

# Holobiontes et leurs limites : des animaux aux plantes

**M.-A. SELOSSE**

Muséum nat. d'Histoire naturelle, Paris

Universities of Gdansk (Poland) & Viçosa (Brazil)



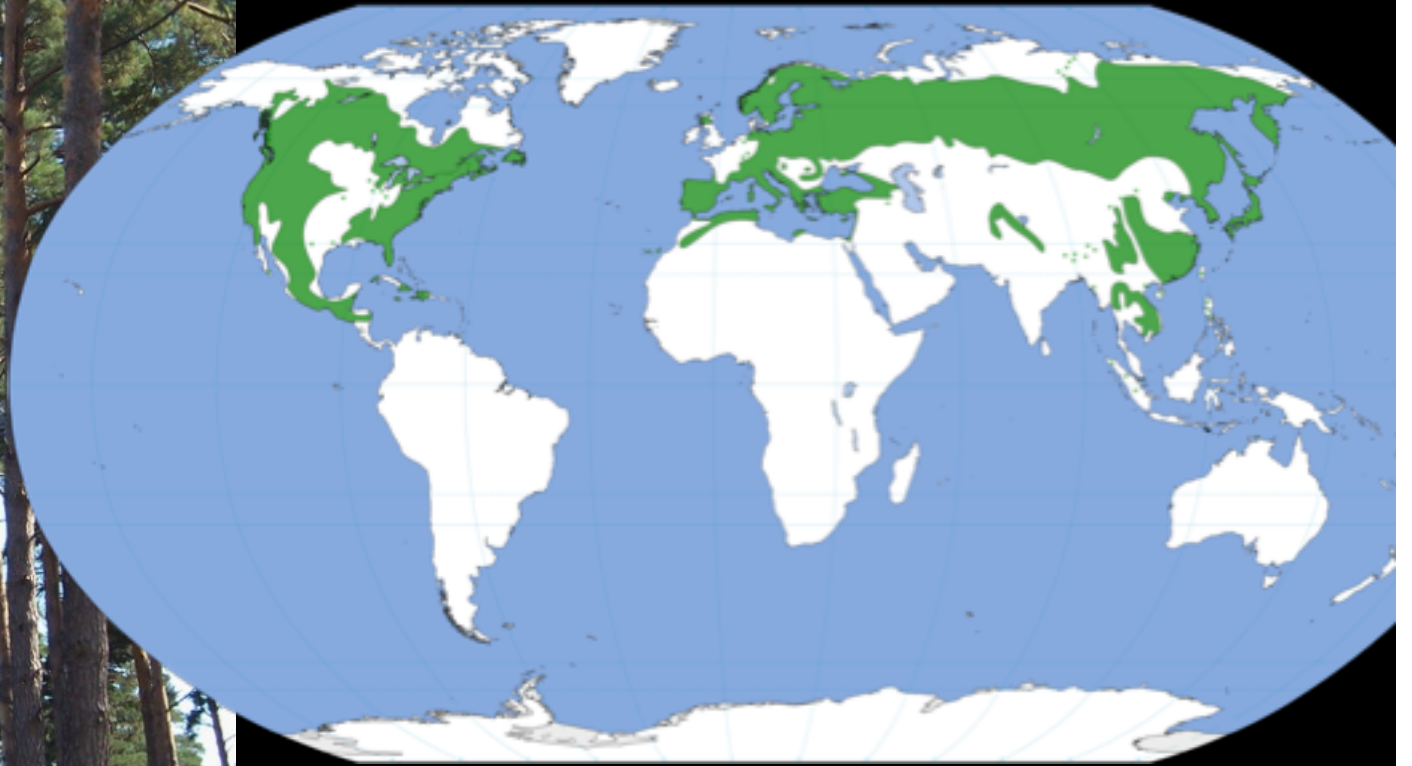
# **Les plantes aussi...**

**De l'holobionte, et de la dépendance**

**Les réseaux d'interaction**

**Les réseaux d'interaction invisibles ?**





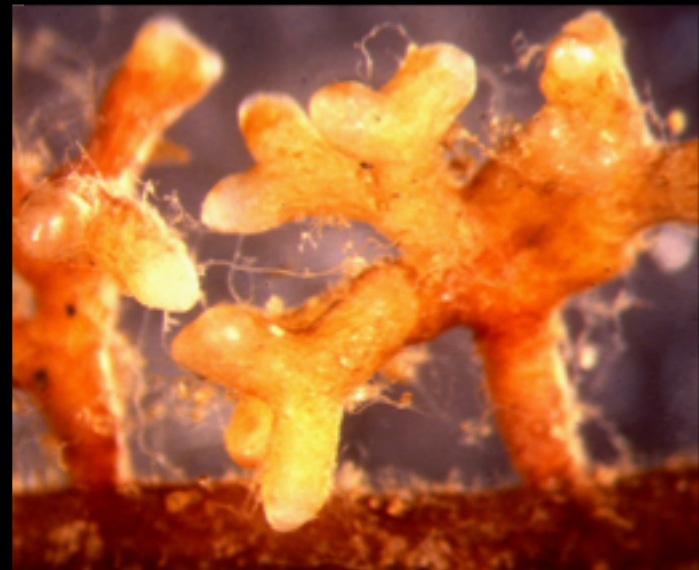
# L'ECTOMYCORHIZE



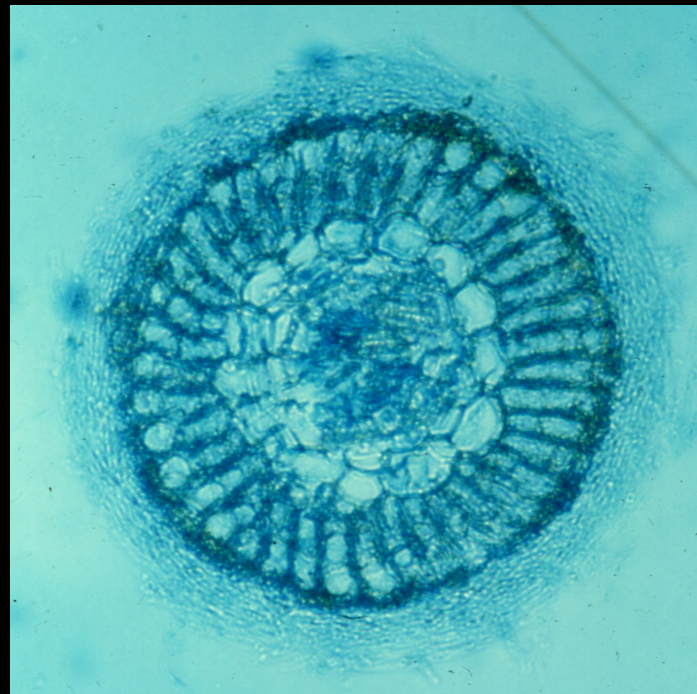
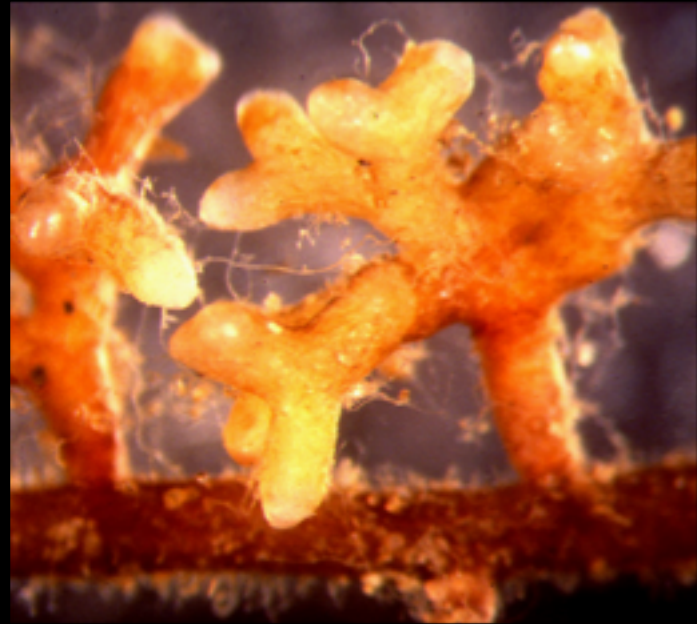
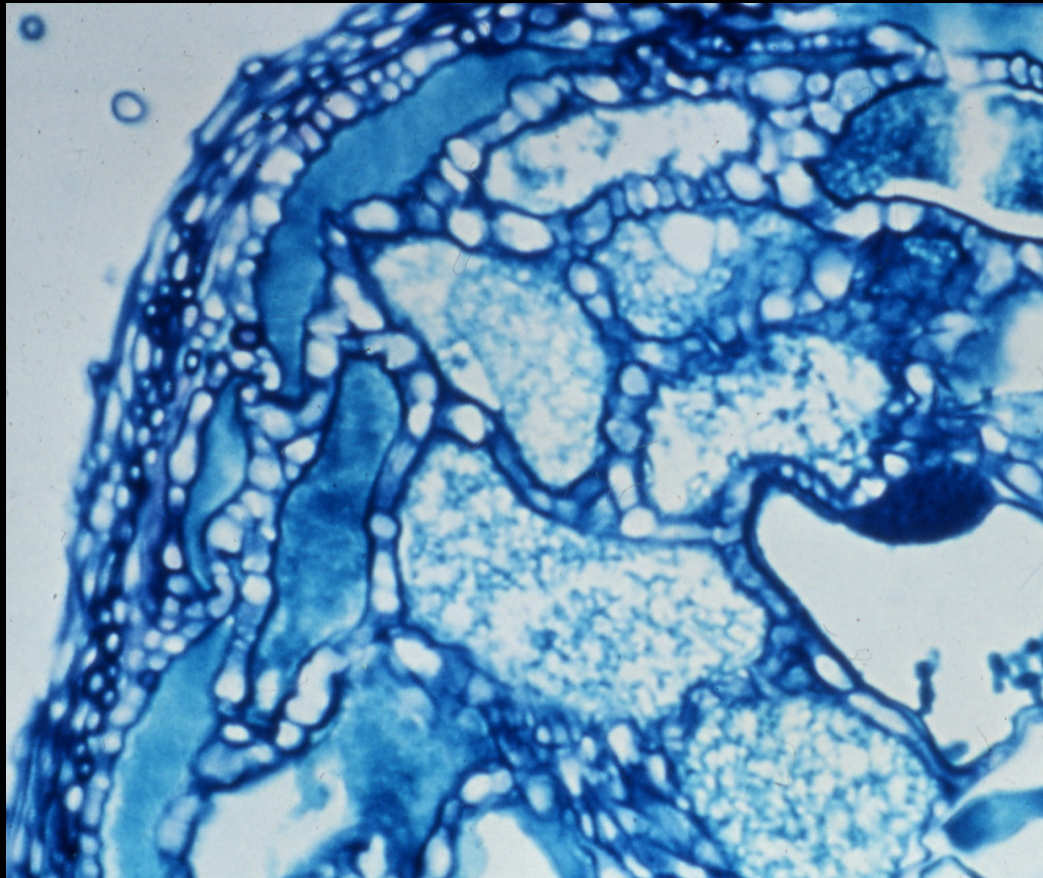
# L'ECTOMYCORRHIZE



