

# Chapitre 4 : les relations plantes- agents pathogènes (hors végétaux)



**Production réelle et pertes estimatives de huit récoltes de 1988 à 1990, par parasite et par région (en billions\$ US)**

Région	Production réelle	Causes des pertes			Total
		Pathogènes	Insectes	Adventices	
Afrique	13.3	4.1	4.4	4.3	12.8
Amérique du Nord	50.5	7.1	7.5	8.4	22.9
Amérique Latine	30.7	7.1	7.6	7.0	21.7
Asie	162.9	43.8	57.6	43.8	145.2
Europe	42.6	5.8	6.1	4.9	16.8

Source: E. Oerke et al., "Crop production and crop protection: Estimated losses in major food and cash crops" (Production et protection des cultures : pertes estimatives des principales cultures vivrières et de rapport) (Amsterdam, Elsevier, 1995).

### Marché des pesticides: 30 milliards \$/an

Malgré les progrès de la lutte intégrée, on estime que les pertes avant et après récoltes causées par l'ensemble des ravageurs avoisine 30%, le même pourcentage qu'au début du siècle (1999).

# LES 10 AGENTS PATHOGÈNES ALIMENTAIRES LES PLUS RECHERCHÉS

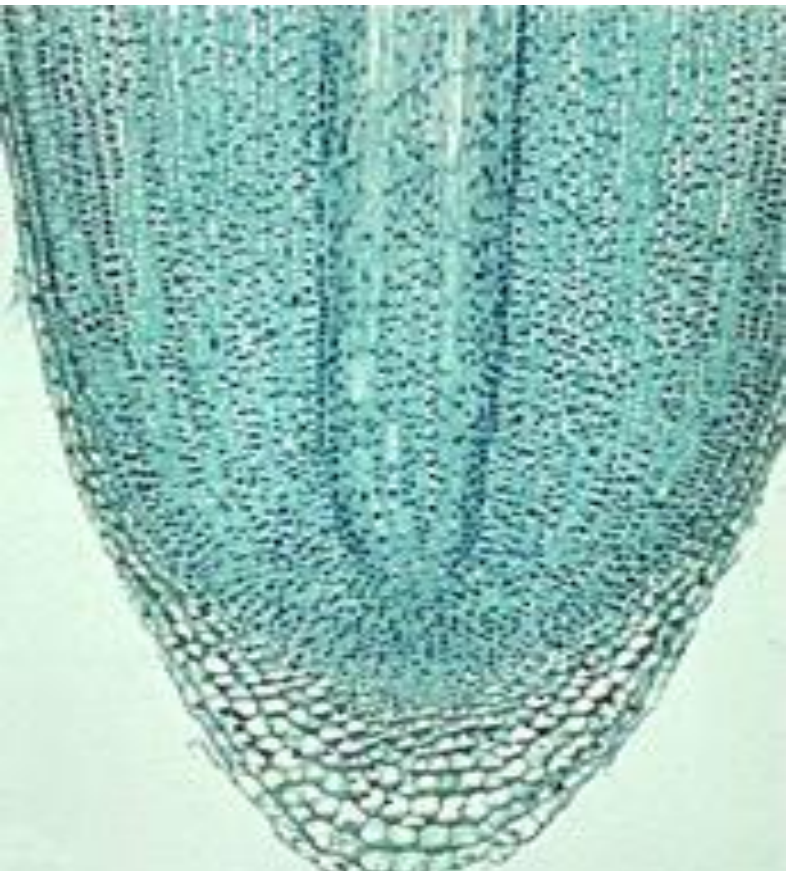
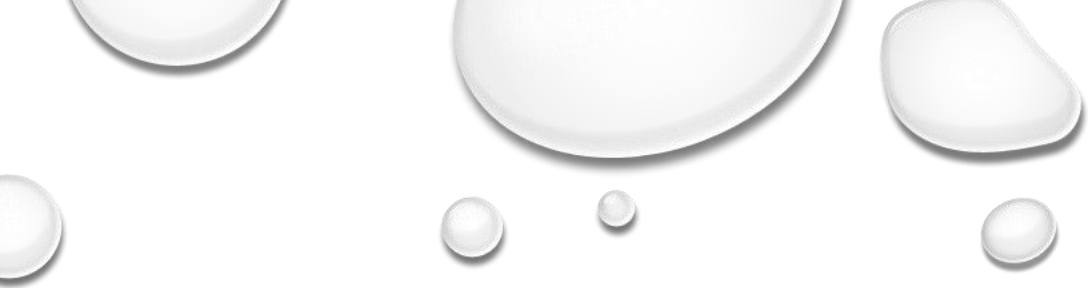
---

## AU CANADA

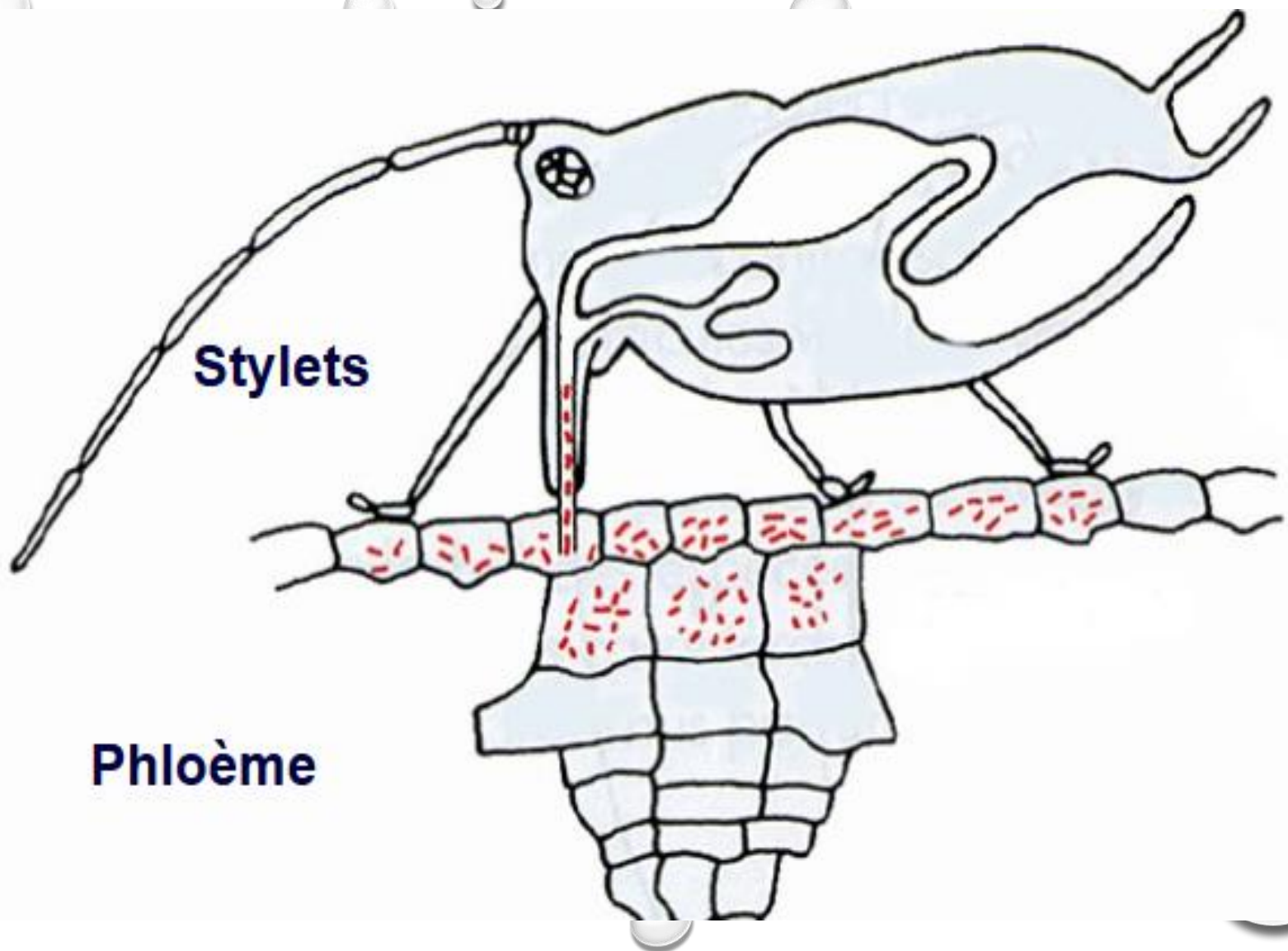


LES AGENTS PATHOGÈNES ALIMENTAIRES SONT DES MICROORGANISMES  
QUI PEUVENT SE RETROUVER DANS LES ALIMENTS ET VOUS RENDRE MALADE.  
PROTÉGEZ-VOUS : CUISEZ, NETTOYEZ, RÉFRIGÉREZ ET SÉPAREZ.

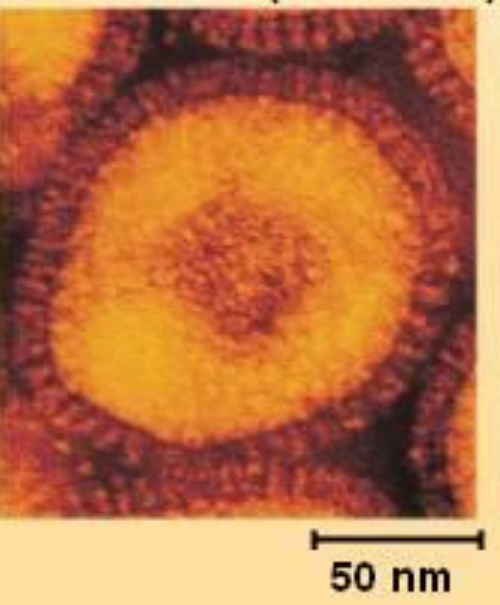
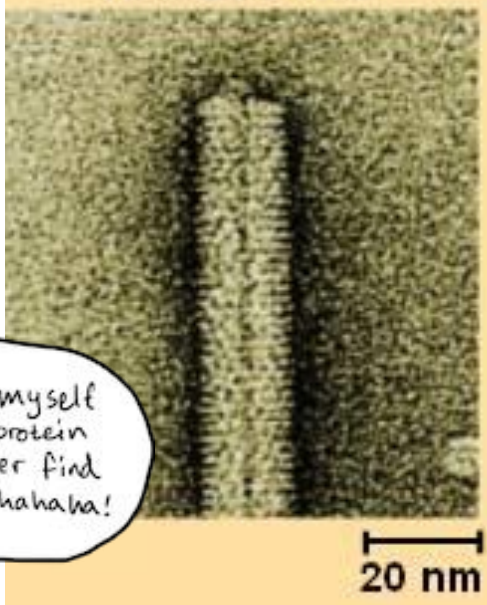










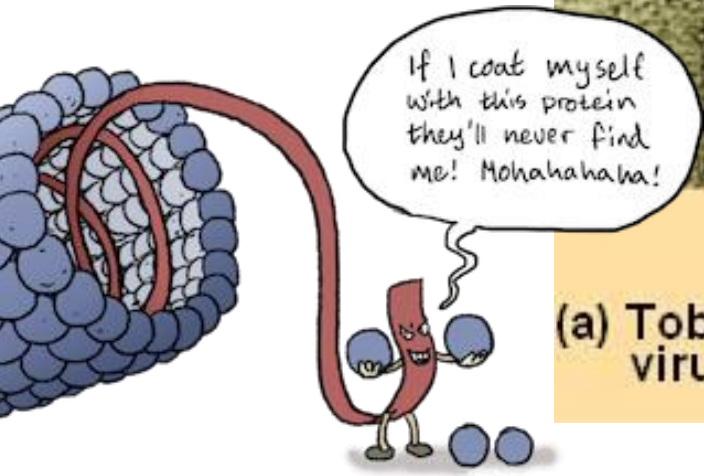


(a) Tobacco mosaic virus

(b) Adenoviruses

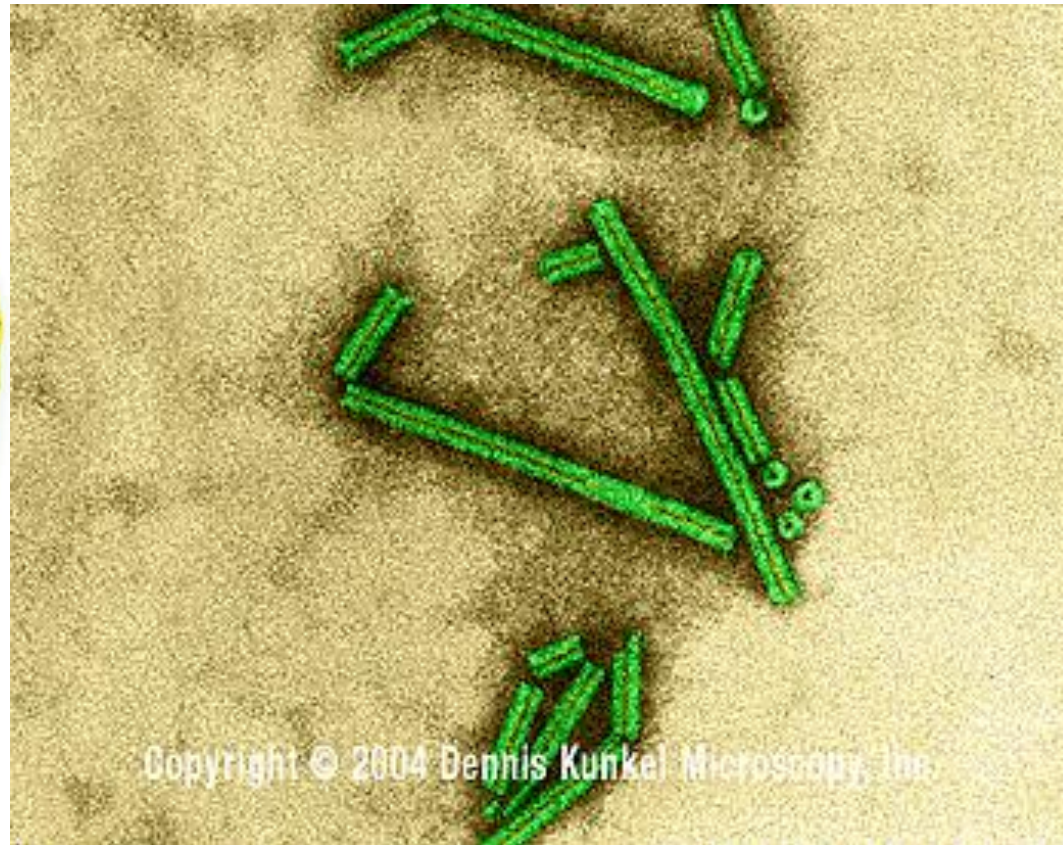
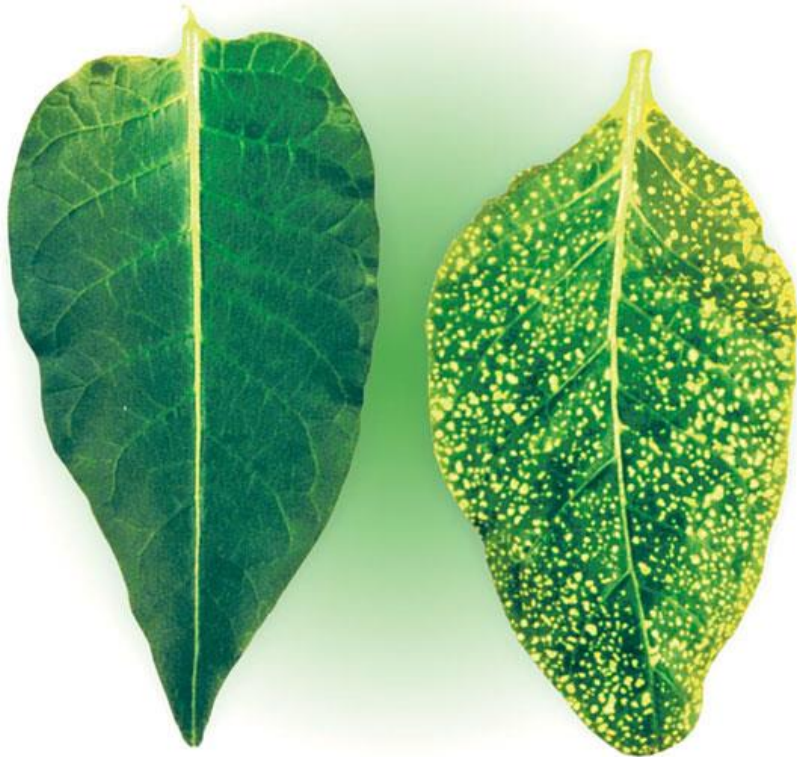
(c) Influenza viruses

