

# La lente émergence de la pensée sur la coopération

**Marc-André SELOSSE**



Muséum national d'Histoire naturelle  
Institut Universitaire de France et Univ. de Gdansk

# **L'émergence tardive de la coopération**



Darwin (*On the Origin of Species*), 1859:

‘Each species, even where it most abounds, is constantly suffering enormous destruction at some period of its life, **from enemies or from competitors** for the same place and food.’

‘... natural **selection acts by competition**’



# MUTUALISME

Le secours entre les animaux est ainsi tout aussi varié que celui que l'on trouve parmi les hommes : les uns reçoivent le domicile, d'autres la table, et, d'autres le vivre et le couvert; on trouve un système complet de logement et d'alimentation, à côté des institutions philozoïques les mieux combinées. Mais si, à côté de ces pauvres, on en voit d'autres qui se rendent mutuellement des services, il serait peu flatteur de les qualifier tous de parasites ou de commensaux. Nous croyons être plus juste à leur égard en les appelant *Mutualistes*, et le *mutualisme* prendra place à côté du *commensalisme* et du *parasitisme*.

Van Beneden, 1875 - un terme connoté socialement..

## **Le Devoir Mutuel, 1828**

**Art. I.** Le Devoir mutuel est une institution fondée par les chefs d'atelier de la Fabrique de la soie à Lyon et ses environs pour **améliorer progressivement leur position morale et physique.**

**Art. II.** Ils s'engagent :

1° à pratiquer les principes d'équité, d'ordre et de fraternité.

2° à unir leurs efforts pour obtenir un salaire raisonnable de leur main-d'œuvre...

4° à **se prêter mutuellement tous les ustensiles** de leur profession...

7° à **acheter collectivement** les objets de première nécessité pour leur ménage.

# MUTUALISME

“ L'égalité des personnes est la première condition du nivellement des fortunes, laquelle ne résultera que de la mutualité ” (Proudhon, 1864)

Mutuellisme social : “ système social basé sur l'égale liberté, la réciprocité, (...) la **coopération**, (...) et l'association volontaire en vue de la défense contre l'agression et l'agresseur ” (Proudhon, 1875)



**Schwendener,  
1866**



# SYMBIOSE – sens large

“das fortwährende und innige **Zusammenleben** ungleichnamiger Organismen” (De Bary, “De la Symbiose”, 1879) :

- une définition conforme à l'étymologie
- un terme sans doute subtilisé à Frank (“Symbiotismus”, 1877)
- ne préjuge pas des échanges (inclut les parasites biotrophes par exemple)

# SYMBIOSE – sens large

“das fortwährende und innige **Zusammenleben** ungleichnamiger Organismen” (De Bary, “De la Symbiose”, 1879) :

“l'exemple le plus connu et le plus parfait de symbiose est le parasitisme complet, c'est-à-dire l'état dans lequel un animal ou une plante naît, vit et meurt sur ou dans un organisme appartenant à une autre espèce.”

# SYMBIOSE – sens strict

Frank, 1877 (sur les lichens) :

“ De l’union de deux organismes (...) résulte la formation d’une forme propre. (*C’est...*) le “**vivre ensemble**”. C’est pourquoi on peut recommander de désigner ces cas sous le terme *Symbiotismus* (...). Une relation où le parasite se soucie aussi de la nutrition de son hôte revêt **une autre signification que le parasitisme ”**

# SYMBIOSE – sens large

“das fortwährende und innige **Zusammenleben** ungleichnamiger Organismen” (De Bary, “De la Symbiose”, 1879) :

“Quelle que soit l’importance qu’on accorde à la sélection naturelle dans la transformation des espèces (...), il est souhaitable qu’un **autre champ de recherche** s’ouvre à l’expérimentation.”

# SYMBIOSE – sens strict

Volume 85 Number 3, 2021

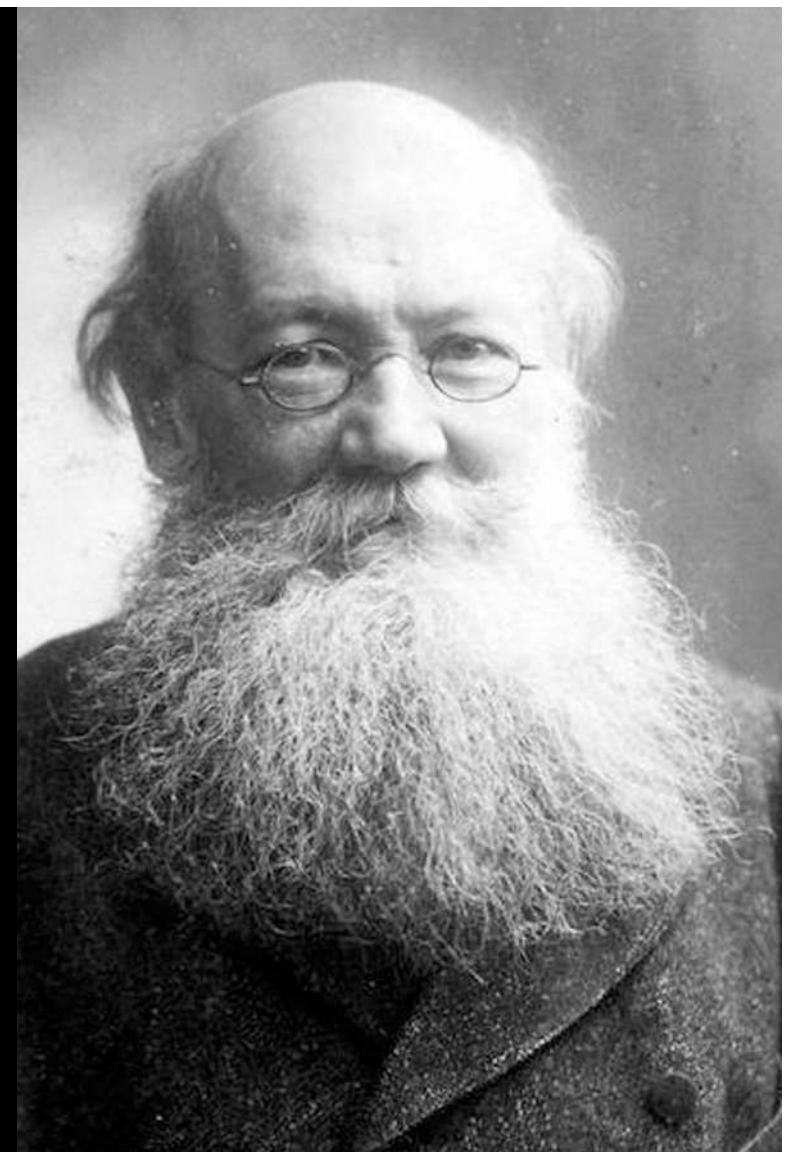
ISSN 0334–5114

# SYMBIOSIS

 Springer

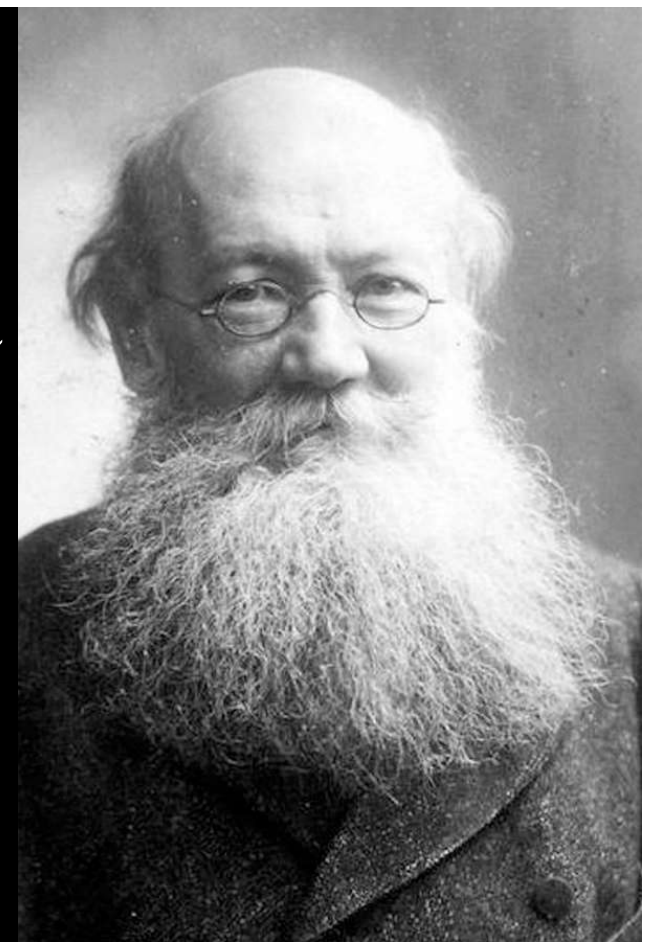
In collaboration with the  
International Symbiosis Society  
<http://iss-symbiosis.org>

" J'étais persuadé qu'**admettre une impitoyable guerre pour la vie, au sein de chaque espèce,** et voir dans cette guerre une condition de progrès, c'était avancer non seulement une **affirmation sans preuve,** mais n'ayant pas même l'appui de l'observation directe. "



Kropotkine P. (1902). *L'Entraide, un facteur de l'évolution*

‘L’entraide est autant une loi de la vie animale que la lutte réciproque, mais (...), comme facteur de l’évolution, la première a probablement une importance beaucoup plus grande, en ce qu’elle favorise le développement (...) de caractères éminemment propres à assurer la conservation et le développement de l’espèce ; elle procure aussi, avec moins de perte d’énergie, une plus grande somme de bien-être et de jouissance pour chaque individu.’ Kropotkine P. (1902)



Darwin (*On the Origin of Species*), 1859:

" Natural selection **cannot possibly produce any modification in any one species exclusively for the good of another species.** (...)

If it could be proved that any part of the structure of any one species had been formed for the exclusive good of another species, it would annihilate my theory, for such could not have been produced through natural selection. "

Darwin (*On the Origin of Species*), 1859:

" Natural selection **cannot possibly produce any modification in any one species exclusively for the good of another species.** (...)

If it could be proved that any part of the structure of any one species had been formed for the exclusive good of another species, it would annihilate my theory, for such could not have been produced through natural selection. "



**REMARKS ON THE NOMENCLATURE OF EUROPE**

*(Note: The text in this table is small and difficult to read, but it appears to be a list of geographical names and their corresponding locations.)*

**CRUCHLEY'S**  
 ENLARGED MAP OF  
**EUROPE**  
 COMPILED FOR THE USE OF  
**COLLEGES AND SCHOOLS.**  
 SHOWING THE  
 PRINCIPAL PHYSICAL FEATURES &c.  
 PUBLISHED BY J. CRUCHLEY, MAPSELLER, BUCKINGHAM STREET.



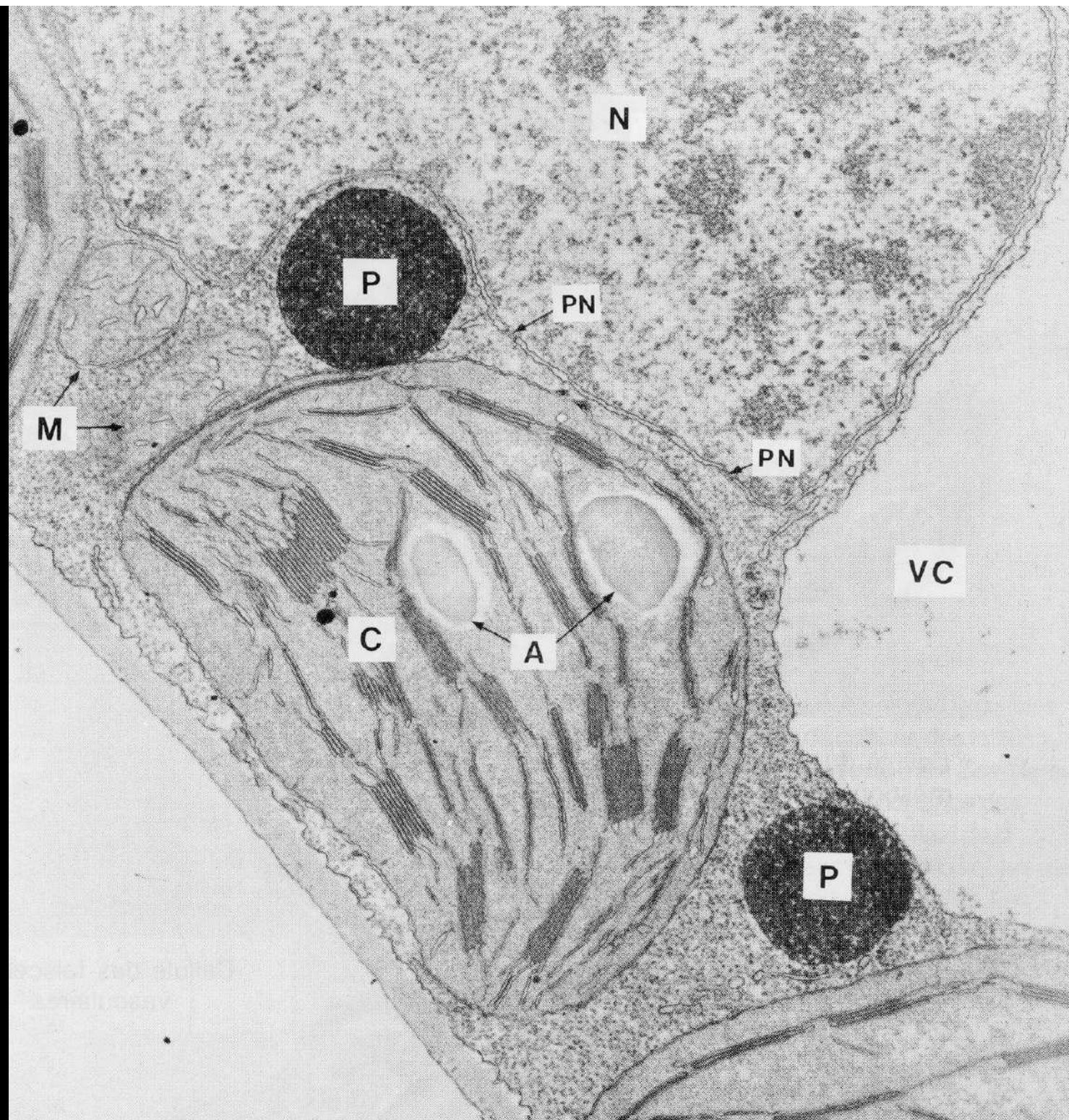


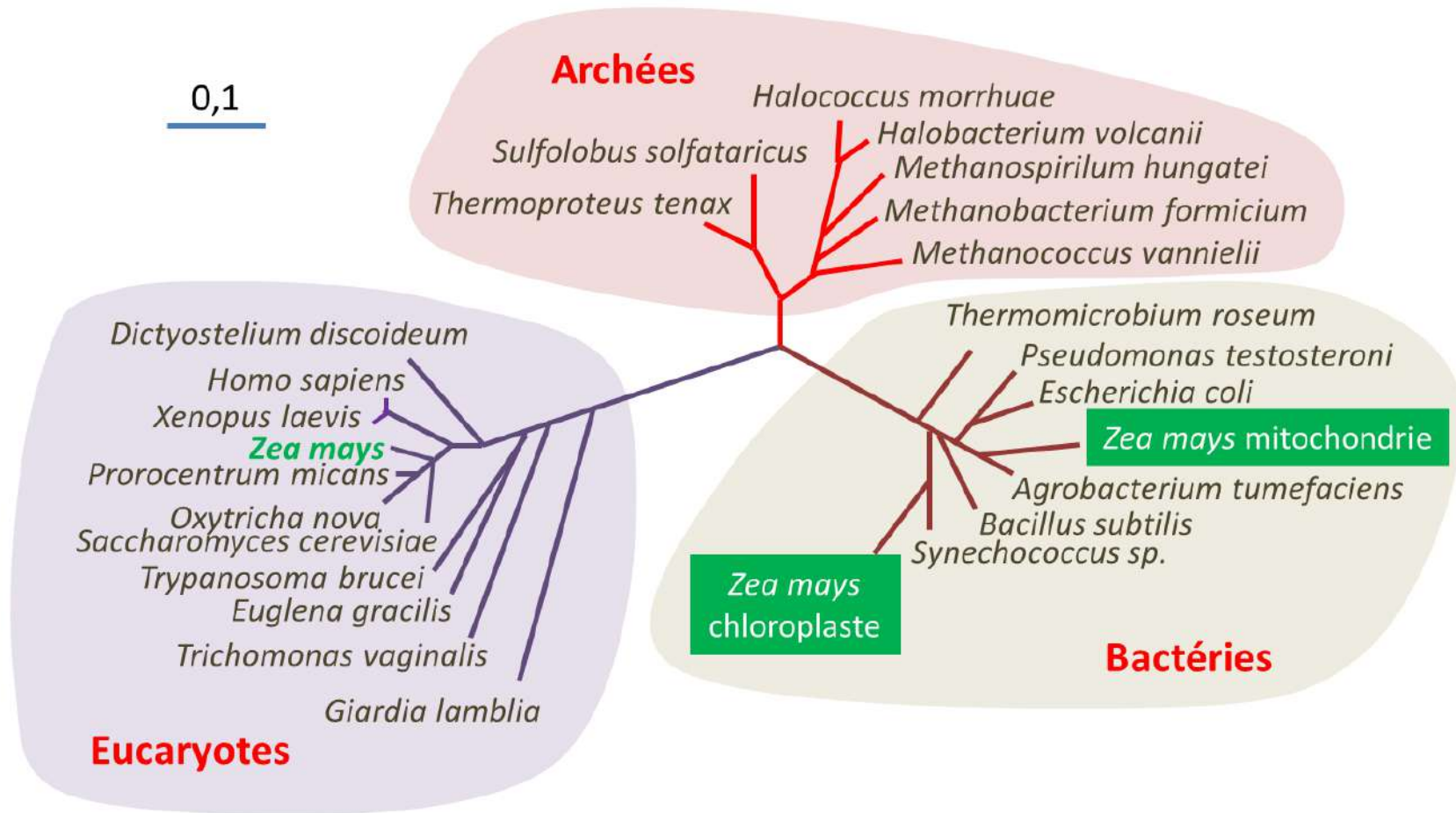


**L'émergence tardive de la coopération**

**L'émergence tardive de l'endosymbiose**







Arbre phylogénétique non raciné des trois domaines du vivant, réalisé à l'aide d'un gène de la petite sous-unité ribosomale (barre : 0,1 substitution par site). Les positions des trois génomes (nucléaire, mitochondrial et chloroplastique) contenus dans le maïs (*Zea mays*) sont indiquées — *Synechococcus* est une cyanobactérie

## Schimper, 1883

" s'il est définitivement établi que les plastes ne sont pas formés *de novo* dans la cellule-œuf, alors leur situation dans la cellule où ils se trouvent rappelle celle de symbiontes. Peut-être une plante verte n'est-elle que l'union entre un organisme incolore et un microbe possédant des pigments chlorophylliens "

PAUL PORTIER

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris.  
Professeur à l'Institut océanographique.

# LES SYMBIOTES

*Toute synthèse biologique est  
l'œuvre d'un symbiote VIVANT.*

AVEC 63 FIGURES DANS LE TEXTE ET 1 PLANCHE

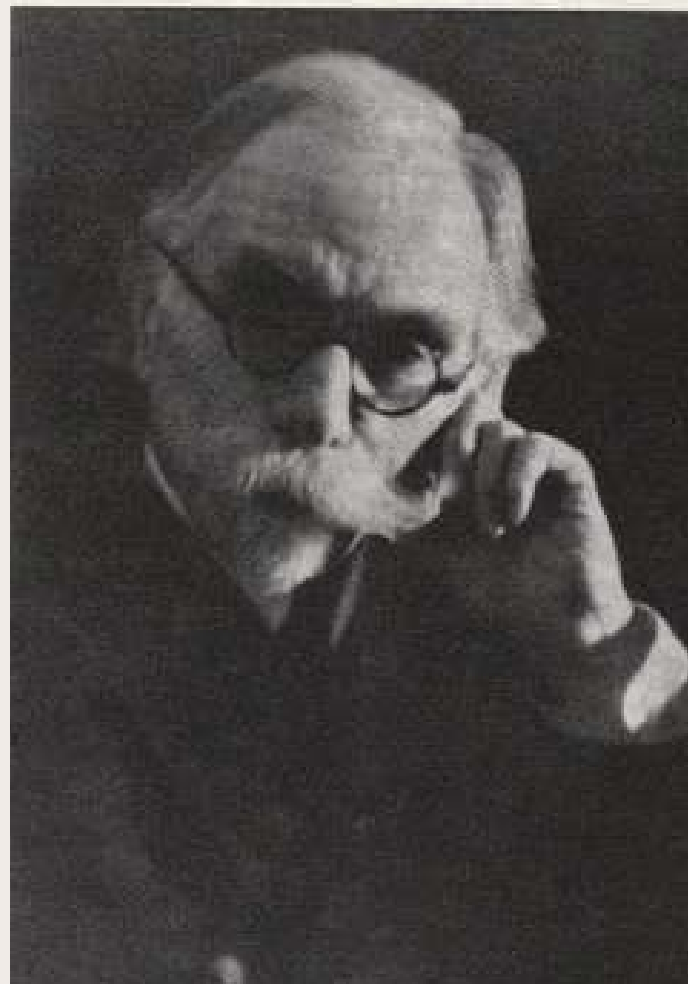
MASSON ET C<sup>IE</sup>, EDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE  
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS, VI<sup>e</sup>

1918

PAUL PORTIER

22 Mai 1866 - 26 JANVIER 1962



PAUL PORTIER

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris.  
Professeur à l'Institut océanographique.