# L'ECTOMYCORHIZE



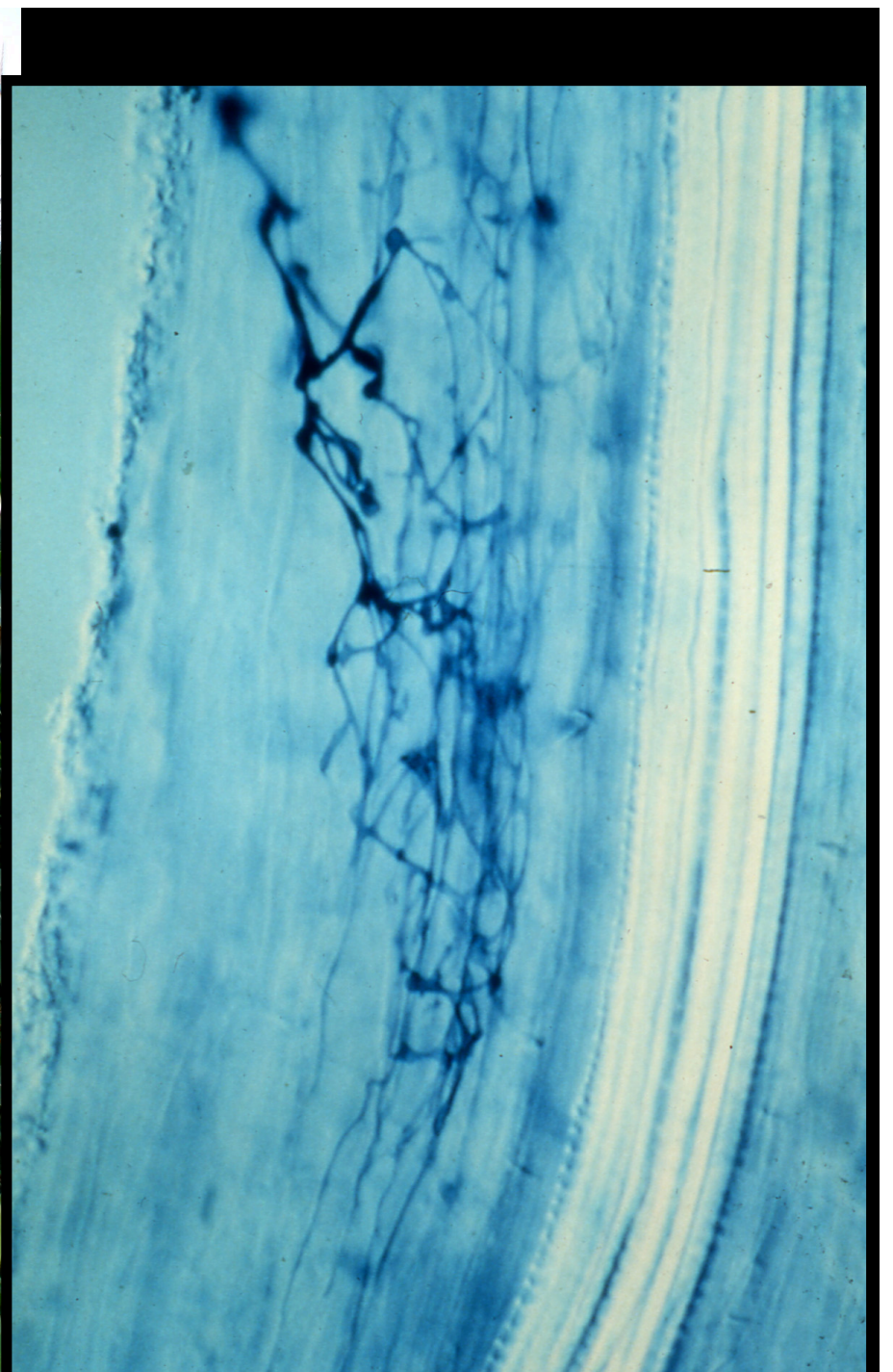
# L'ECTOMYCORHIZE





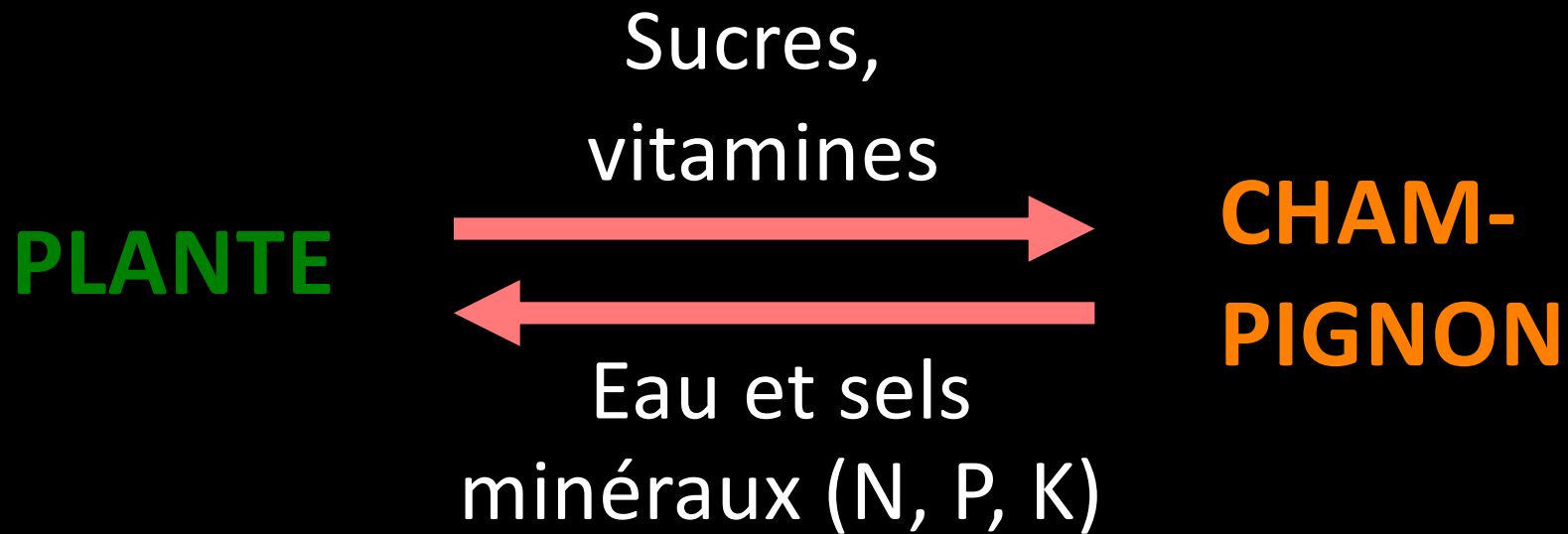




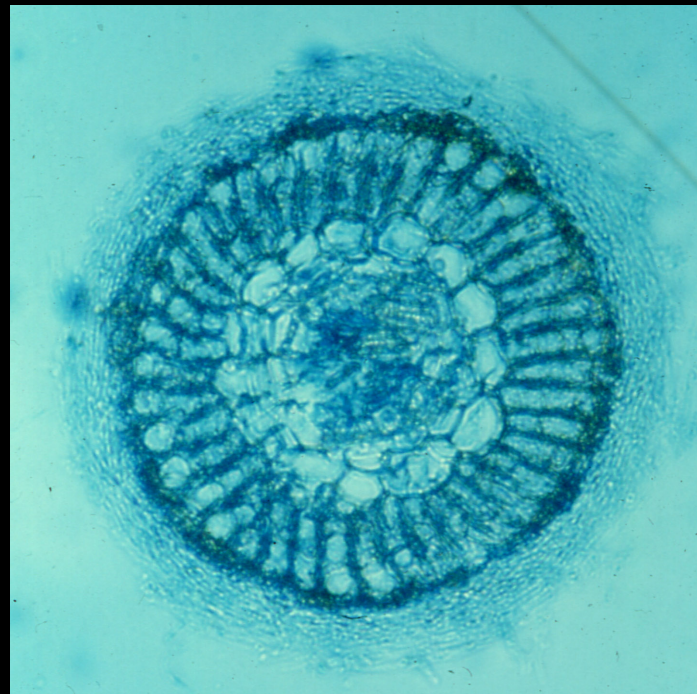
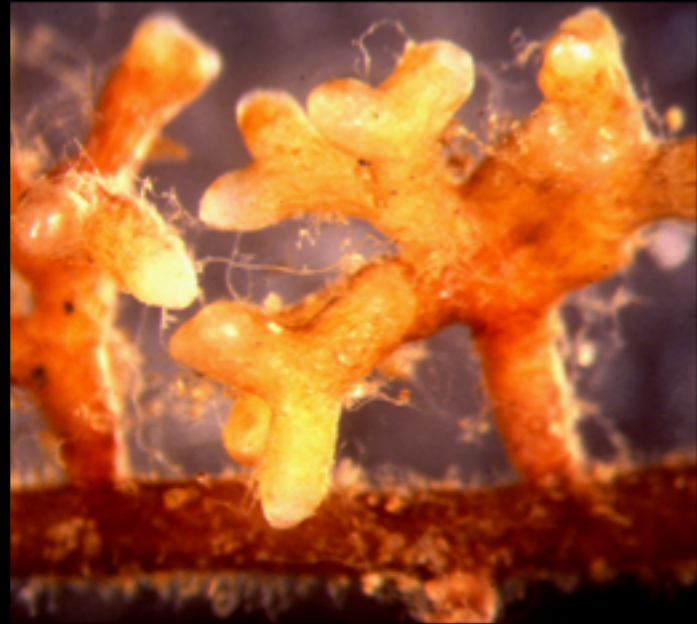
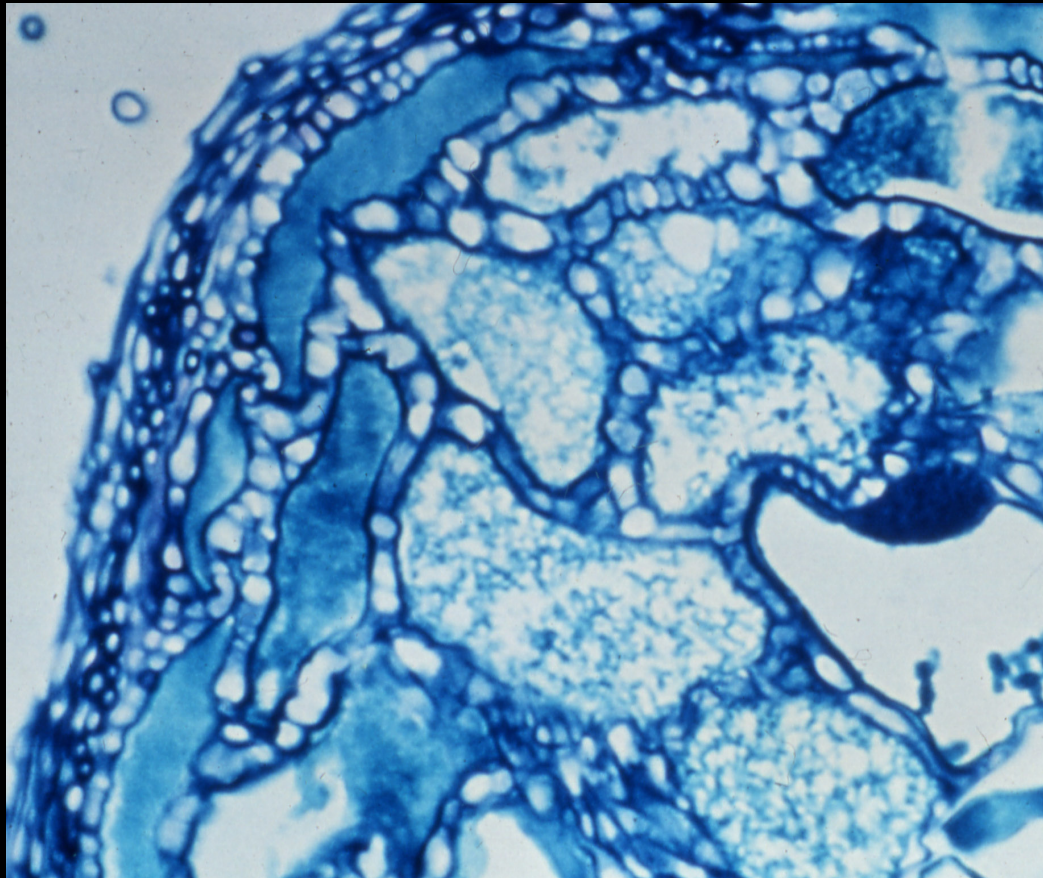


# LA MYCORHIZE, UNE SYMBIOSE

chez 90 % des plantes terrestres



# L'ECTOMYCORHIZE



# Protection

Non mycor. + *Glomus margarita*



# Protection contre *Botrytis cinerea*

Non mycor. + *Glomus margarita*

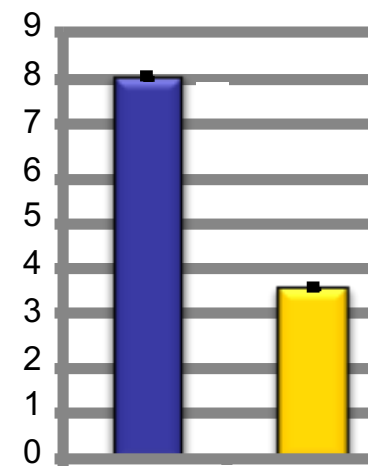


# Protection contre *Botrytis cinerea*

Non mycor. + *Glomus margarita*



Dégâts (% feuilles abimées)



Non mycor. + *Glomus margarita*

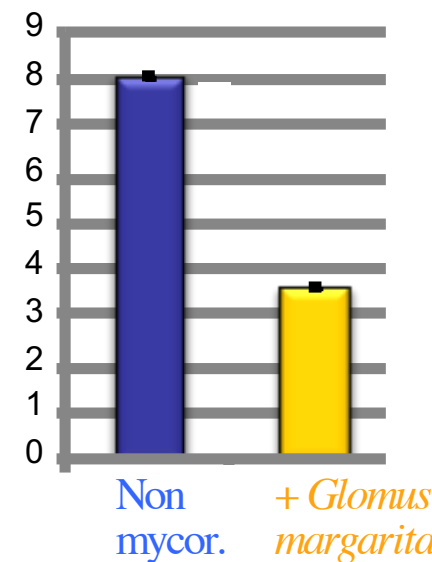


# Protection contre *Botrytis cinerea*

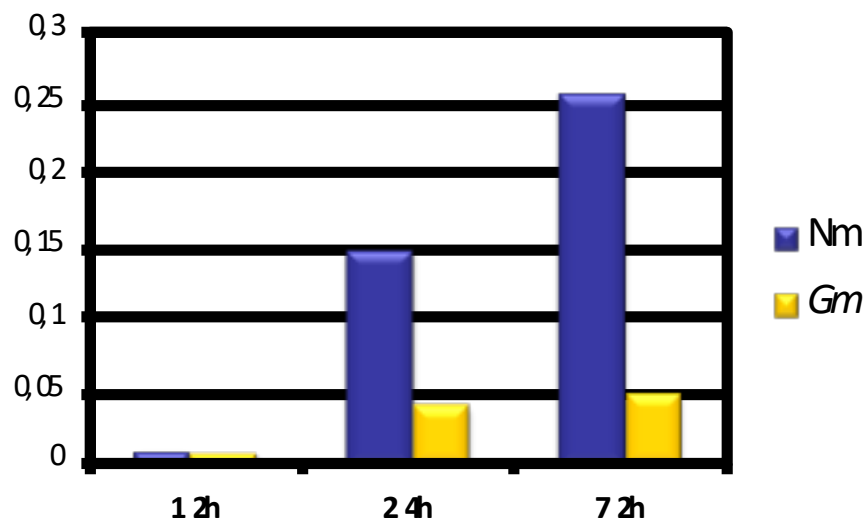
Non mycor. + *Glomus margarita*



Dégâts (% feuilles abimées)



Expression de la tubuline de *B. cinera*

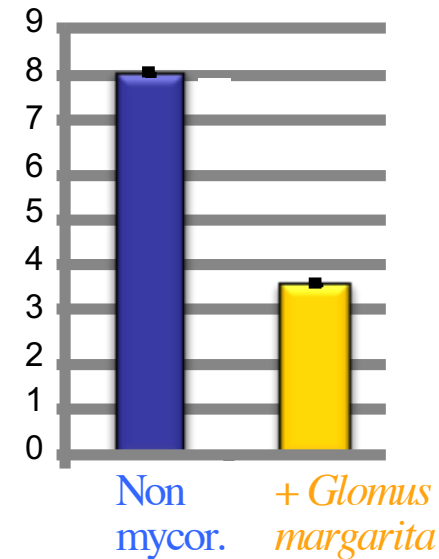


# Protection contre *Botrytis cinerea*

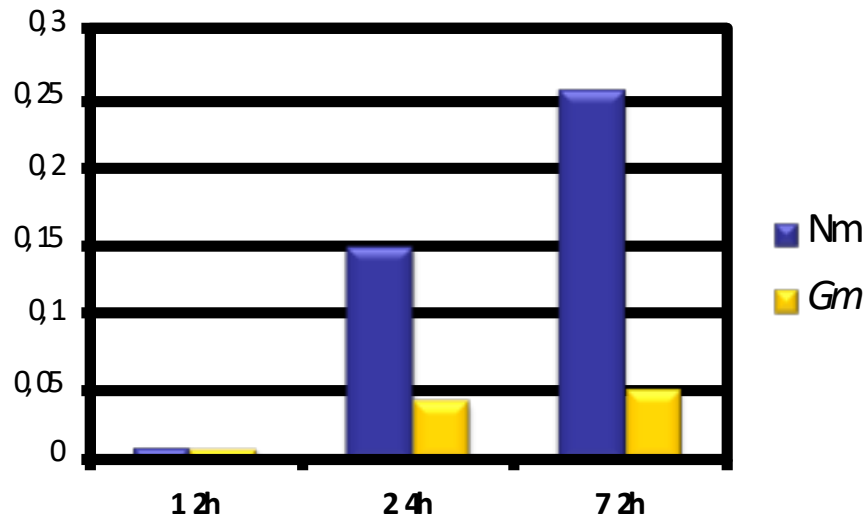
Non mycor. + *Glomus margarita*



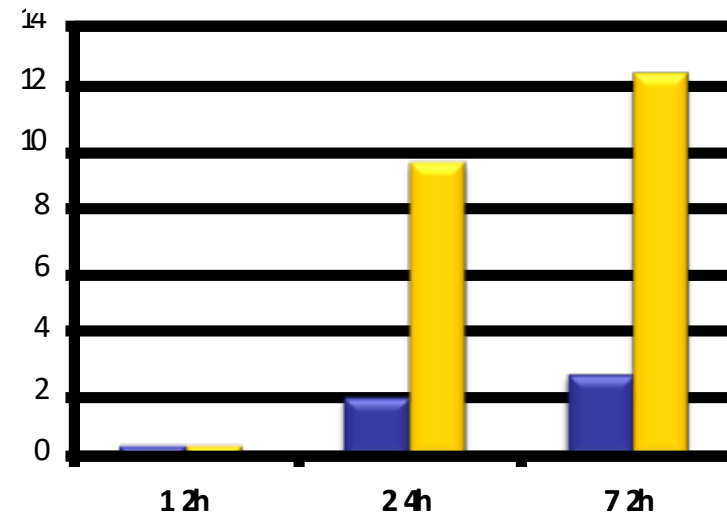
Dégâts (% feuilles abimées)