(d) Bacteriophage T4





*TMV : Tobacco Mosaic Virus et Nicotiana tabacum*







**3.1. *Martinus Beijerinck***





# Le virus de la mosaïque du Tabac

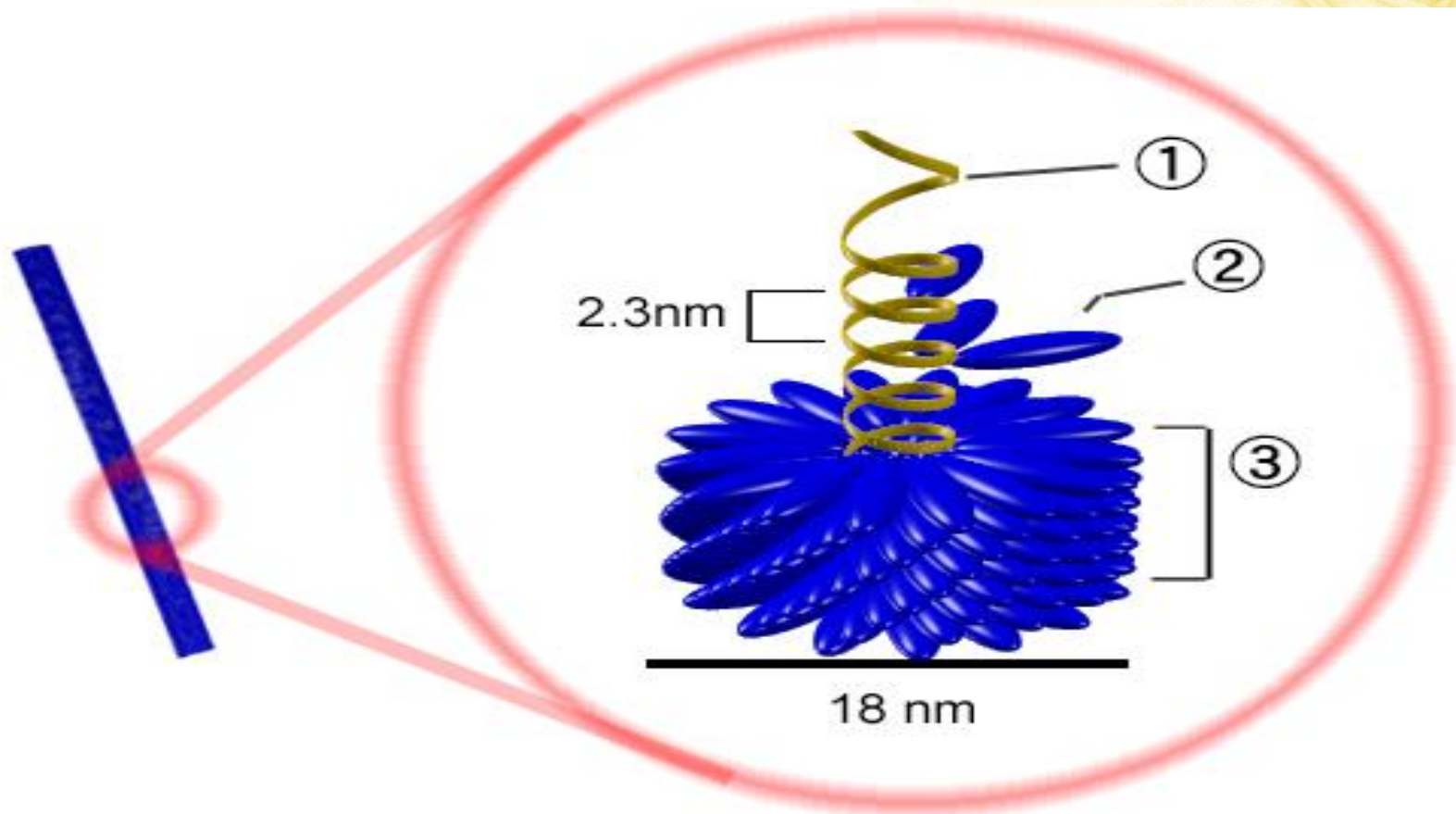
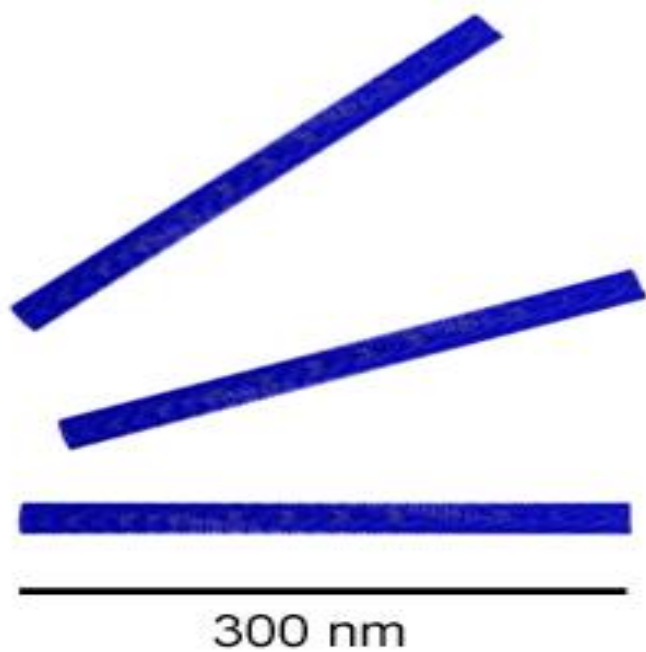
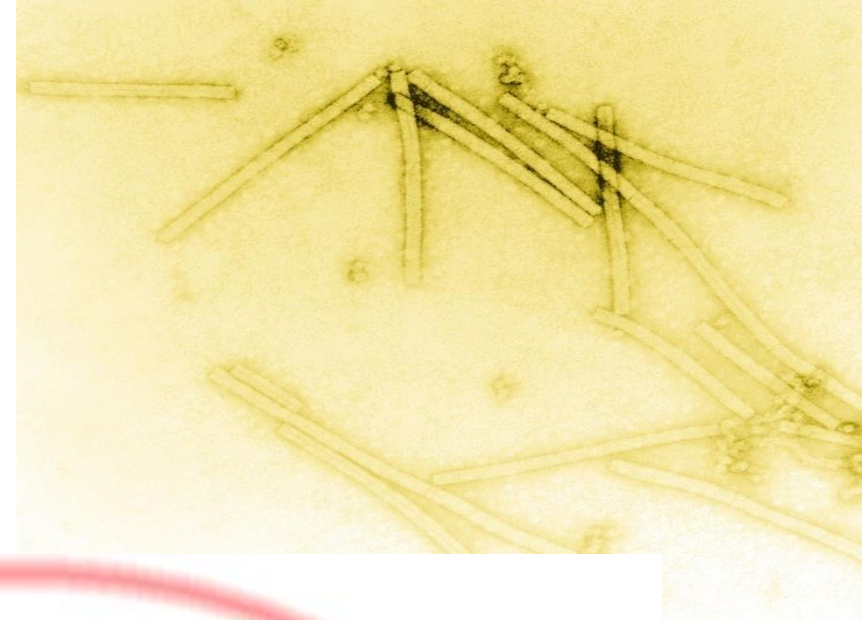


Plant de Tabac

Feuille infectée par le virus



# Le virus de la mosaïque du Tabac

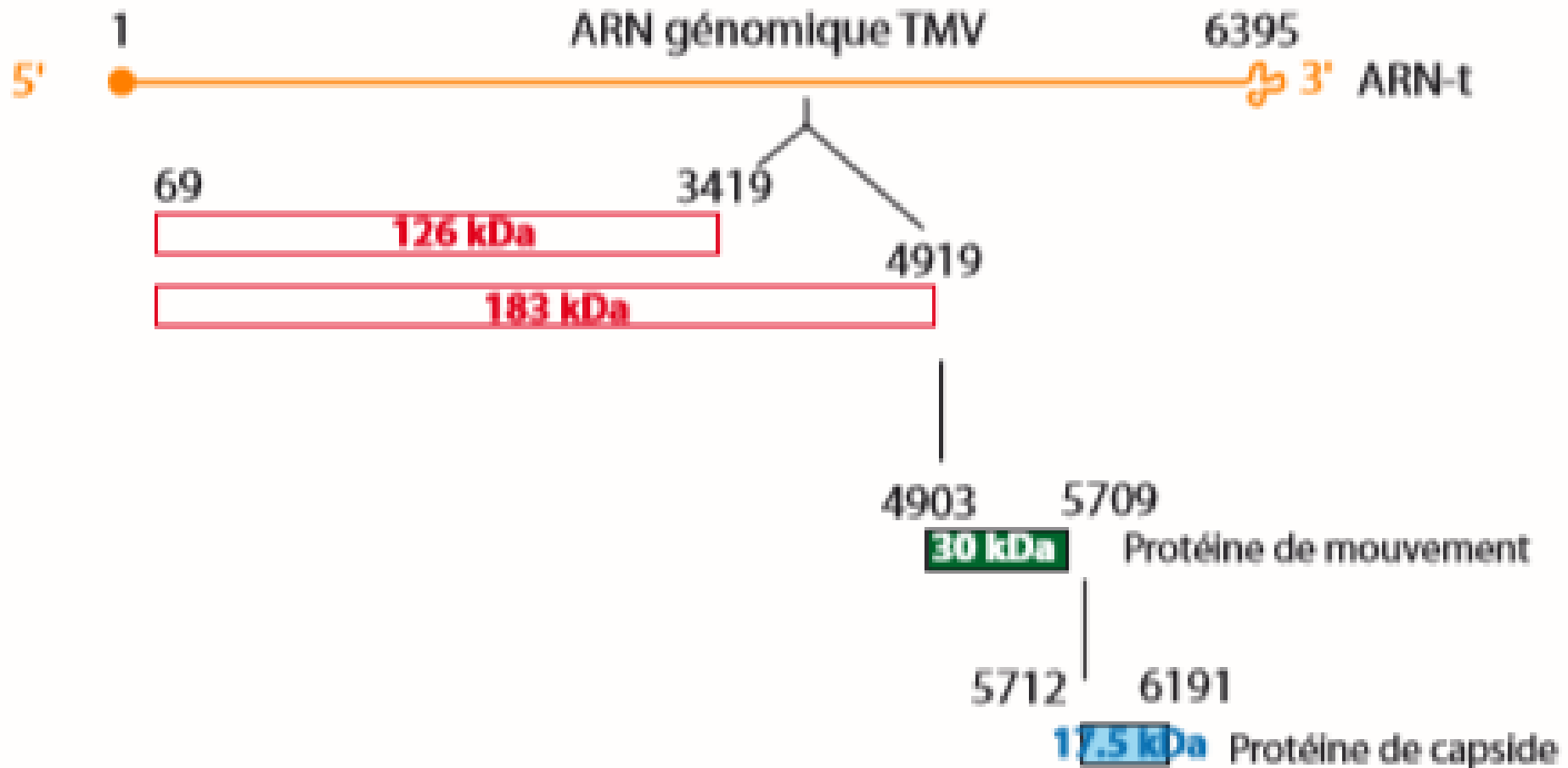




The background of the slide is white and decorated with several realistic water droplets of various sizes. Some are large and prominent, while others are small and scattered. The droplets have a soft, realistic appearance with highlights and shadows, giving them a three-dimensional look.

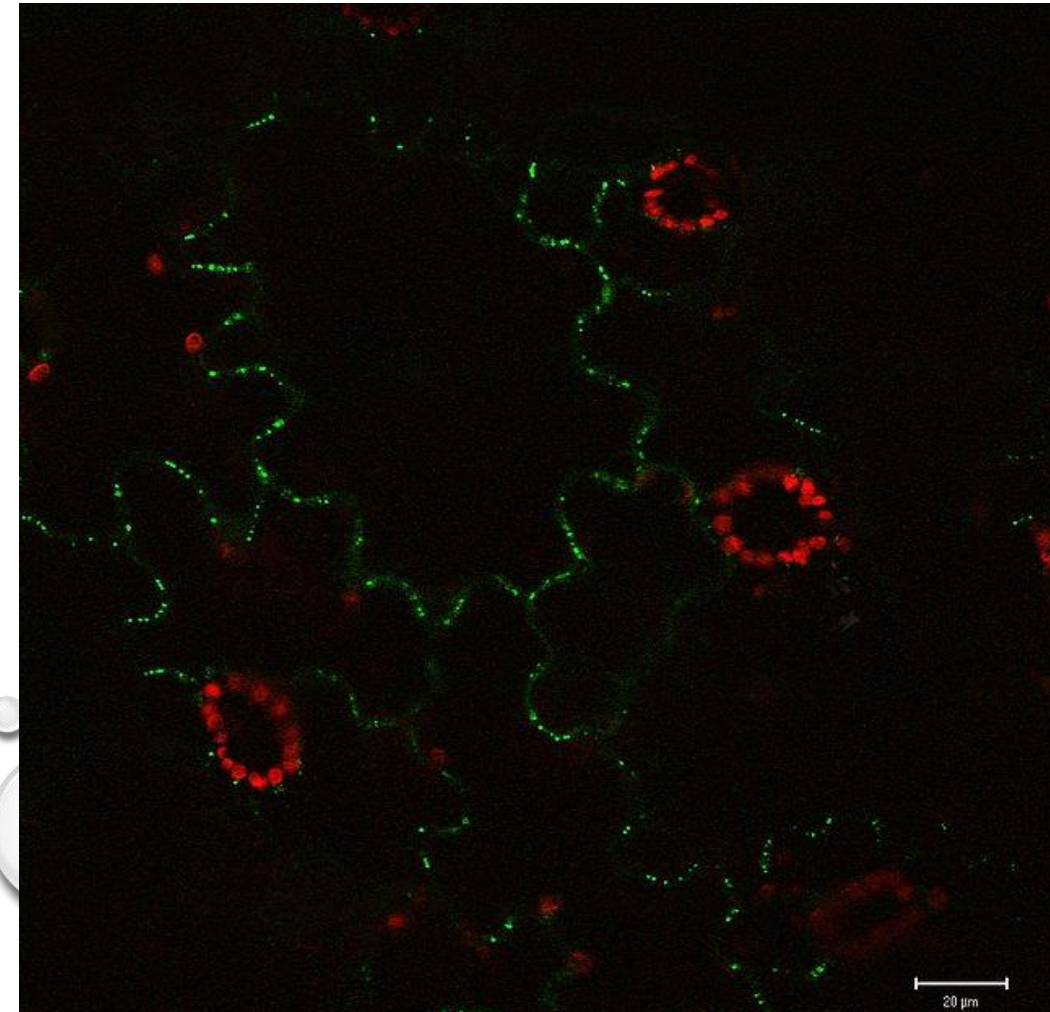
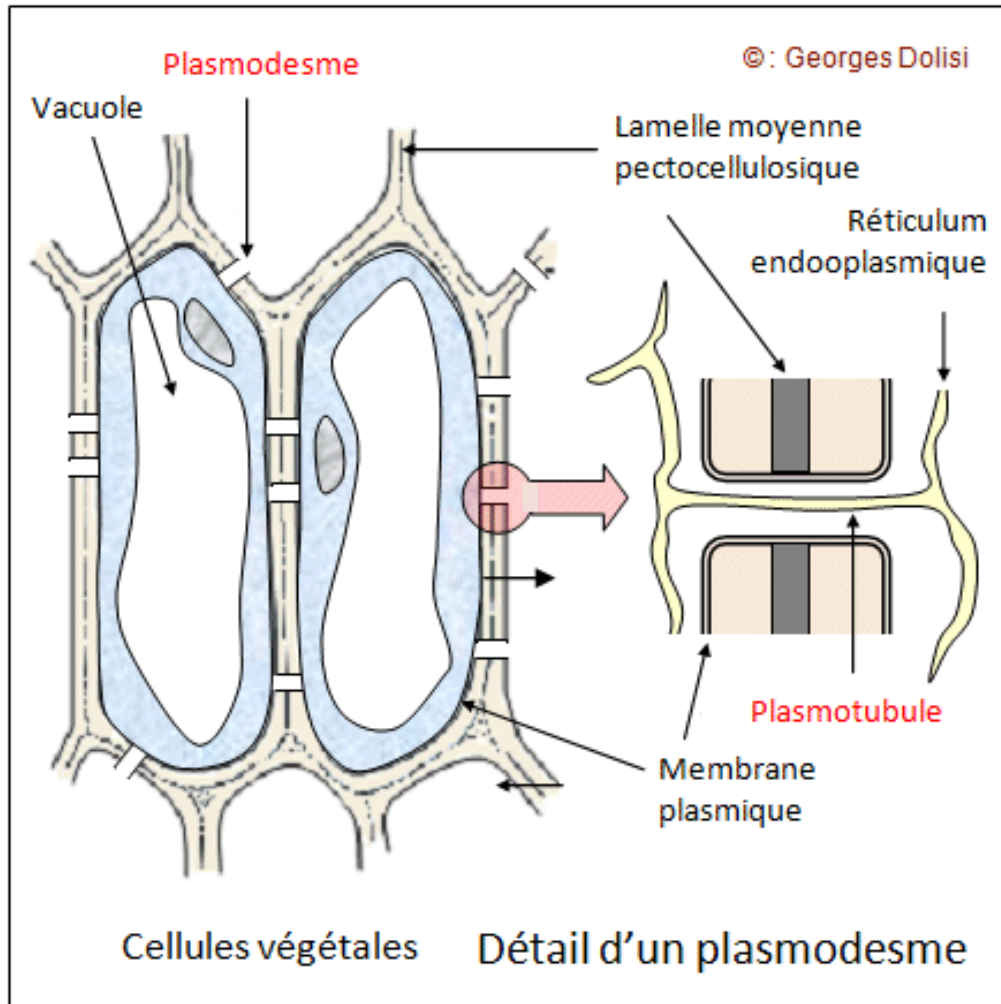
# La réplication du virus