# LES SYMBIOTES

*Toute synthèse biologique est  
l'œuvre d'un symbiote VIVANT.*

AVEC 63 FIGURES DANS LE TEXTE ET 1 PLANCHE

MASSON ET C<sup>IE</sup>, EDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE  
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS, VI<sup>e</sup>

1918

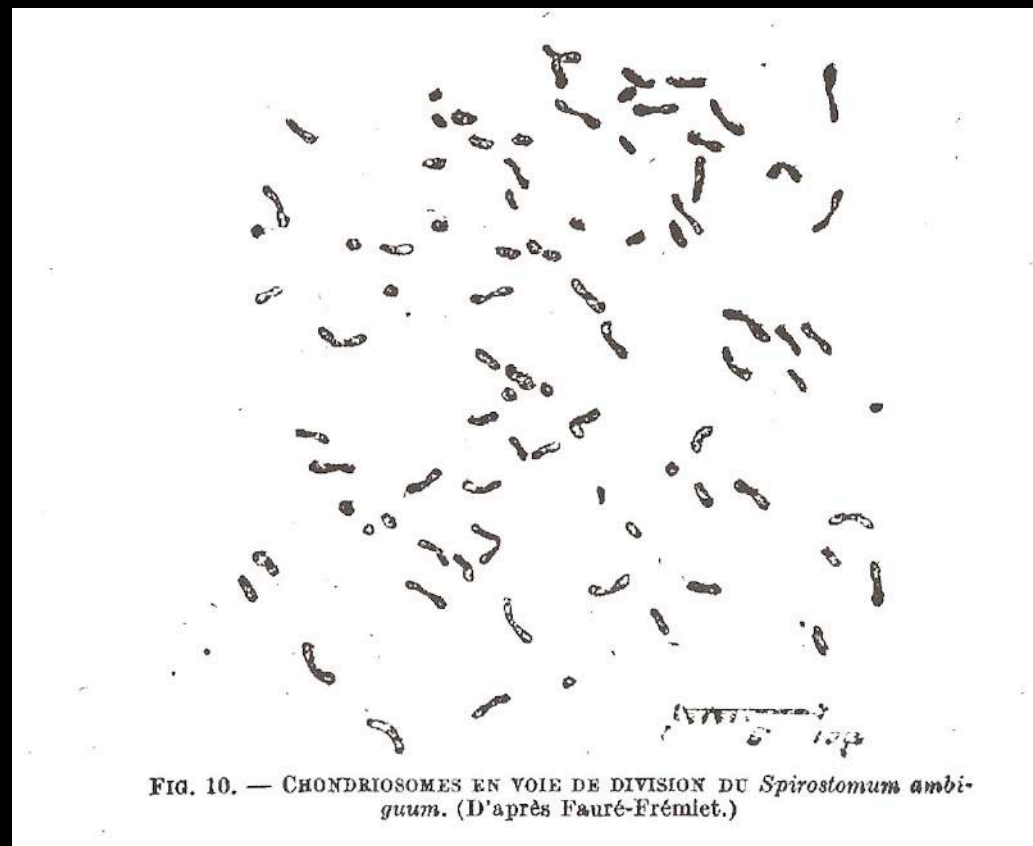
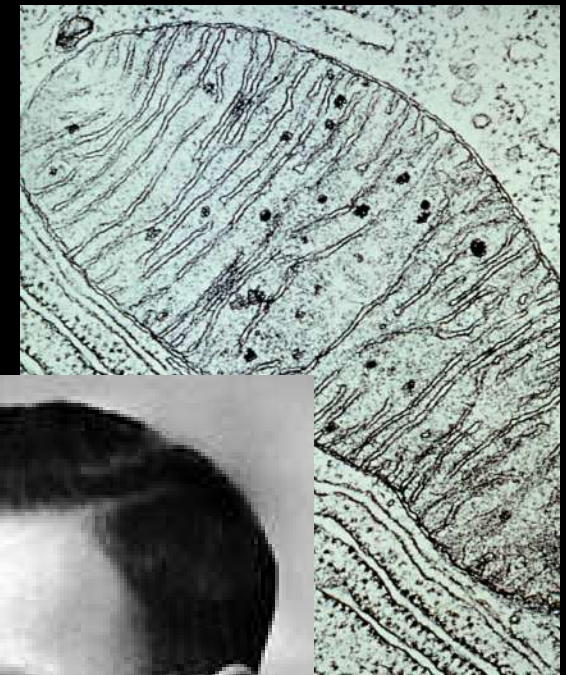
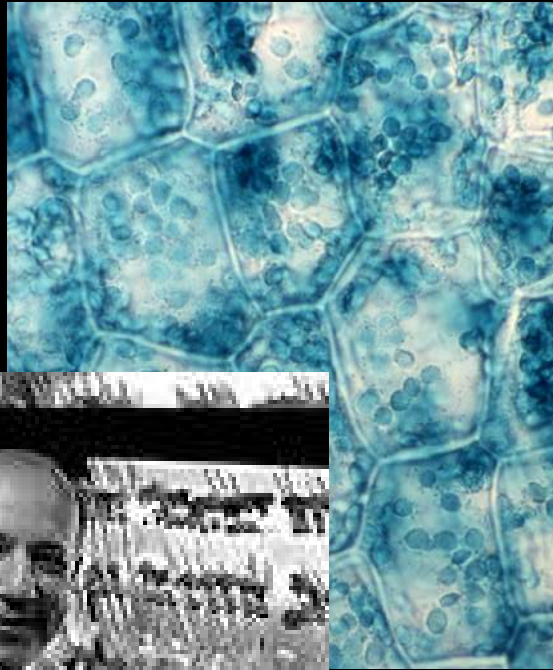


FIG. 10. — CHONDRIOSOMES EN VOIE DE DIVISION DU *Spirostomum ambiguum*. (D'après Fauré-Frémlet.)



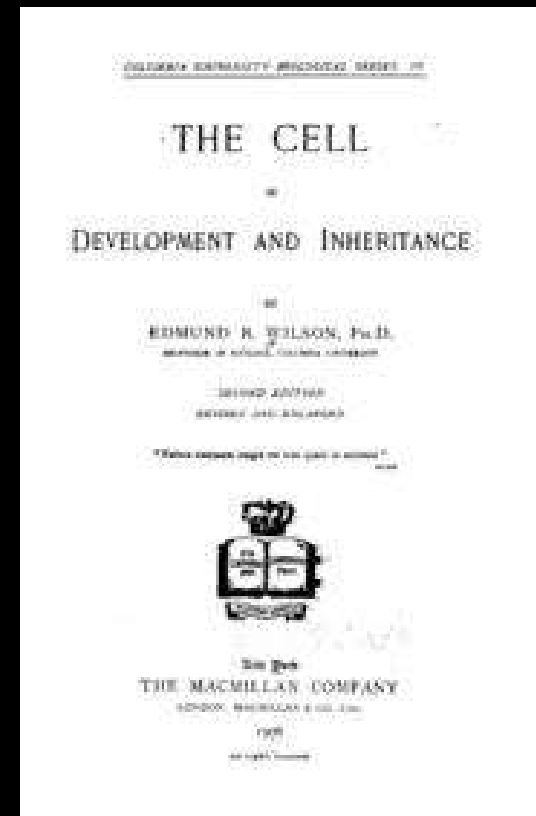
Melvin Calvin

&

Hans Krebs



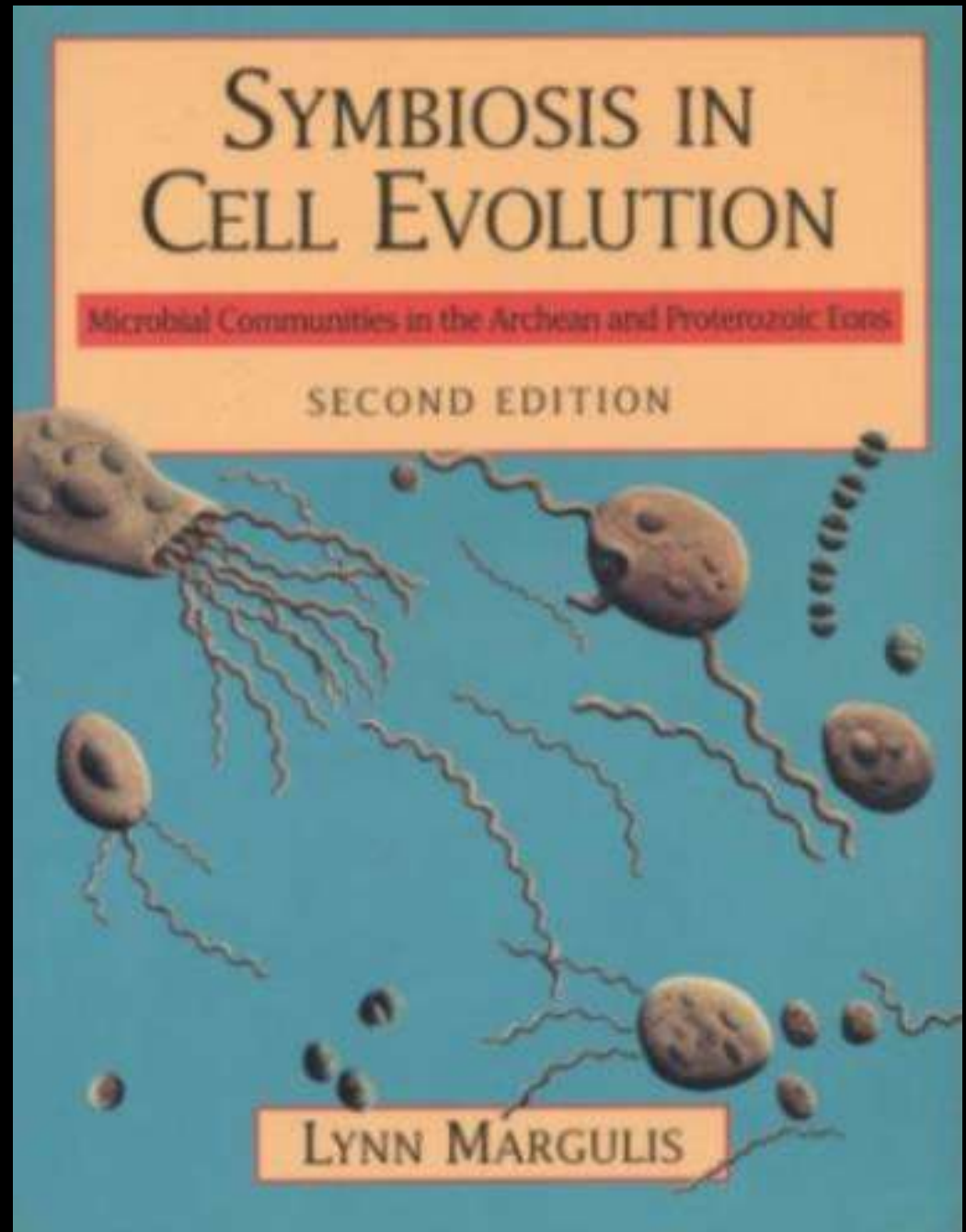
Edmund  
Wilson  
1856-1939

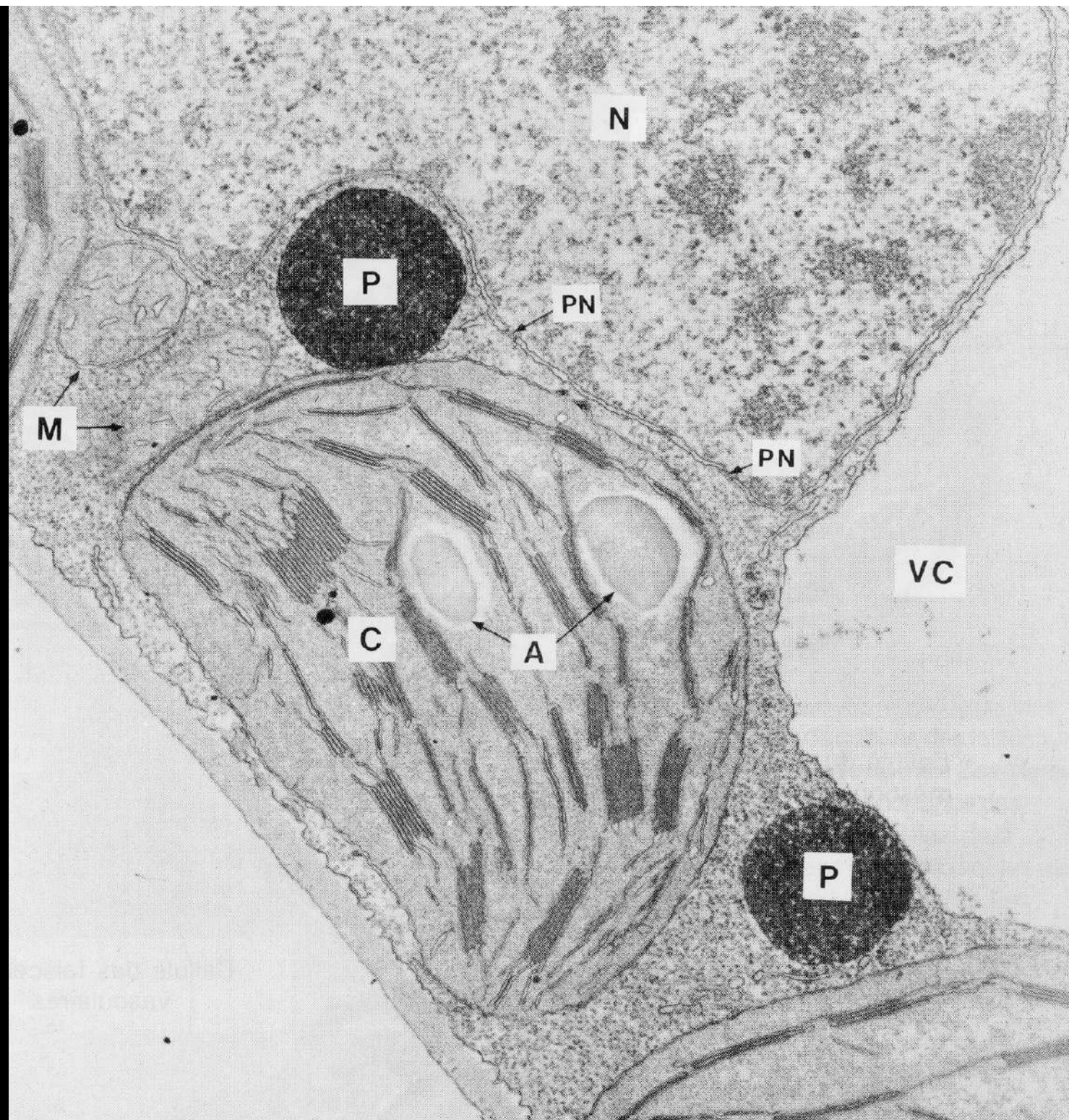


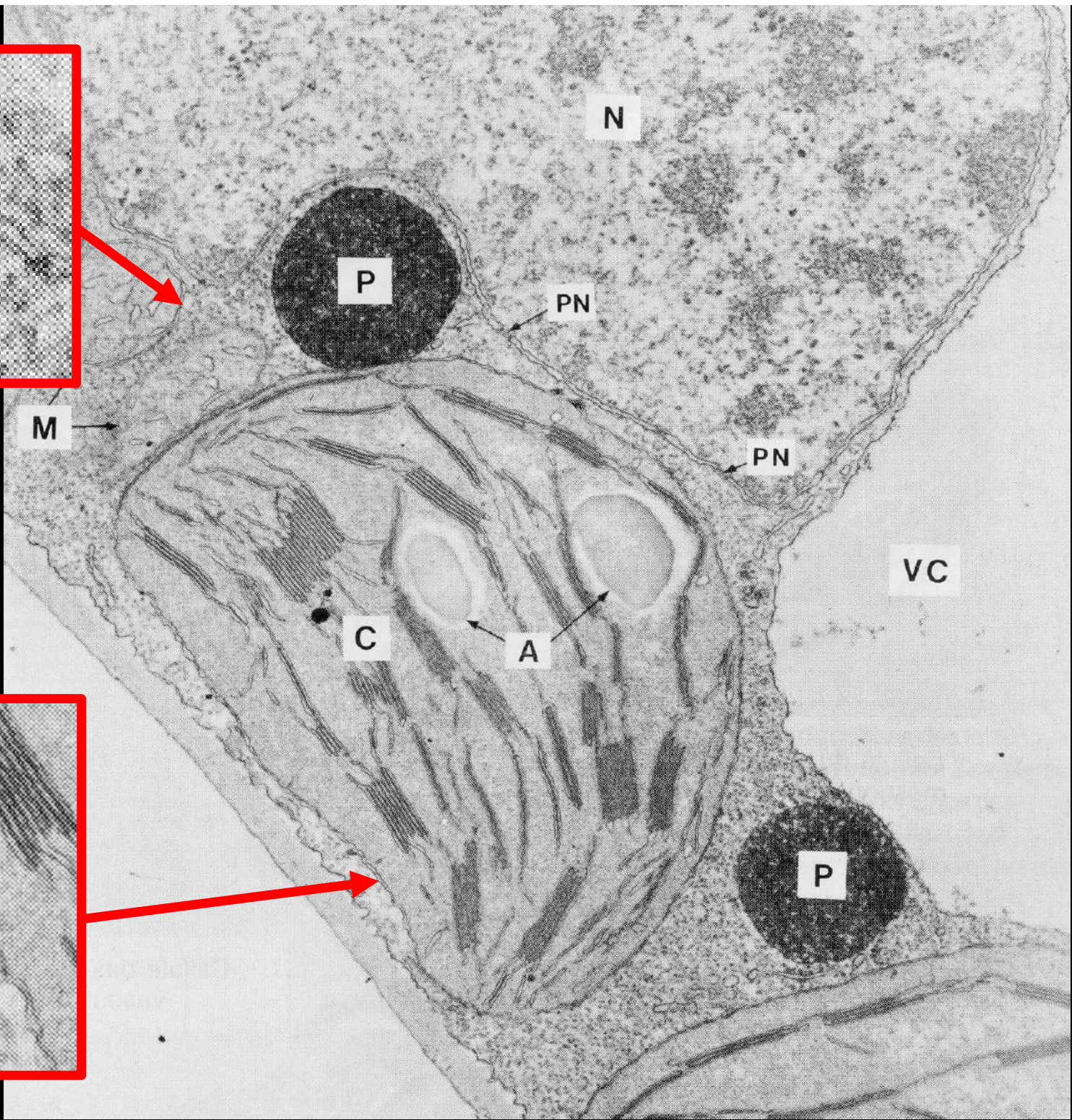
Théorie "parfaitement infondée" ... "de telles spéculations peuvent paraître trop fantaisistes pour être abordées dans une société de biologistes respectables ; toutefois il n'est pas impossible qu'elles soient un jour considérées plus sérieusement"