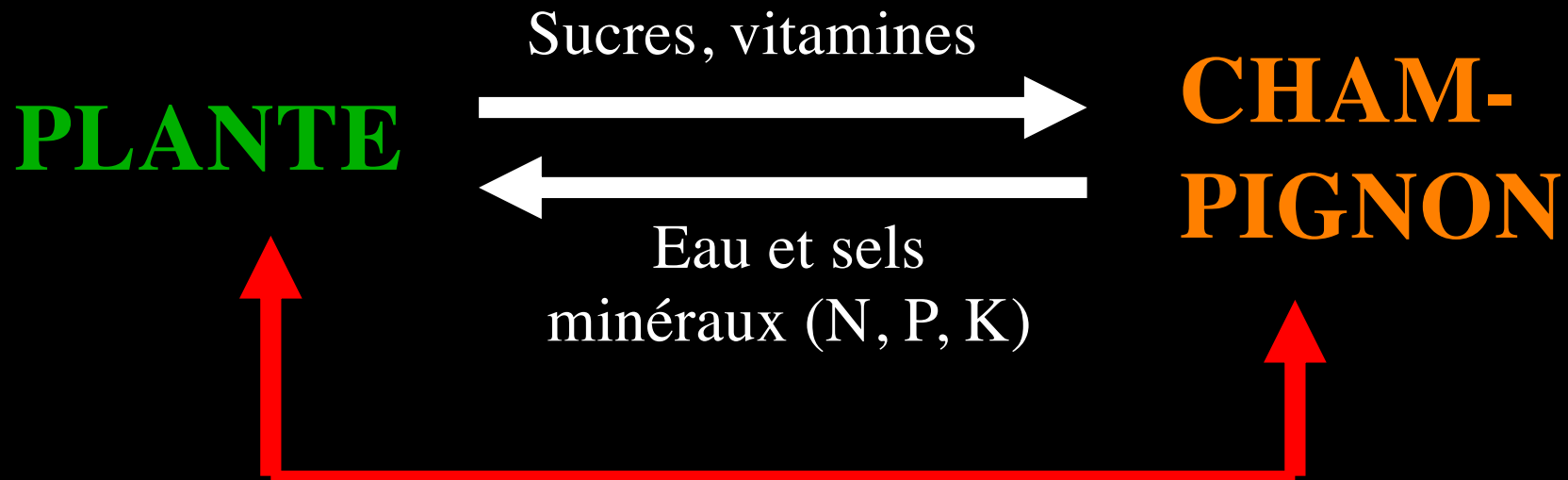
Expression de la tubuline de *B. cinera*



Expression de la protéase de défense *Pin II*



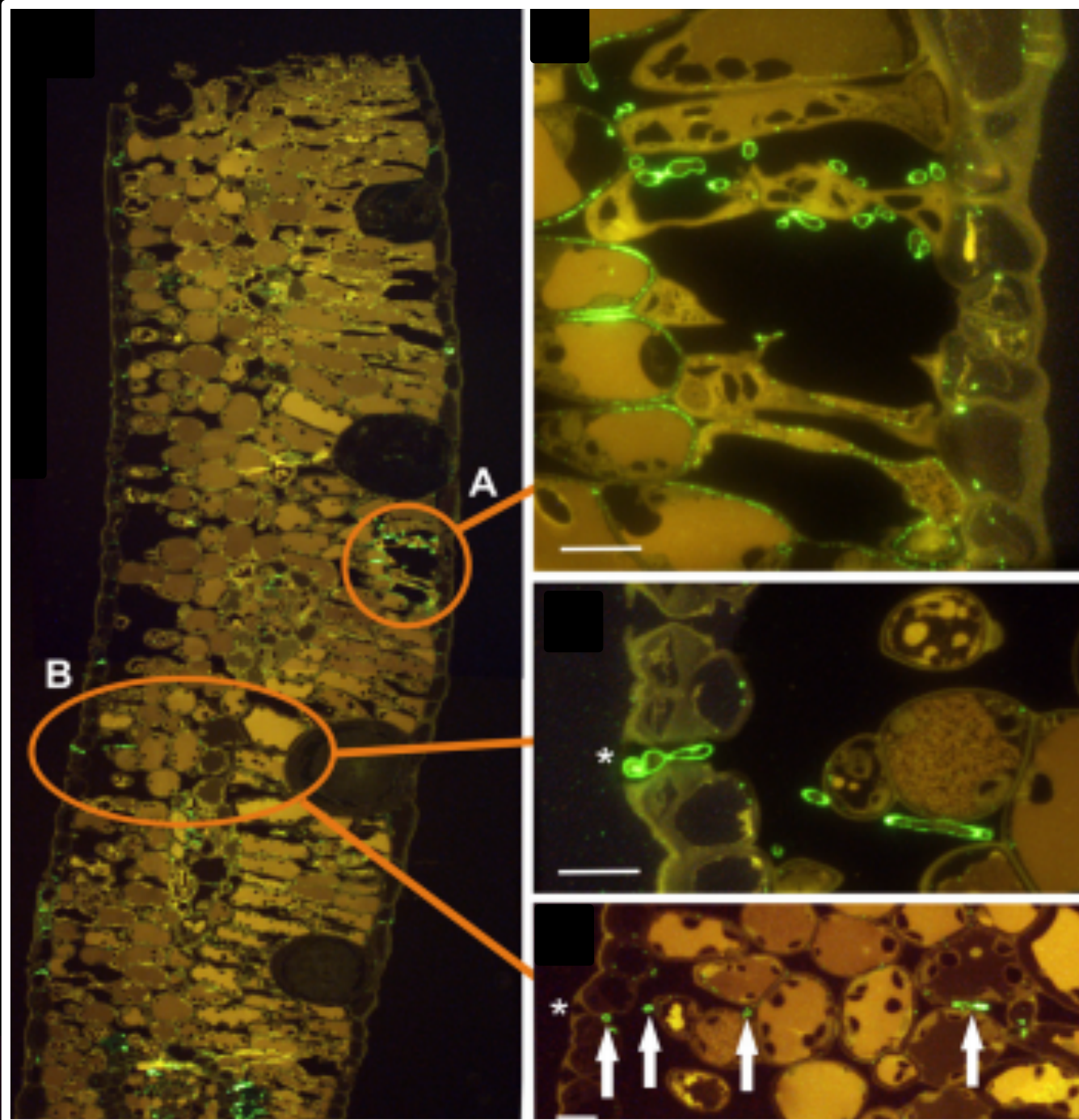
# LA MYCORHIZE



Protection contre les agressions  
physiques et biologiques

Une hyper-  
diversité foliaire  
ignorée...

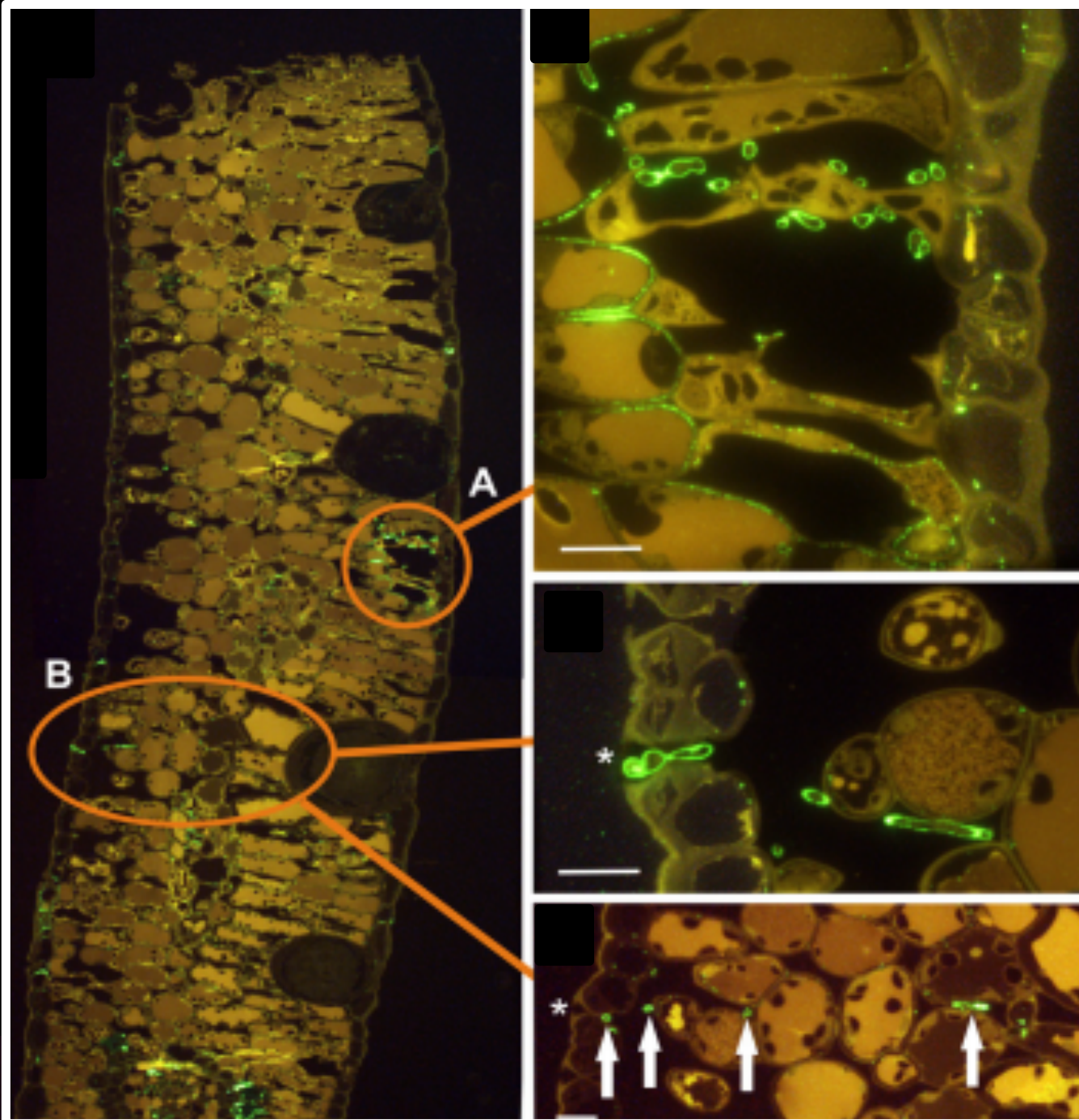
jusqu'à 100  
espèces de  
**champignons**  
**endophytes** dans  
une feuille  
tropicale !



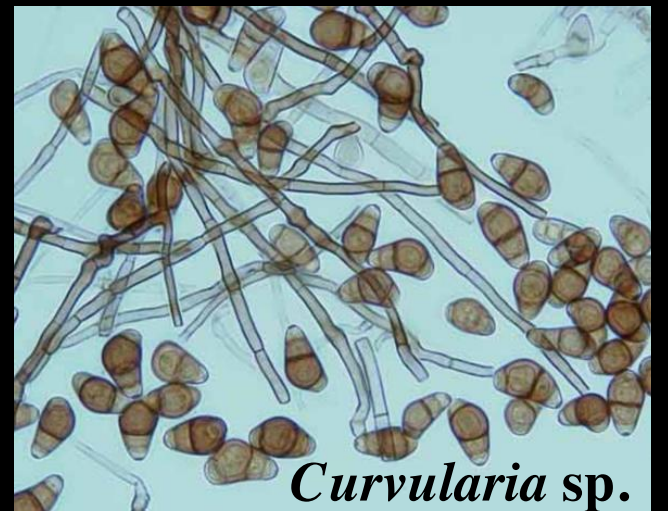
Une hyper-  
diversité foliaire  
ignorée...

jusqu'à 100  
espèces de  
**champignons  
endophytes** dans  
une feuille  
tropicale !

$10^8$  bactéries / g  
de feuille

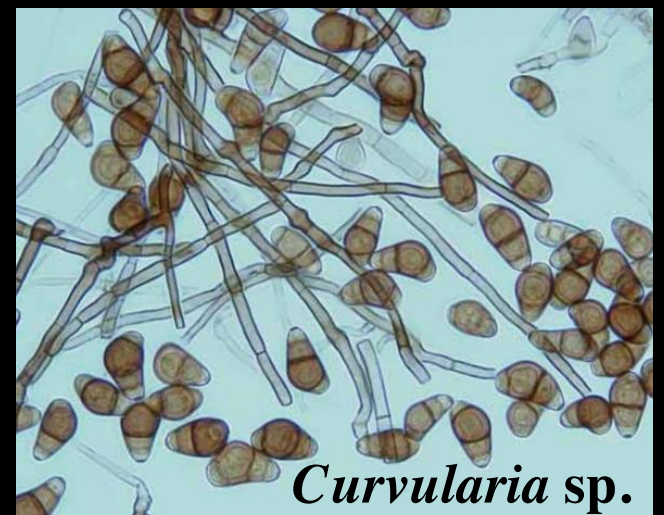


La survie à la chaleur de  
*Dichanthelium lanuginosum*  
sur les sols volcaniques



*Curvularia* sp.