# Une réplication par translecture

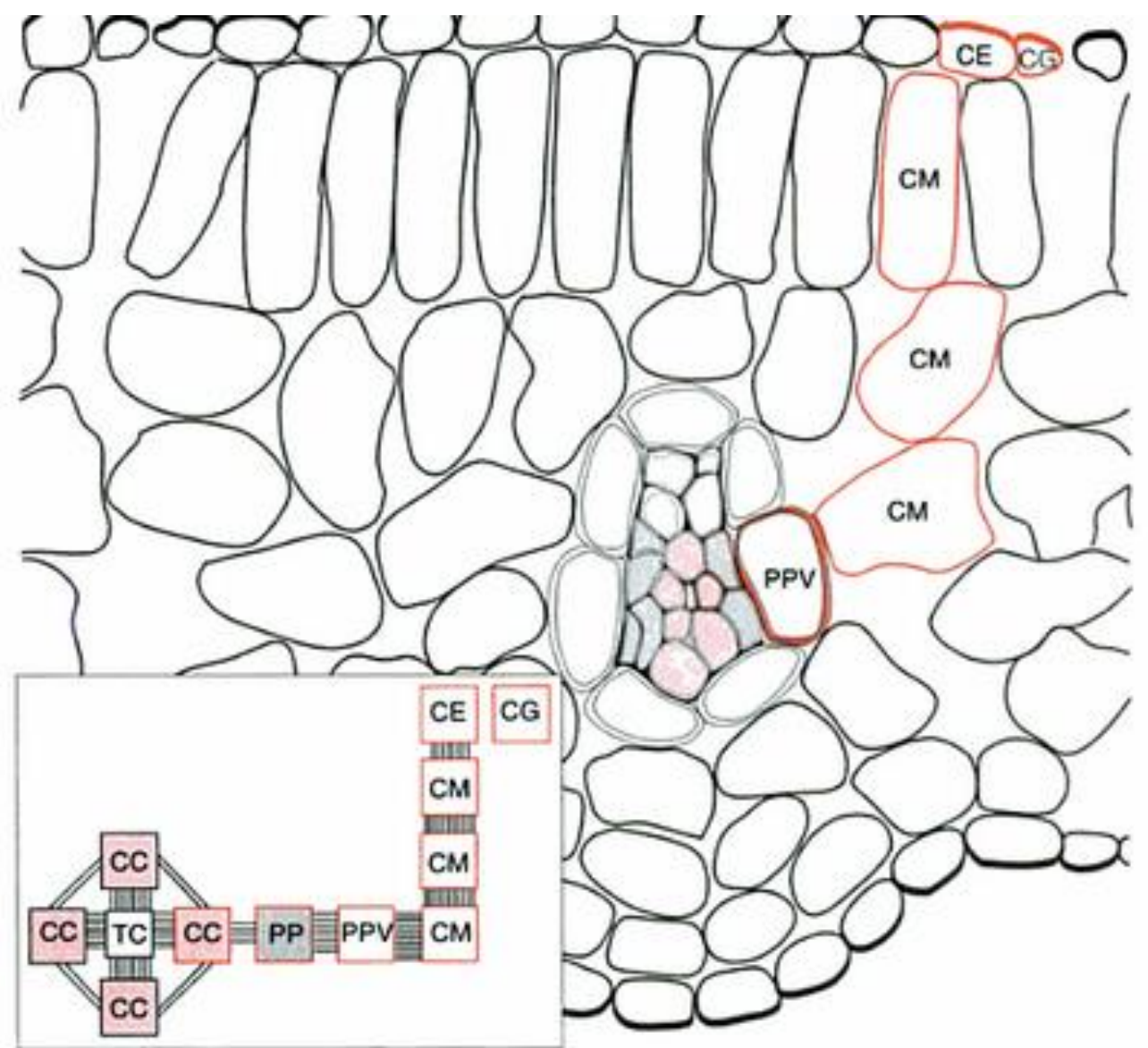




# Le mouvement du virus à courte distance



# Le transport à longue distance



**Figure 4.6** – Différents types cellulaires infectés par le **virus** au niveau de la feuille: CG = cellule de garde des stomates; CE = cellule épidermique; CM = cellule de mésophylle; PPV = cellule de parenchyme périvasculaire; PP = cellule de parenchyme phoémien; CC = cellule compagne; TC = tube criblé. En bas à gauche, les nombres relatifs des plasmodesmes reliant les différents types cellulaires sont figurés par les traits.



**ADN bicaténaire**  
*Caulimoviridae*



*Caulimovirus*  
*Badnavirus*

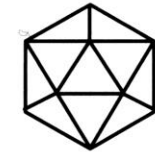
**ADN monocaténaire**

*Geminiviridae*



Sous groupe I, II    Sous groupe III

**ARN bicaténaire**

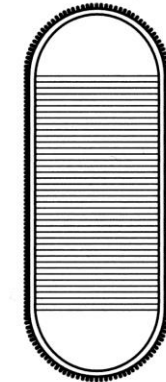


*Reoviridae*  
*Phytoreovirus*  
*Fijivirus*  
*Oryzavirus*

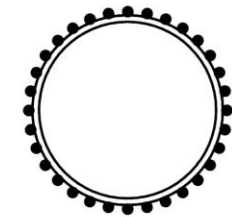


*Partitiviridae*  
*Alphacryptovirus*  
*Betacryptovirus*

**ARN monocaténaire antimessager**



*Rhabdoviridae*  
*Cytorhabdovirus*  
*Nucleorhabdovirus*



*Bunyaviridae*  
*Tospovirus*

**ARN monocaténaire messenger**



*Sequiviridae*  
*Tombusviridae*



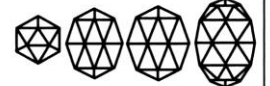
*Cucumovirus*  
*Bromovirus*



*Ilarvirus*



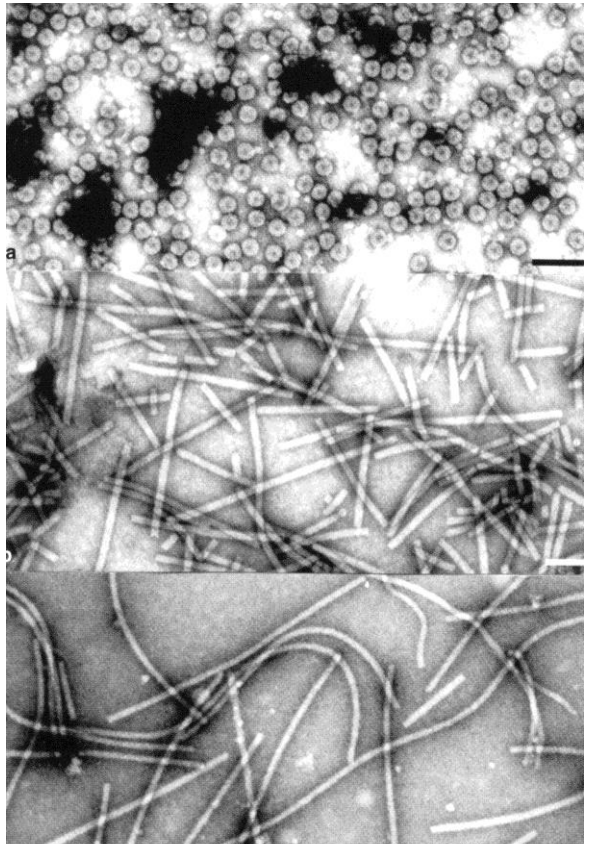
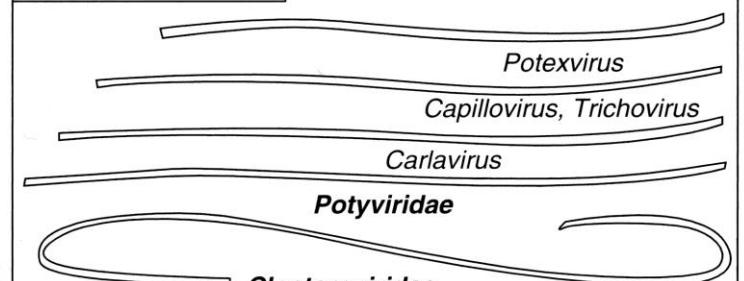
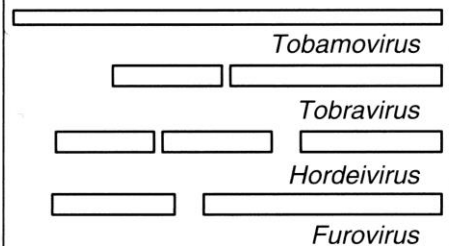
*Luteovirus*  
*Marafivirus*  
*Sobemovirus*  
*Tymovirus*



*Alfamovirus*

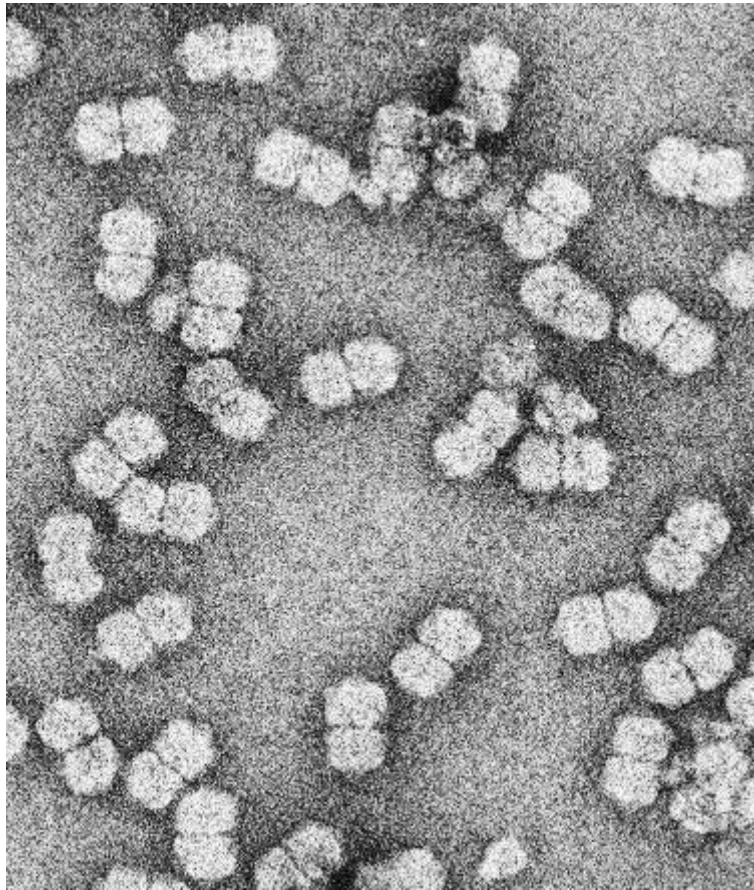


*Enanovirus*  
*Idaeovirus*



~100 nm

# Les géminivirus



Géminivirus de la striure du Maïs  
transmis par les Cicadelles





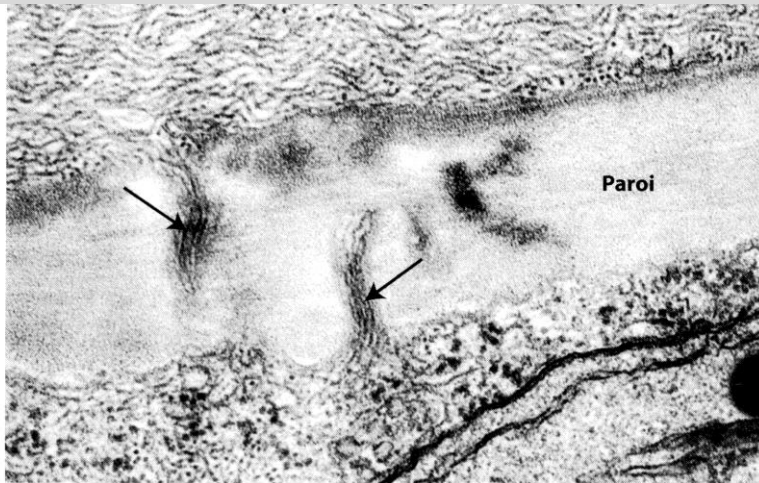
Le viroïde du  
Cadang-Cadang du Cocotier