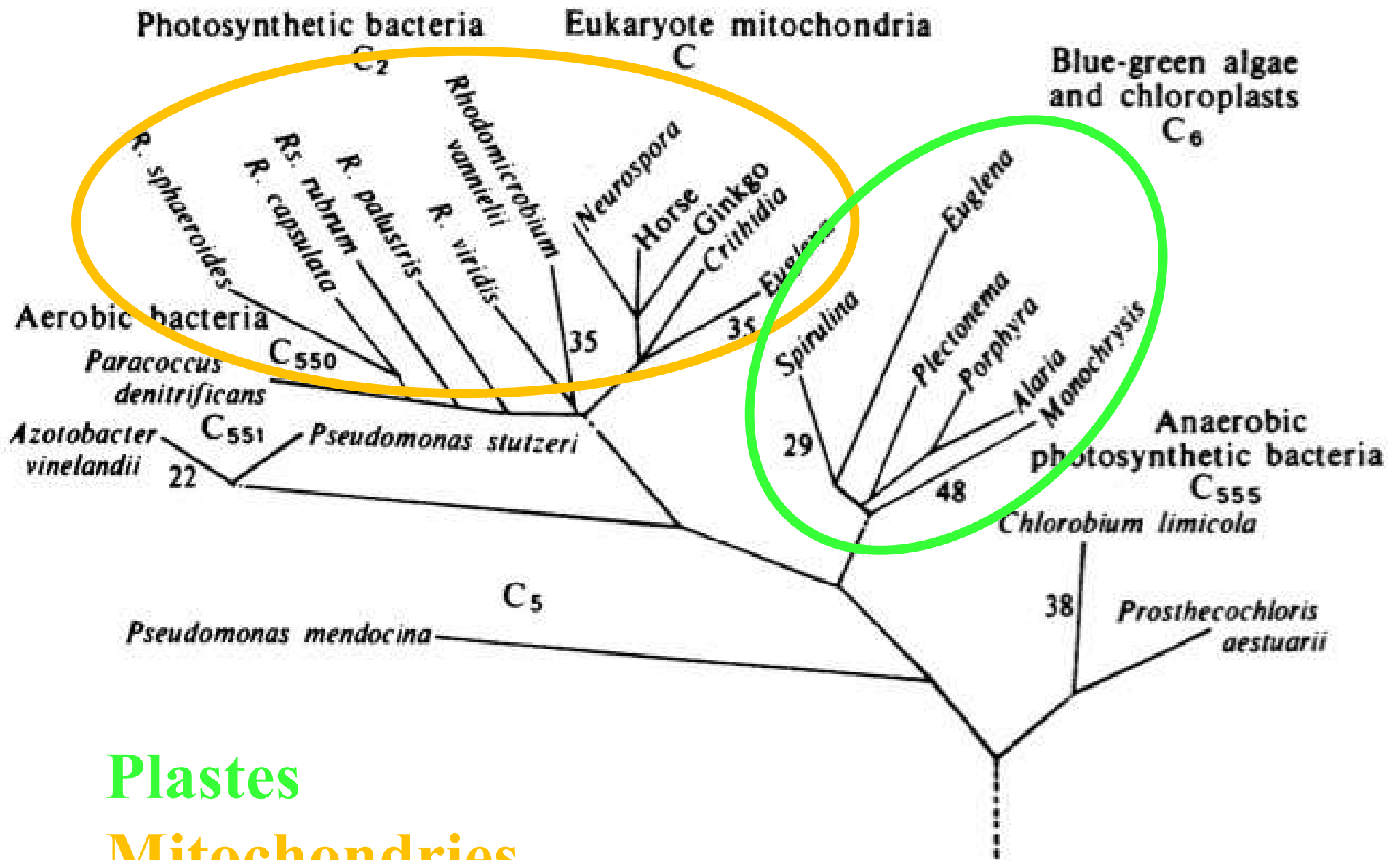


Lynn Margulis  
1938-2011









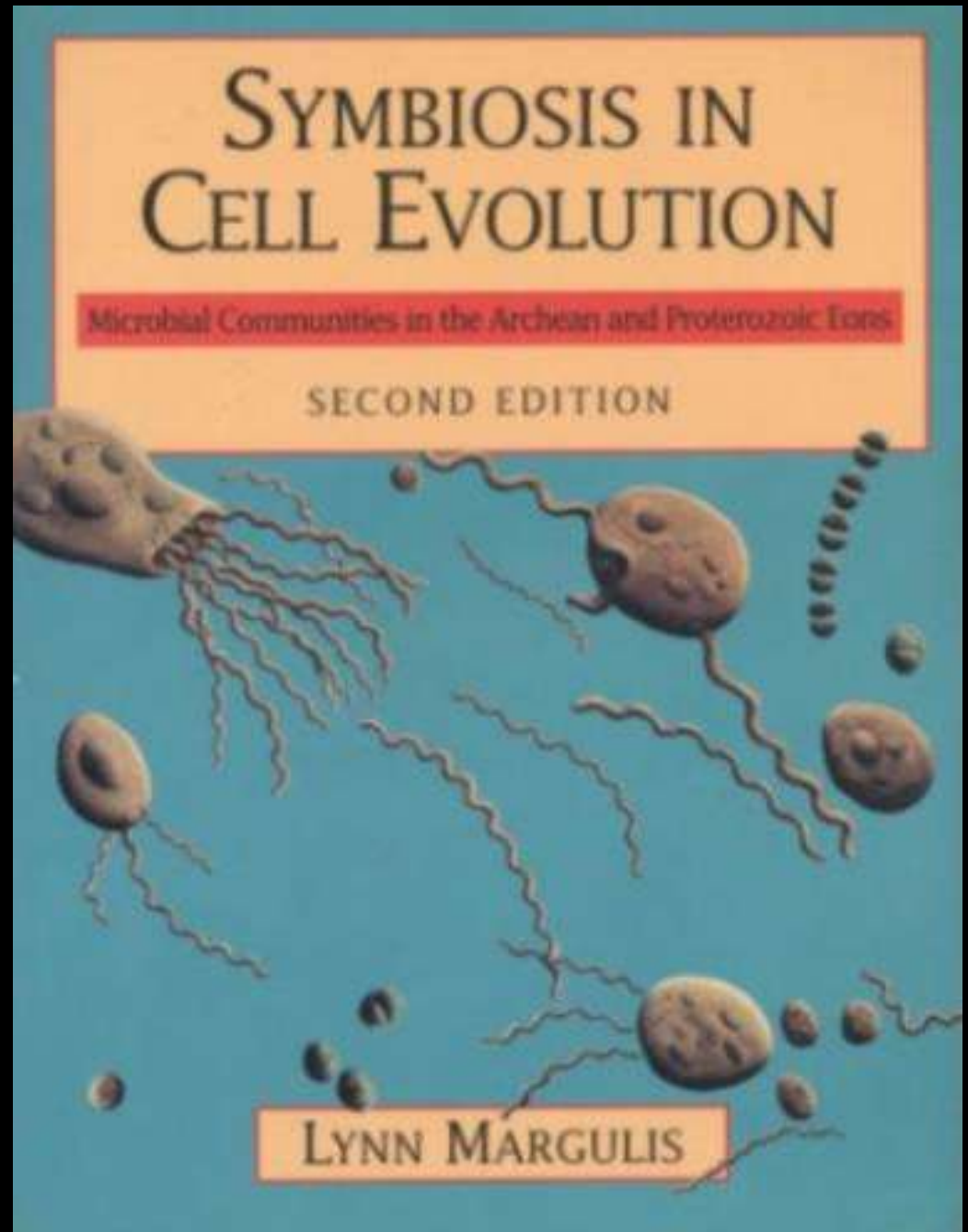
Plastes

Mitochondries

Schwartz & Dayhoff, 1978



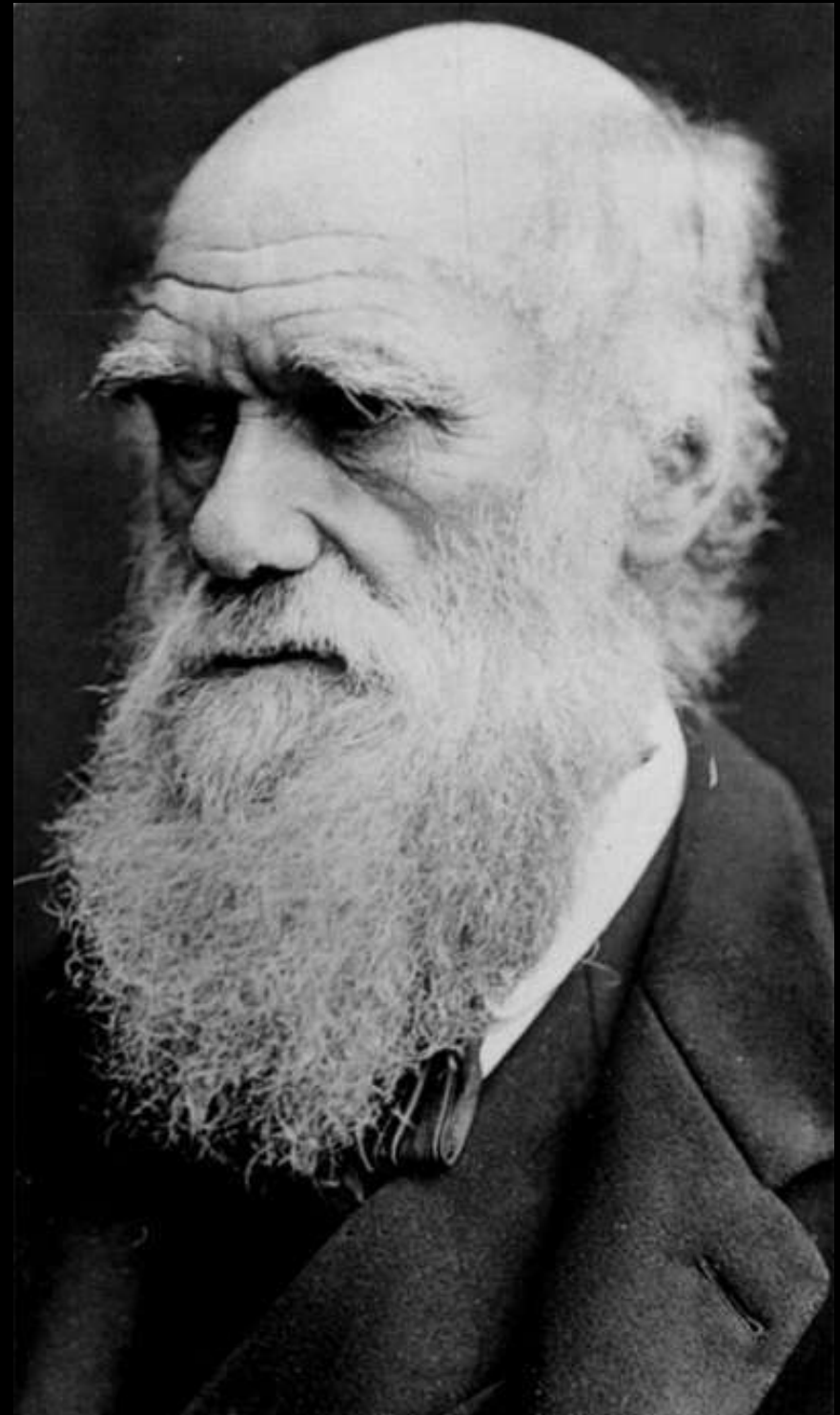
Lynn Margulis  
1938-2011



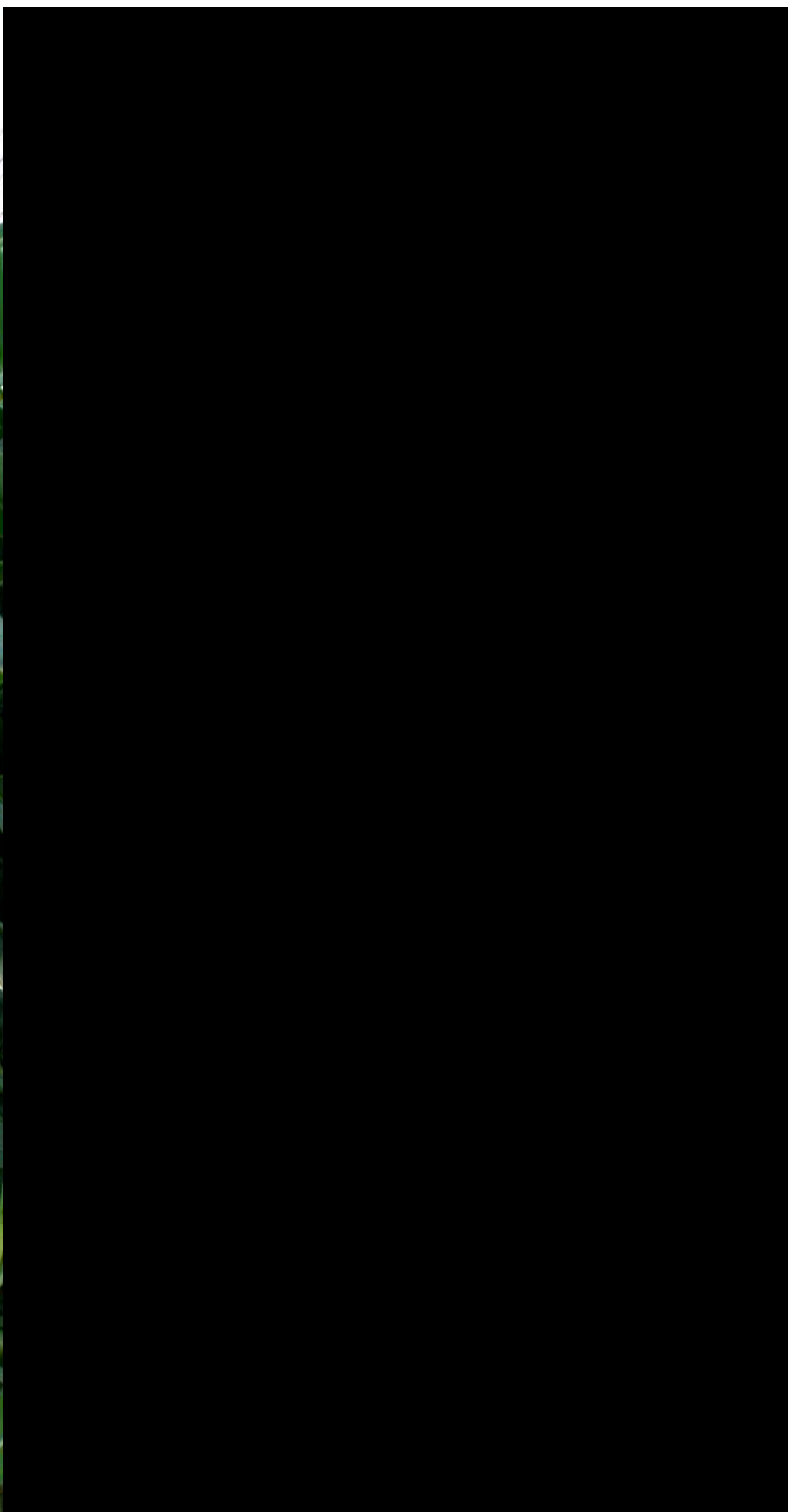
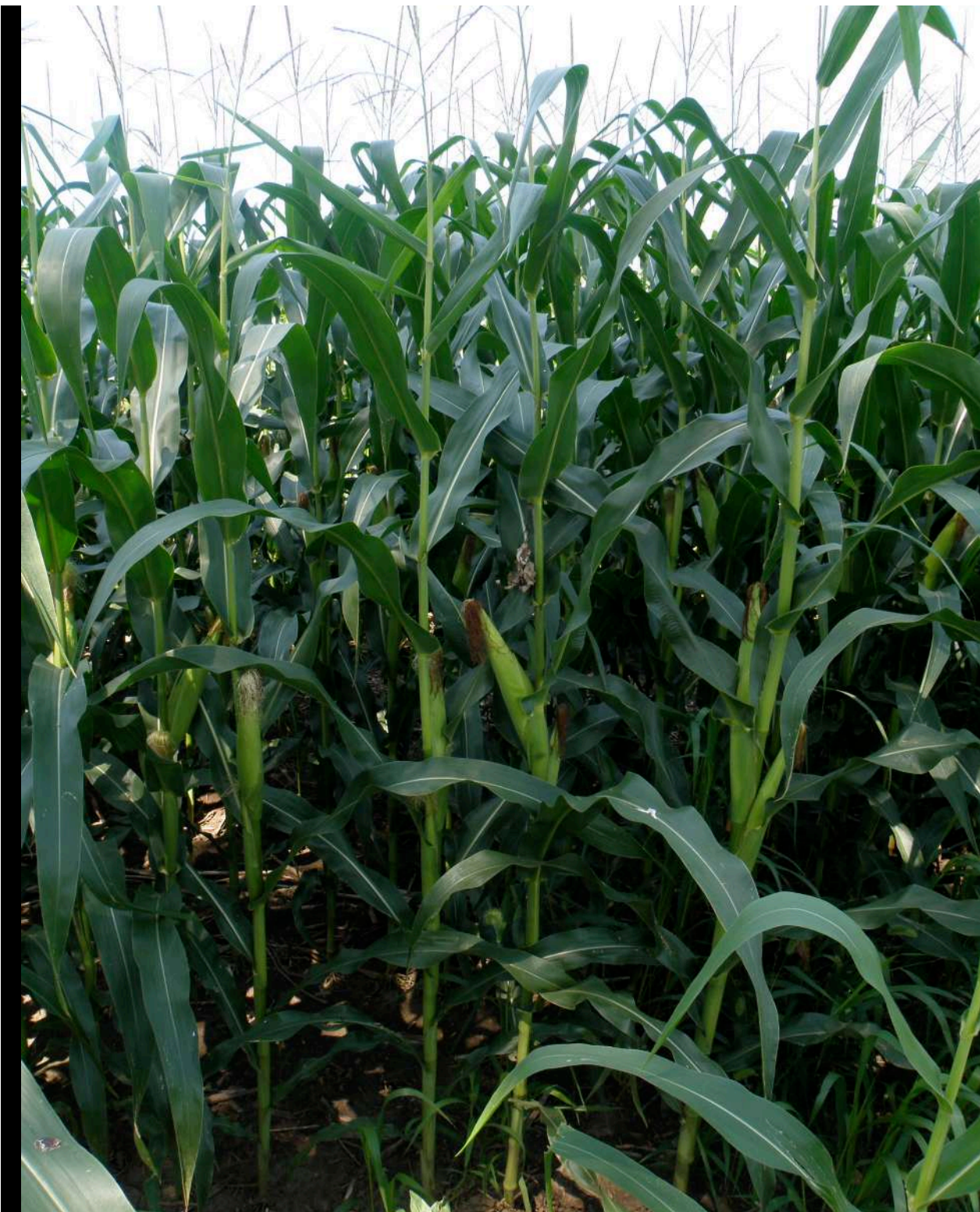


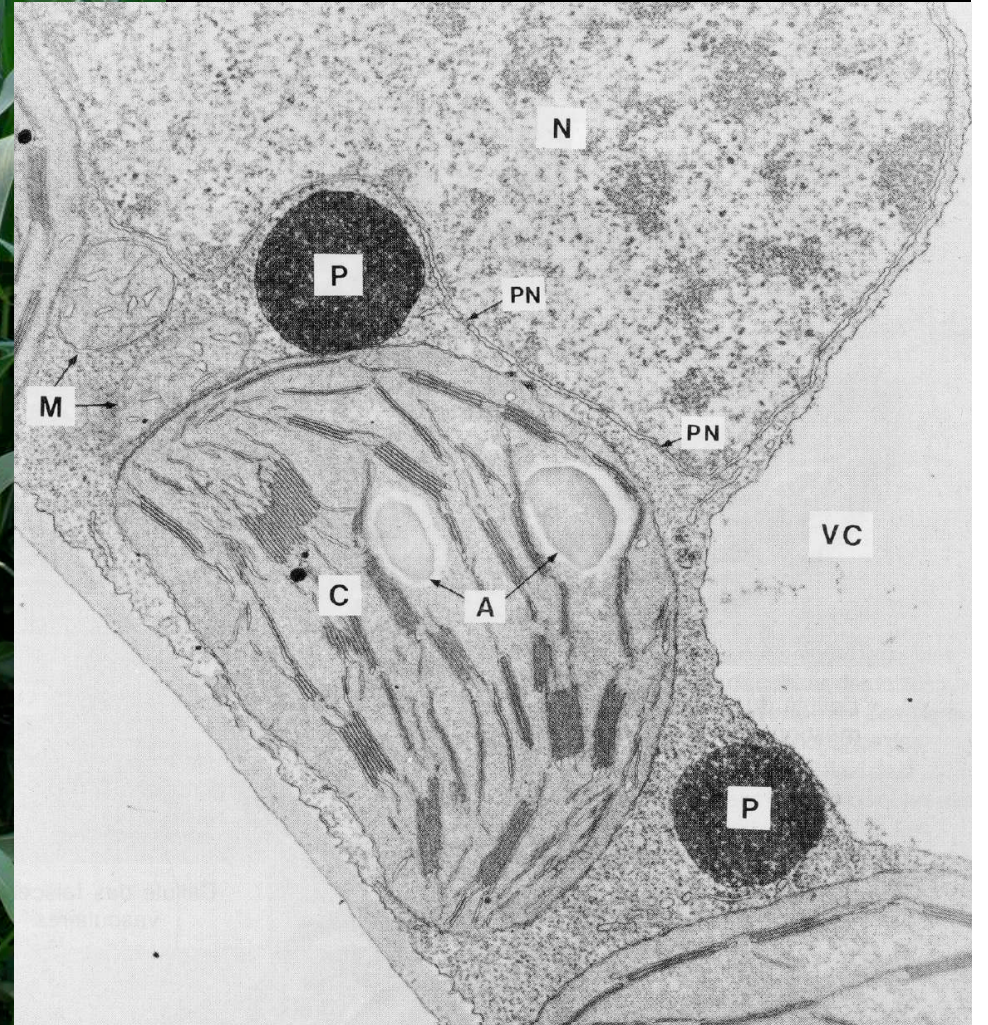
Darwin's work is  
« anthropomorphic and  
of limited interest »

L. Margulis, 1970











# Lynn Margulis: Science's Unruly Earth Mother

SCIENCE, VOL. 252  
19 APRIL 1991

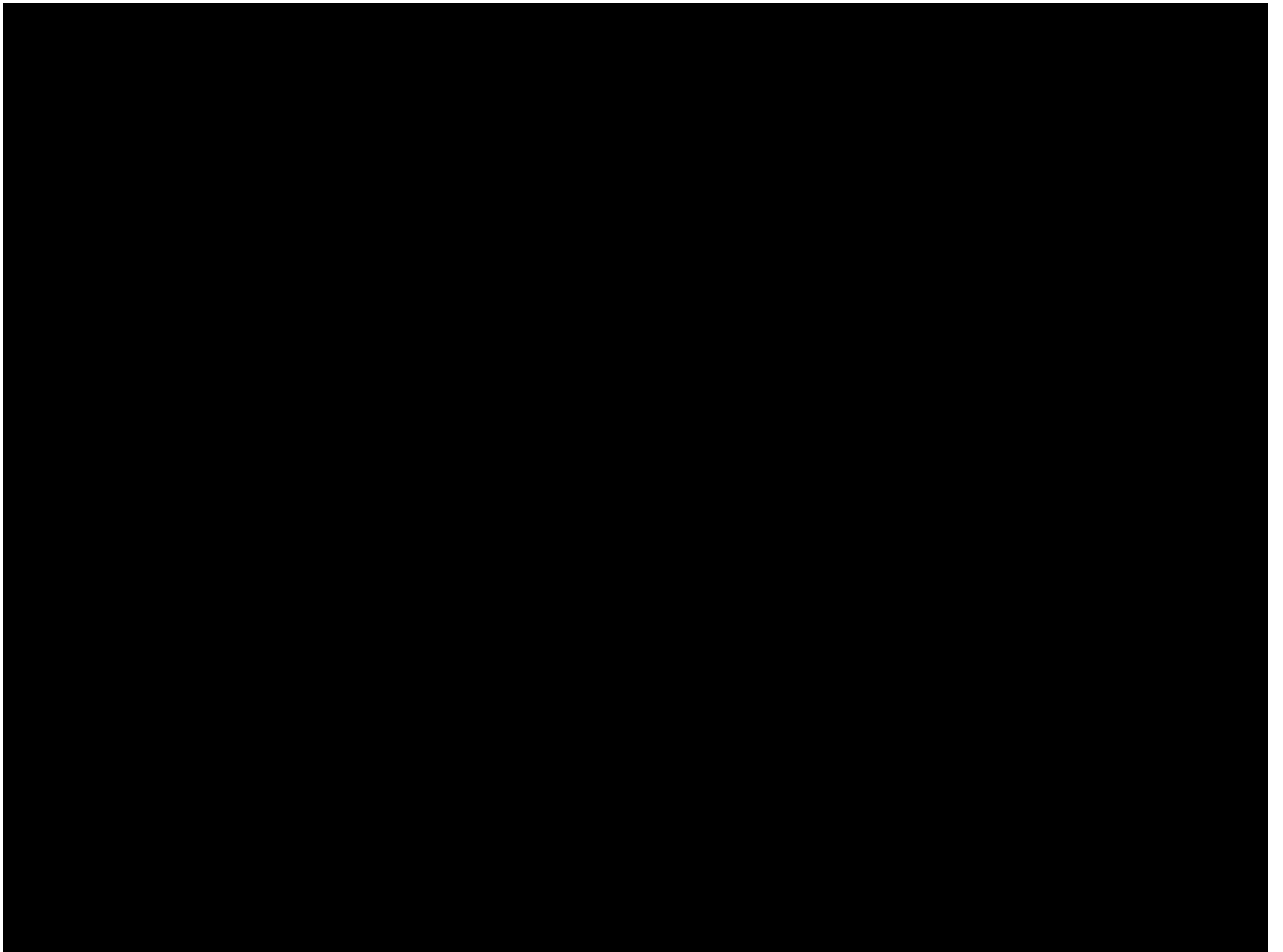
such changes could not have come through the slow buildup of chance mutations, and that therefore “neo-Darwinism, which insists on that, is in a complete funk.”