# La survie à la chaleur de *Dichanthelium lanuginosum* sur les sols volcaniques



# La survie à la chaleur de *Dichanthelium lanuginosum* sur les sols volcaniques

45° C

C+



15g

C-



0g

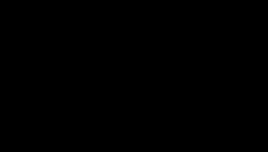
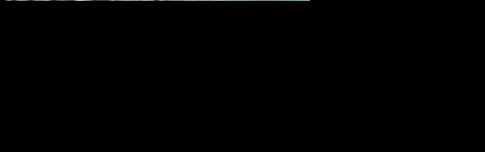
40° C

C+

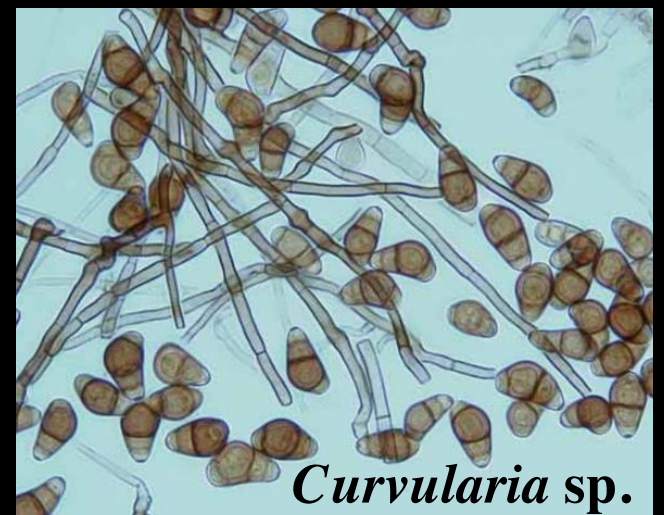


28g

C-

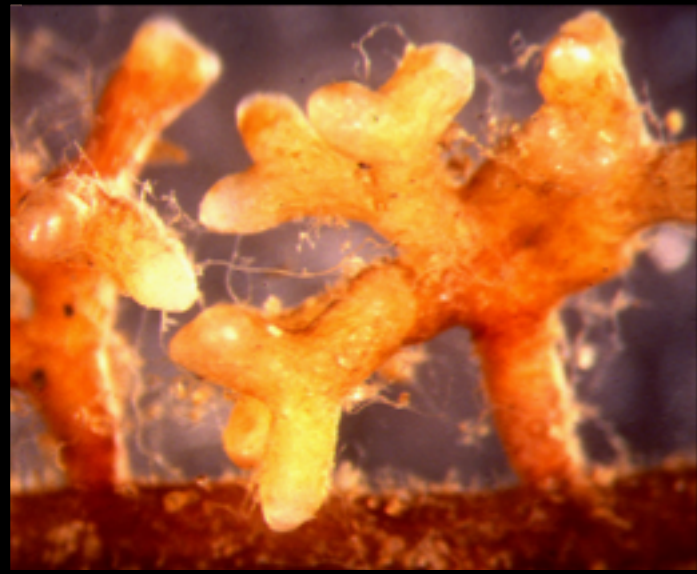


21g





# L'ECTOMYCORHIZE



# JUSQUE DANS LE PARFUM FLORAL



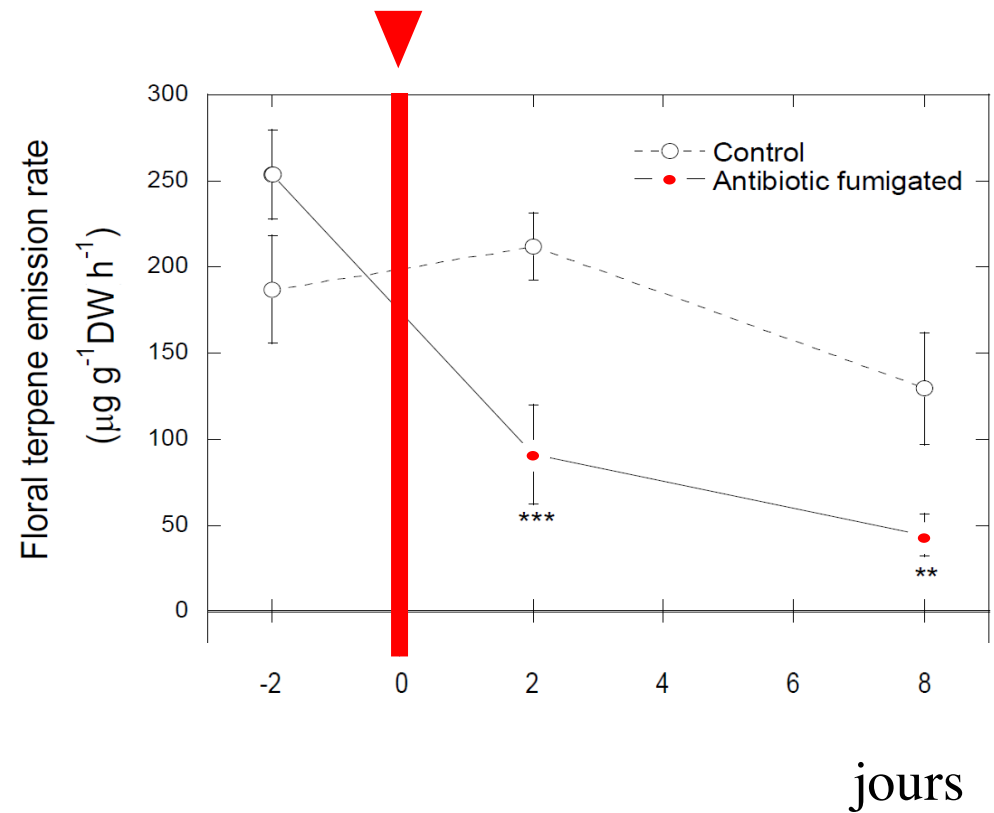
*Sambucus nigra*

**sureau noir**

# JUSQUE DANS LE PARFUM FLORAL



## FUMIGATION PAR DES ANTIBIOTIQUES



**Les plantes aussi...**

**De l'holobionte, et de la dépendance**

**Les réseaux d'interaction**

**Les réseaux d'interaction invisibles ?**

# MICROBIOTE VEGETAL

Actif dans la **nutrition** (eau, N, P, K...).

Actif dans le **développement**

Actif dans la **protection** abiotique et biotique:

- **directe** (antibiose, compétition,...),
- **indirecte** : '*priming*' local et systémique.

# MICROBIOTE ANIMAL

Actif dans la **nutrition** (digestion, vitamines...).

Actif dans le **développement**

Actif dans la **protection** abiotique et biotique:

- **directe** (antibiose, compétition,...),
- **indirecte** : ‘*priming*’ local et systémique.

HOLOBIONTE

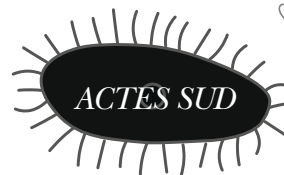


MARC-ANDRÉ  
SELOSSE

# JAMAIS SEUL

**Ces microbes qui construisent  
les plantes, les animaux  
et les civilisations**

postface de Francis Hallé

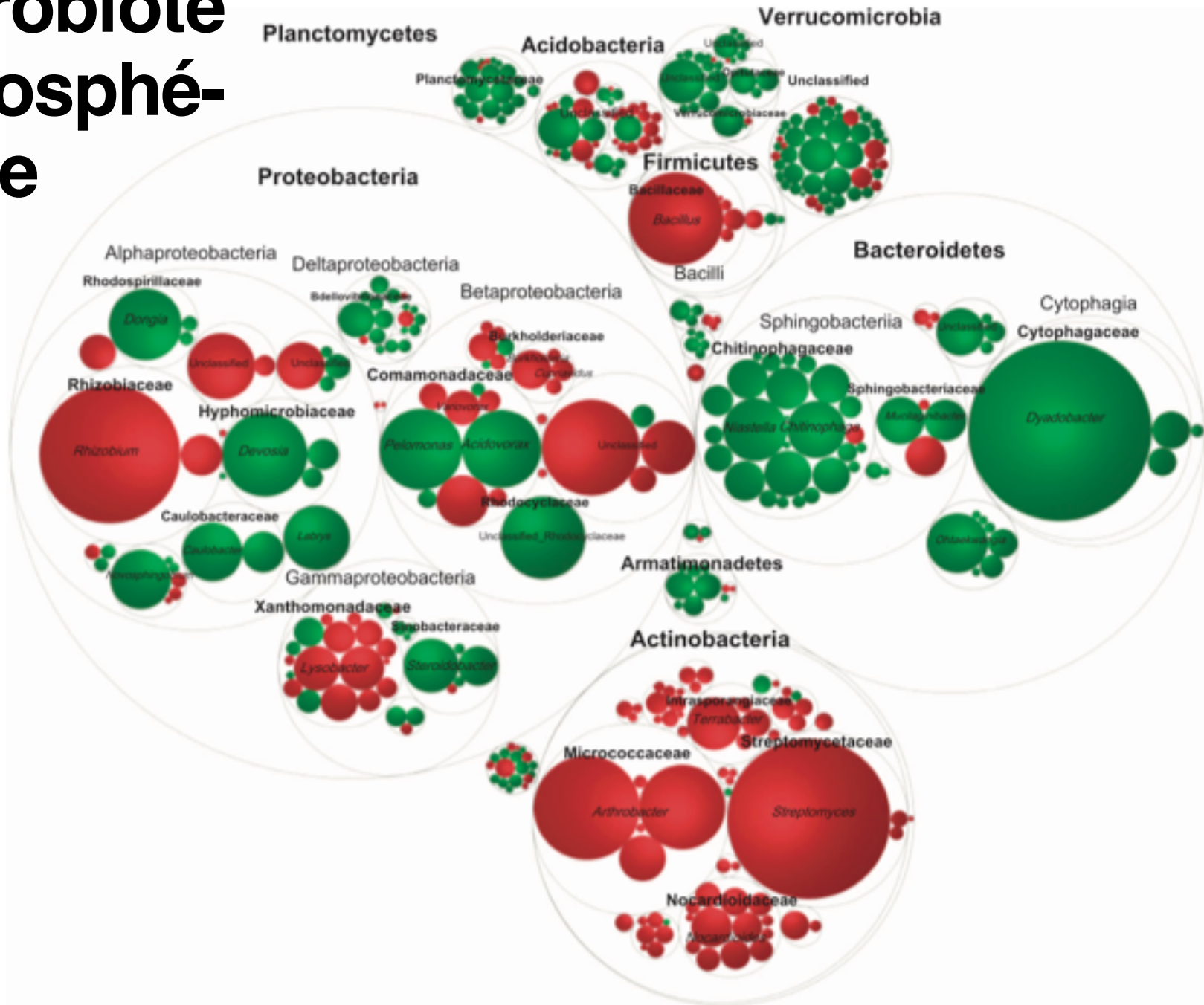




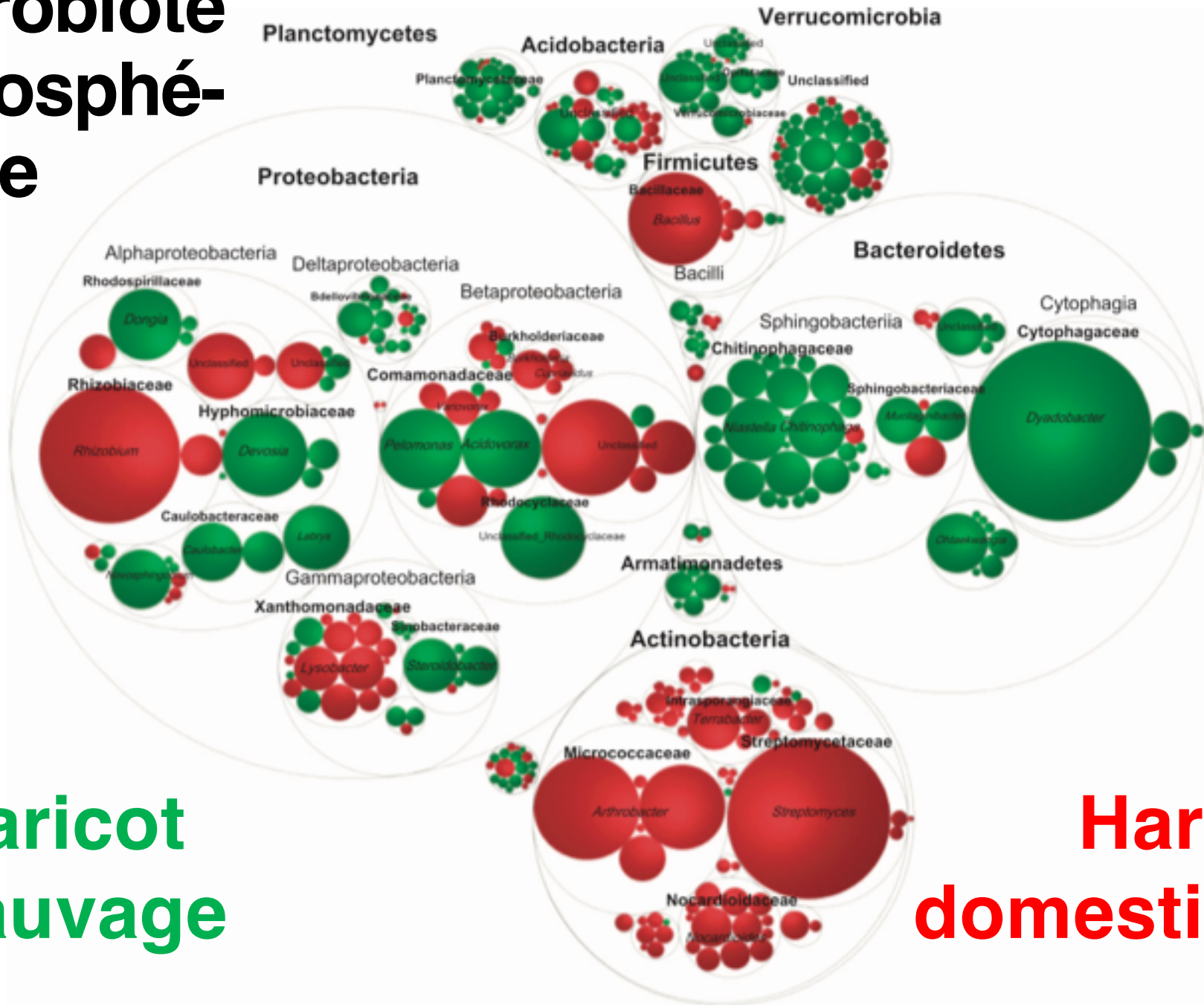
LA PLURICELLULARITE,

UN SERVICE  
ECOSYSTEMIQUE

# Microbiote rhizosphérique



# Microbiote rhizosphérique



Haricot  
sauvage

Haricot  
domestiqué

# Vers l'interdépendance...



*Selosse et al., Trends in Microbiol., 2014*

# Vers l'interdépendance...



*Selosse et al., Trends in Microbiol., 2014*

# Vers l'interdépendance...



*Selosse et al., Trends in Microbiol., 2014*

# Vers l'interdépendance...



**Pas de gain  
de fonction**

**Pas de  
selection**



# Vers l'interdépendance...



Contingence,  
dérive...