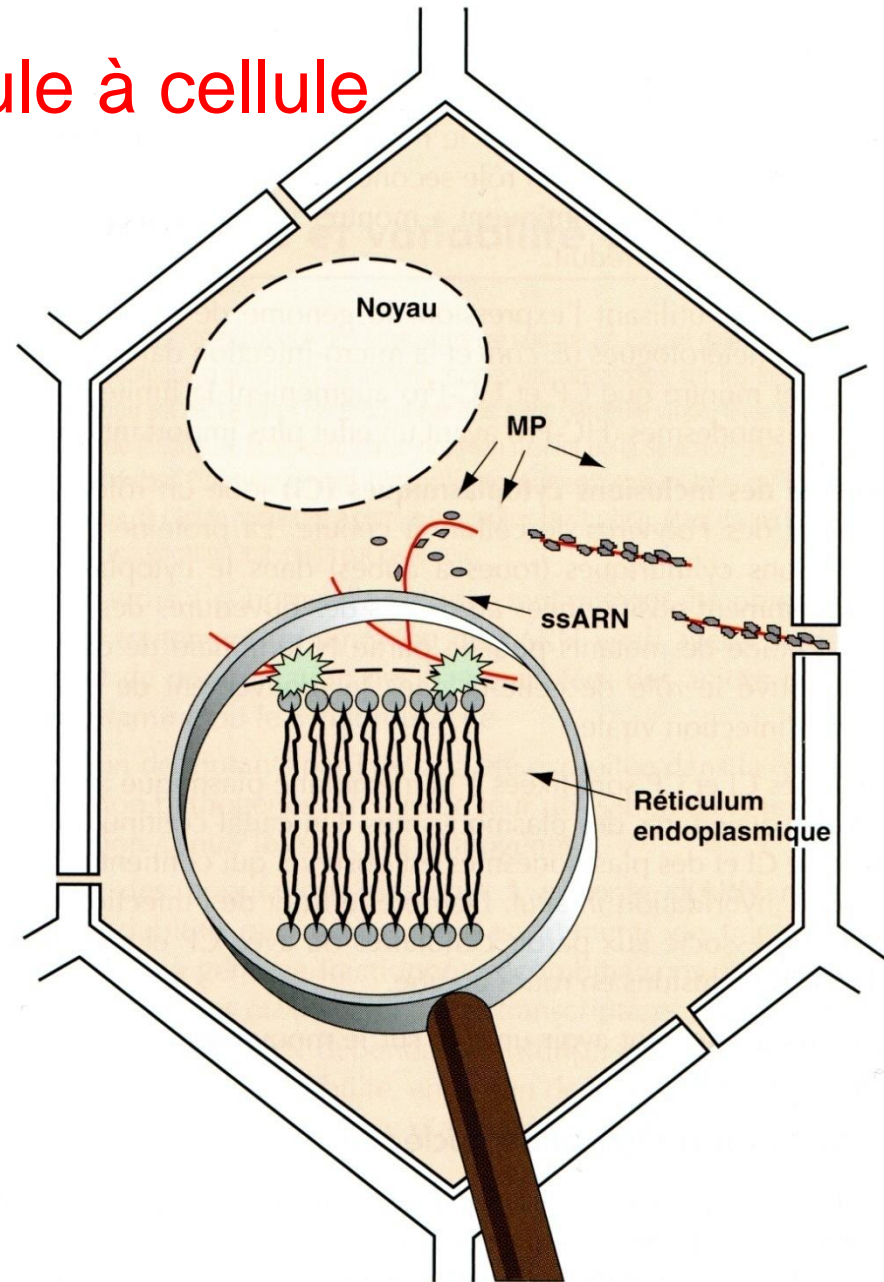


# Mouvement des virus de cellule à cellule

Particules du virus de la jaunisse de la Betterave dans les plasmodesmes, passant d'un tube criblé à sa cellule compagne

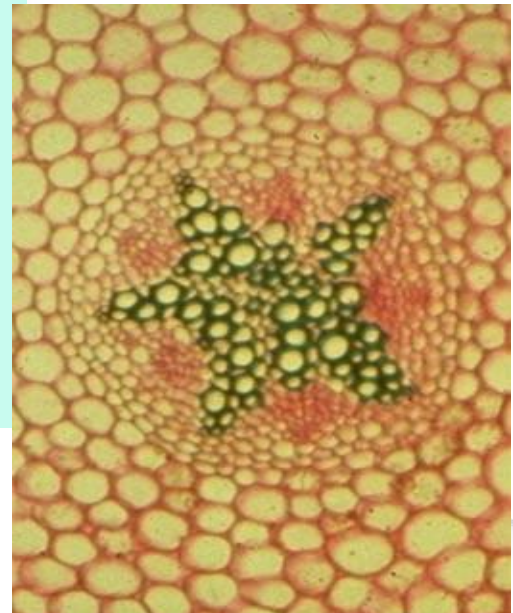
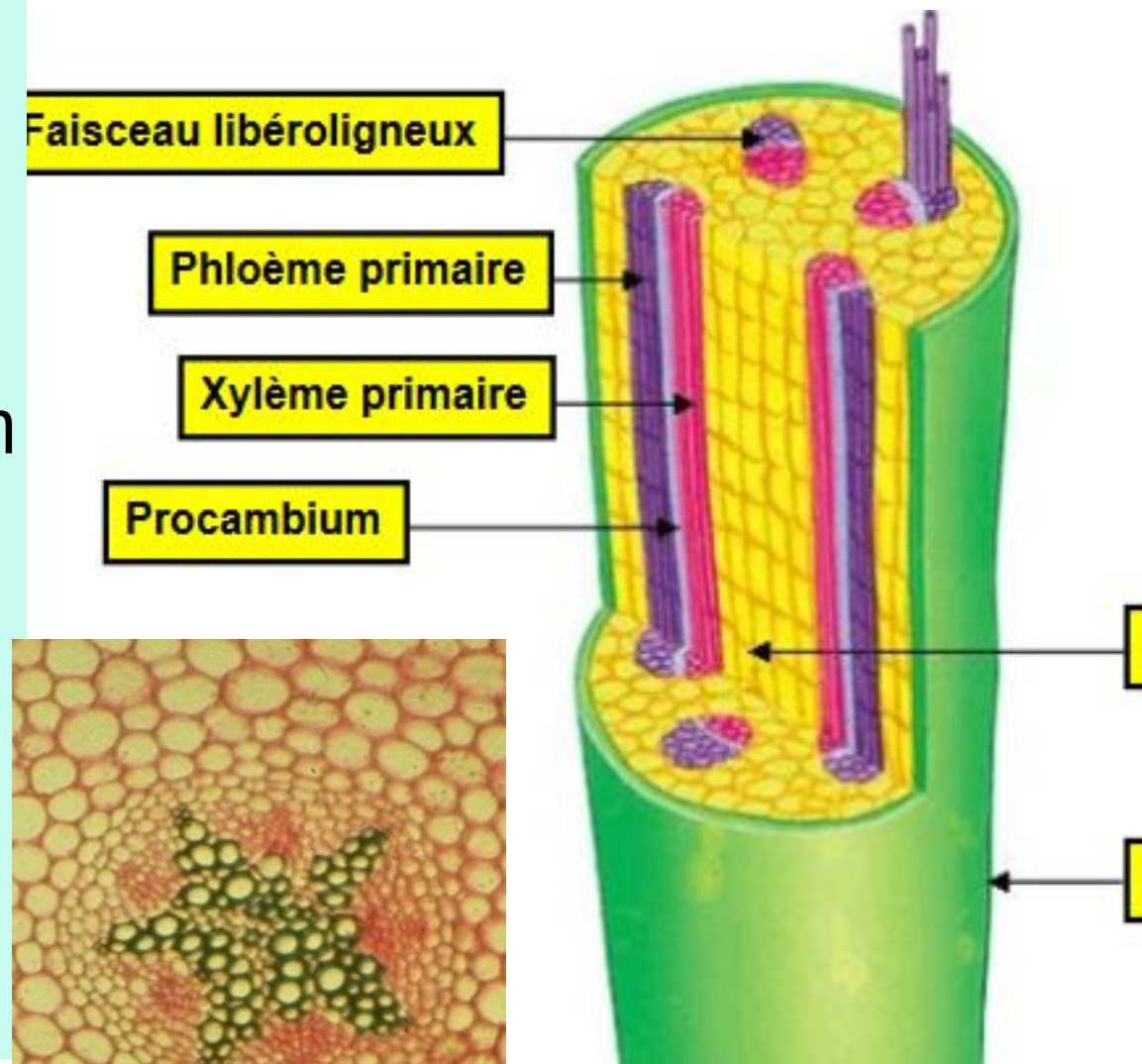
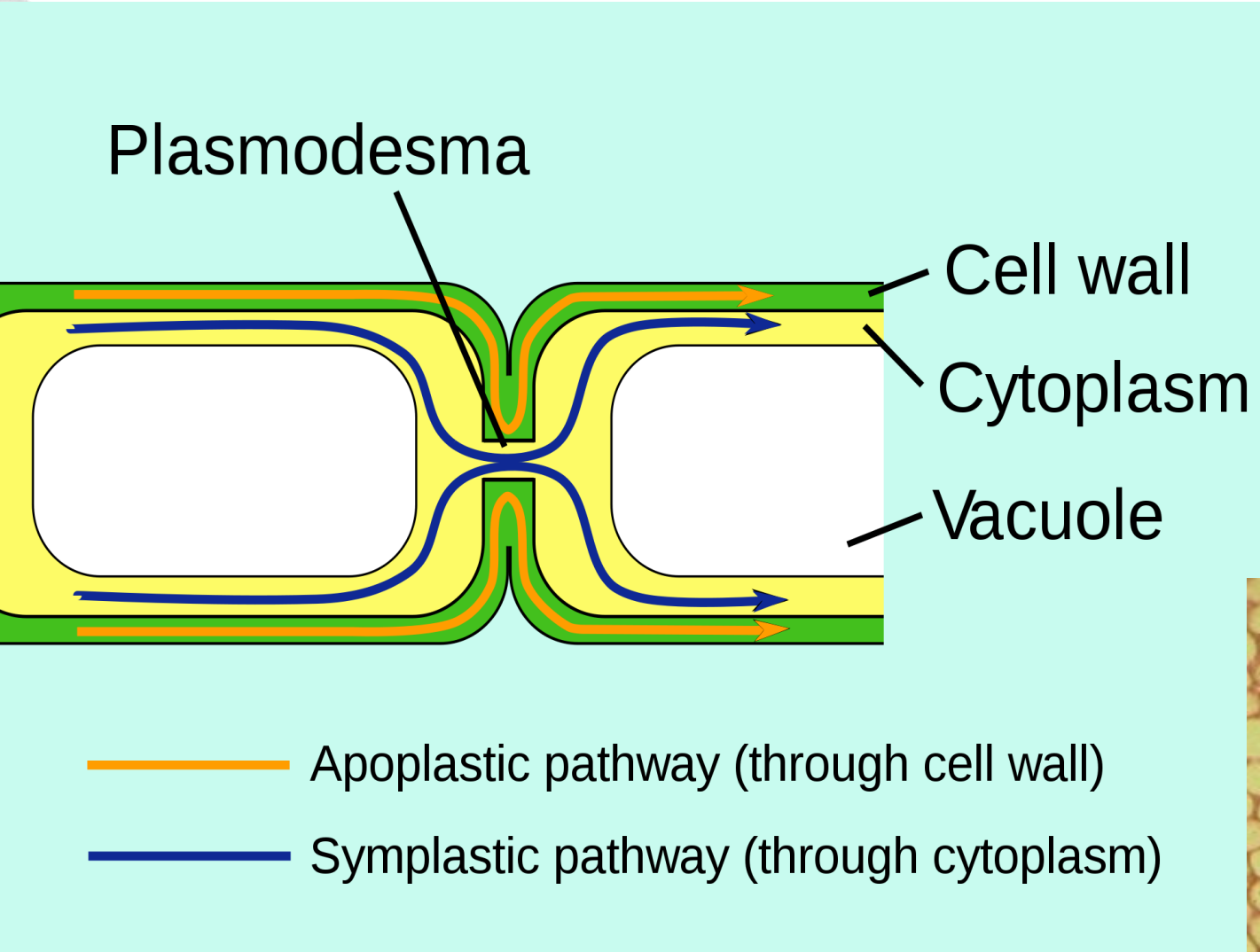


0,3  $\mu\text{m}$



	Polymérase virale		ARN messenger
	MP Protéine de mouvement		ARN antimessenger
			ss ARN : ARN simple brun