Darwinism will ultimately be viewed as only “a minor 20th-century religious sect within the sprawling religious persuasion of Anglo-Saxon biology.”

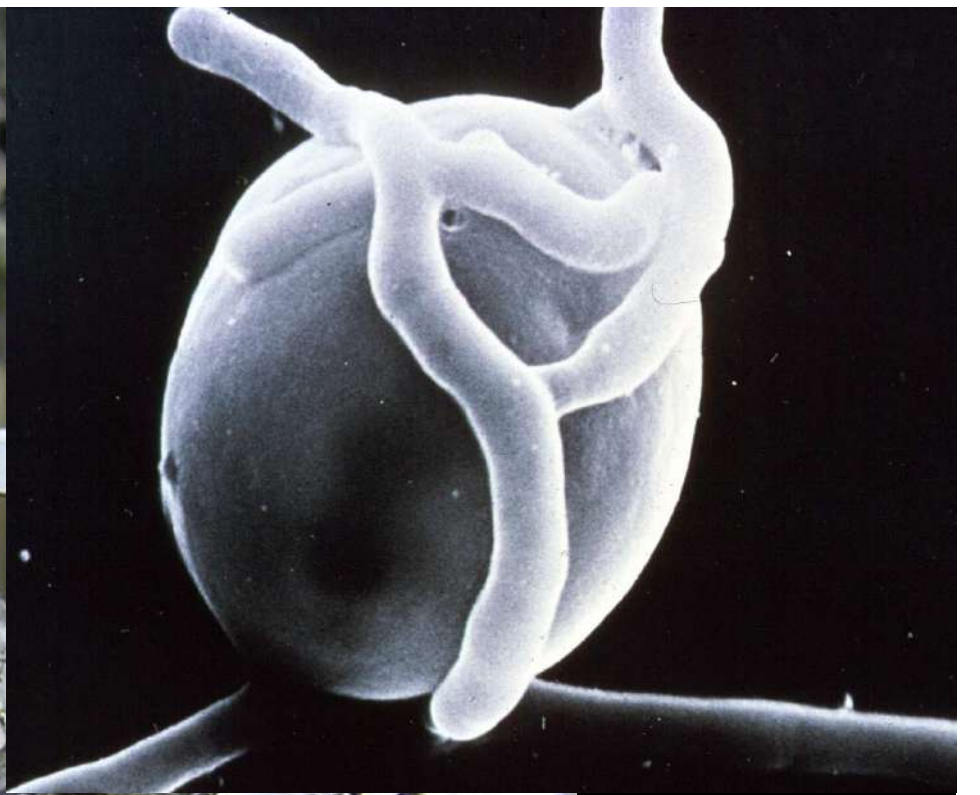
Darwin (*On the Origin of Species*), 1859:

" Natural selection **cannot possibly produce any modification in any one species exclusively for the good of another species.** (...)

If it could be proved that any part of the structure of any one species had been formed for the exclusive good of another species, it would annihilate my theory, for such could not have been produced through natural selection. "









**L'émergence tardive de la coopération**

**L'émergence tardive de l'endosymbiose**

**Le paradoxe de la coopération**

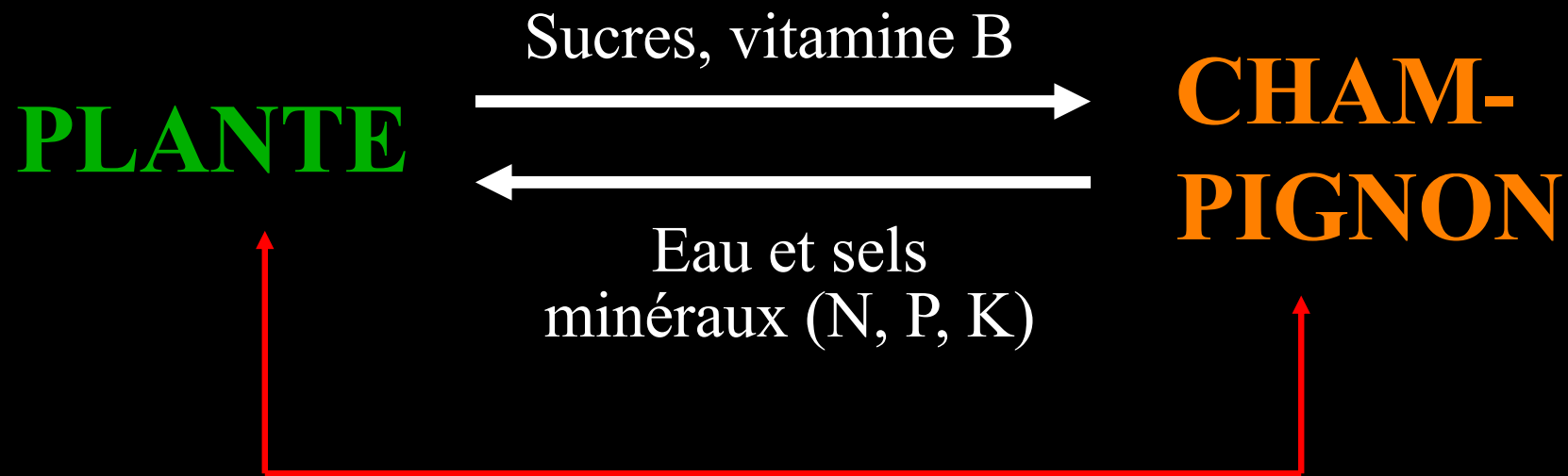


# MYCORRHIZE



# MYCORHIZE

Des échanges nutritifs réciproques :



Protection contre les agressions  
physiques et biologiques

# MYCORHIZE

Des échanges nutritifs réciproques :

**PLANTE**

Sucres, vitamine B

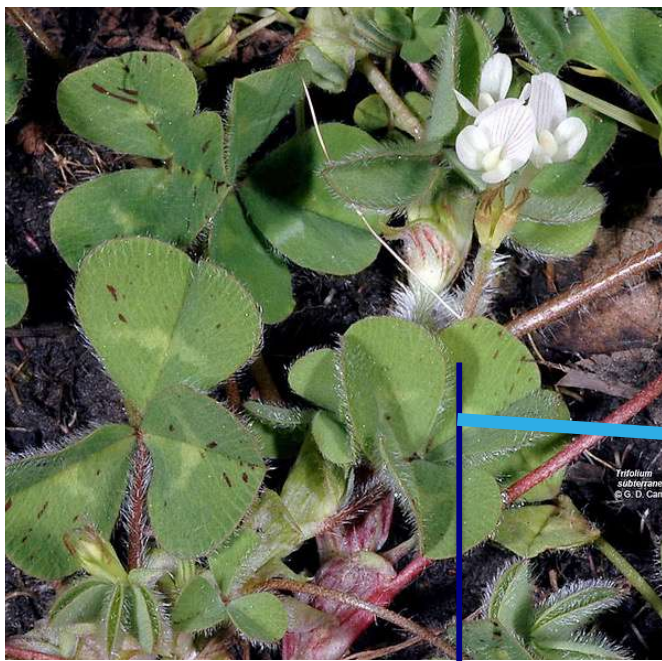
**CHAM-  
PIGNON**

Eau et sels  
minéraux (N, P, K)

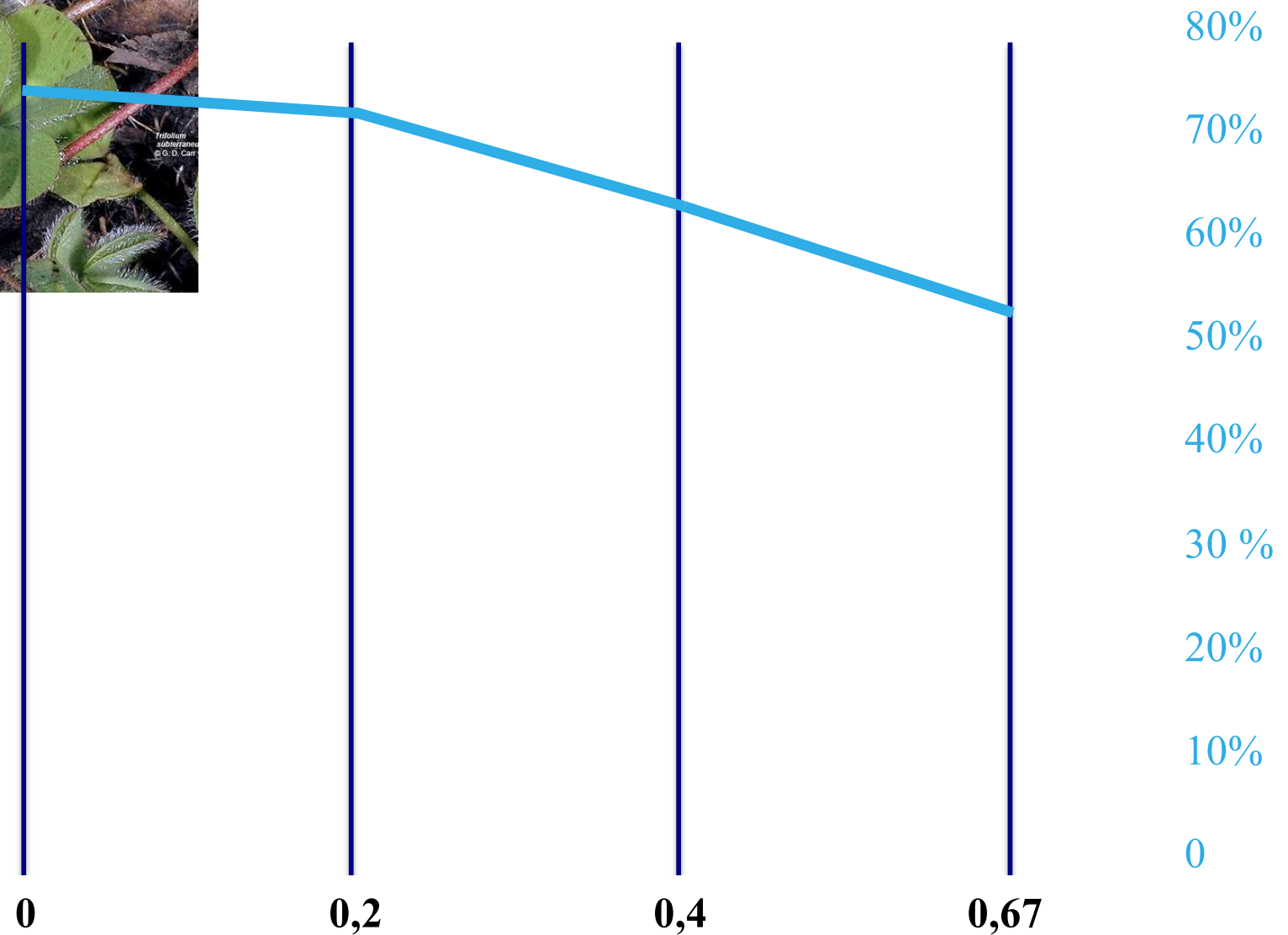
Protection contre les agressions  
physiques et biologiques



*Trifolium subterraneum*



# % de racines colonisées



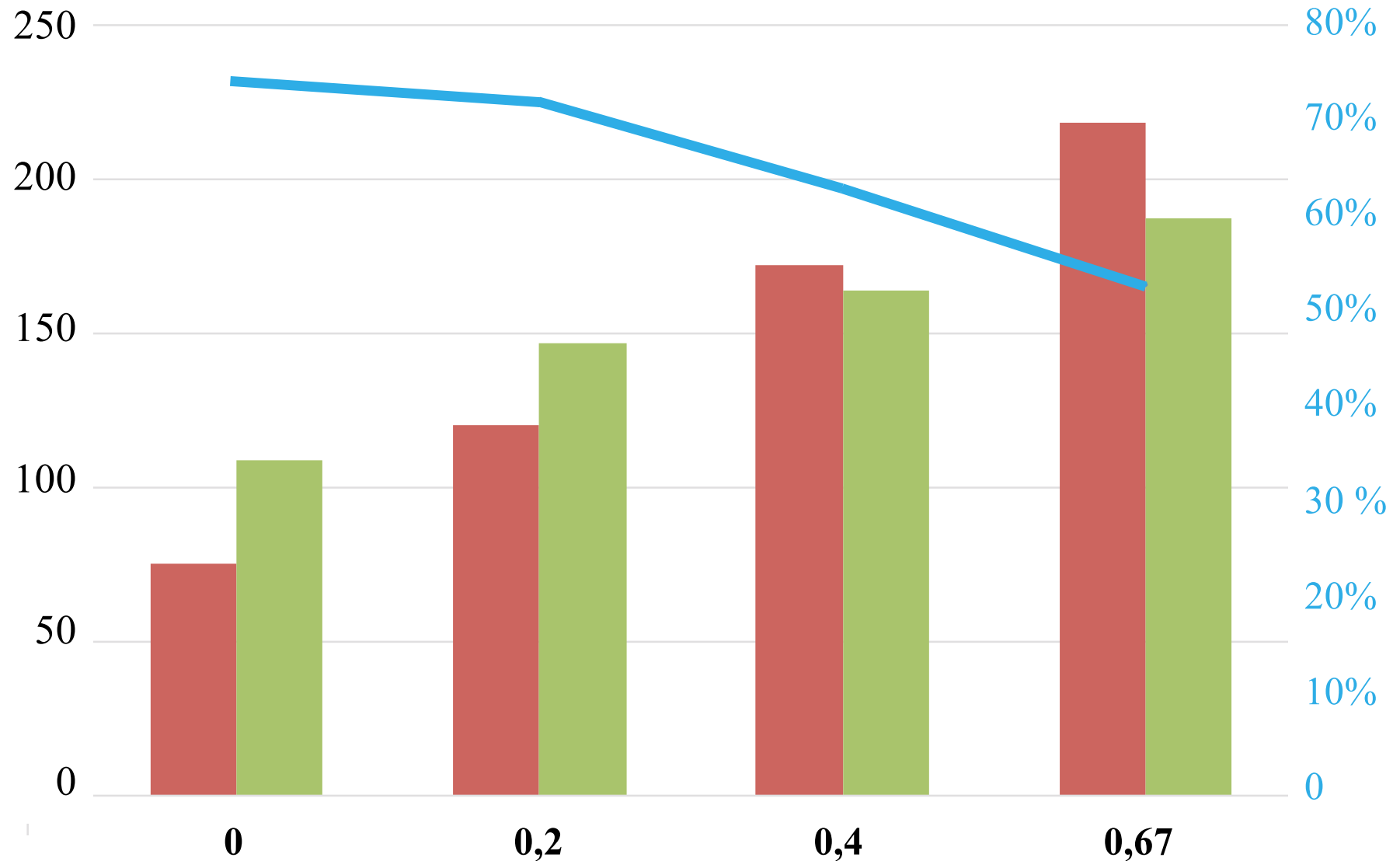
[phosphates] ajoutée sur *Trifolium subterraneum*, mmol/kg

Croissance non mycorhizée

Croissance mycorhizée

(en mg/plante, poids sec)

% de racines colonisées



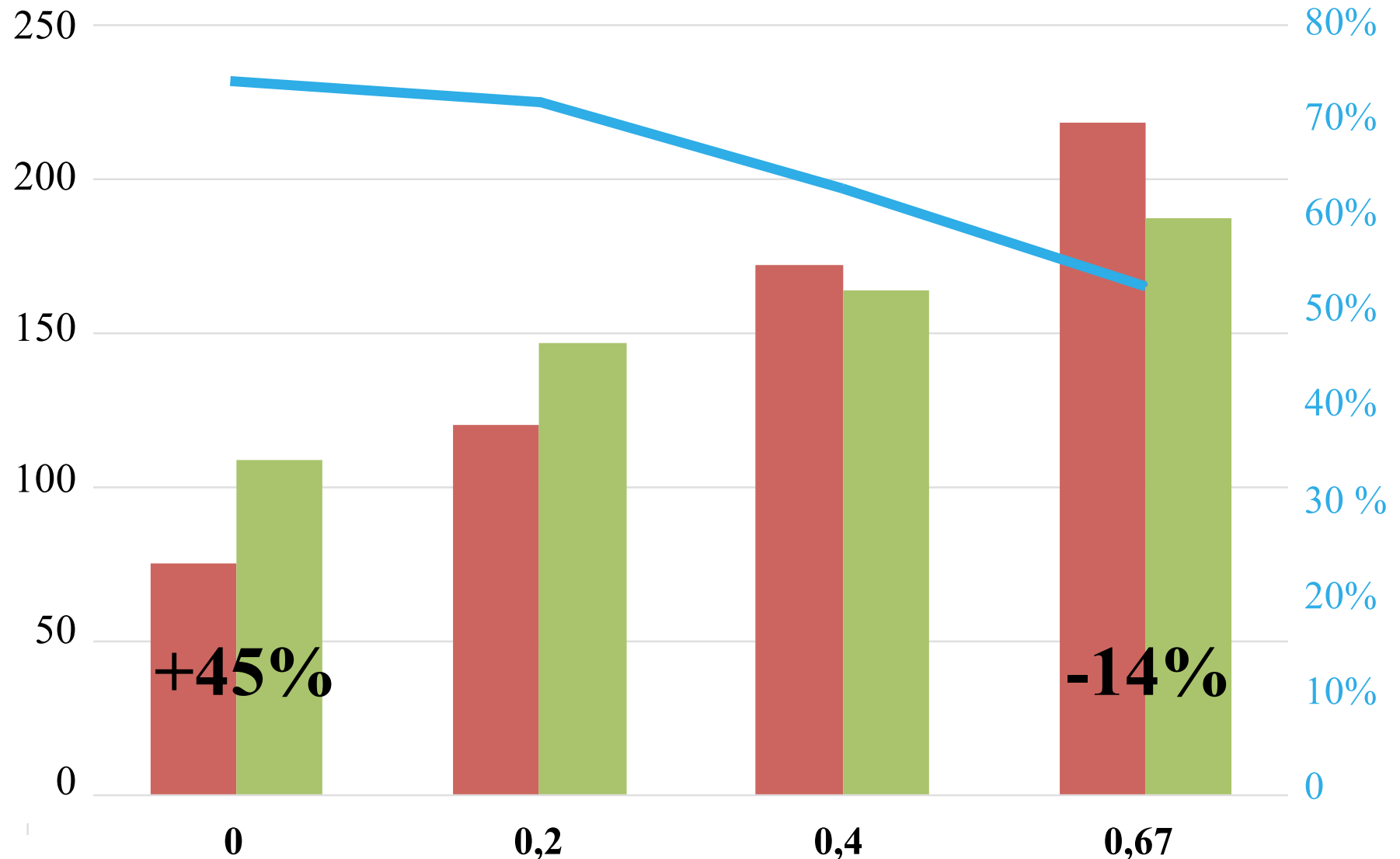
[phosphates] ajoutée sur *Trifolium subterraneum*, mmol/kg

Croissance non mycorhizée

Croissance mycorhizée

(en mg/plante, poids sec)