*Selosse et al., Trends in Microbiol., 2014*



# Vers l'interdépendance...



**Contingence,  
dérive...**

**mais peu  
reversible**



**Vers l'interdépendance...**

**... un  
cliquet**



**Les plantes aussi...**

**De l'holobionte, et de la dépendance**

**Les réseaux d'interaction**

**Les réseaux d'interaction invisibles ?**



An aerial photograph of a dense forest. The trees are mostly green, with some showing signs of autumn or winter, appearing brown or grey. The forest is thick and covers a large area. The text 'Chêne vert + arbousier' is overlaid in the center in a bold, yellow font.

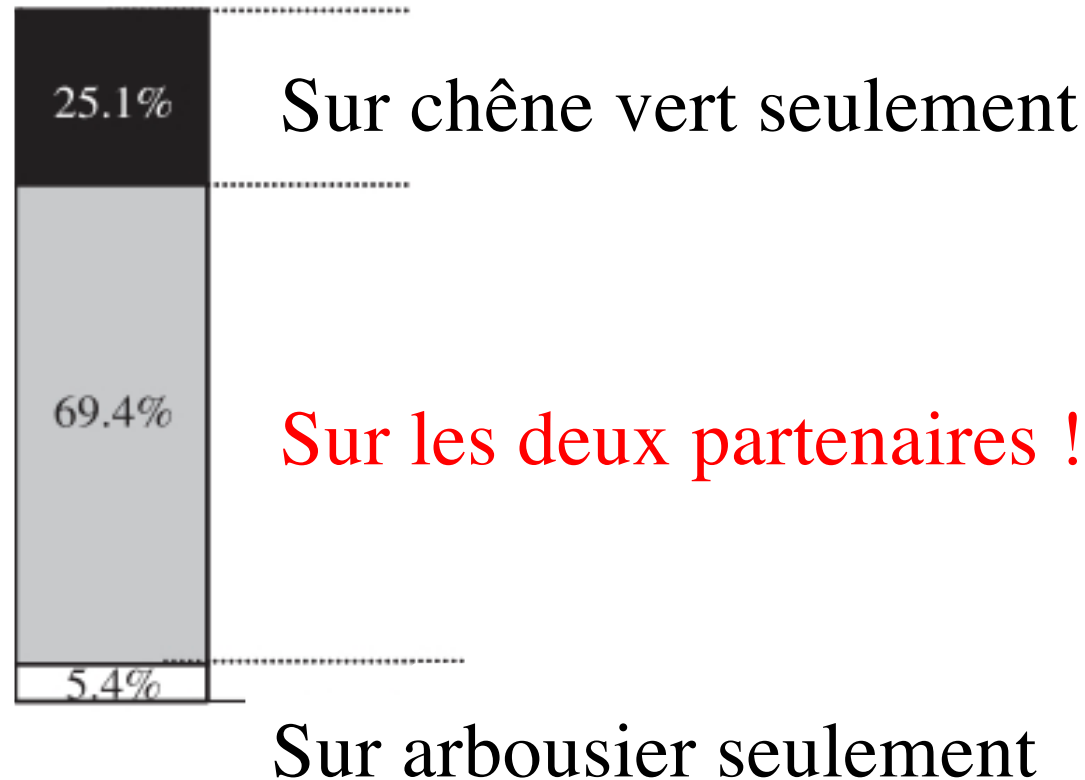
**Chêne vert  
+ arbousier**



**Chêne vert  
+ arbousier**



Plus de 520 espèces ectomycorhiziennes...



Diversité fongique de la forêt du Fango  
en Corse (Richard *et al.*, *New Phytologist* 2004)



*Neottia  
nidus-avis*





... associé avec des *Sebacina*...

5 mm



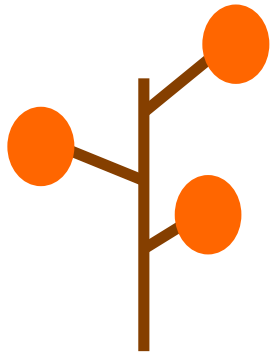
... associé avec des *Sebacina*...



... elles-mêmes associées aux arbres voisins

# UN RESEAU !

PLANTE NON  
CHLOROPHYLLIENNE



Mycorhize  
d'orchidée



**CHAMPIGNON**

ARBRE

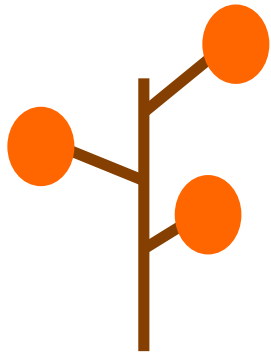


Mycorhize  
d'arbre

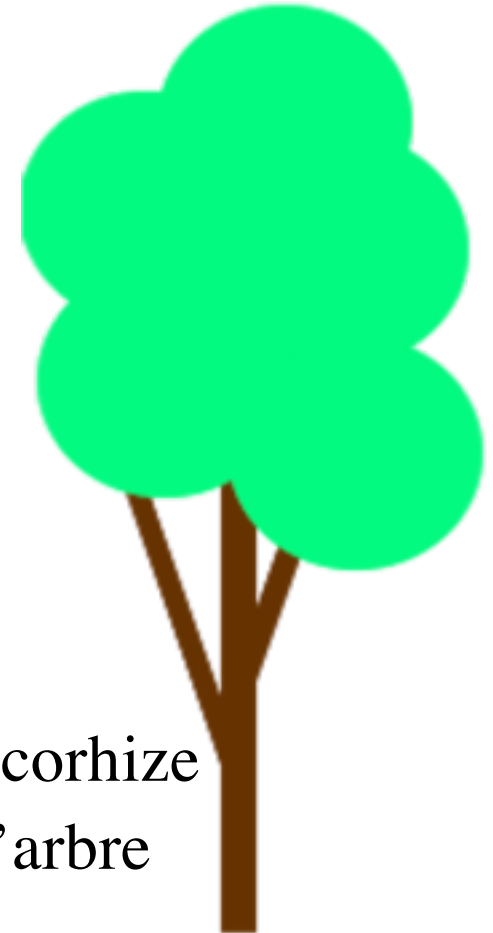
*Selosse et al. Mol. Ecol. 2002*  
*Selosse et al. New Phytol. 2002*

# UN RESEAU !

PLANTE NON  
CHLOROPHYLLIENNE



ARBRE



Mycorhize  
d'orchidée

**CHAMPIGNON**

Mycorhize  
d'arbre

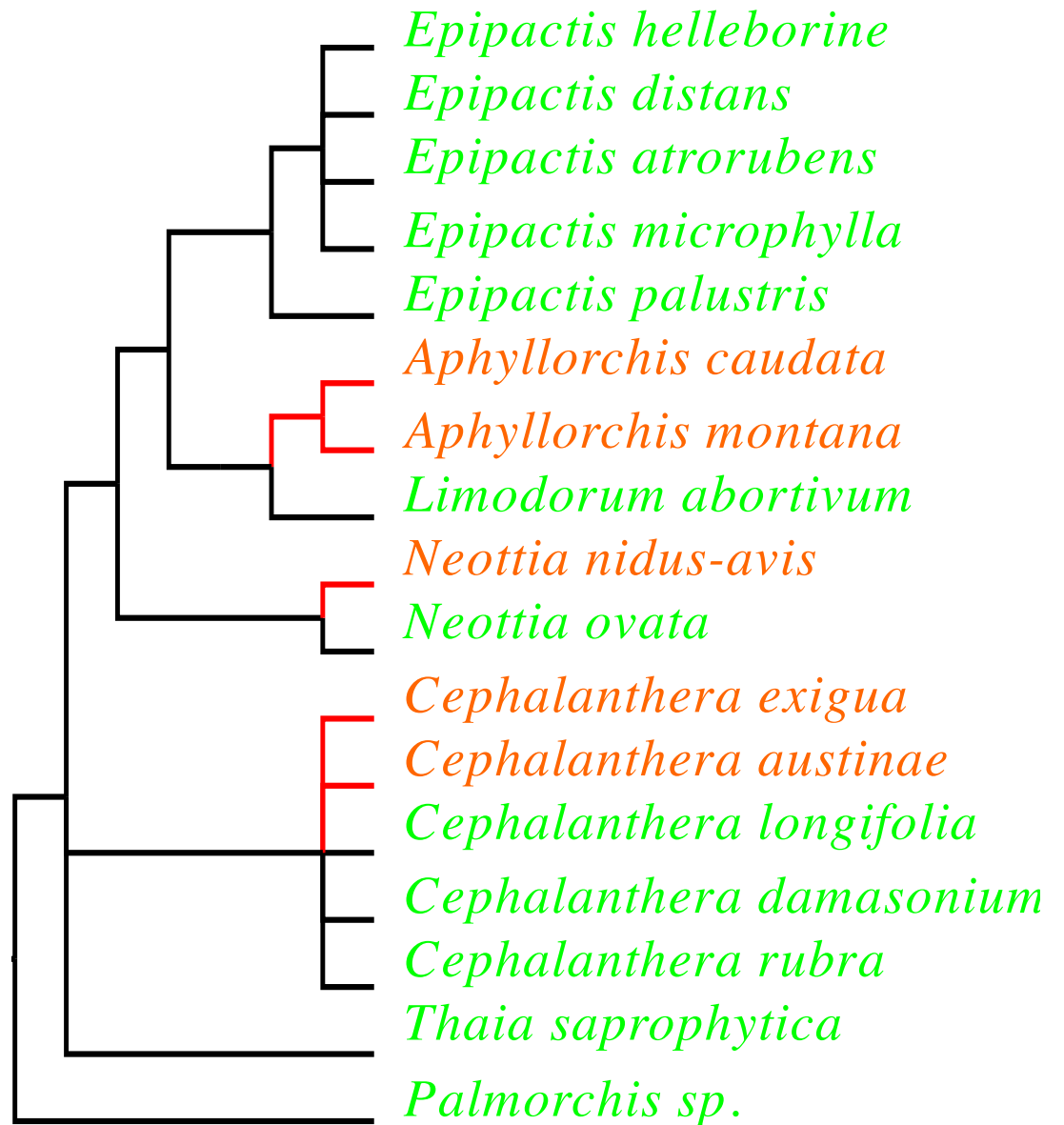
Flux de sucre

Selosse *et al.* *Mol. Ecol.* 2002  
Selosse *et al.* *New Phytol.* 2002

# Green orchids related to mycoheterotrophs

E.g. the Neottieae tribe,  
**mycoheterotrophy**  
arose repeatedly, by  
convergent evolution  
among **green species**

... predisposition ?



In **mixotrophic** orchid species, achlophyllous variants survive as pure heterotrophs!

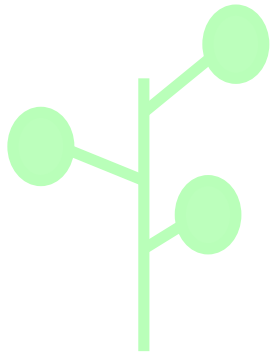
*Cephalanthera damasonium*

(P. Pernot & F.  
Dusak)