# Transmission d'une plante à une autre

Pucerons



Cochenilles



Cicadelles



**Insectes piqueurs**

**Nématodes du sol**



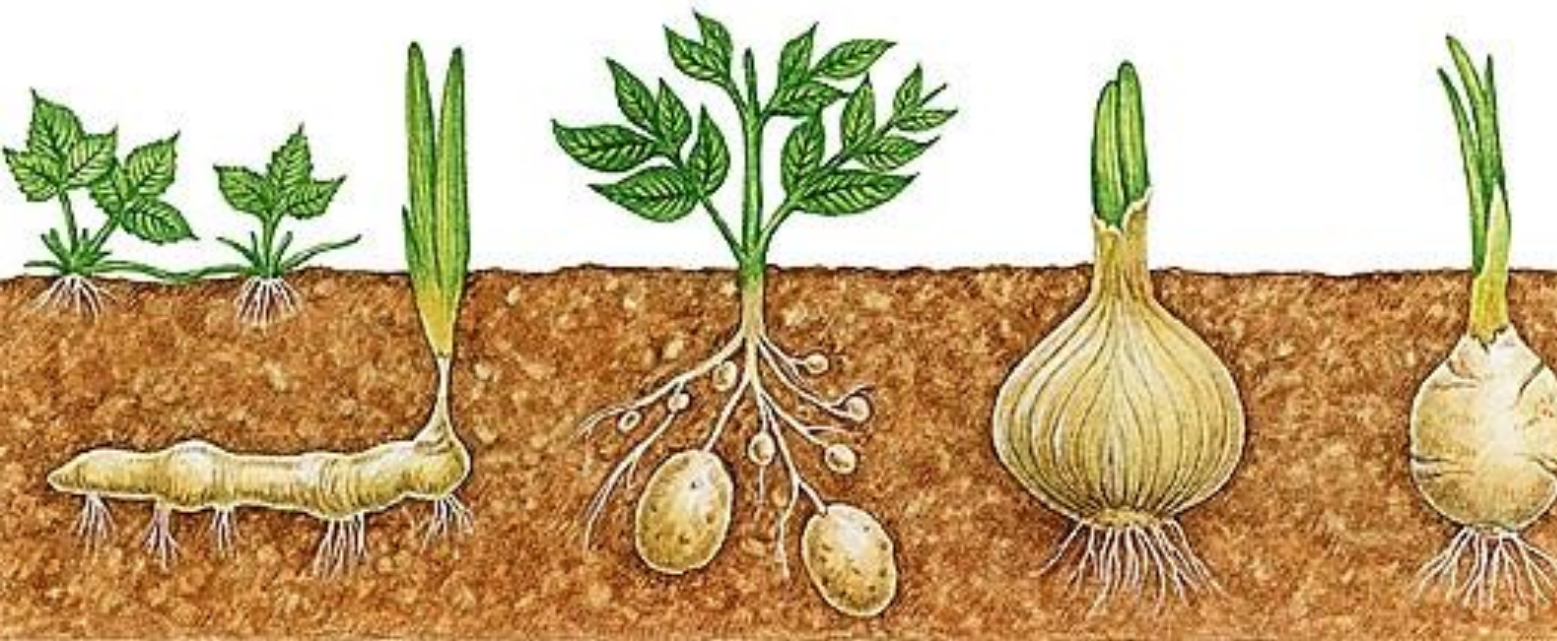


- Virose transmis par les pucerons :  
virus de la jaunisse nanisante de l'orge

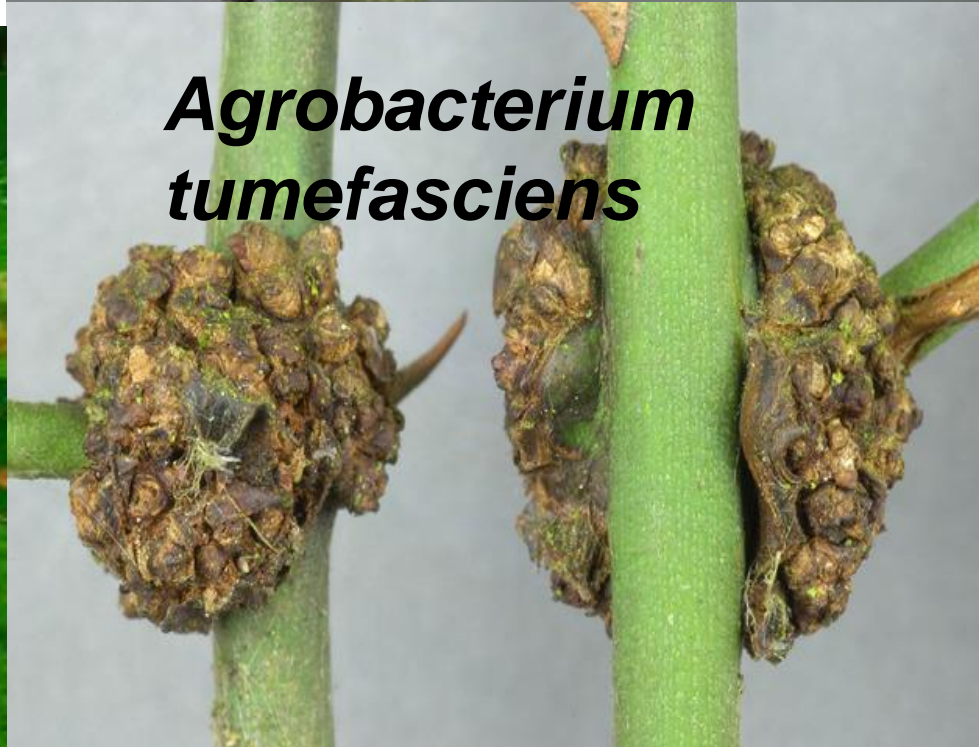




# Transmission verticale





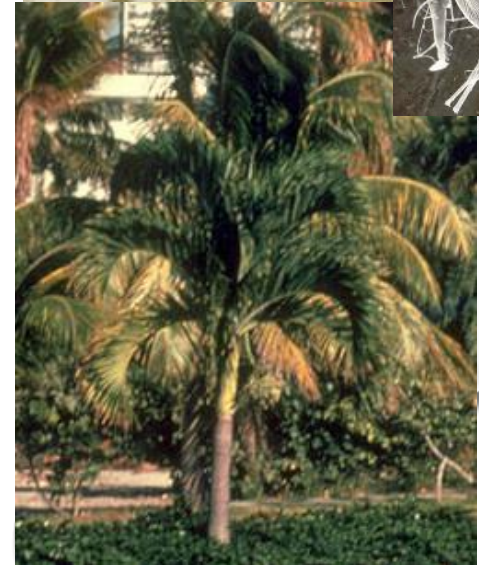


***Agrobacterium tumefaciens***

# Les mollicutes

*Spiroplasma* dans  
des cellules de maïs  
du phloème

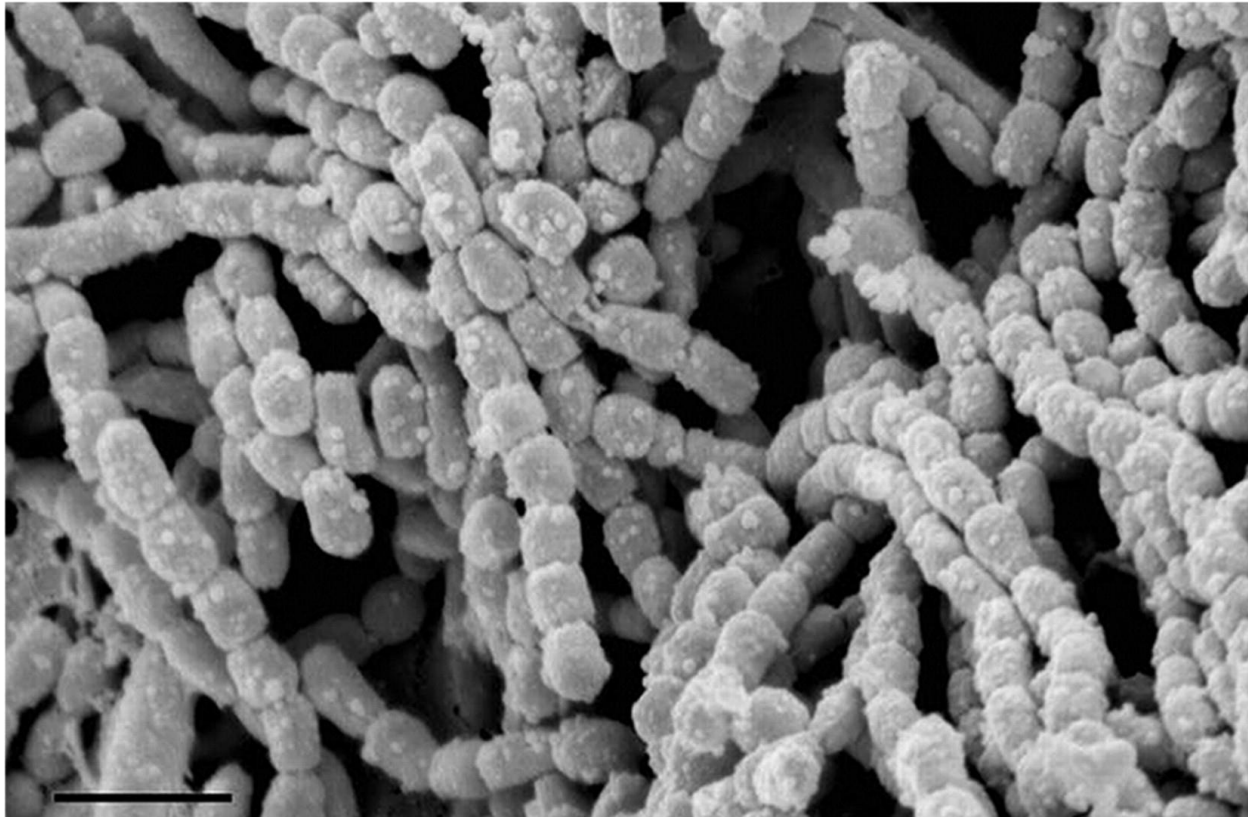
*Phytoplasme*



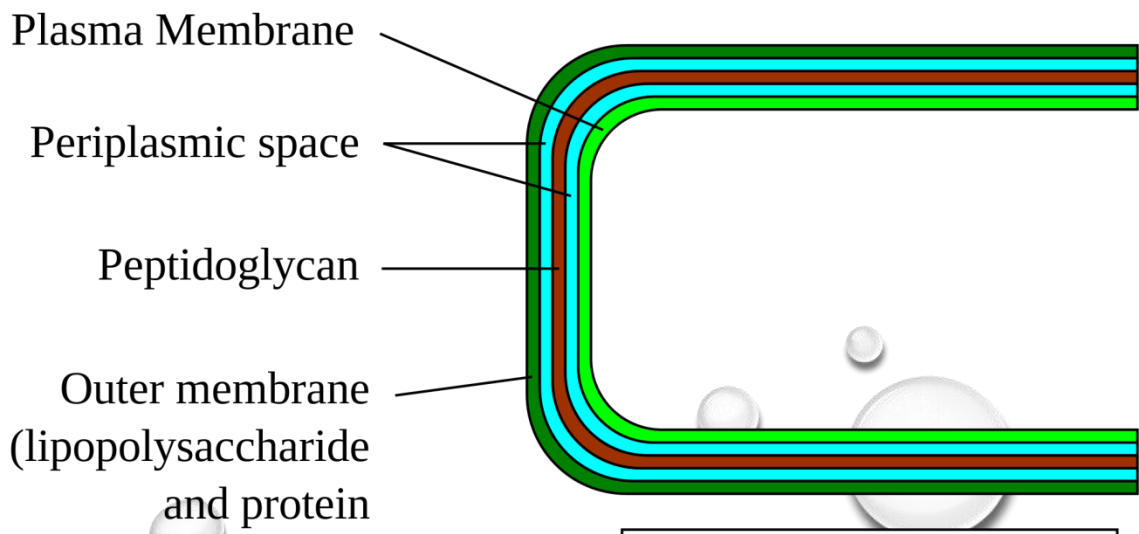
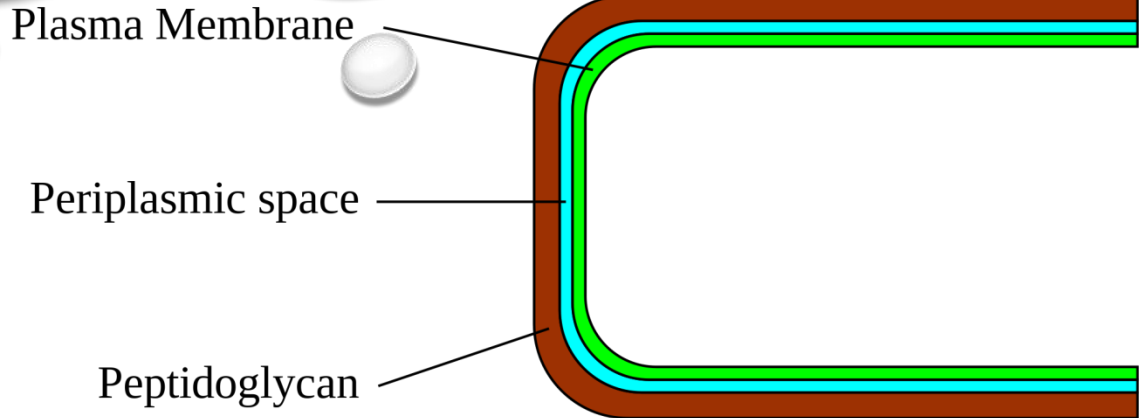


# Bactérie Gram +

## Streptomyces



# Gram Positive



# Gram Negative



# Bactérie Gram -

Pseudomonas et  
Xanthomonas



Erwinia



Agrobactérium



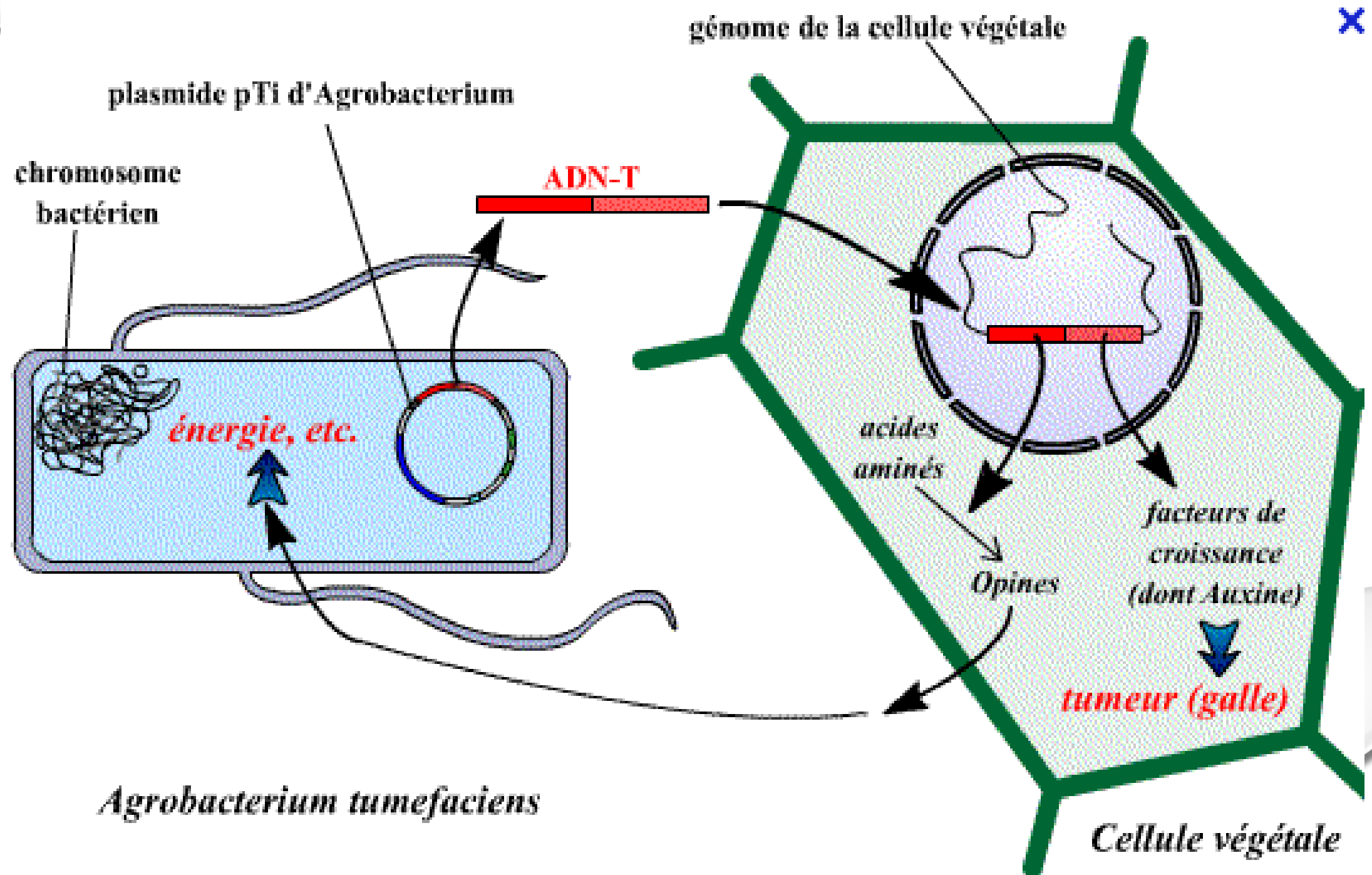


*Agrobacterium tumefaciens*

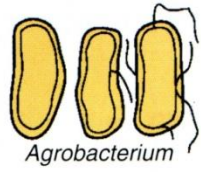
**Galle du collet**







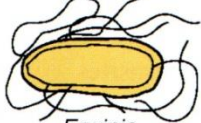
# Effets des bactéries sur les plantes



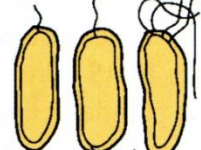
*Agrobacterium*



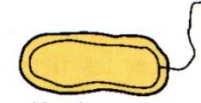
*Clavibacter, Rhodococcus*



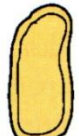
*Erwinia*



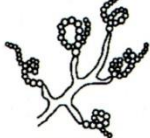
*Pseudomonas*



*Xanthomonas*



*Rhizobium*



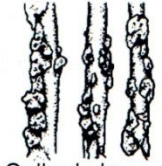
*Streptomyces*



Crown gall



Galle des branches



Galle de la canne



Racine chevelue



Pourriture annulaire de la pomme de terre



Flétrissement de la tomate



Tache sur les fruits



Fasciation



Dépérissement



Flétrissement



Pourriture molle



Taches foliaires



Chancres et flétrissement des bourgeons



Nervures noires



Pourriture de la greffe



Flétrissement du bananier



Galles (olivier)



Dépérissement (lilas)