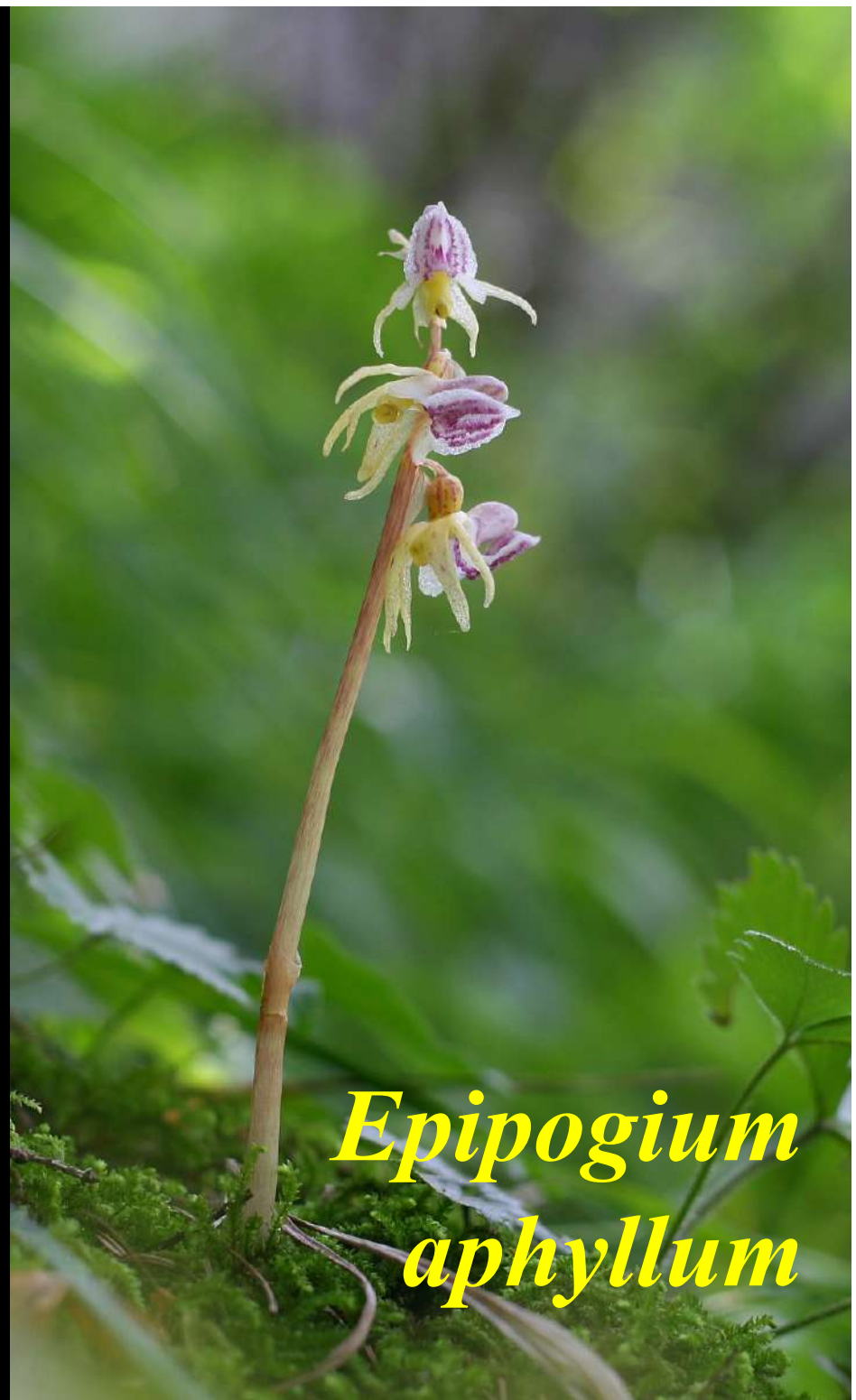
% de racines colonisées



[phosphates] ajoutée sur *Trifolium subterraneum*, mmol/kg



*Neottia  
nidus-avis*



*Epipogium  
aphyllum*

Deux façons de tricher :

Abus d'exploitation

*et/ou*

Non-réciprocité

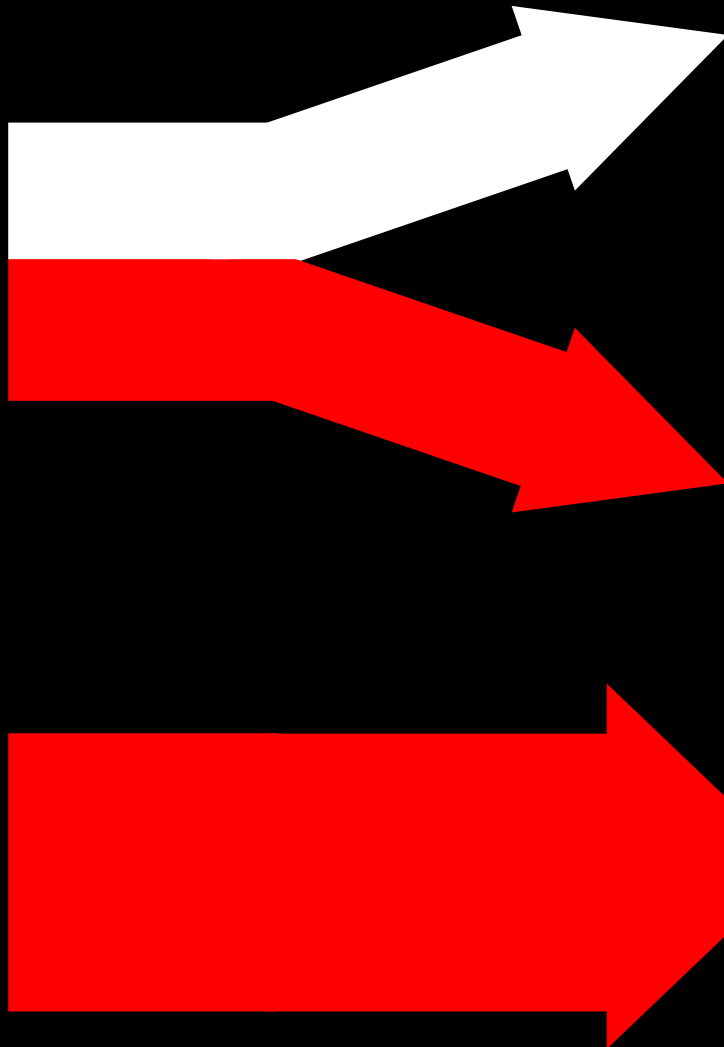
Deux sources de tricherie :

Intraspécifique

Interspécifique

# LE PARADOXE

Ressources issues  
du partenaire



Coopération

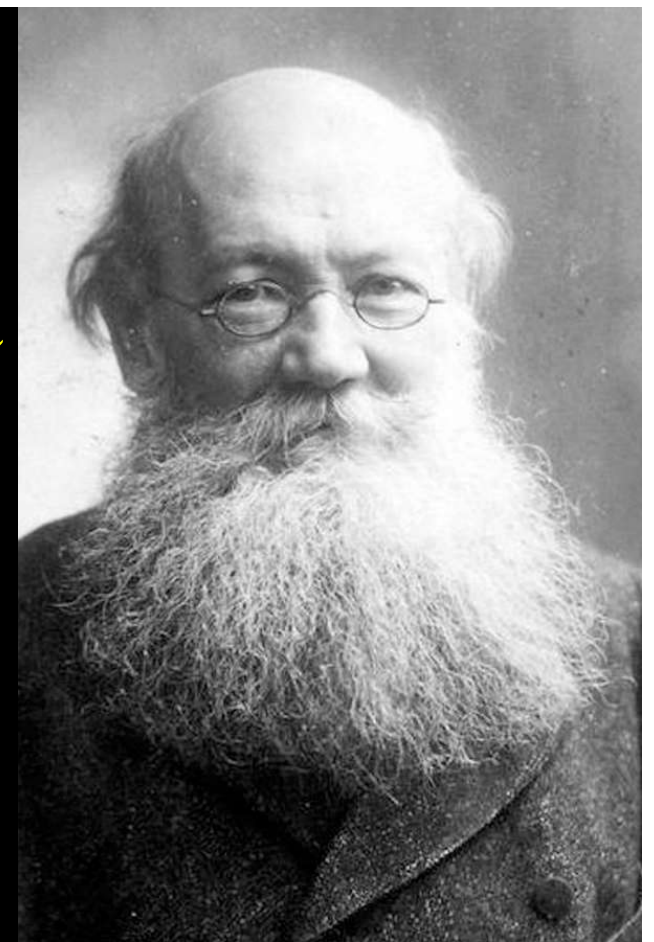
Altruiste

Reproduction

Repro-  
duction

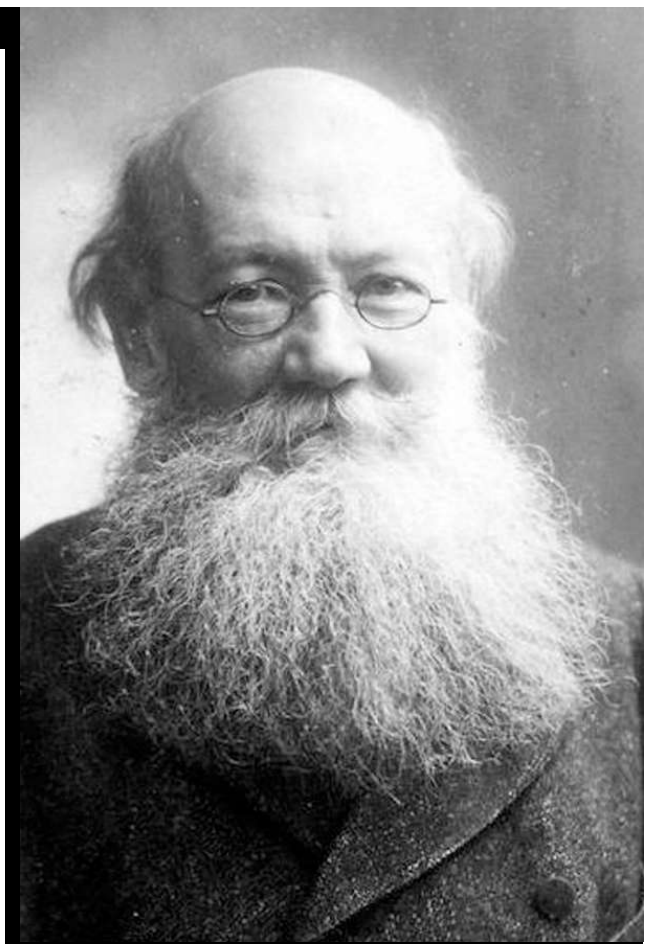
Tricheur

" l'entraide est autant une loi de la vie animale que la lutte réciproque, mais (...), comme facteur de l'évolution, **la première a probablement une importance beaucoup plus grande, en ce qu'elle favorise le développement (...) de caractères éminemment propres à assurer la conservation et le développement de l'espèce** ; elle procure aussi, avec moins de perte d'énergie, une plus grande somme de bien-être et de jouissance pour chaque individu. " Kropotkine P. (1902)



# Le problème de la sélection de groupe

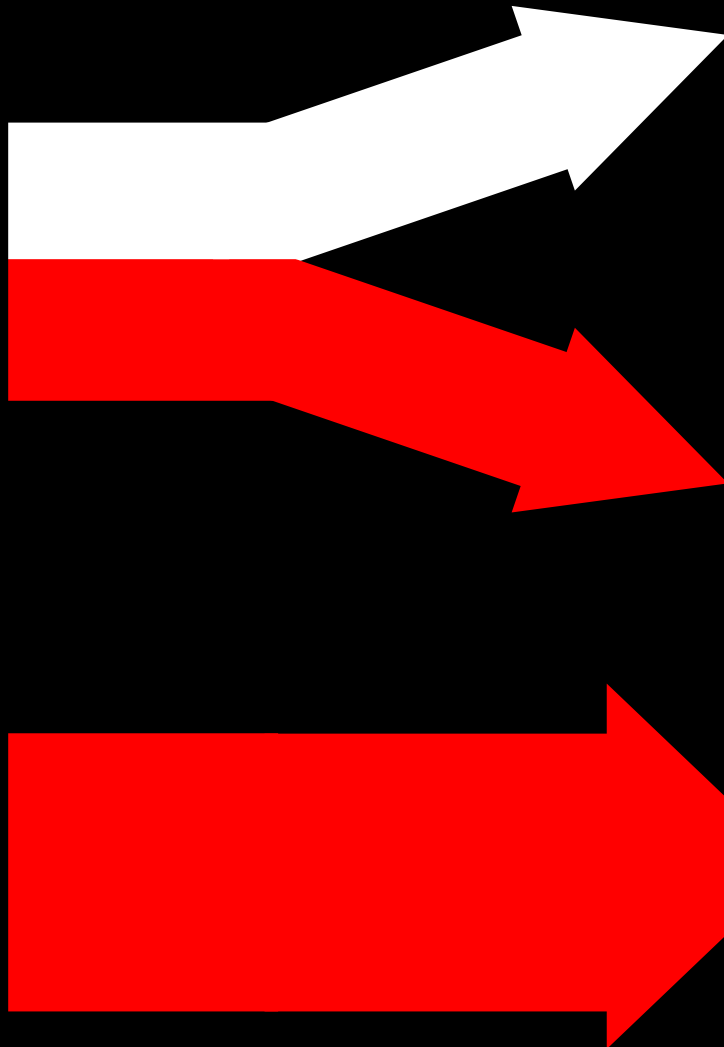
!!



procure aussi, avec moins de perte  
d'énergie, une plus grande somme de  
bien-être et de jouissance pour chaque  
individu. " Kropotkine P. (1902)

# LE PARADOXE

Ressources issues  
du partenaire



Coopération

Altruiste

Reproduction

Repro-  
duction

Tricheur

Darwin (*On the Origin of Species*), 1859:

" Natural selection **cannot possibly produce any modification in any one species exclusively for the good of another species.** (...)

If it could be proved that any part of the structure of any one species had been formed for the exclusive good of another species, it would annihilate my theory, for such could not have been produced through natural selection. "

**L'émergence tardive de la coopération**

**L'émergence tardive de l'endosymbiose**

**Le paradoxe de la coopération**

**Cinq solutions pour ce paradoxe**

# 1

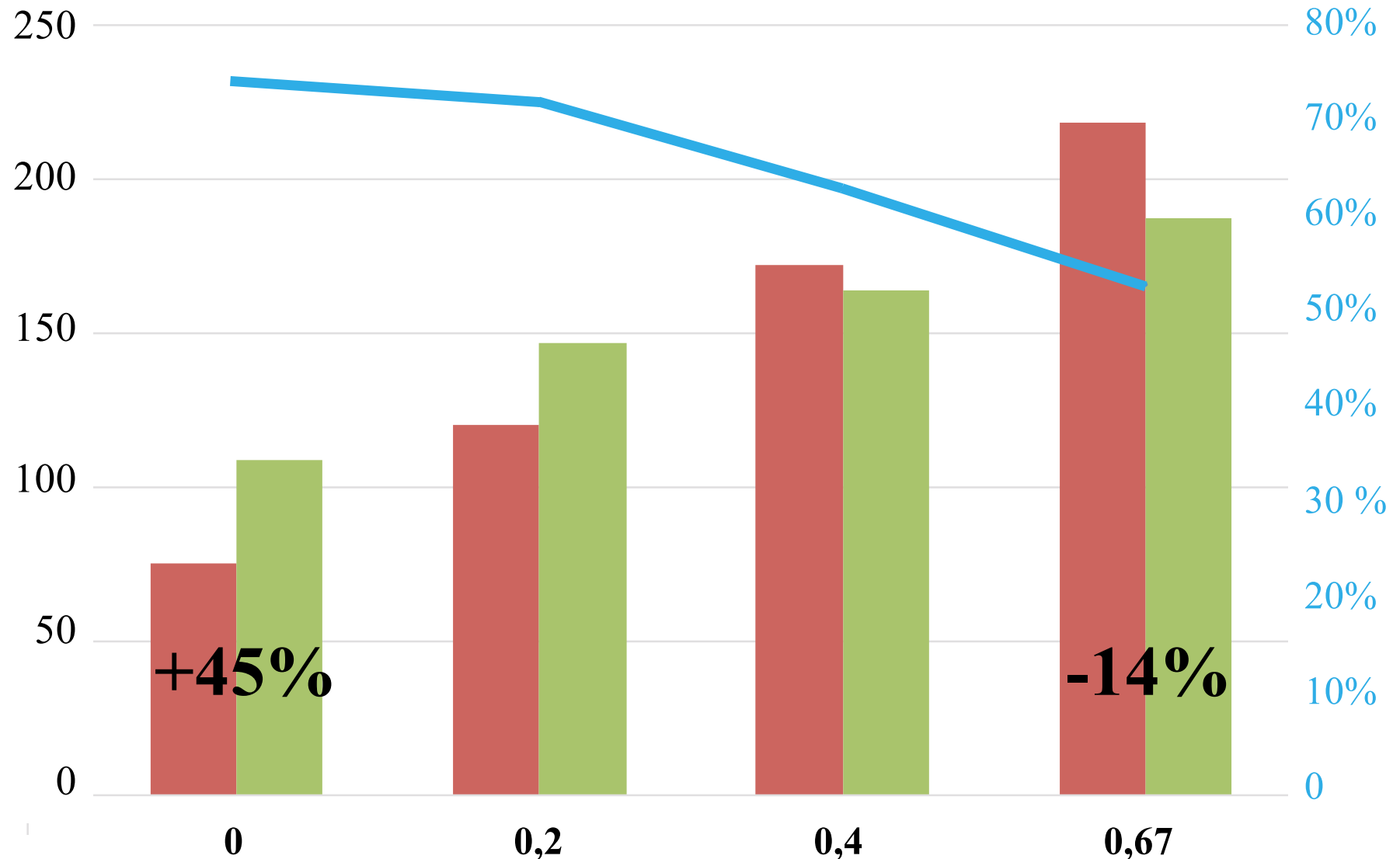
## Les conditions stressantes

Croissance non mycorhizée

Croissance mycorhizée

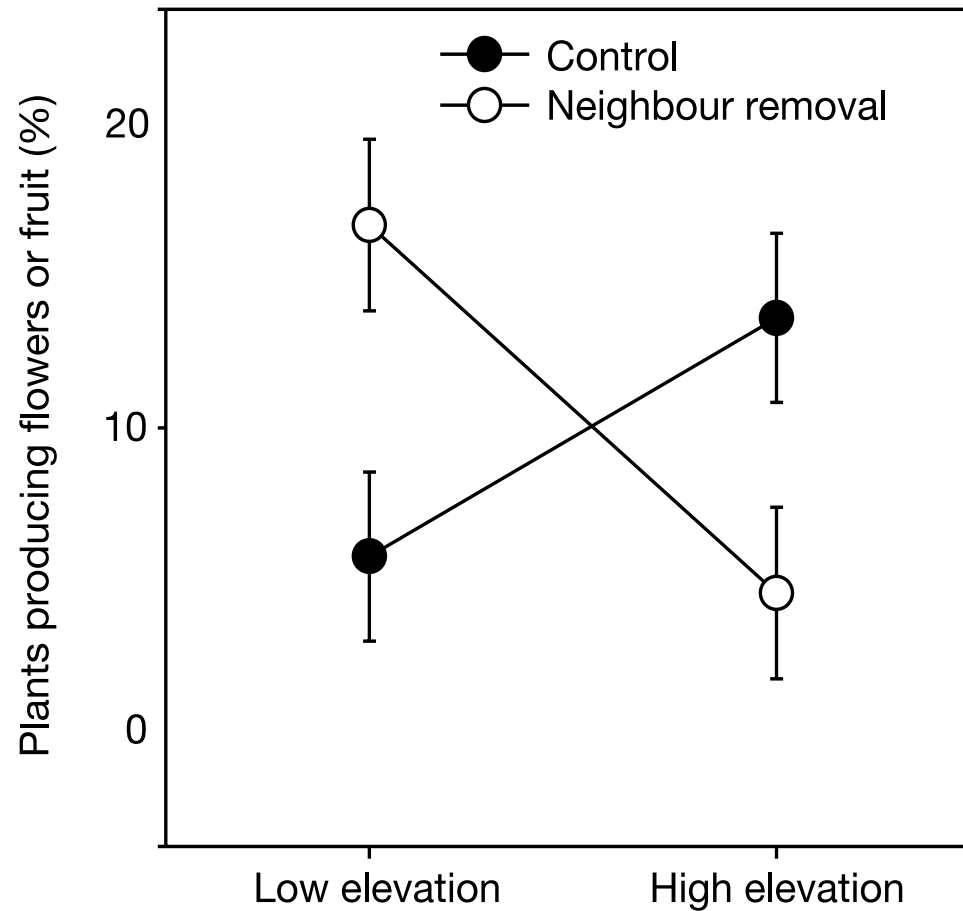
(en mg/plante, poids sec)

% de racines colonisées

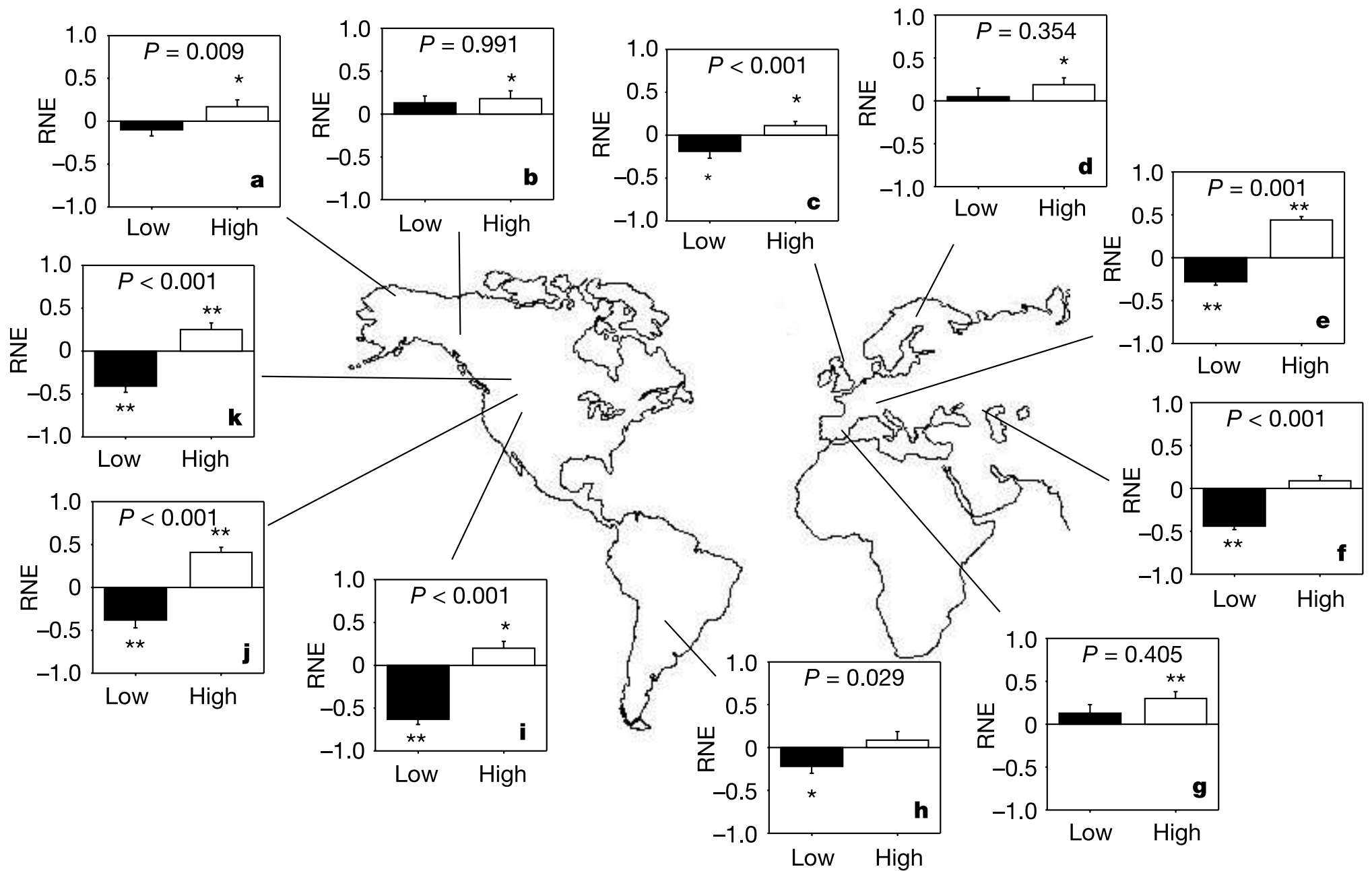


[phosphates] ajoutée sur *Trifolium subterraneum*, mmol/kg





Proportion of flowering or fruiting target species in controls and neighbour removal treatments at high and low elevation experimental sites for all 11 locations combined. Error bars show one standard error. (ANOVA,  $F_{\text{treatment}} = 0.62$ , d.f. = 1,180,  $P = 0.432$ ;  $F_{\text{site}} = 0.14$ , d.f. = 1,180,  $P = 0.709$ ;  $F_{\text{treatment} \times \text{site}} = 16.17$ , d.f. = 1,180,  $P < 0.001$ .) The degrees of freedom are lower than for survival because reproduction was not recorded at all sites.