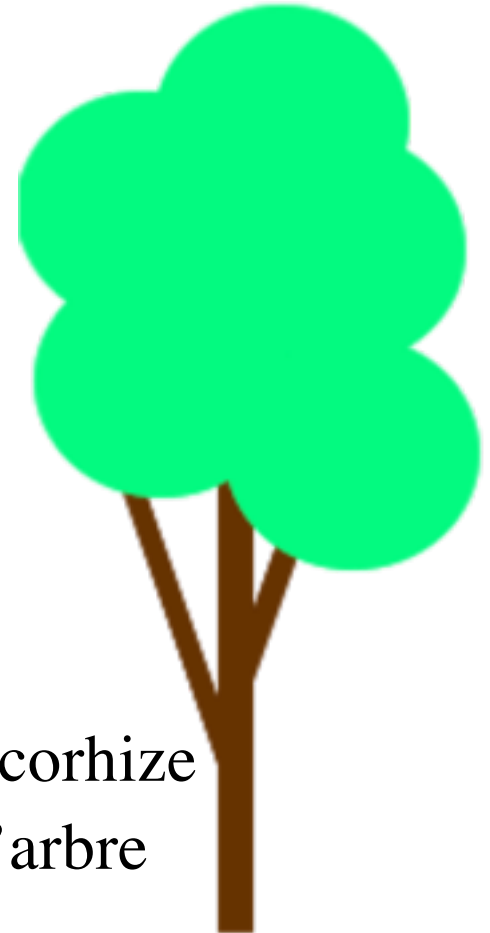


# UN RESEAU !

PLANTE  
CHLOROPHYLLIENNE



ARBRE



Mycorhize  
d'orchidée

**CHAMPIGNON**

Mycorhize  
d'arbre

Flux de sucre



**La Réunion an « isolated »  
multi-ecosystem island**





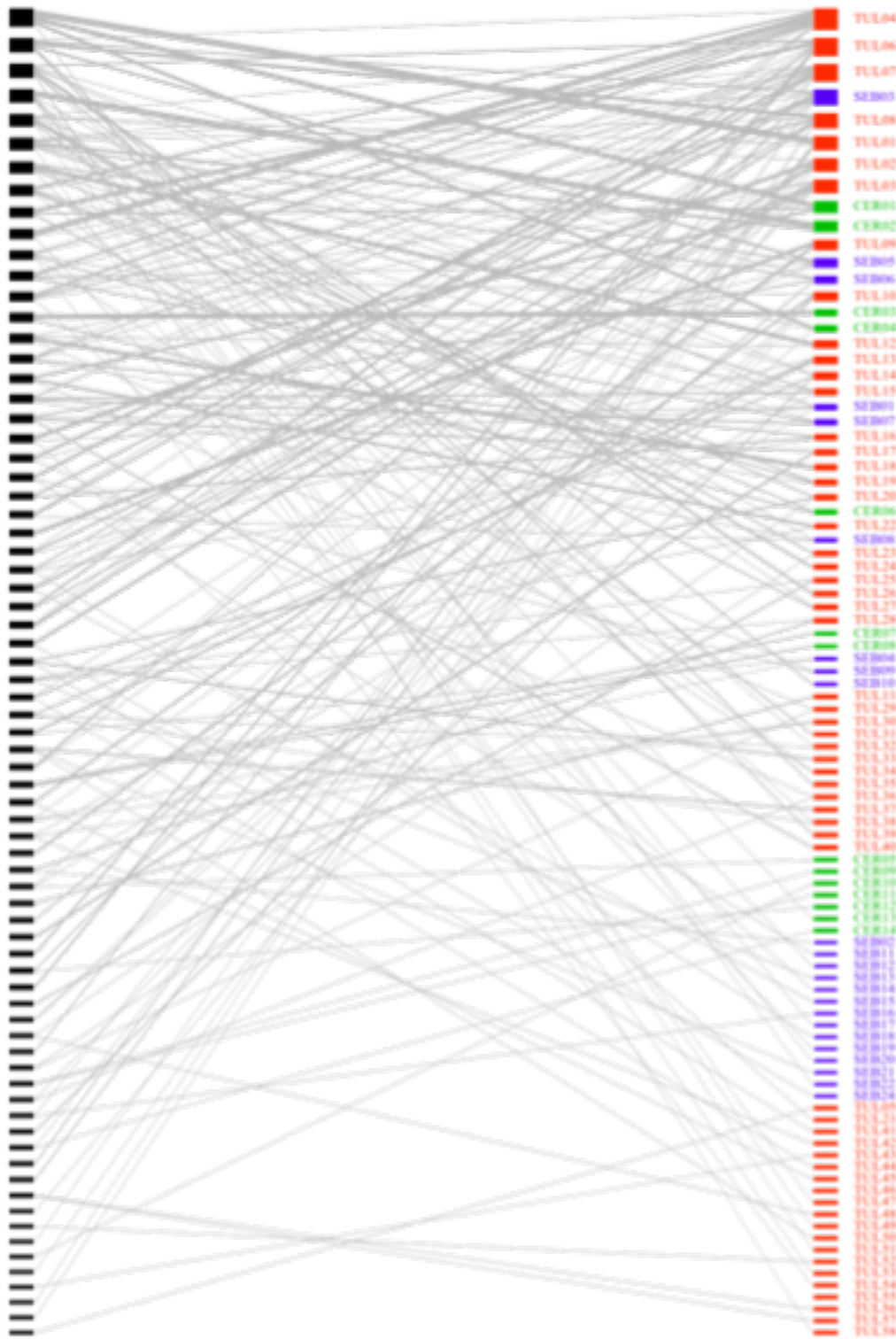
Martos *et al.* *Mol. Ecol.*, 2012

**78 orchidées terrestres et épiphytes  
452 plantes étudiées**



*Martos et al. Mol. Ecol., 2012*

*Habenaria chloroleuca*  
*Angraecum expansum*  
*Benthamia spiralis*  
*Beclardia macrostachya*  
*Calanthe sylvatica*  
*Jumellea rossii*  
*Phajus pulchellus*  
*Angraecum barbotanicum*  
*Benthamia nigrescens*  
*Jumellea triquetra*  
*Angraecum striatum*  
*Bulbophyllum macrocarpum*  
*Bulbophyllum nutans*  
*Cryptopus elatus*  
*Liparis disticha*  
*Angraecum obtusifolium*  
*Angraecum minutum*  
*Angraecum corrugatum*  
*Cynorkis boryana*  
*Liparis scaposa*  
*Aeranthes strangulata*  
*Oberonia disticha*  
*Aeranthes arachnites*  
*Angraecum cadetii*  
*Angraecum liliodorum*  
*Angraecum patens*  
*Angraecum appendiculatum*  
*Cynorkis purpurescens*  
*Habenaria sp. JF1*  
*Jumellea stenophylla*  
*Liparis flavescens*  
*Phajus tetragonus*  
*Angraecum caulescens*  
*Angraecum eburneum*  
*Angraecum ramosum*  
*Bulbophyllum longiflorum*  
*Bulbophyllum variegatum*  
*Jumellea exilis*  
*Oreonia rosea*  
*Polystachya mauritiana*  
*Angraecum cornigerum*  
*Angraecum cucullatum*  
*Angraecum mauritianum*  
*Angraecum madagascariense*  
*Benthamia latifolia*  
*Bulbophyllum prismaticum*  
*Cynorkis coccinelloides*  
*Cynorkis squamosa*  
*Disa barbotica*  
*Platyplepis occulta*  
*Polystachya californica*  
*Aerangis punctata*  
*Angraecopsis parviflora*  
*Angraecum comatum*  
*Angraecum sp. FMS*  
*Angraecum tenuifolium*  
*Beclardia sp. TP84*  
*Bulbophyllum denhamii*  
*Eulophia pulchra*  
*Habenaria praeculta*  
*Holothrix villosa*  
*Jumellea fragrans*  
*Liparis caulescens*  
*Polystachya fastiformis*  
*Angraecum pectinatum*  
*Ariostoma mauritiana*  
*Bulbophyllum pusillum*  
*Corymborkis corymbis*  
*Cynorkis fastigiata*  
*Graphorkis concolor*  
*Jumellea recta*  
*Oreoclasia monophylla*  
*Satyrium amoenum*



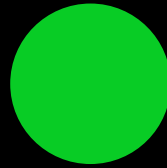
# Un réseau à 360 liens

CHAMPIGNONS:

