</sup>, Chinnappa Kodira<sup>5</sup>, Michael Egholm<sup>6</sup>, George M. Church<sup>1,2</sup>, Mark B. Gerstein<sup>3,4\*</sup>, Scott A. Strobel<sup>4\*</sup>

# Et celle de méthane!

## Fungi discovered to be source of methane

September 6, 2012



[Enlarge](#)

Methane producers in the underbrush: new research shows that fungi can also produce methane. Credit: Katharina Lenhart

Fungi	Substrate	CH <sub>4</sub> :CO <sub>2</sub> -ratio [p.p.b.v.: %]	
		Mean	s.d.
<i>Pleurotus sapidus</i>	Grass	1.7	0.1
	<sup>13</sup> C Glucose	22.8	16.6
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	<sup>13</sup> C Glucose	11.1	0.84
<i>Laetiporus sulphureus</i>	<sup>13</sup> C Glucose	22.2	17.6
	Grass	0.8	0.1
<i>Trametes versicolor</i>	Grass	1.3	0.4
<i>Hypholoma fasciculare</i>	Grass	1.02	0.2
<i>Lentinula edodes</i>	Grass	0.9	0.2

## ARTICLE

Received 16 Mar 2012 | Accepted 2 Aug 2012 | Published 4 Sep 2012

DOI: [10.1038/ncomms2049](https://doi.org/10.1038/ncomms2049)

# Evidence for methane production by saprotrophic fungi

Katharina Lenhart<sup>1</sup>, Michael Bunge<sup>2</sup>, Stefan Ratering<sup>2</sup>, Thomas R. Neu<sup>3</sup>, Ina Schüttmann<sup>4</sup>, Markus Greule<sup>1</sup>, Claudia Kammann<sup>5</sup>, Sylvia Schnell<sup>2</sup>, Christoph Müller<sup>5,6</sup>, Holger Zorn<sup>4</sup> & Frank Keppler<sup>1</sup>

## En conclusion

- Les microbes eucaryotes ont des interactions multiples avec nos sociétés, le plus souvent sans que nous le réalisions (par exemple pour la production de nos aliments)
- Le réchauffement climatique va multiplier les problèmes de santé liés aux eucaryotes parasites). Il en est de même pour les infections fongiques pour de multiples raisons (immunosuppression, habitat...)
- L'industrie utilise beaucoup les microbes eucaryotes (levures, algues, champignons filamenteux), or il y a peu de spécialistes...
- Les recherches fondamentales et appliquées utilisant les eucaryotes sont donc promises à un bel avenir...