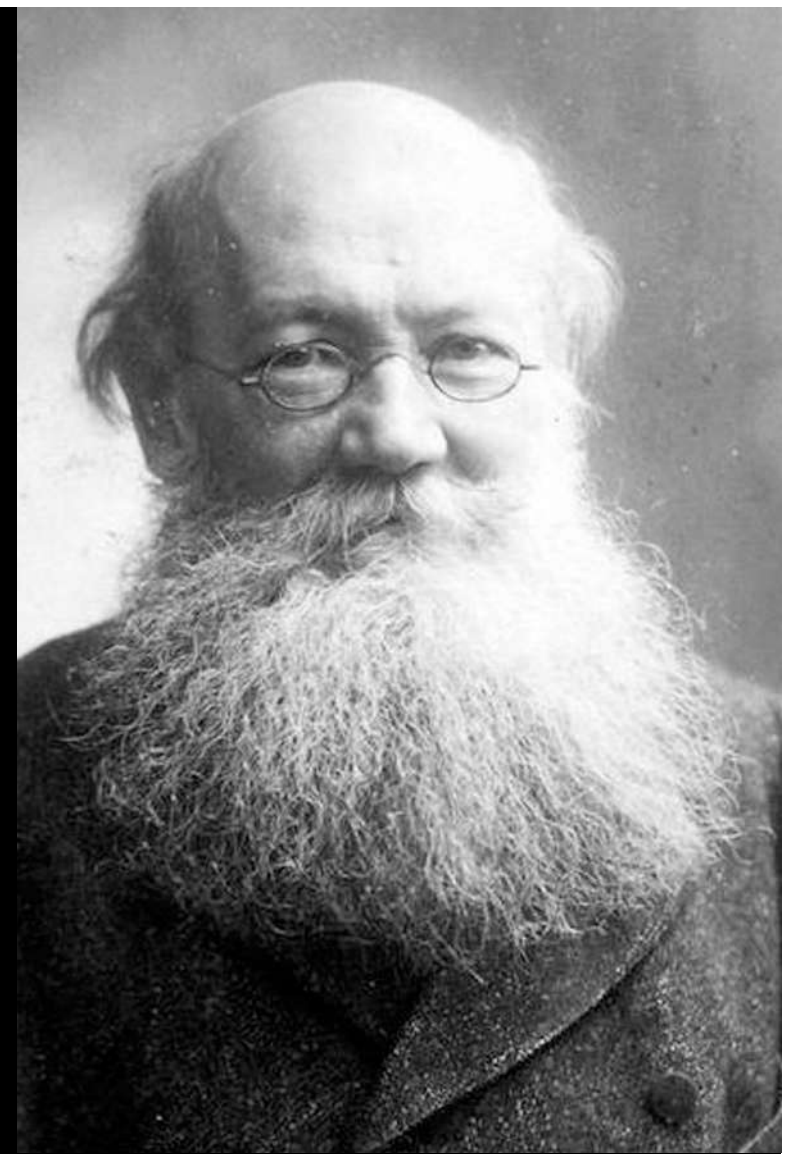


*Relative neighbour effect (RNE) sur la biomasse, selon l'altitude (low, high)*

Callaway *et al.* 2002, *Nature* 417: 844

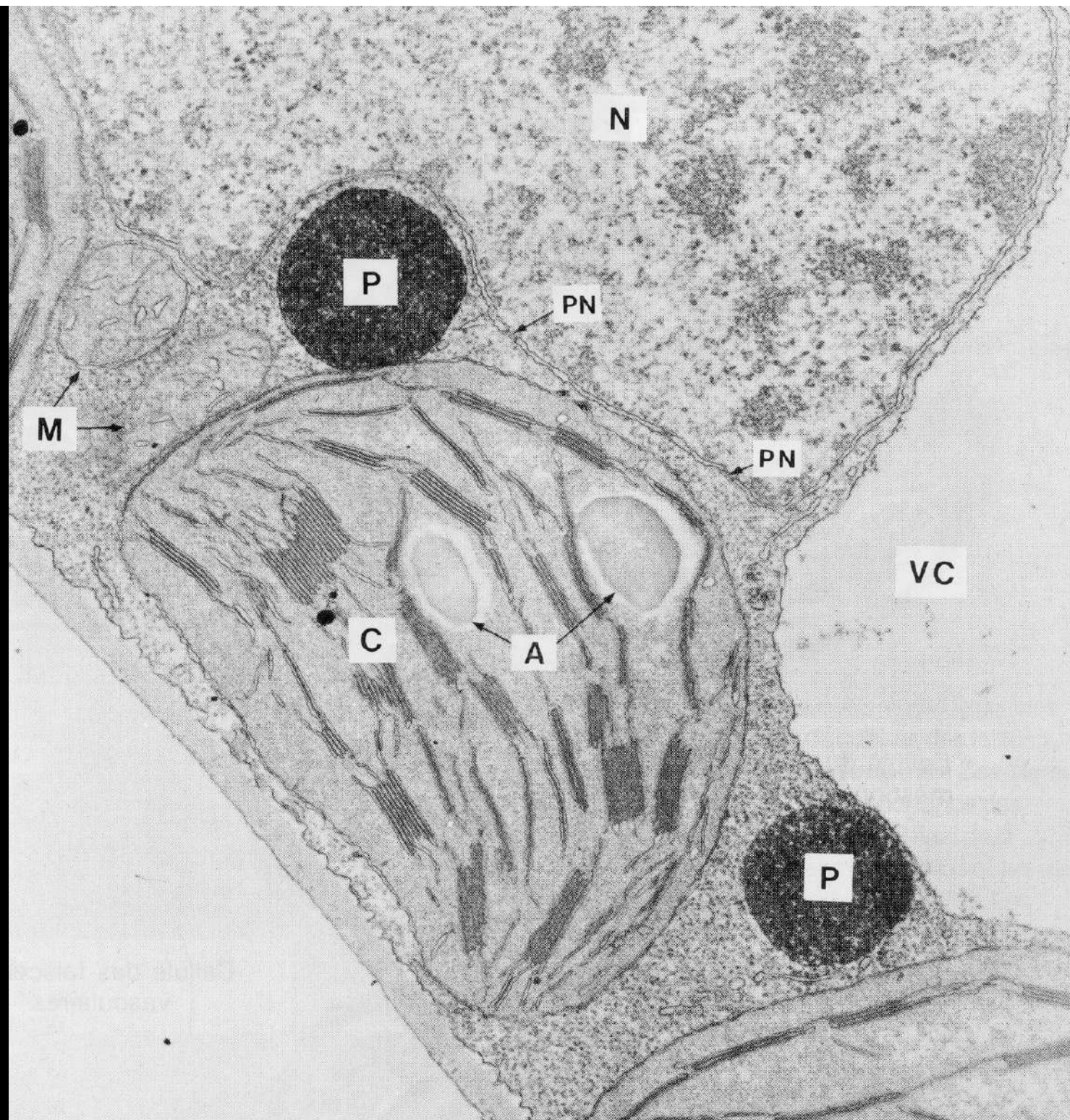
"« Le tien » et « le mien » est beaucoup moins strict parmi les pauvres que parmi les riches."

Kropotkine P. (1902).  
*L'Entraide, un facteur de l'évolution*



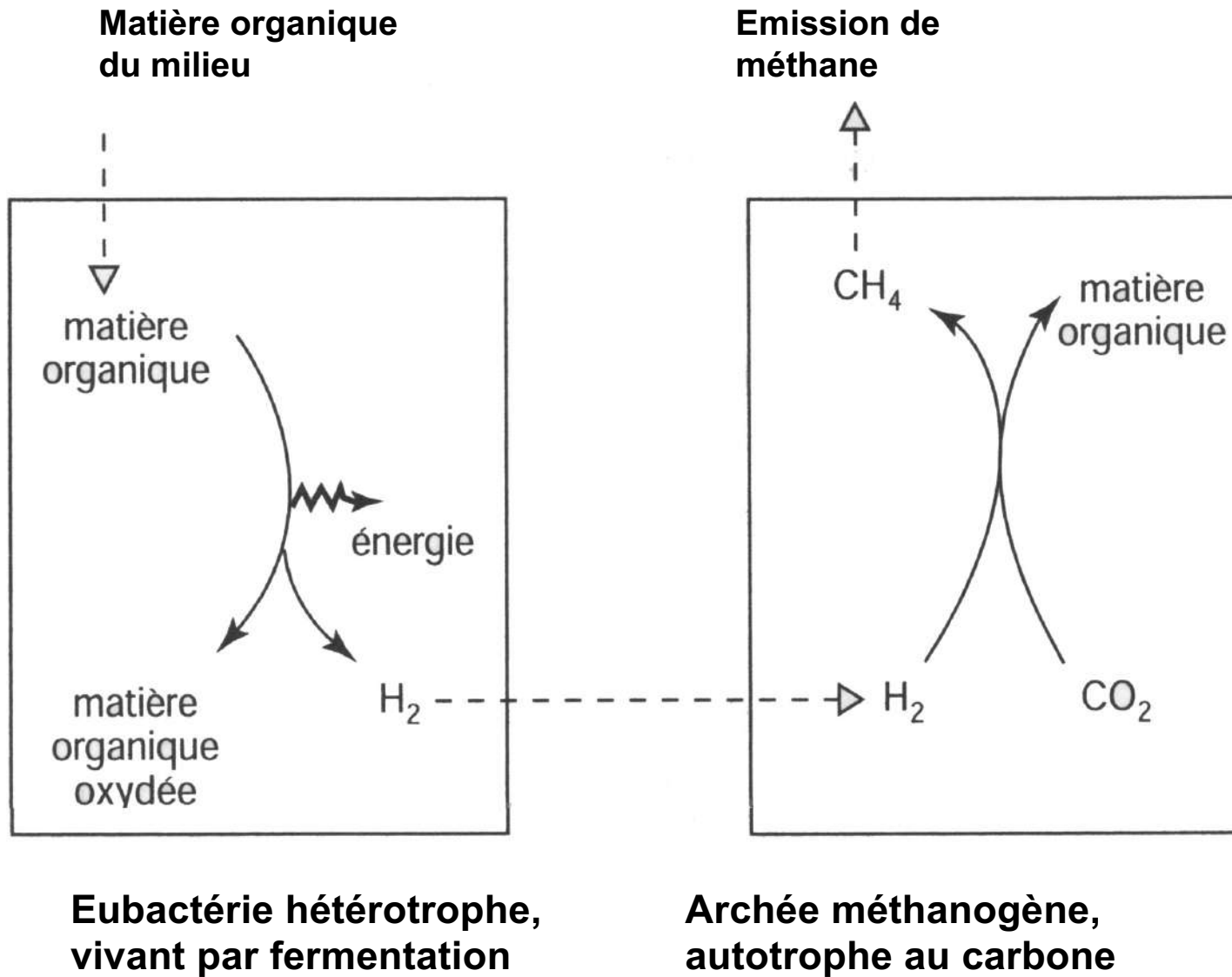
# 2

## L'hérité verticale



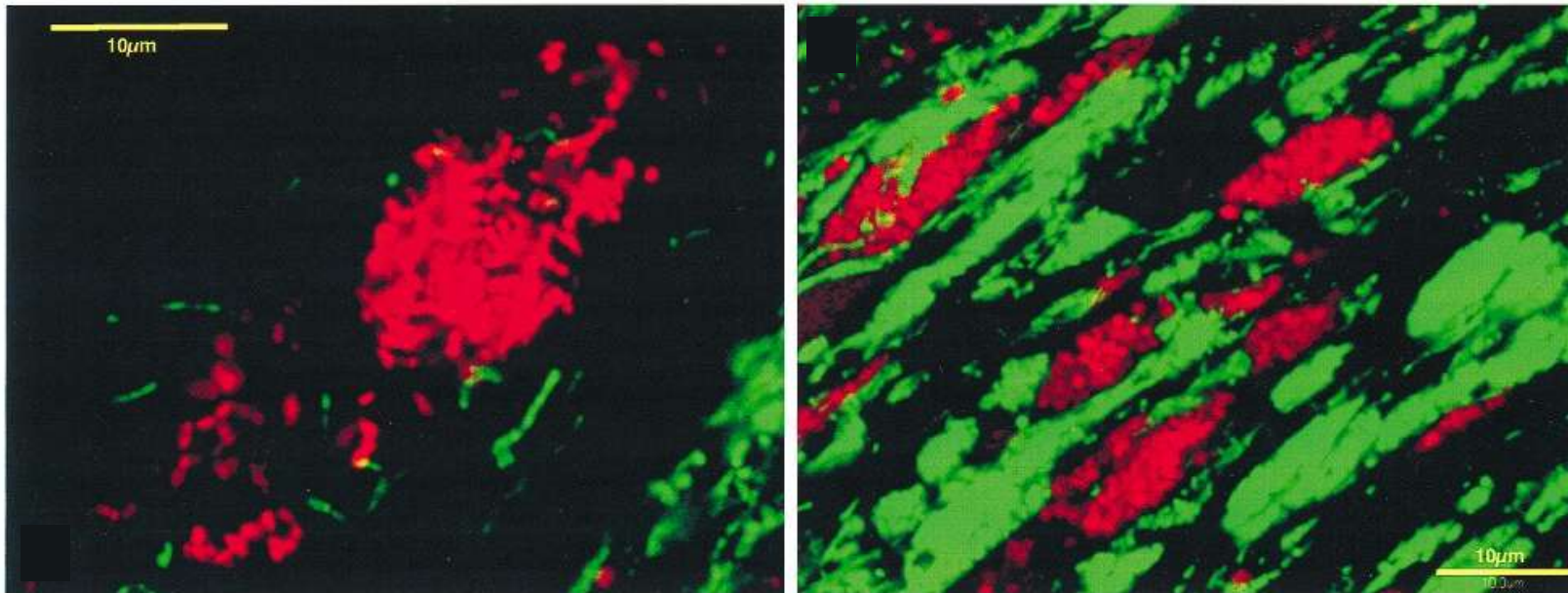
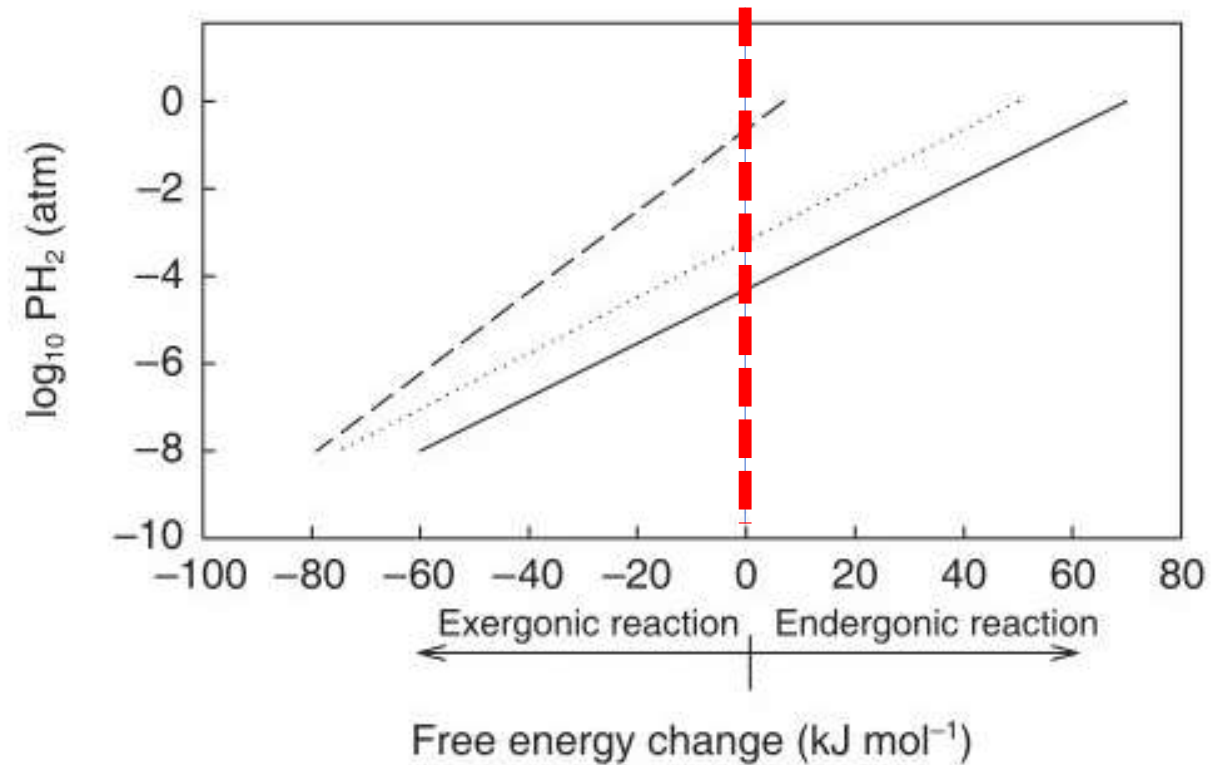
3.

Les coûts  
nuls !