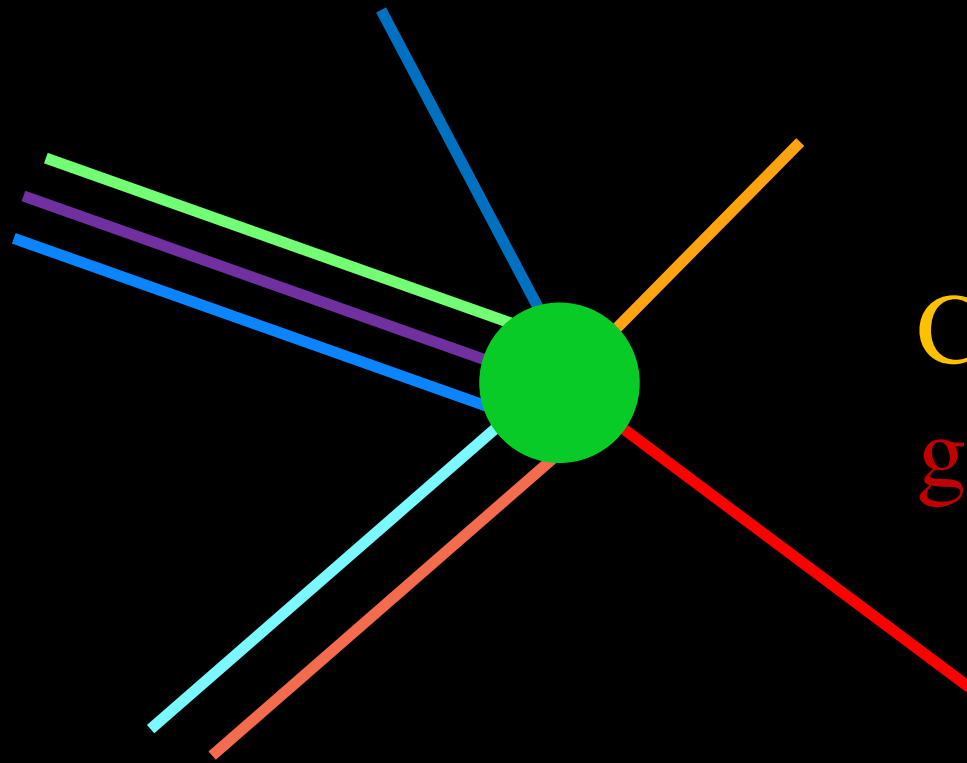
TULASNELLALES  
 SERENDIPITACEAE  
 CERATOBASIDIALES

**Holobionte...**

plante

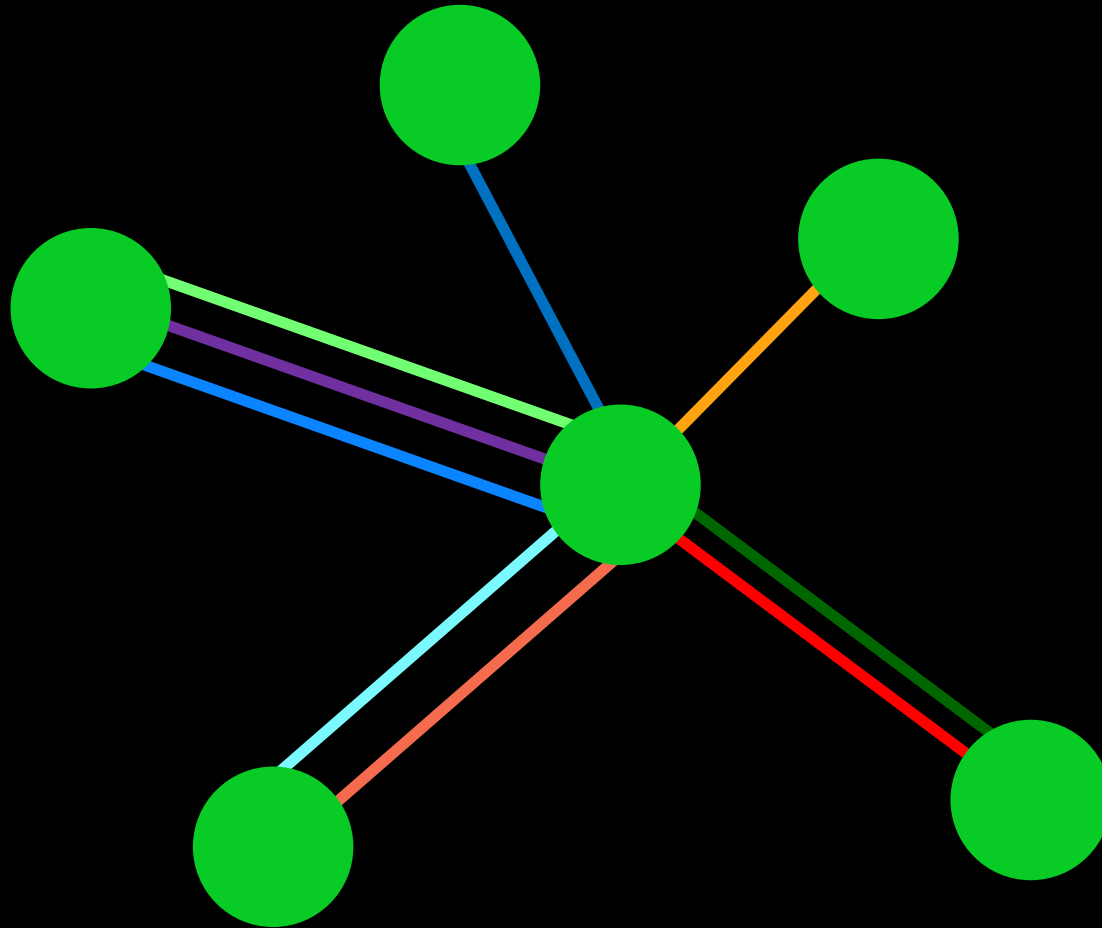


**Holobionte...**

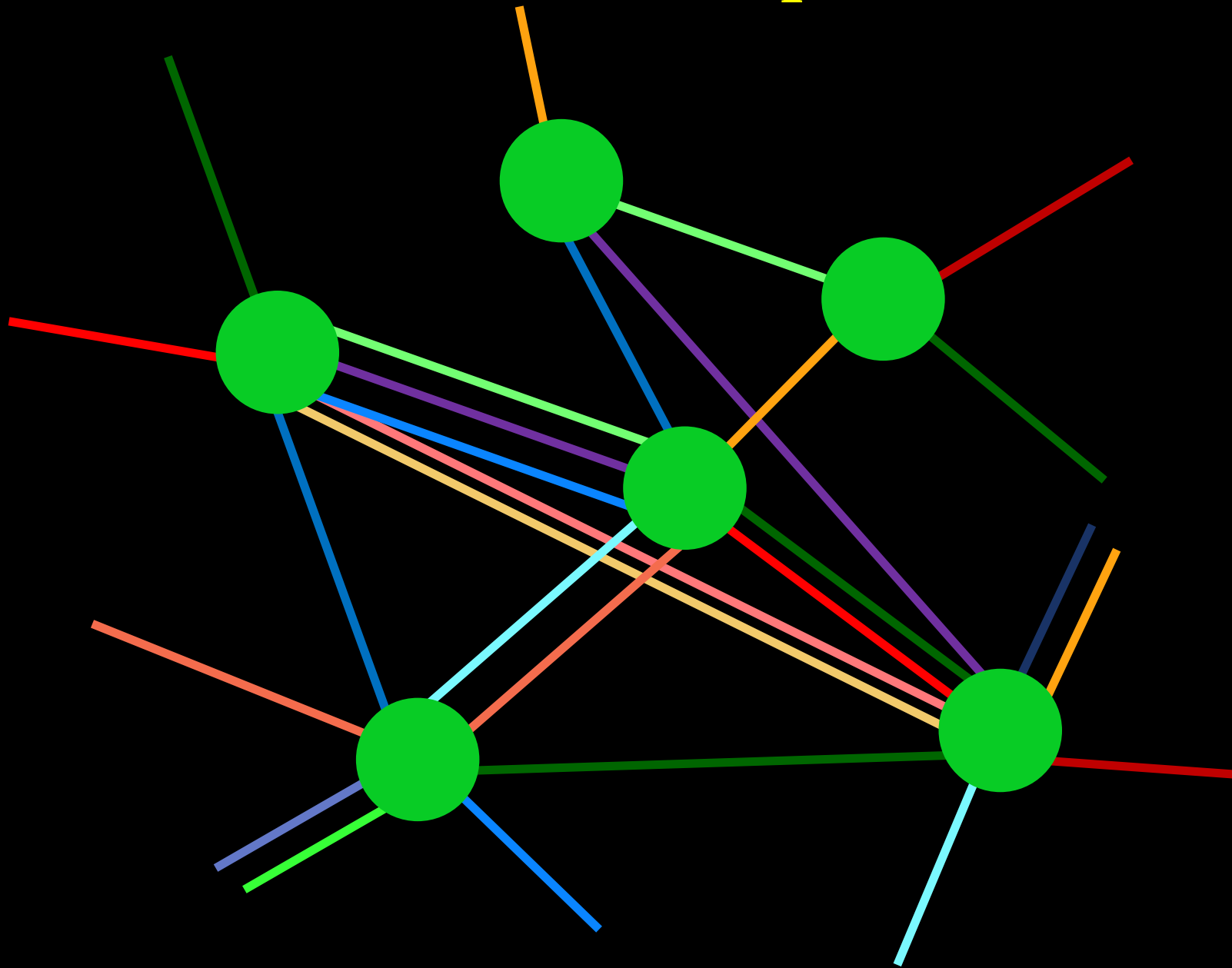


Champi-  
gnons

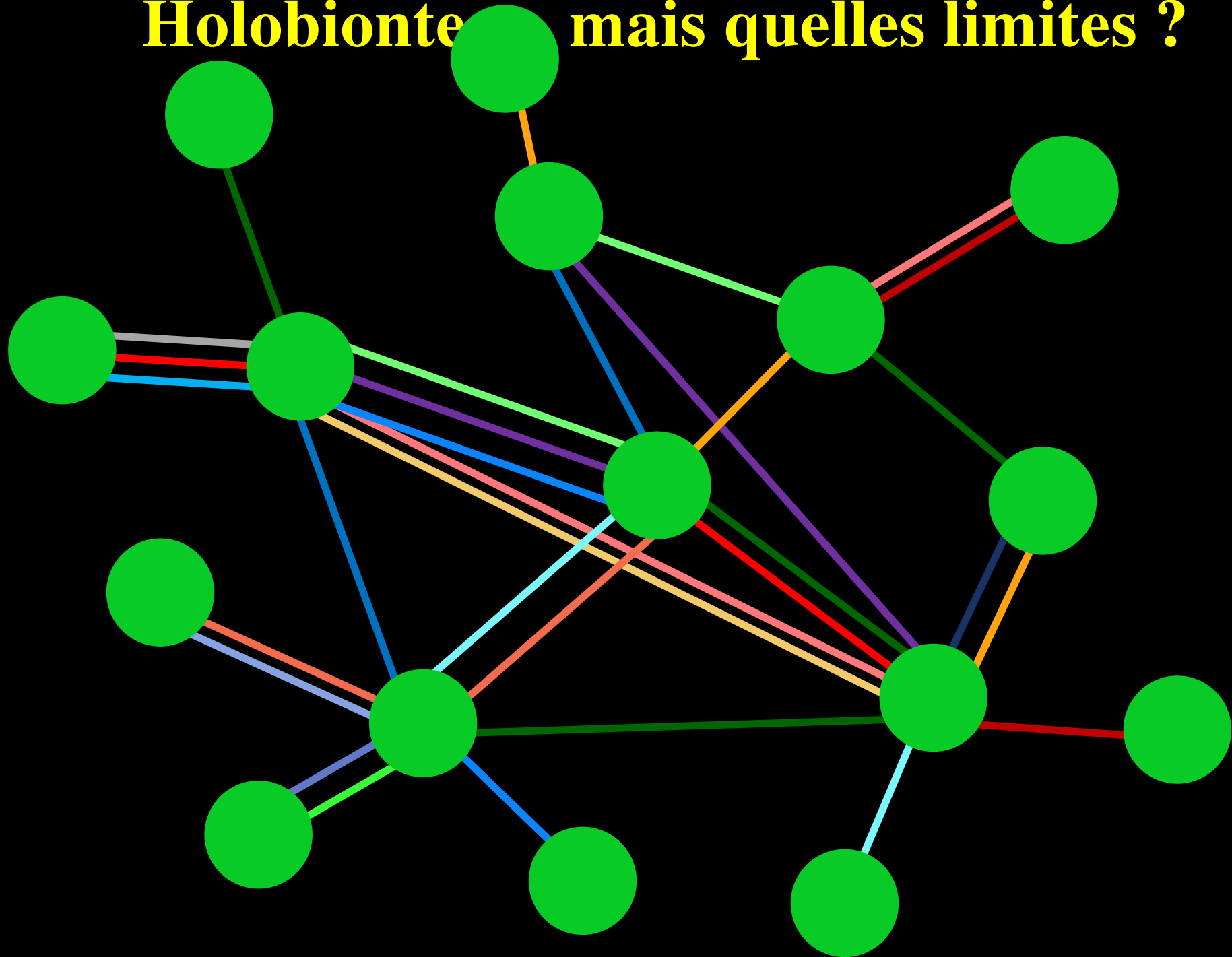
# Holobionte... mais quelles limites ?