Taches foliaires



Nervures noires



Nervures noires



Pourriture de la greffe



Pourriture du bulbe



Chancres des citrus



Dépérissement du noyer

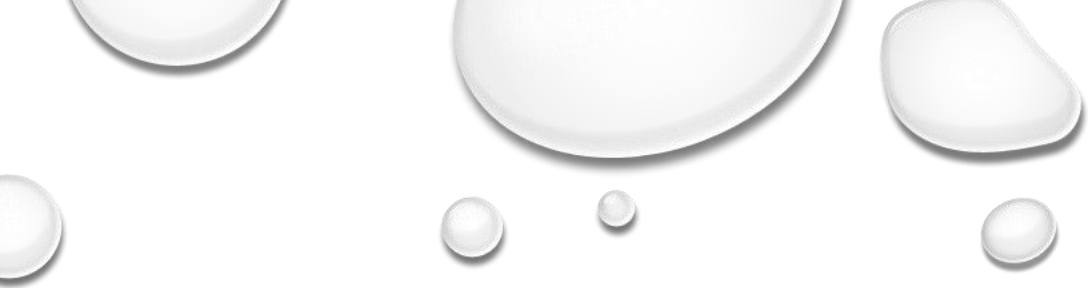


Nodules racinaires des légumineuses



Tavelure de la pomme de terre





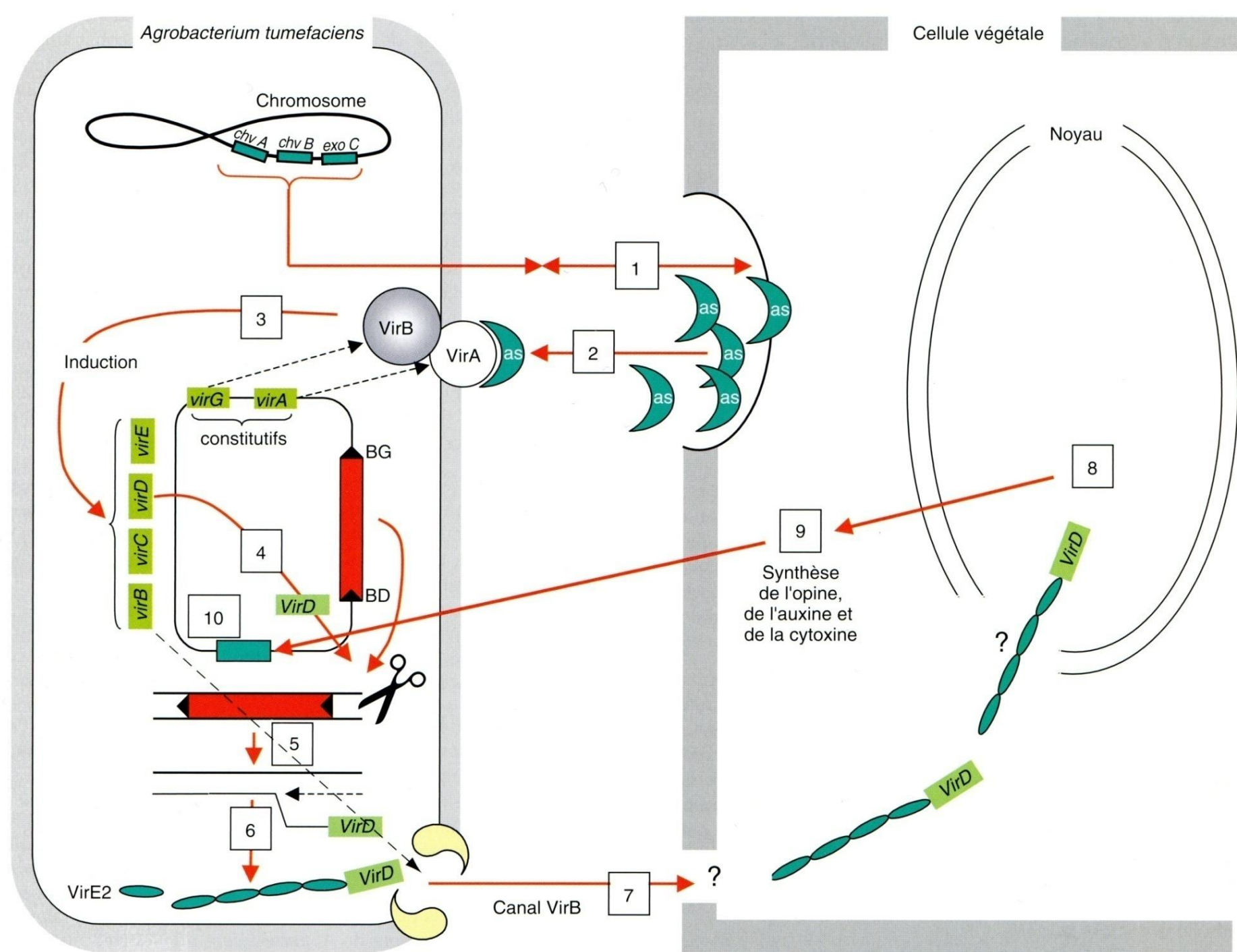
## Conservation et dispersion des bactéries



Cicadelles



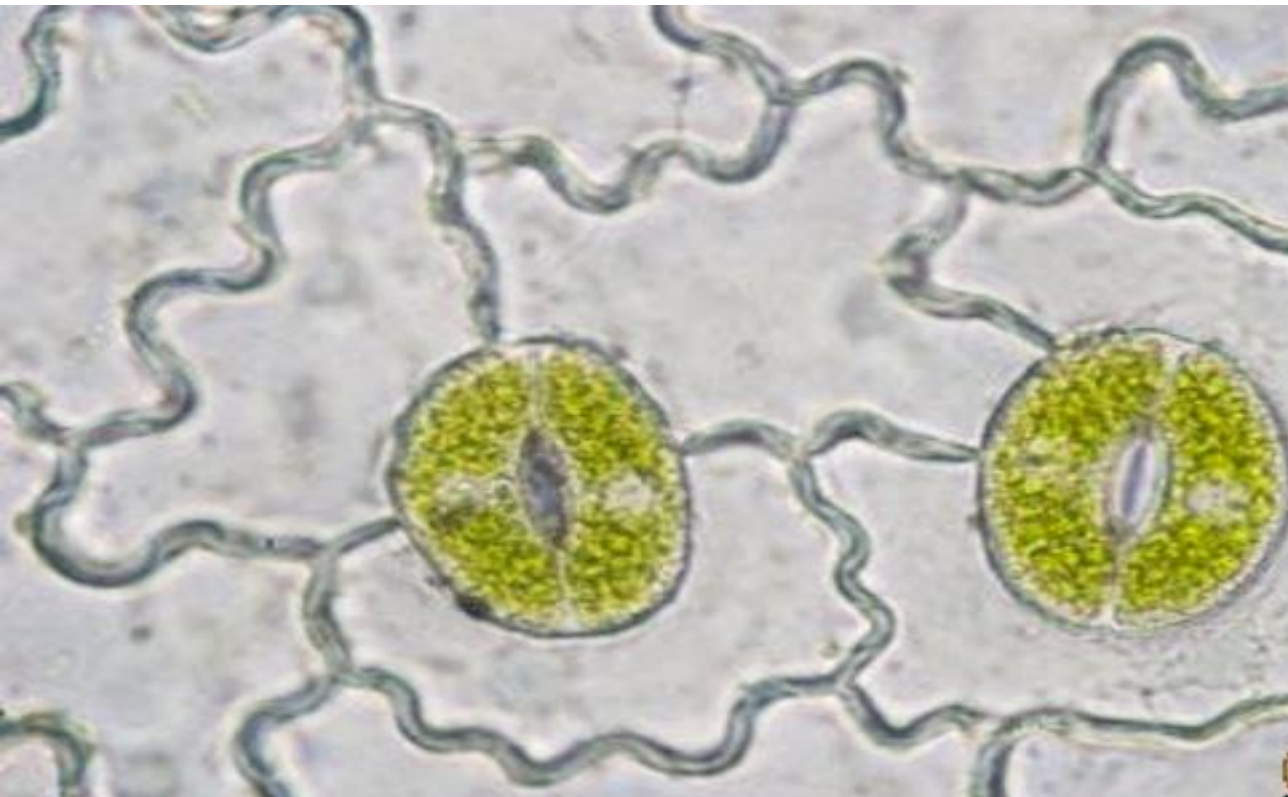
# Chimiotactisme positif vers l'hôte





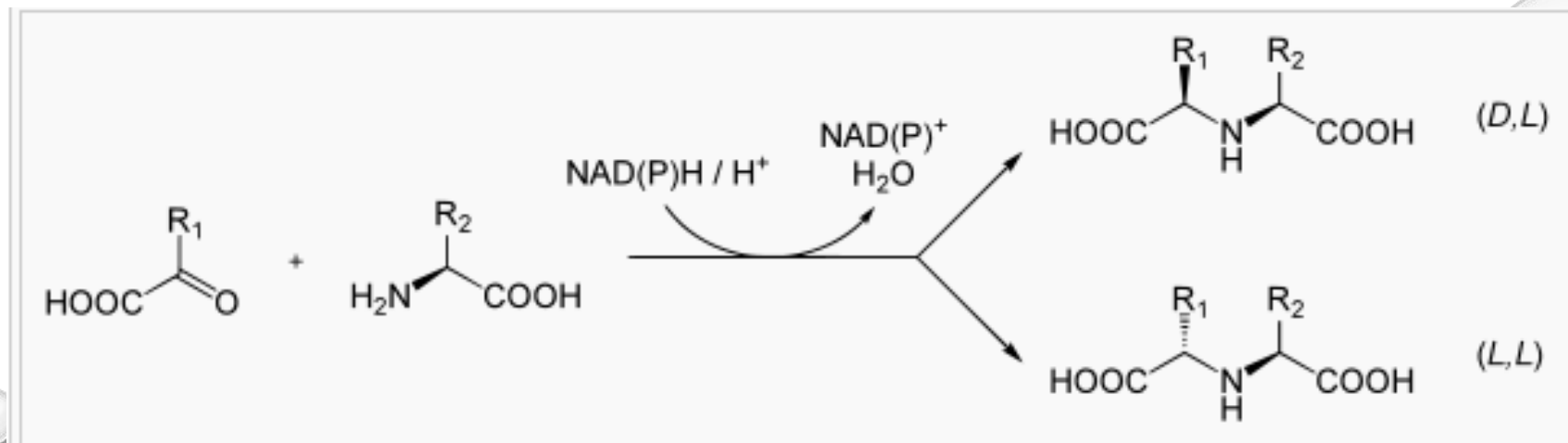


# Pénétration des bactéries dans la plante



Les bactéries  
nécrotrophes

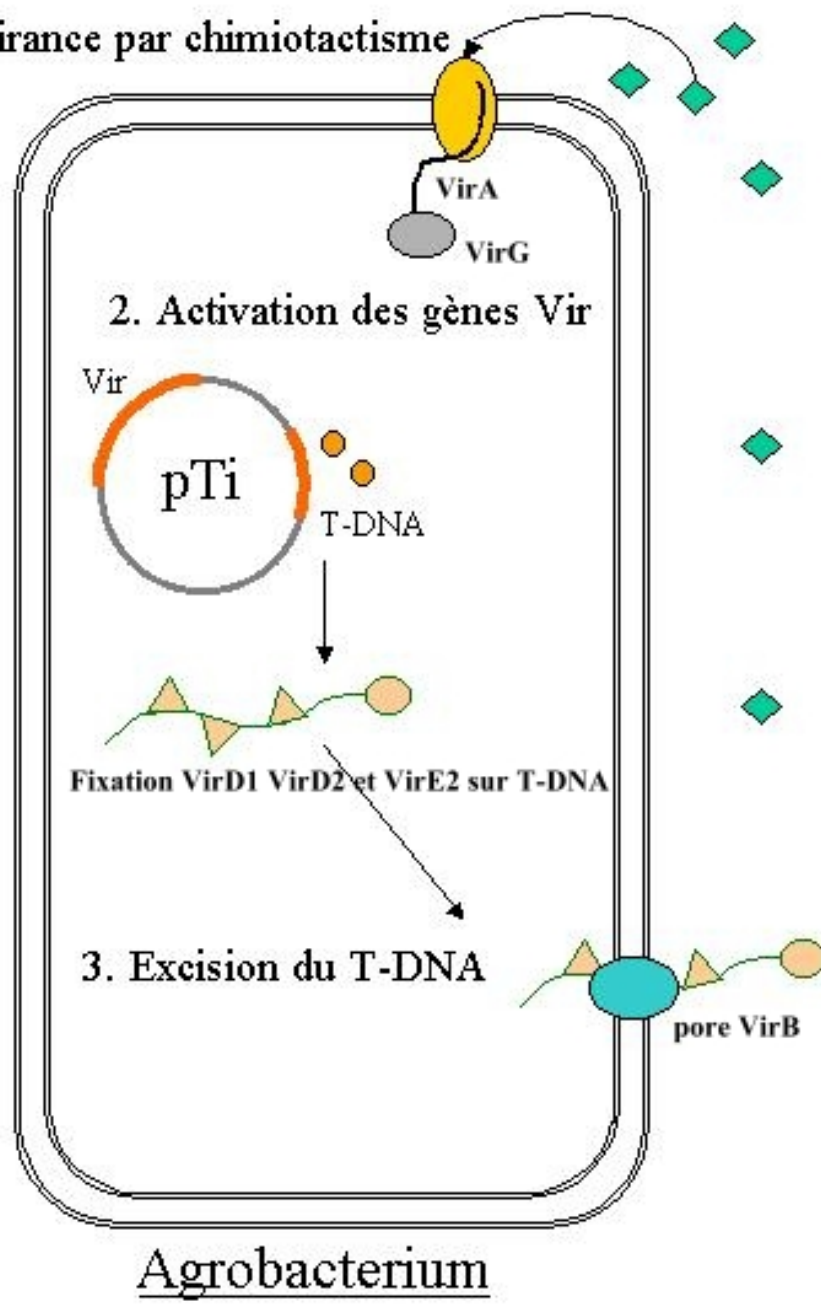
Les bactéries  
biotrophes



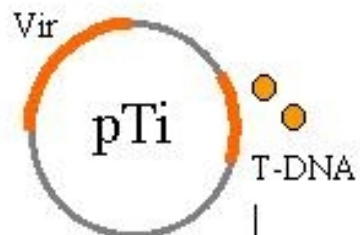
Méthode de synthèse générale des opines.



1. Attirance par chimiotactisme



2. Activation des gènes Vir



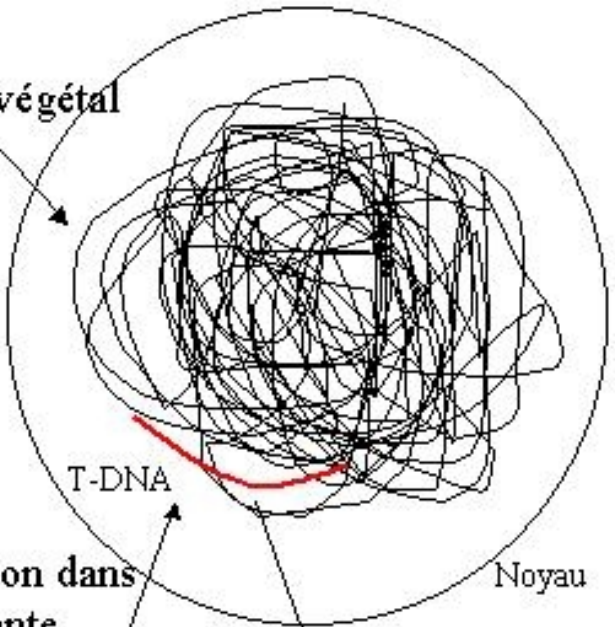
Fixation VirD1 VirD2 et VirE2 sur T-DNA

3. Excision du T-DNA



Agrobacterium

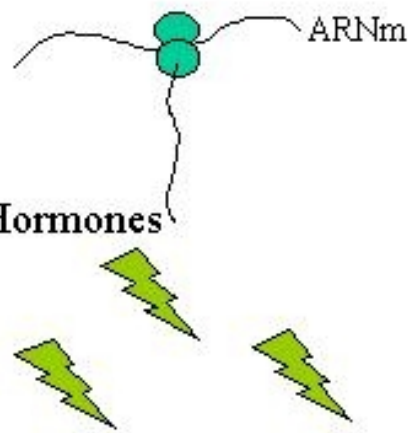
ADN végétal



4. Insertion dans ADN Plante



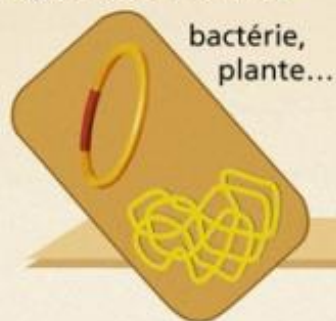
5. Production d'Hormones



Cellule Végétale

# Les étapes de la transgénèse

**Identifier**  
un gène d'intérêt  
sur un organisme donneur



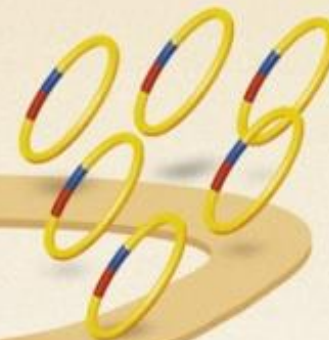
**Isoler**  
le gène d'intérêt



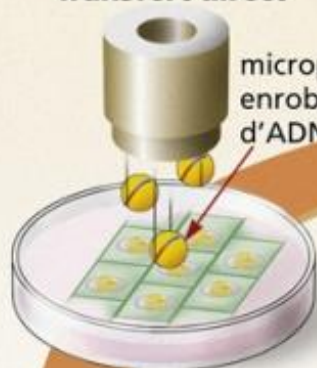
**Intégrer**  
le gène d'intérêt dans une  
construction génétique