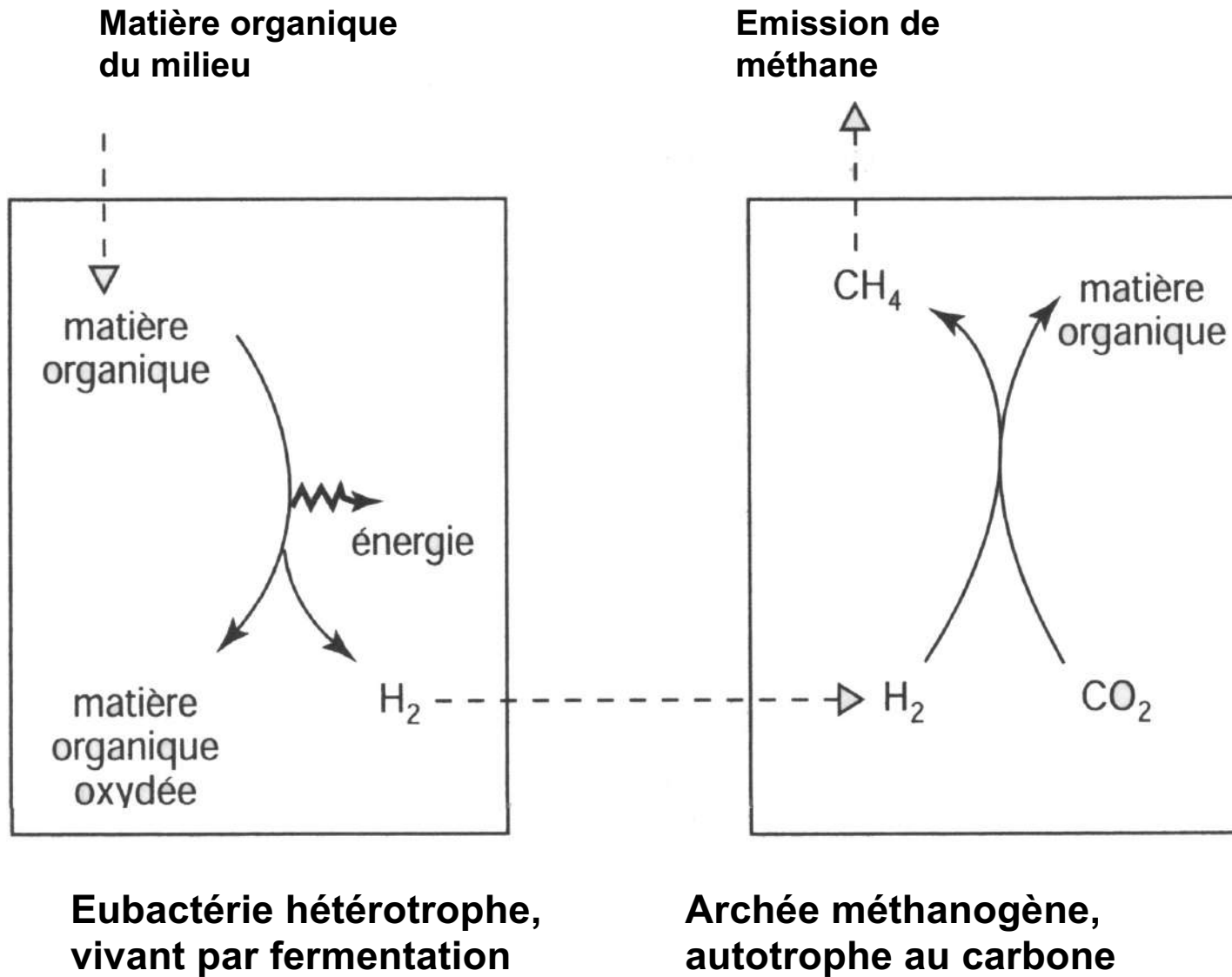


D'après Selosse, 2000

Rendement de la fermentation produisant du  $H_2$



Syntrophie entre **Archées** et **Eubactéries**



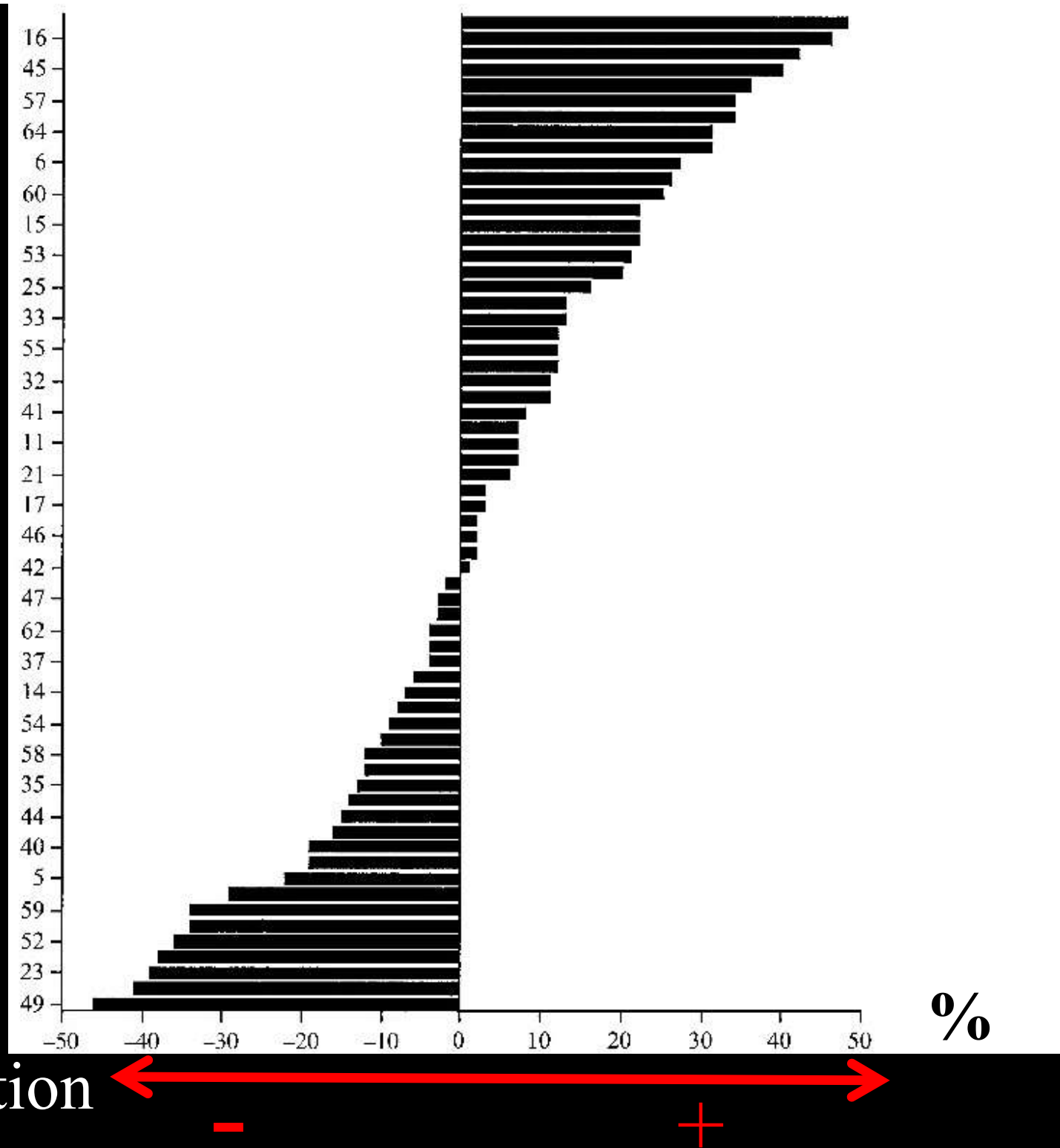
D'après Selosse, 2000

4.

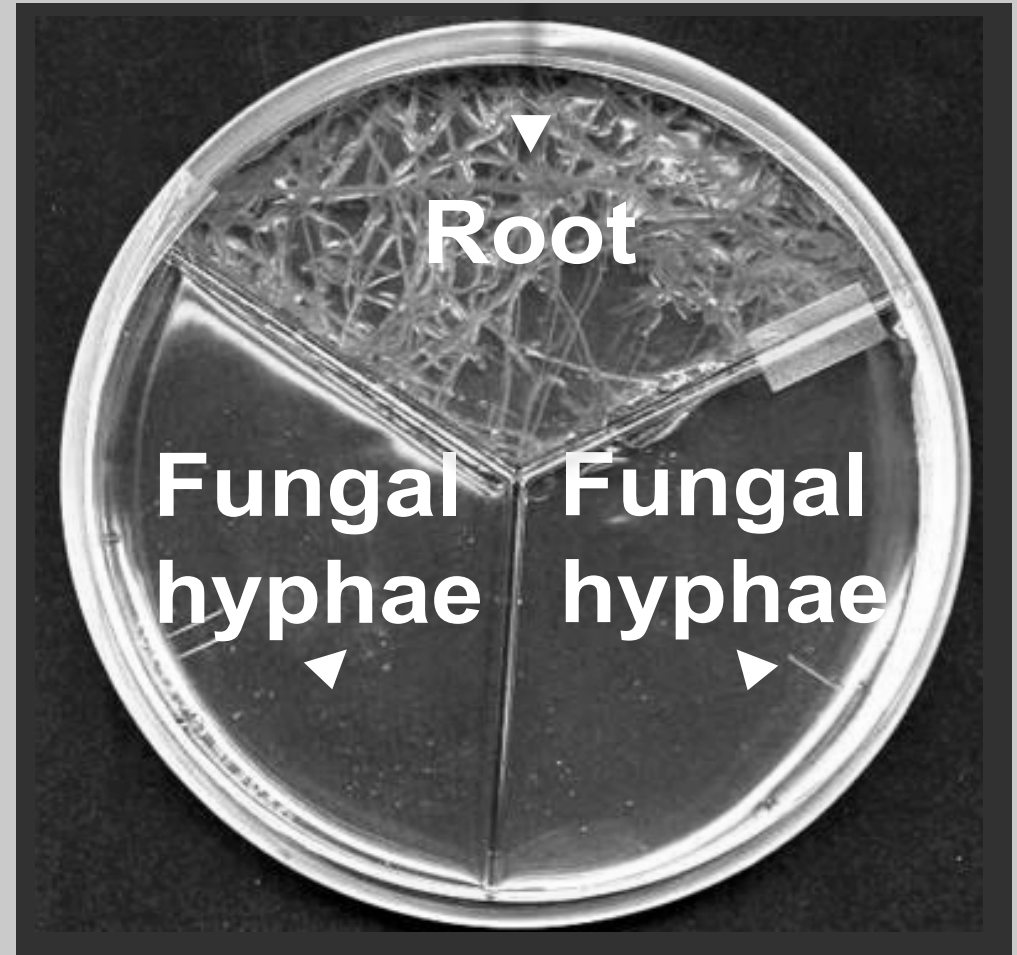
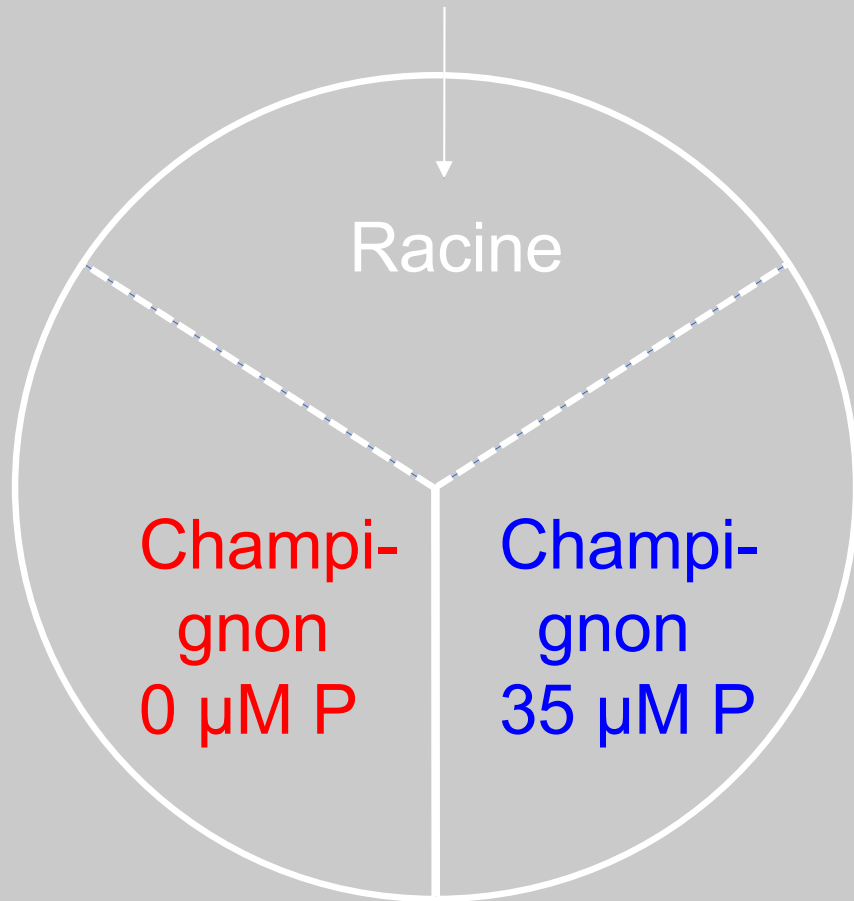
Les sanctions /  
choix de partenaire

*Glomus etunicatum*  
+  
diverses  
espèces  
de plantes  
hôtes

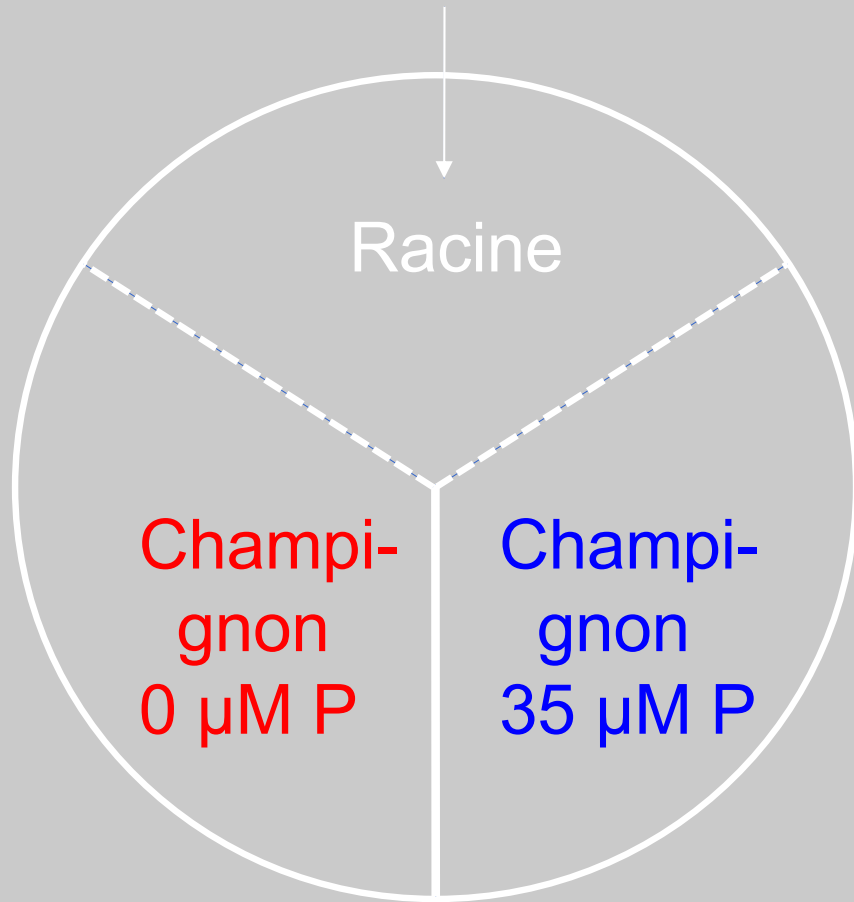
Effet en %  
(biomasse)  
de la mycorrhization



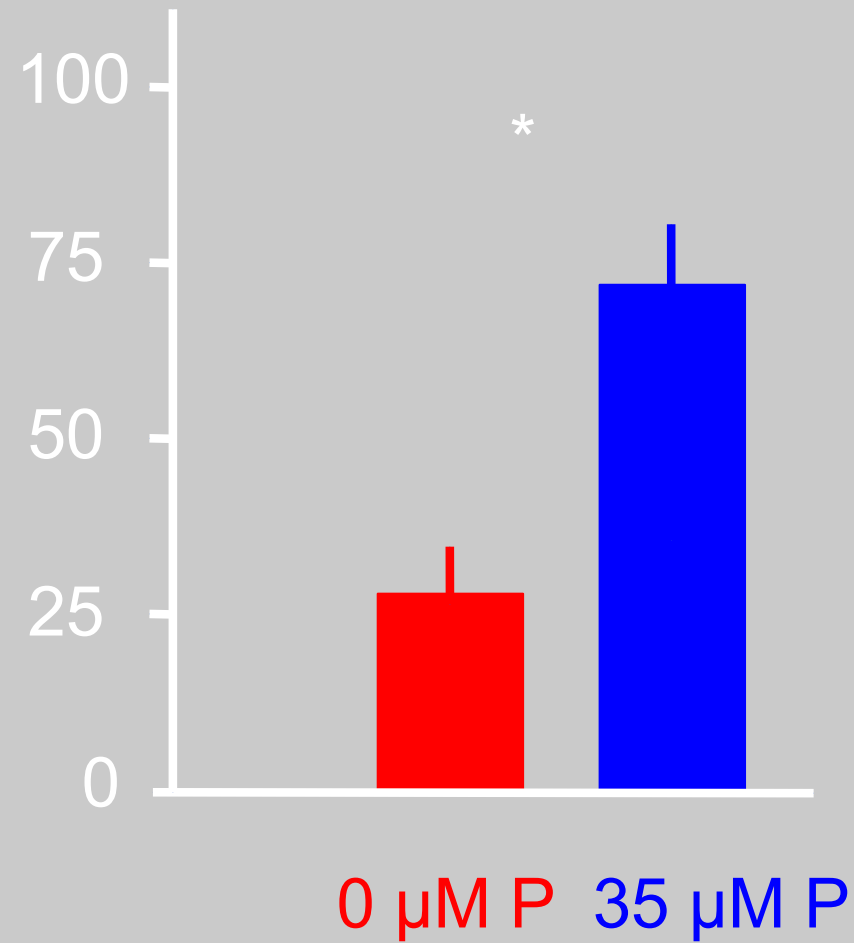
$^{14}\text{C}$  - saccharose

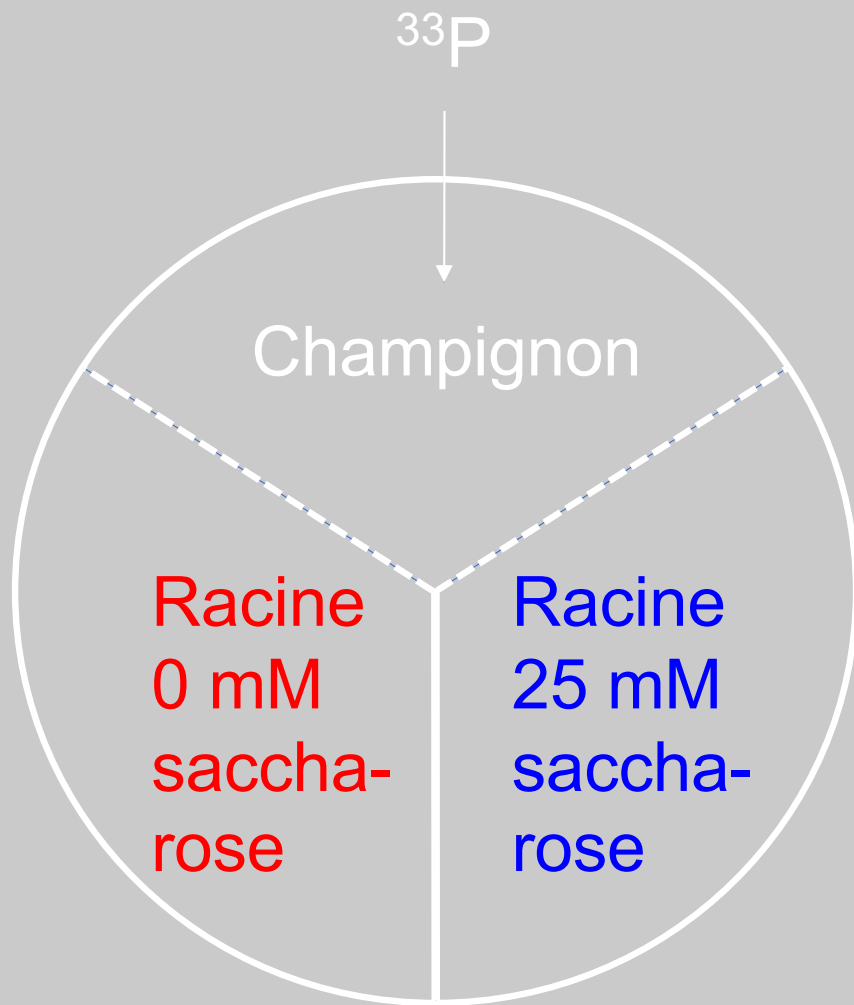


$^{14}\text{C}$  - saccharose

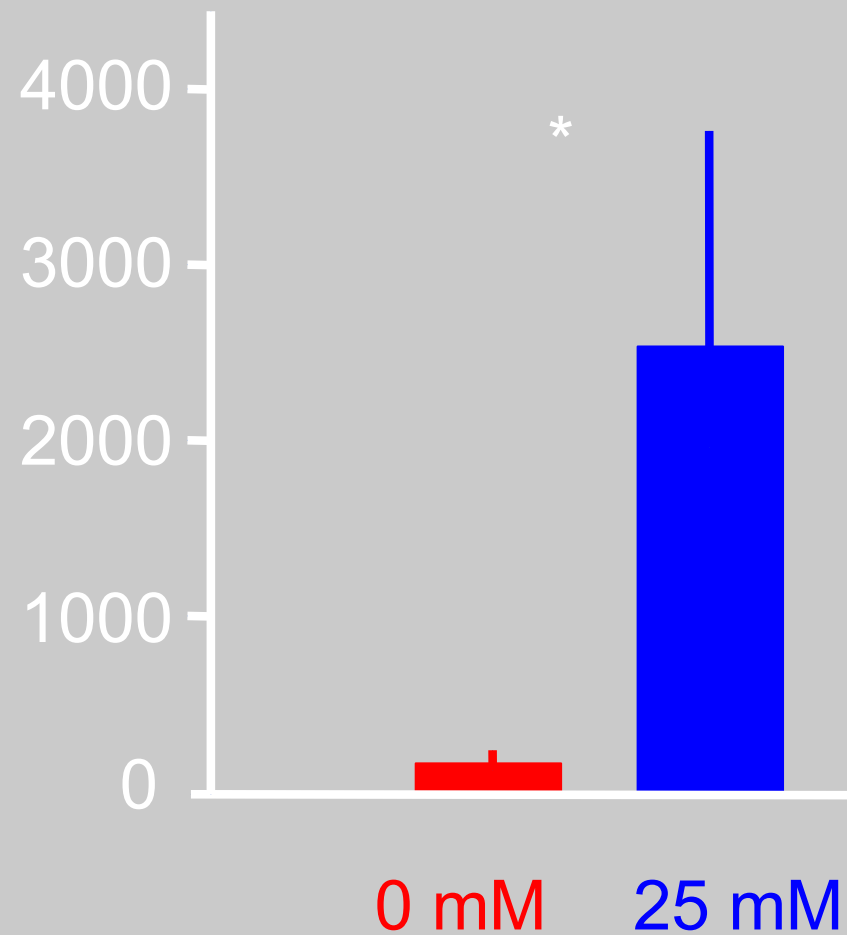


$^{14}\text{C}$  alloué à chaque champignon  
(% du total transféré)