# Holobionte... mais quelles limites ?



# Holobionte mais quelles limites ?





# Holobionte... mais quelles limites ?



Mycorhizes



Rhizobactéries



Acariens protecteurs



Pollinisateurs

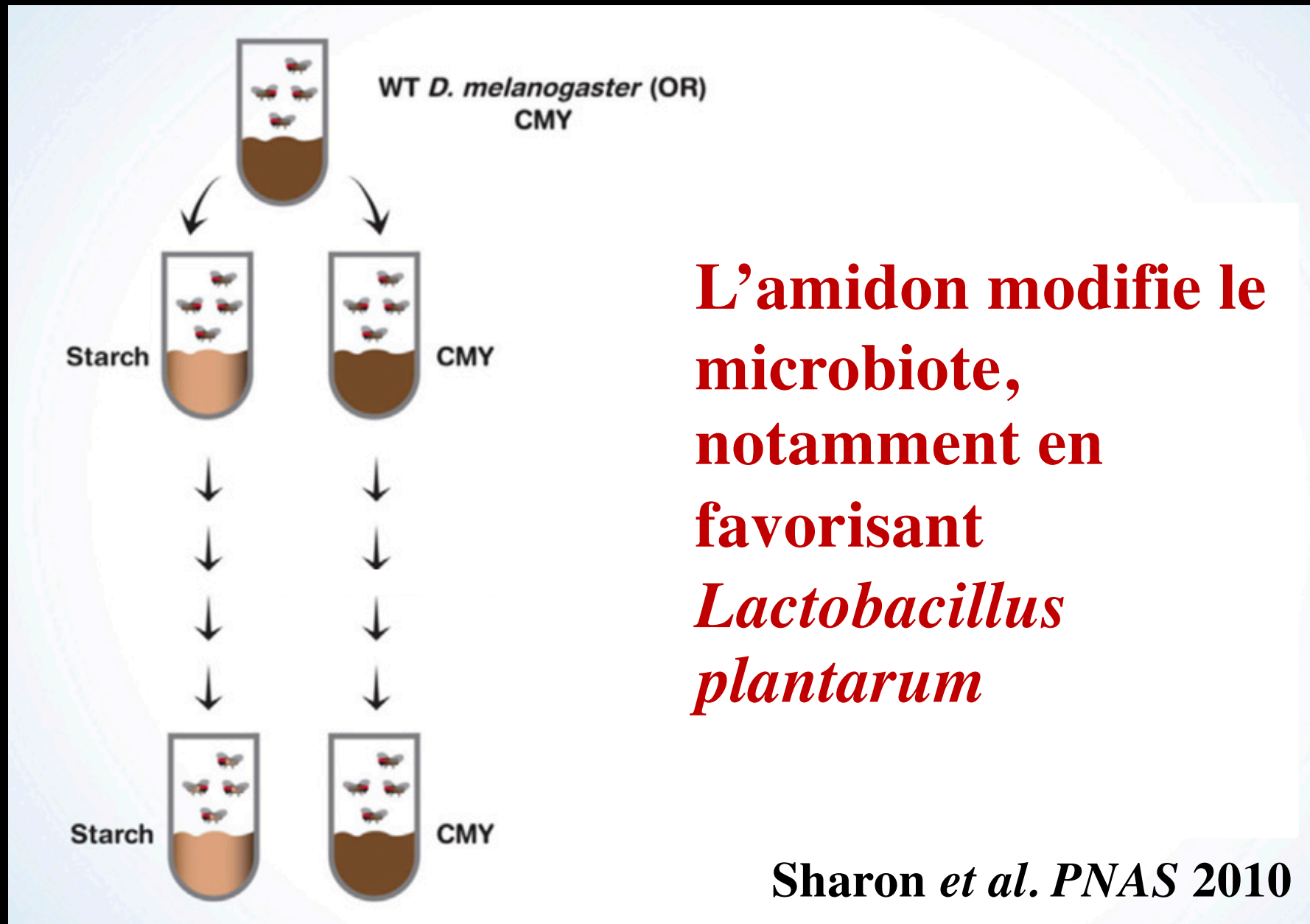
**Les plantes aussi...**

**De l'holobionte, et de la dépendance**

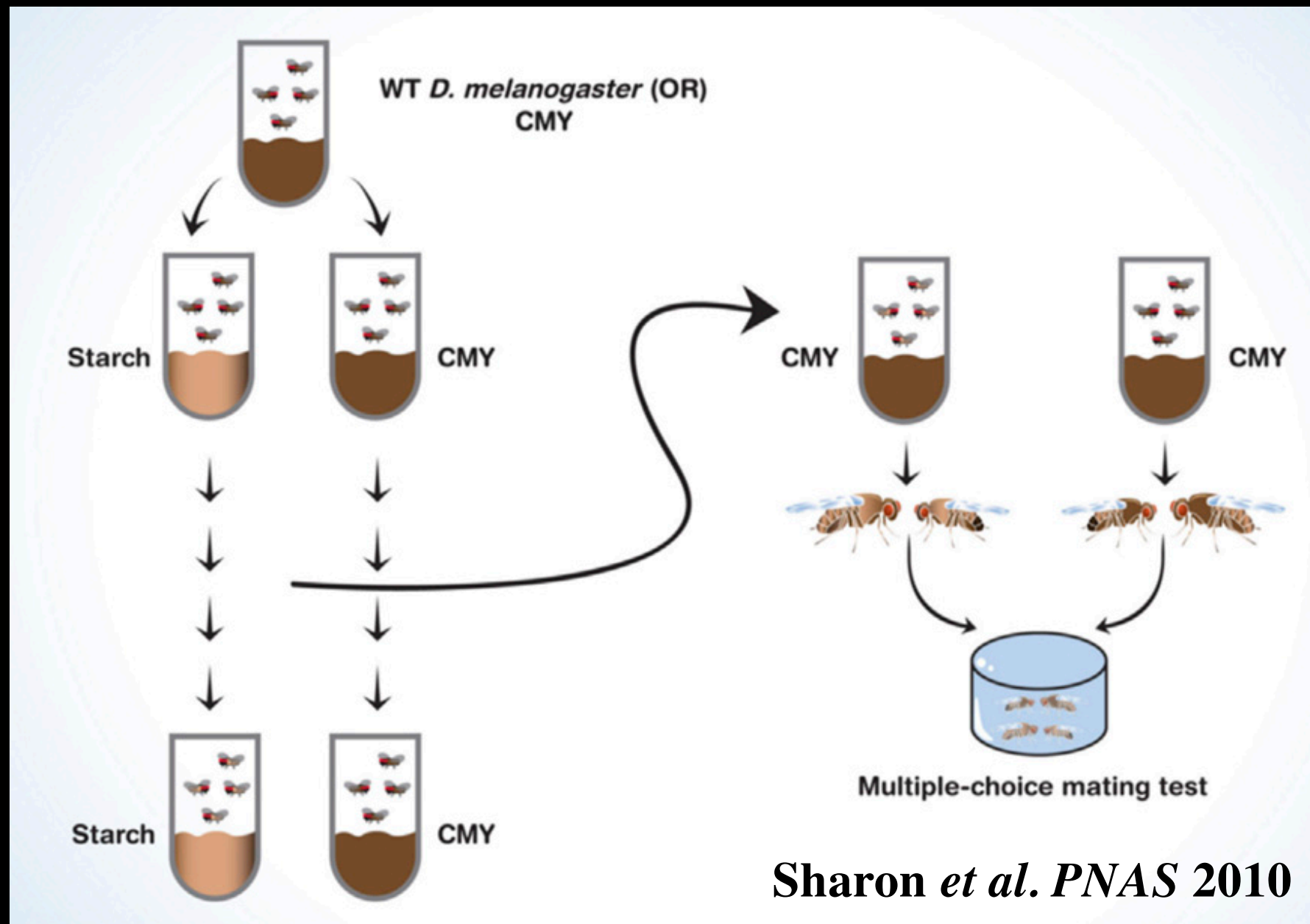
**Les réseaux d'interaction**

**Les réseaux d'interaction invisibles ?**

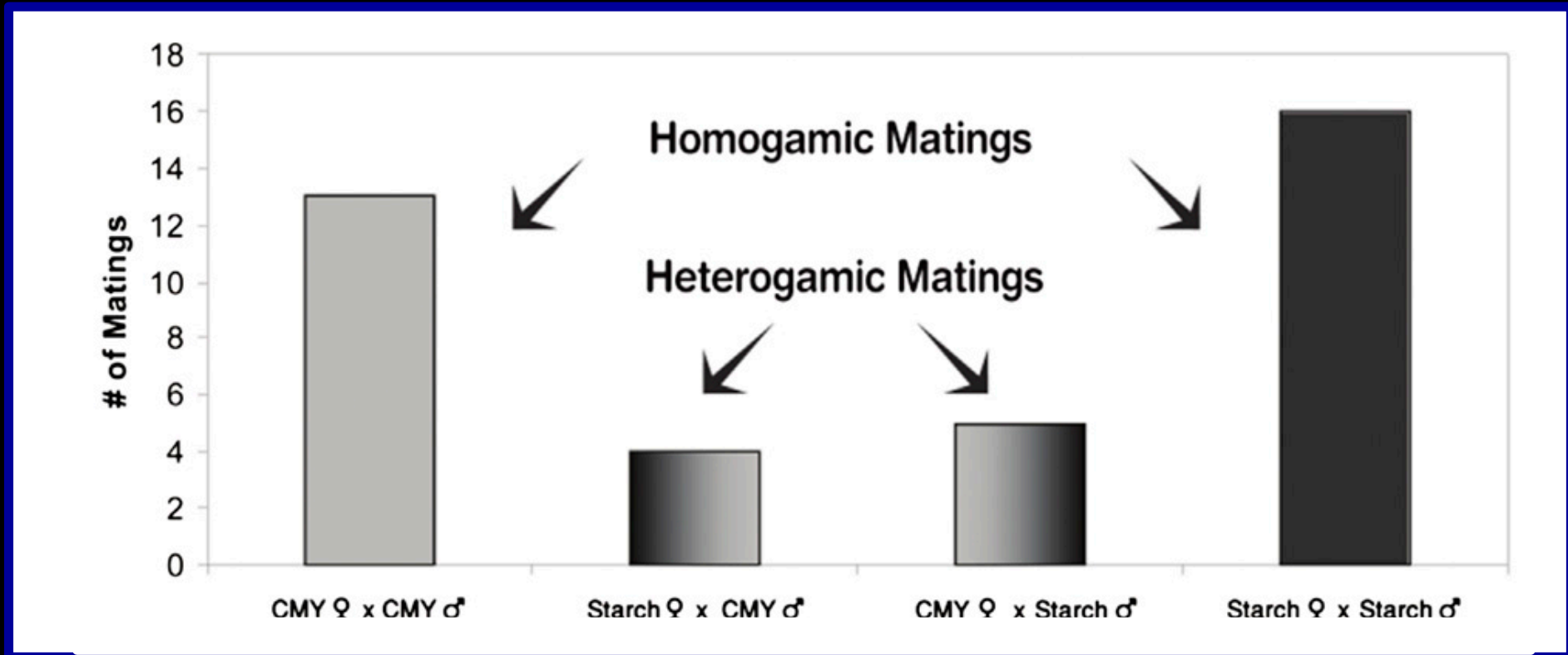
# Un réseau aux liens invisibles



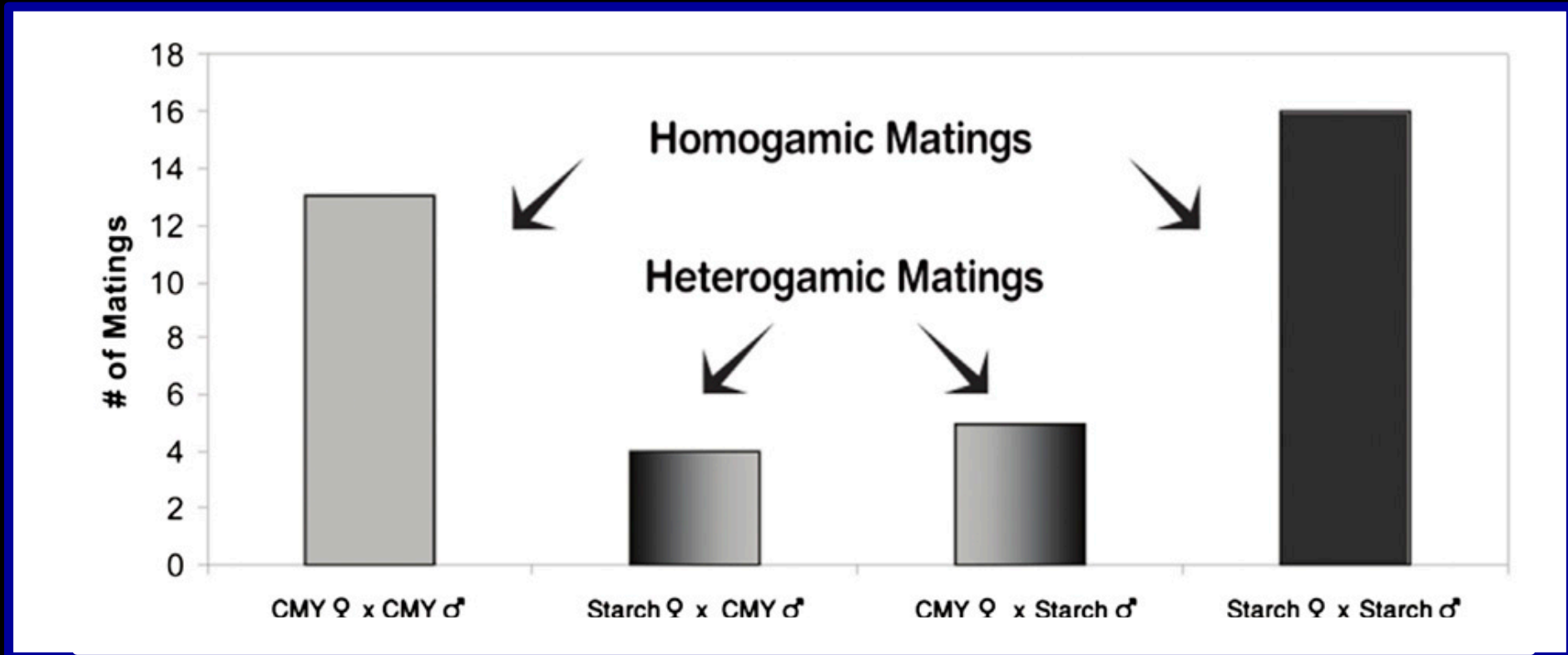
# Un réseau aux liens invisibles



# Un réseau aux liens invisibles



# Un réseau aux liens invisibles

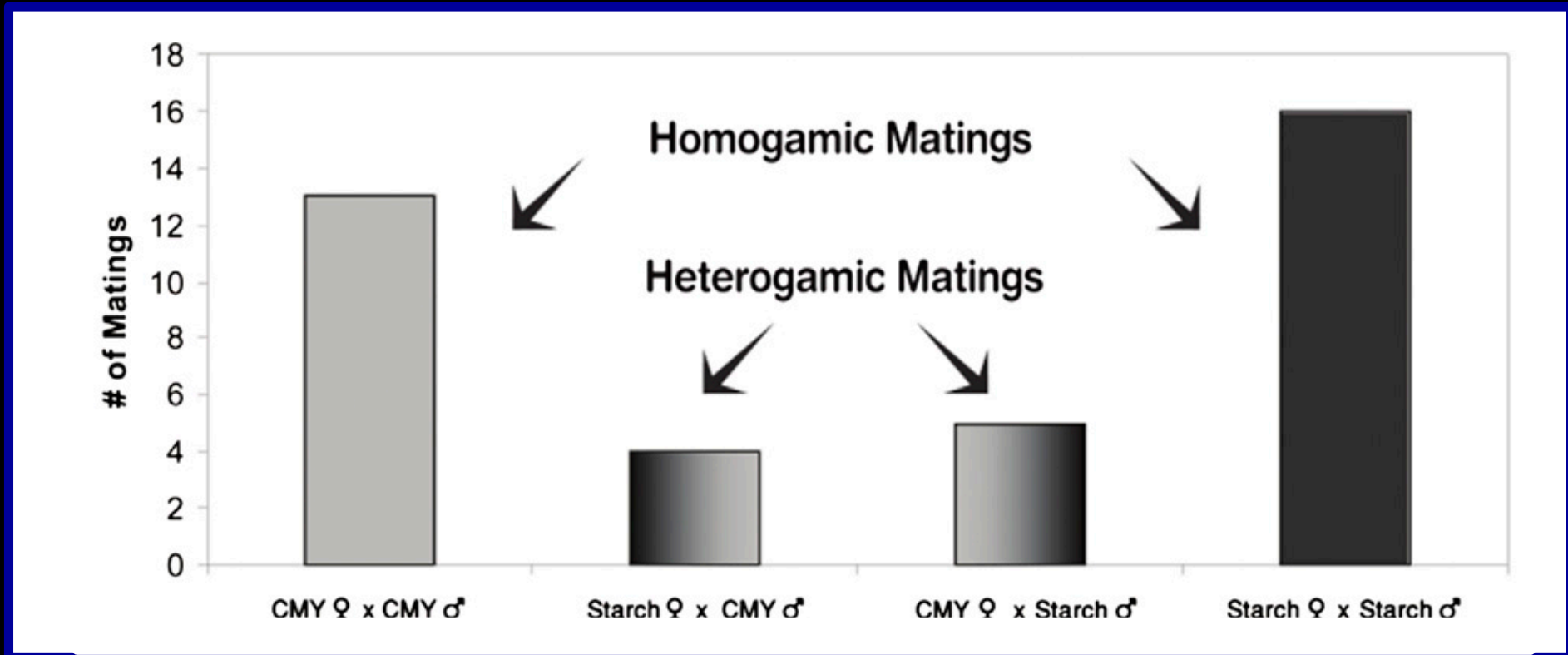


Biais de préférence homogame

$0.27 \pm 0.02$   $P < 0.001$

Sharon *et al.* PNAS 2010

# Un réseau aux liens invisibles



Biais de préférence homogame

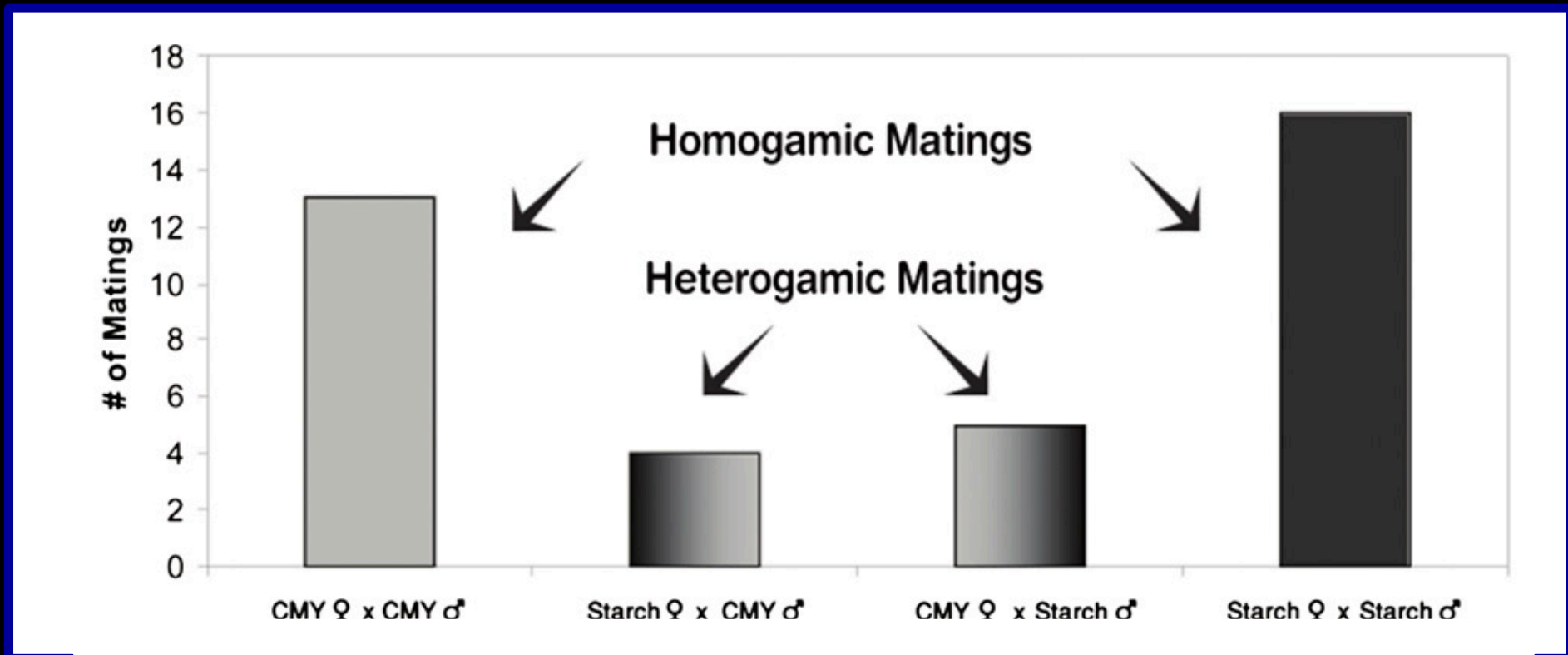
$0.27 \pm 0.02$   $P < 0.001$

Après antibiothérapie

$0.01 \pm 0.03$   $P = 0.448$

Sharon *et al.* PNAS 2010

# Un réseau aux liens invisibles



Biais de préférence homogame

$0.27 \pm 0.02$   $P < 0.001$

Après antibiothérapie

$0.01 \pm 0.03$   $P = 0.448$

Antibiothérapie puis ré-infection  
des 'Starch' par *Lactobac. plantarum*

$0.19 \pm 0.05$   $P = 0.019$



# Un réseau aux liens invisibles



D. Martiré

# Un réseau aux liens invisibles



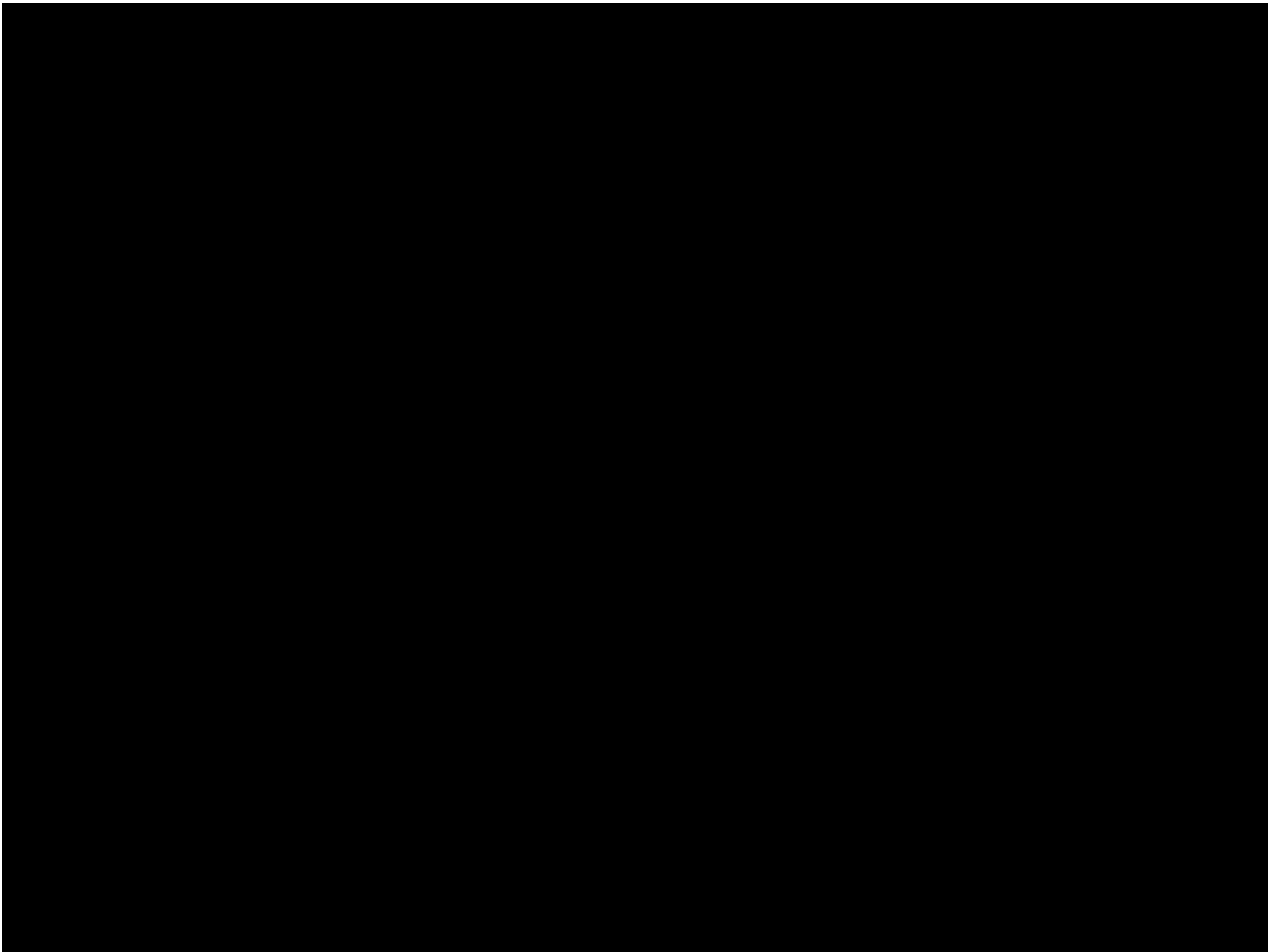
# Un réseau aux liens invisibles

Des comportements non-indépendants  
entre individus, de même espèce ou non !

>> Réseau entre macro-organismes

# Un réseau aux liens invisibles

L'holobionte est une (tardive) tentative de sauver la notion *d'organisme* ou *de clôture opérationnelle* dans un monde en réseau



# Un réseau aux liens invisibles