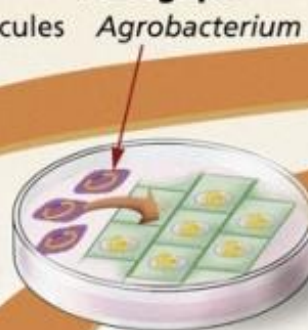
**Multiplier**  
la construction  
génétique



**Transfert direct**



**Transformation  
biologique**



**Transférer**  
le gène



**Sélection des cellules  
transformées**

**Régénérer**



**Evaluer**  
l'expression  
du gène



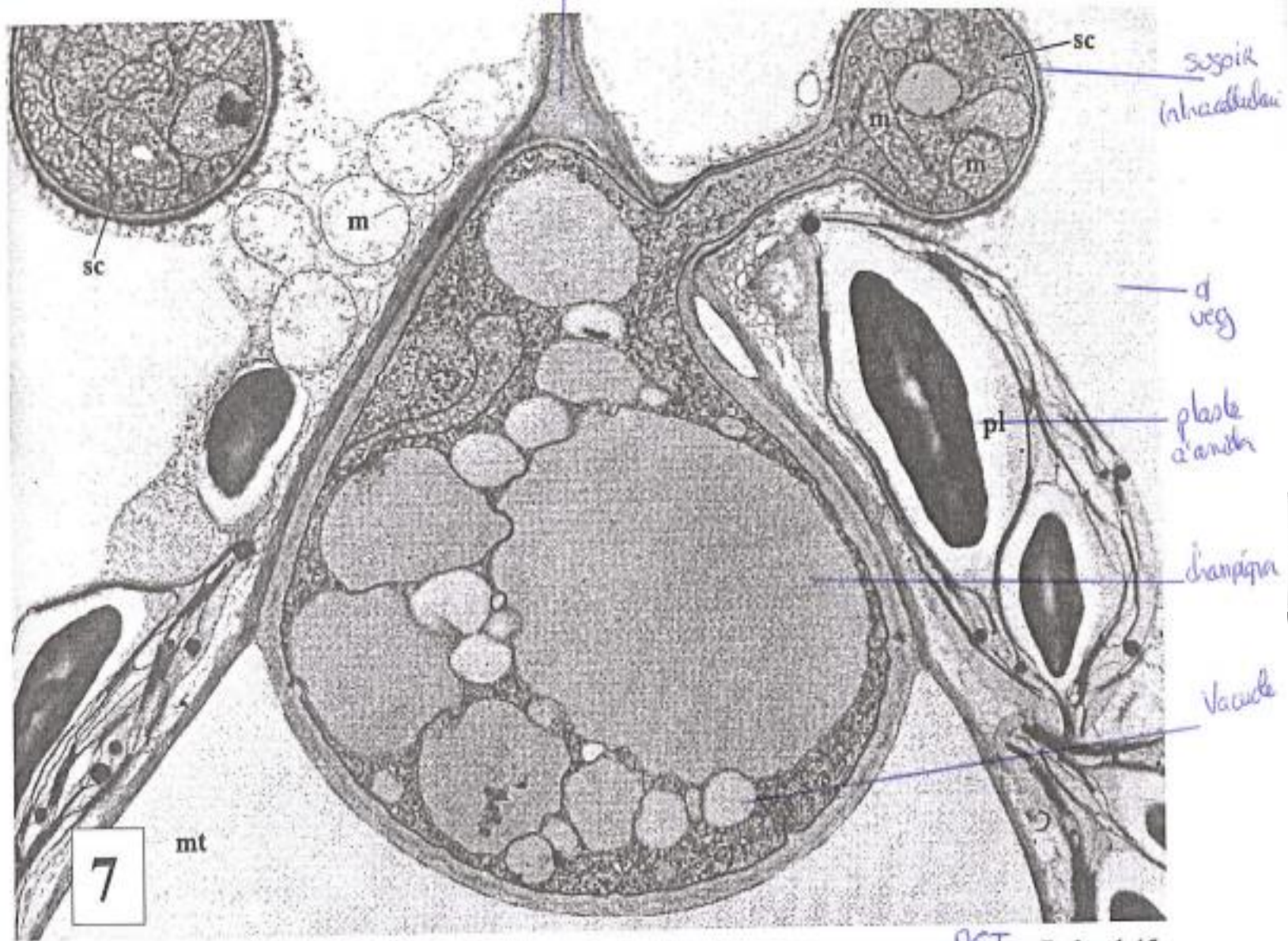
**Incorporer**  
par des croisements  
dans une variété  
commerciale





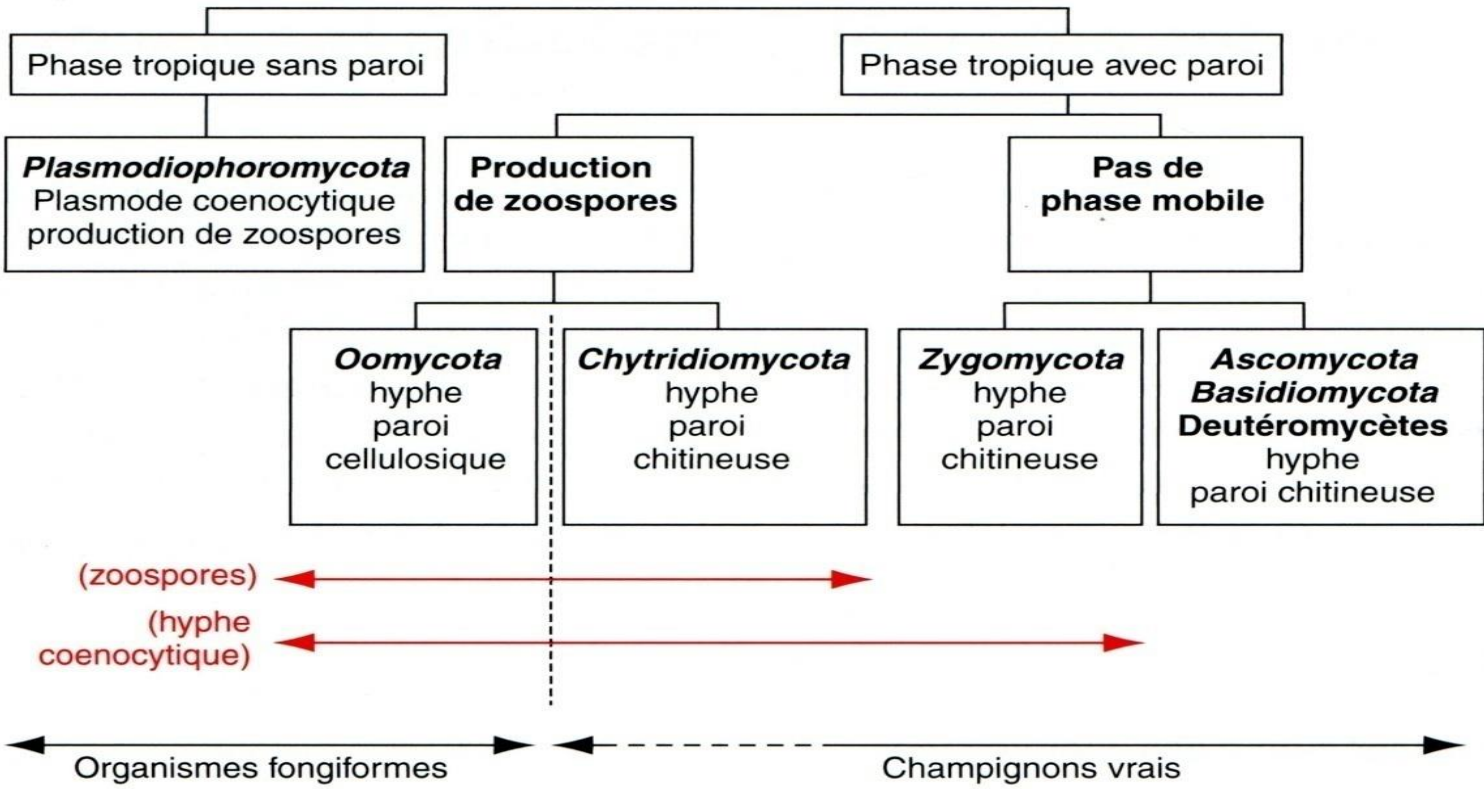
CHAMPIGNON PARASITE DE PLANT

MEAT: parichyzo lactin



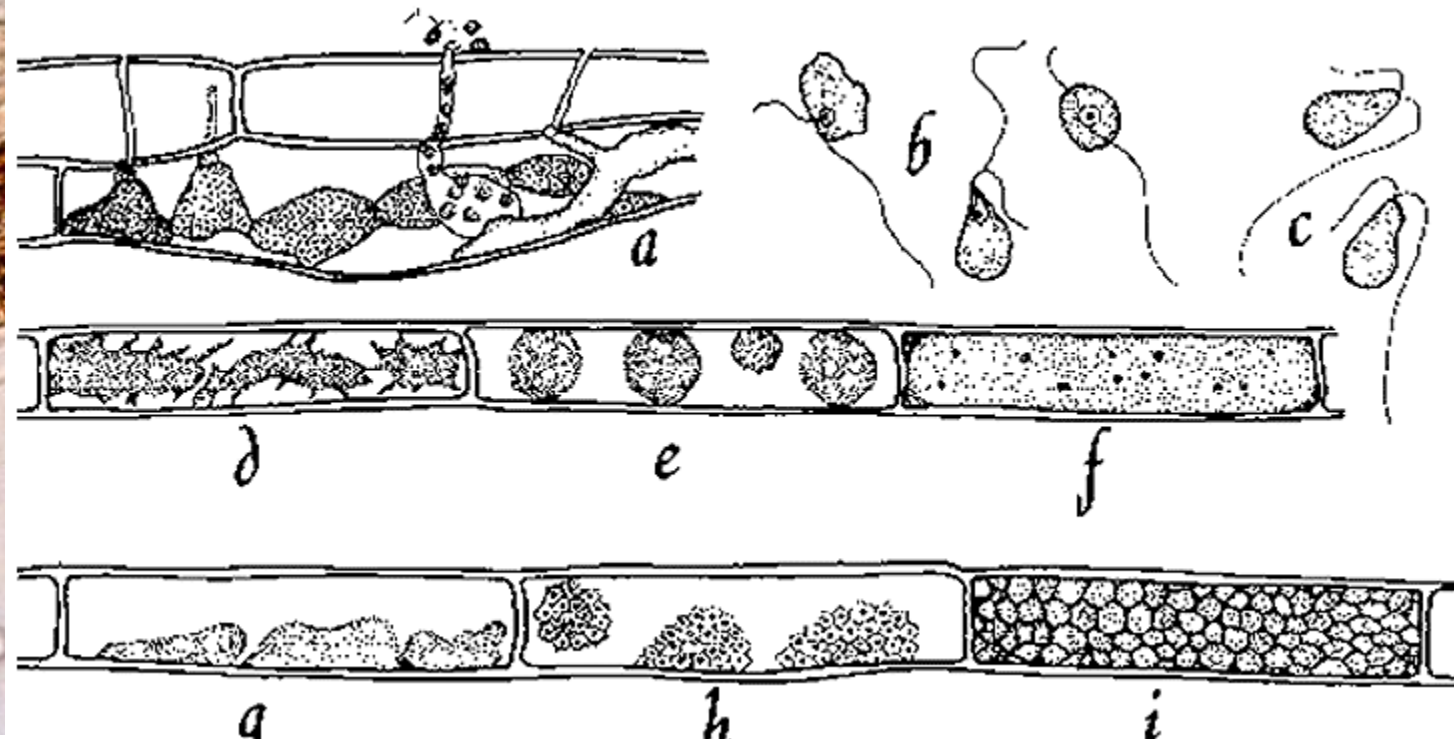
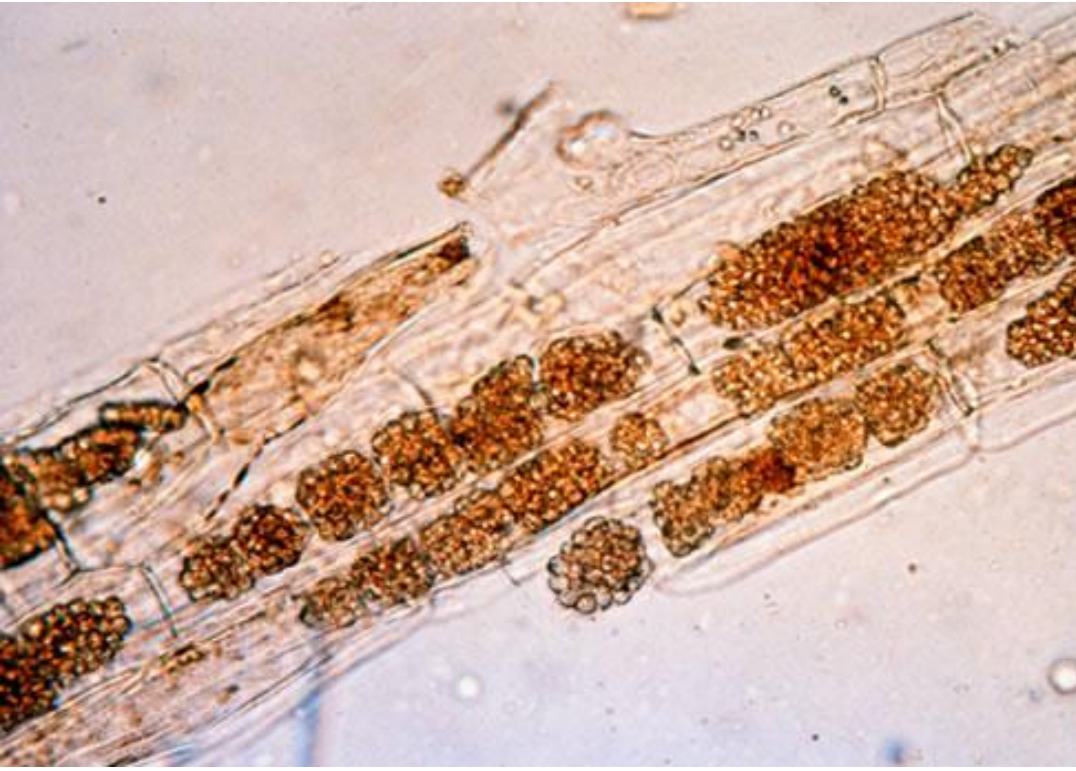
# Clé taxonomique des champignons

Caractéristiques	Phylums
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Thalle plasmodial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Plasmode endocellulaire (parasite)</li> </ul> </li> </ul>	<i>Plasmodiophoromycota</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Thalle unicellulaire ou filamenteux</b></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Hyphes coenocytiques (encore appelées siphons)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Présence de zoospores biflagellées</li> <li>– Présence de zoospores uniflagellées</li> <li>– Absence de zoospores</li> </ul> </li> </ul>	<i>Oomycota</i> <i>Chytridiomycota</i> <i>Zygomycota</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Hyphes septées</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Spores d'origine sexuée au nombre de 8 dans un asque (ascospores)</li> <li>– Spores d'origine sexuée au nombre de 4 sur une baside (basidiospores)</li> <li>– Spores d'origine asexuée ou mycélium stérile</li> </ul> </li> </ul>	<i>Ascomycota</i> <i>Basidiomycota</i> <b>Deutéromycètes (ou Champignons mitosporés)</b>