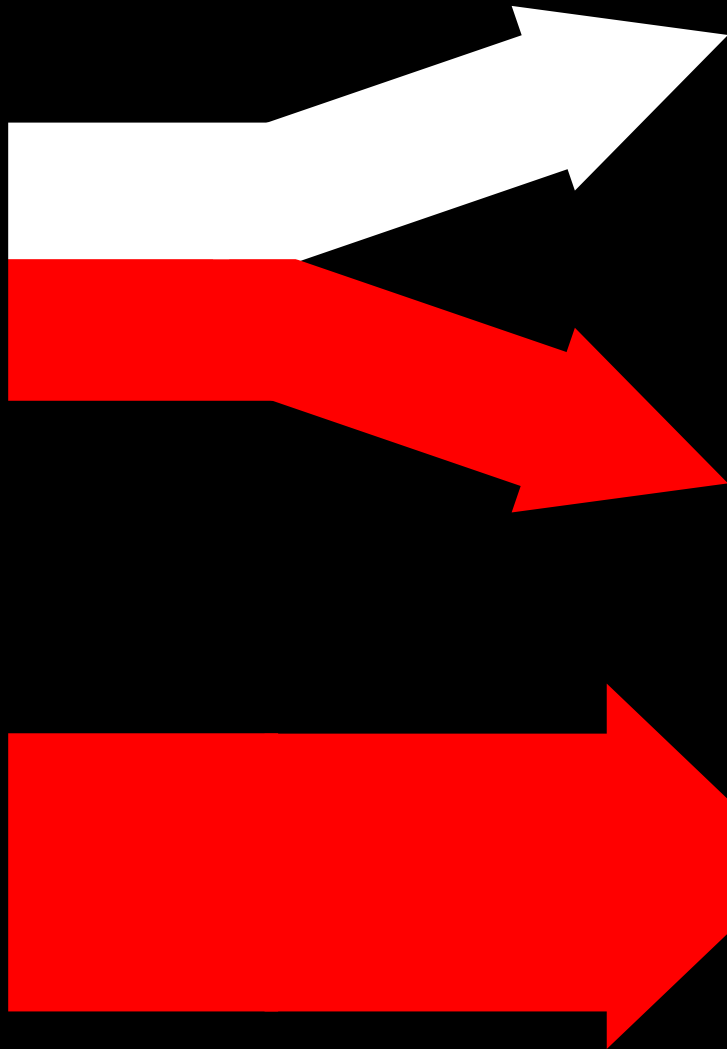


$^{33}\text{P}$  intégré dans les racines  
(dpm  $\text{mg}^{-1}$ )



# LES AMIS (?) TRICHEURS

Ressources issues  
du partenaire



Coopération

Altruiste

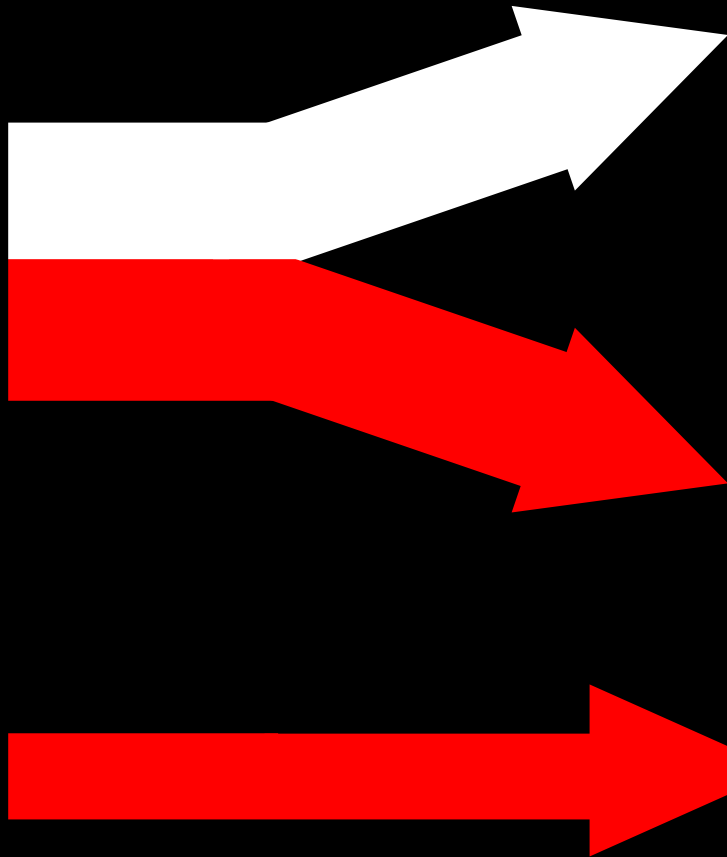
Reproduction

Repro-  
duction

Tricheur

# LES AMIS (?) TRICHEURS

Ressources issues  
du partenaire



Coopération

Altruiste

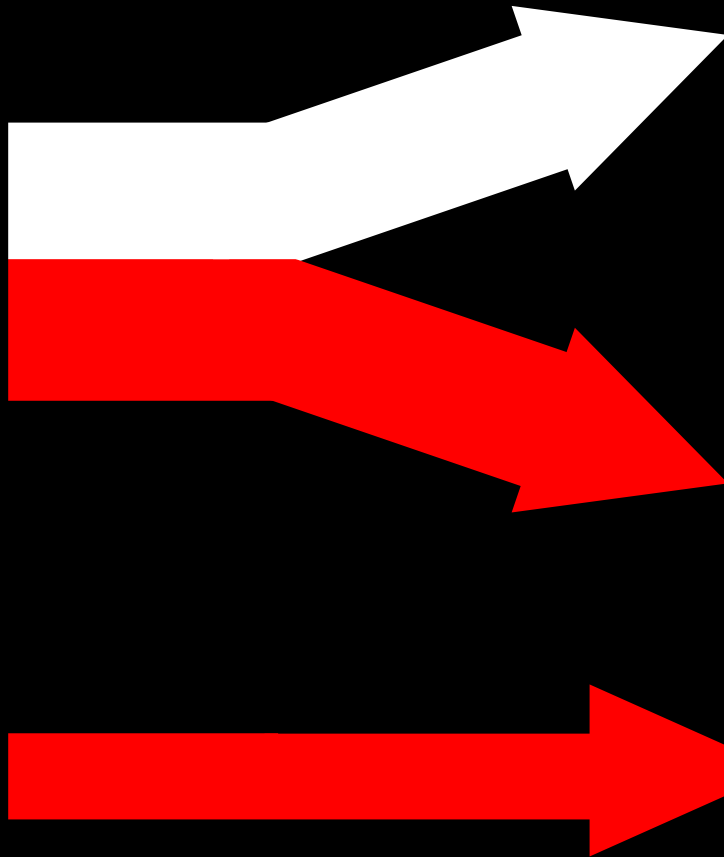
Reproduction

Repro-  
duction

Tricheur

# LES AMIS (?) TRICHEURS

Ressources issues  
du partenaire



Coopération

Altruiste

Reproduction

Repro-  
duction

Tricheur

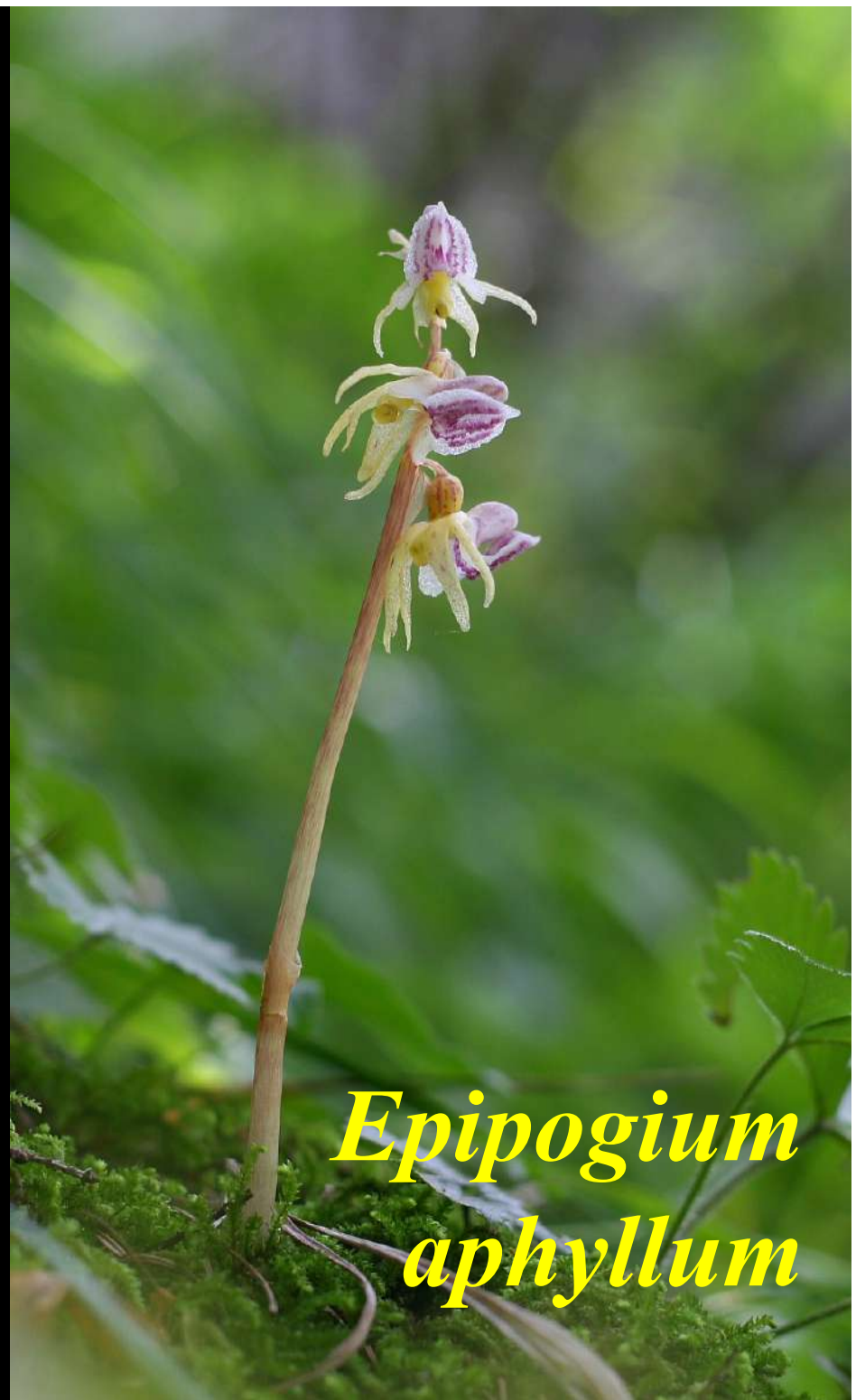
COEVOLUTION

Darwin (*On the Origin of Species*), 1859:

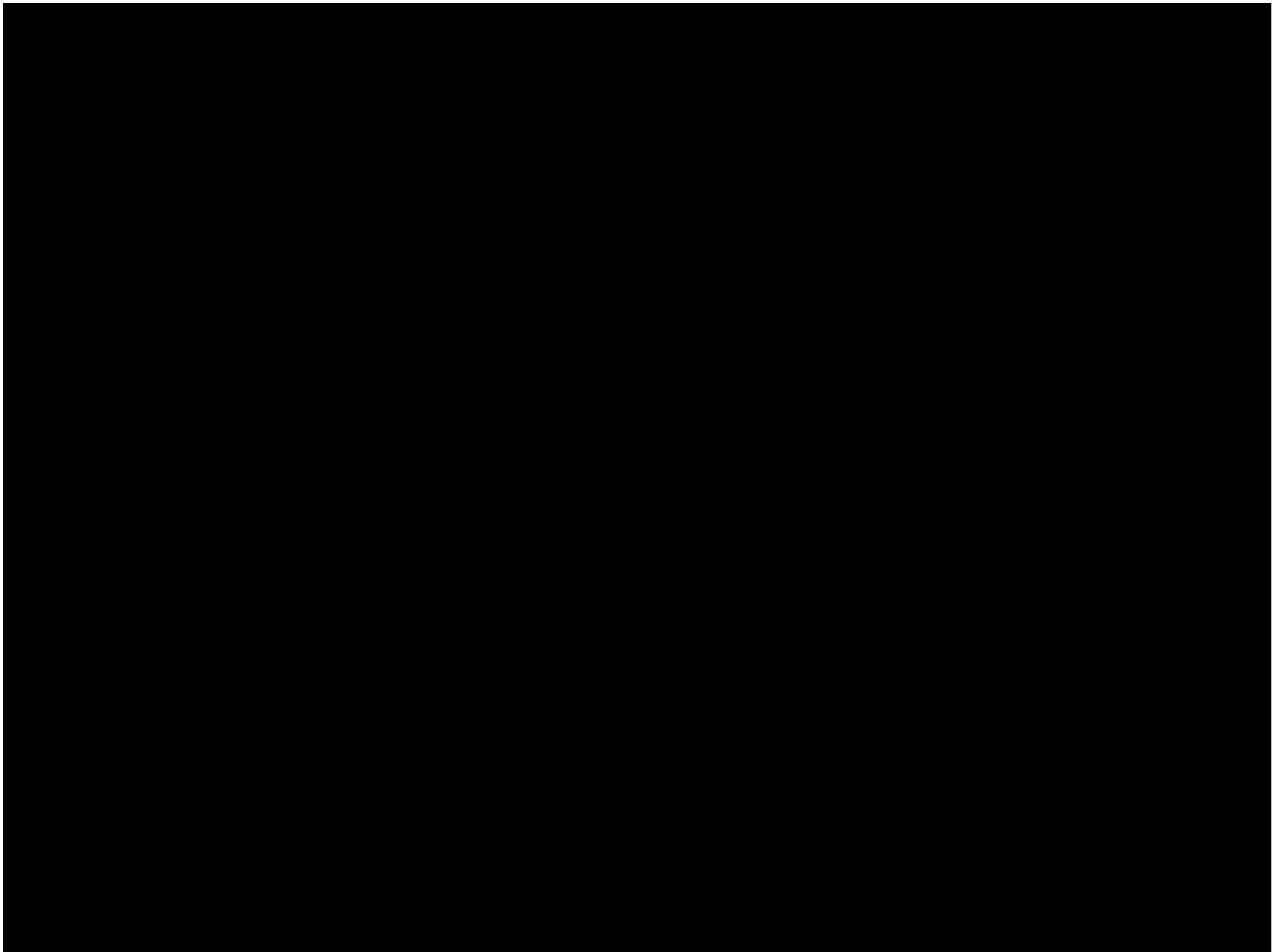
‘Natural selection **cannot possibly produce any modification in any one species exclusively for the good of another species.** (...) If it could be proved that any part of the structure of any one species had been formed for the exclusive good of another species, it would annihilate my theory, for such could not have been produced through natural selection.



*Neottia  
nidus-avis*

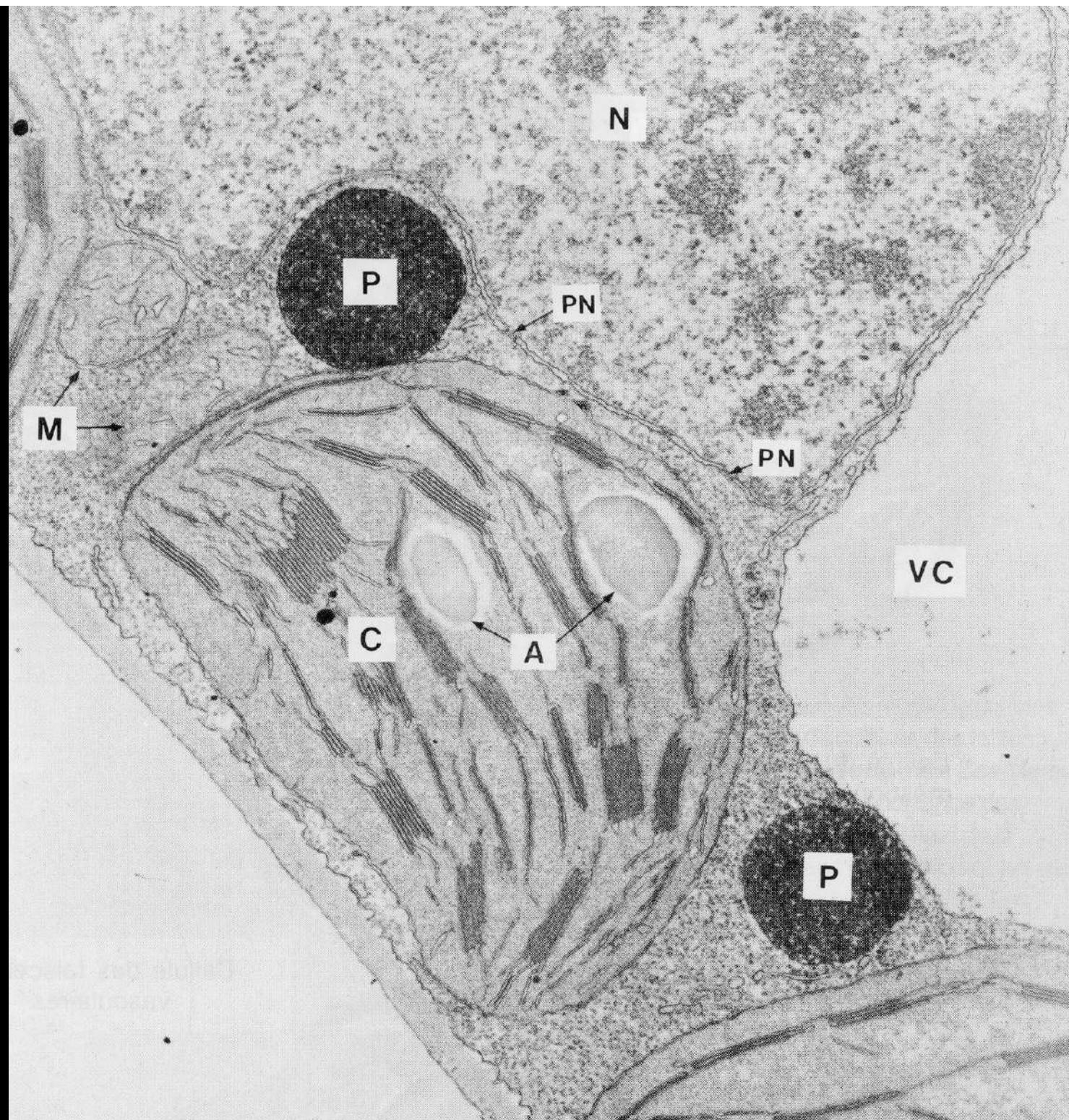


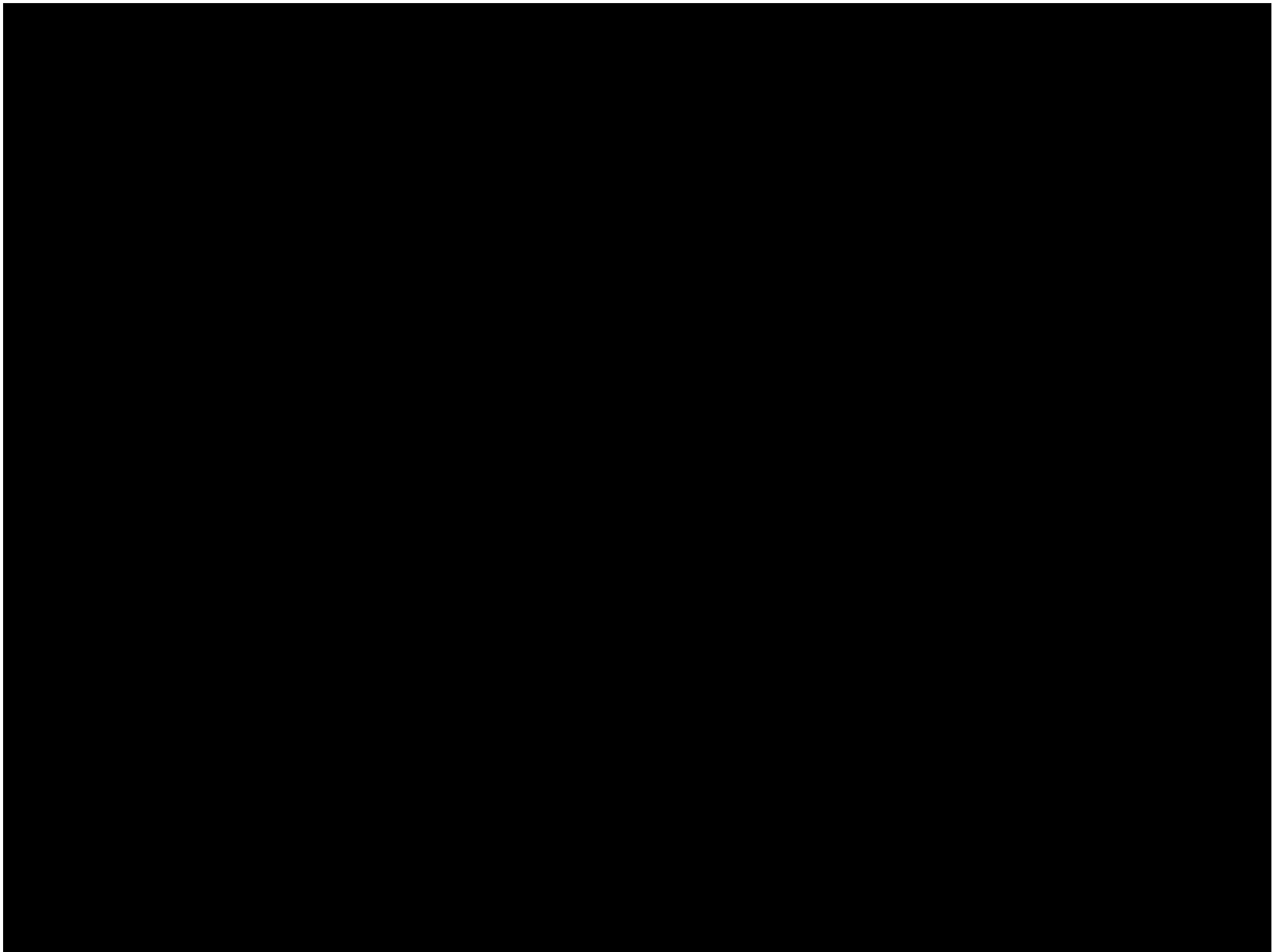
*Epipogium  
aphyllum*



5.

La victoire de  
l'enfermement





**L'émergence tardive de la coopération**

**L'émergence tardive de l'endosymbiose**

**Le paradoxe de la coopération**

**Cinq solutions pour ce paradoxe**



MARC-ANDRÉ  
SELOSSE

# JAMAIS SEUL

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

postface de Francis Hallé

ACTES SUD

*Suivez-moi sur  
Facebook &  
LinkedIn*

*Recherches sur  
le site de  
l'équipe  
INEVEF au  
Muséum*