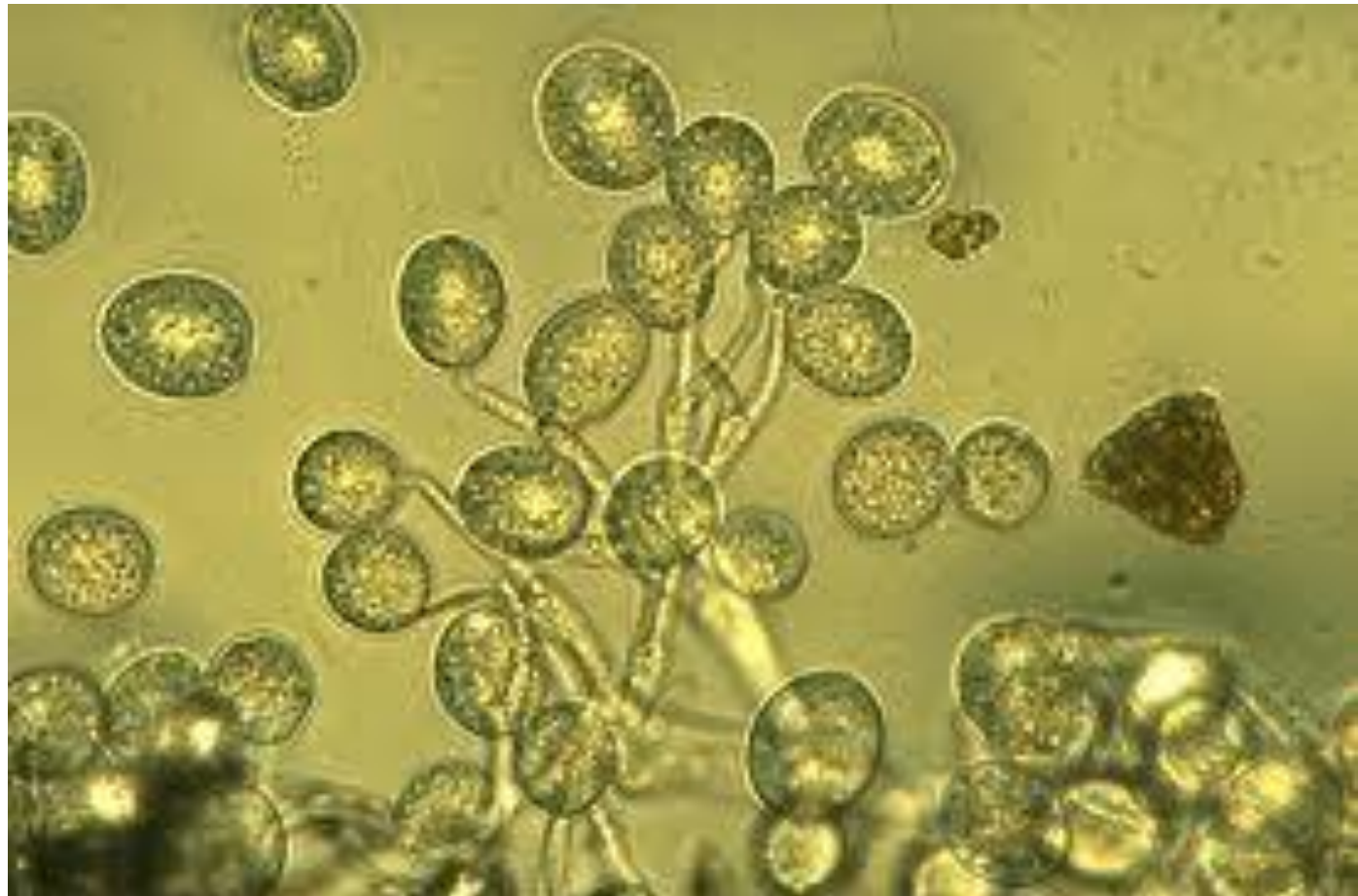




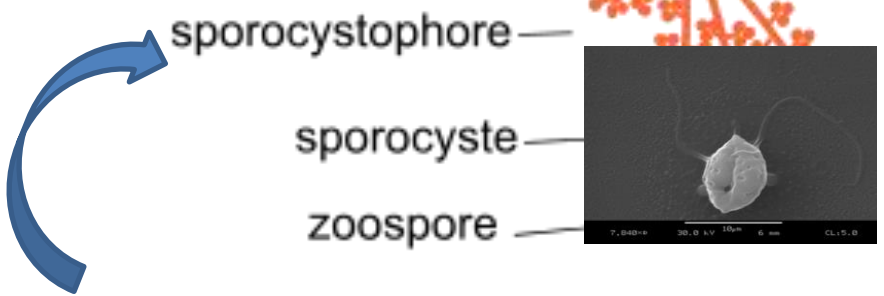
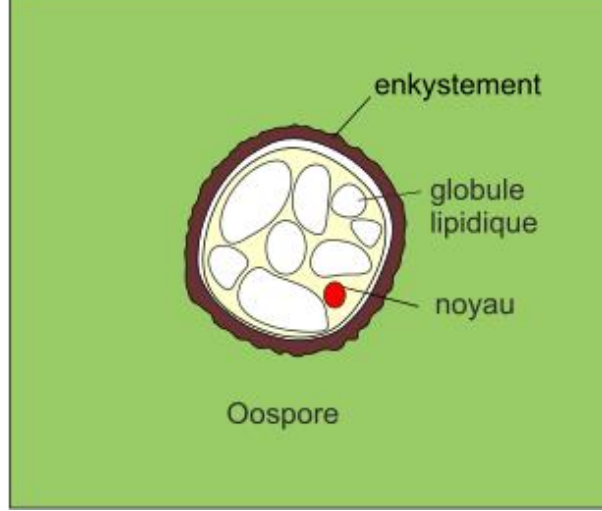
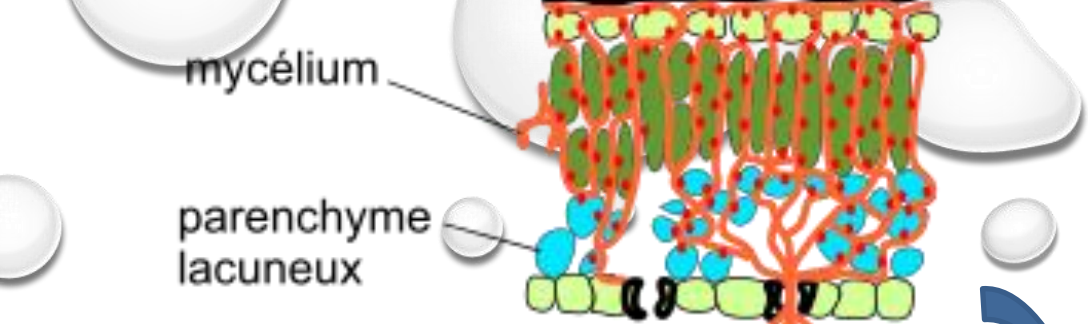
Polymyxa : un champignon à plasmode



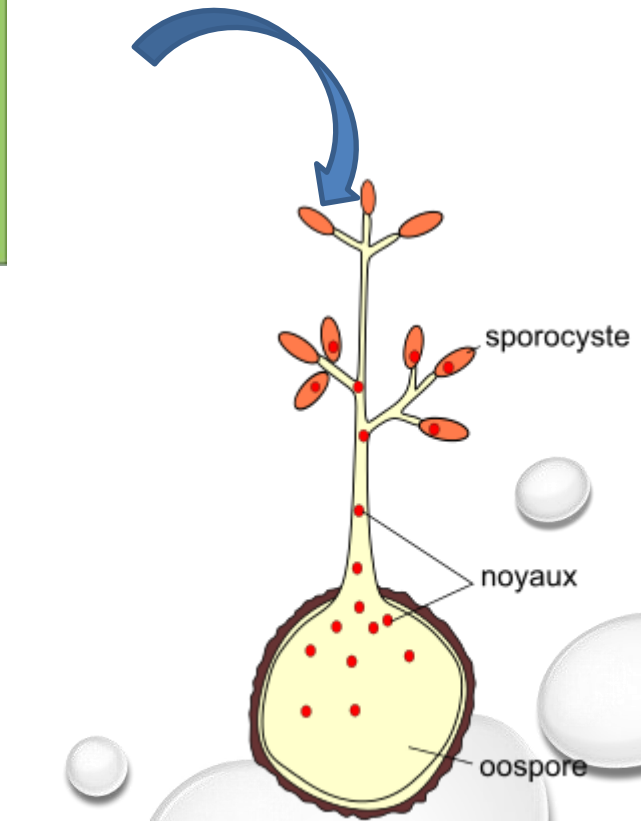
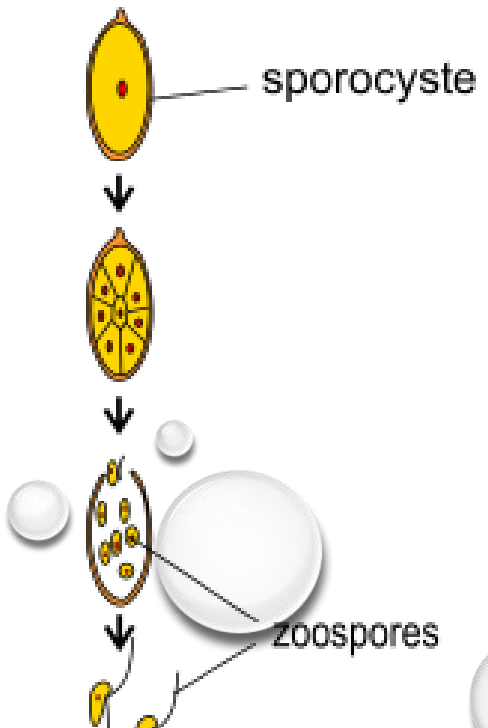
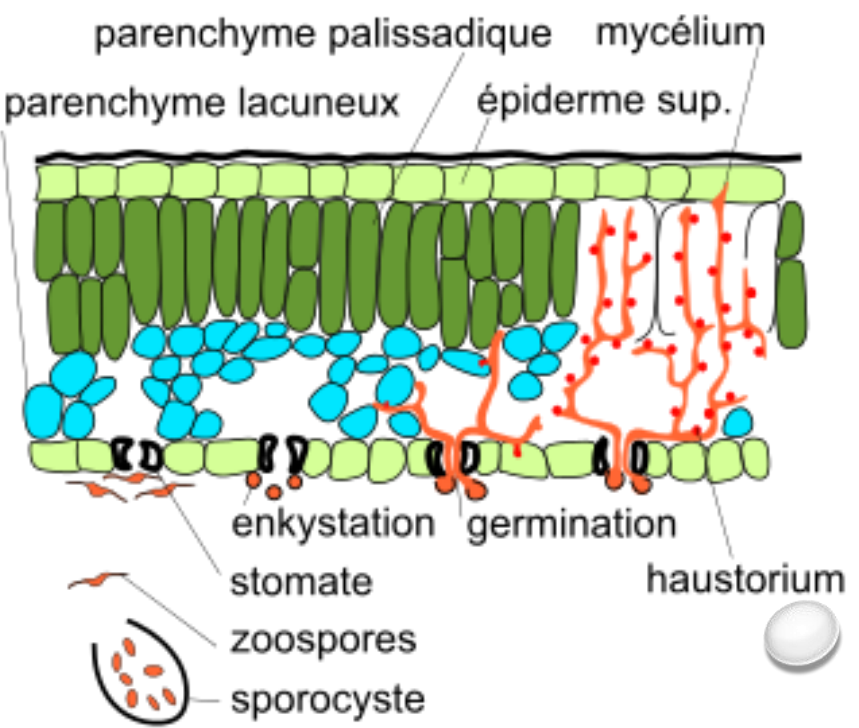
*Plasmopora viticola* : agent du Mlidiou de la vigne,  
oomycète

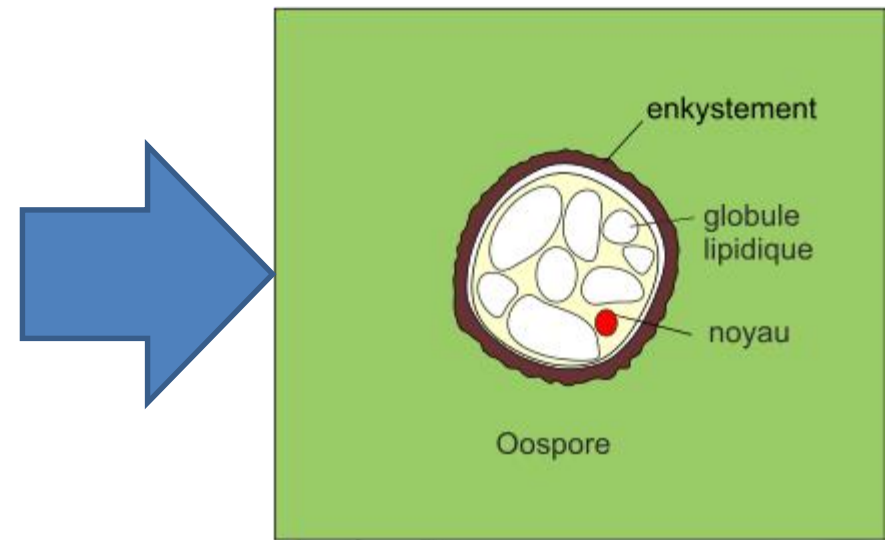
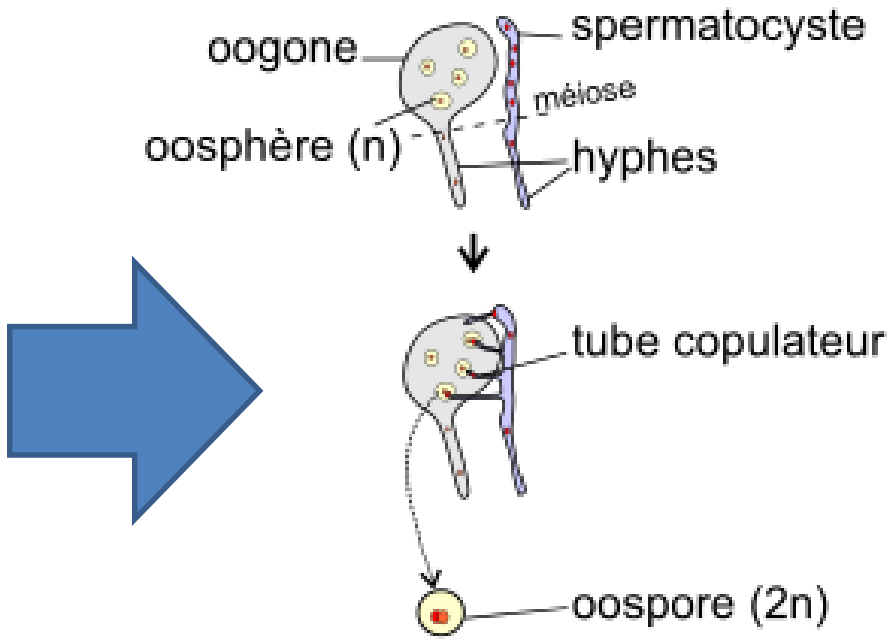
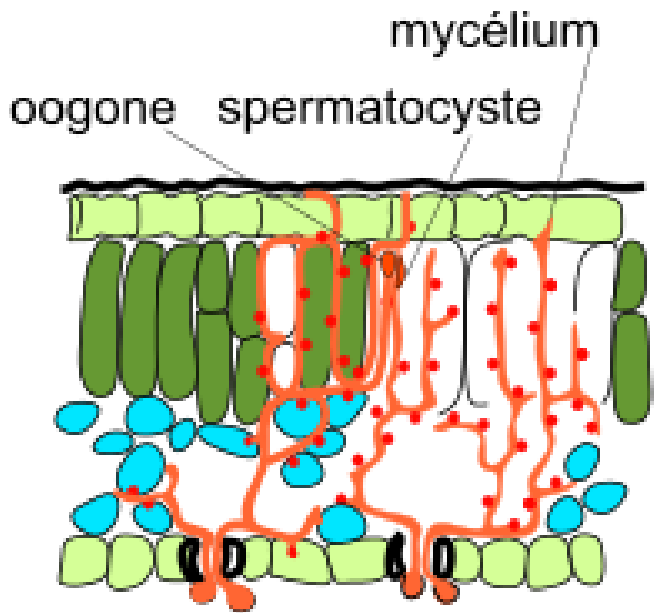






Reproduction asexuée





Reproduction sexuée



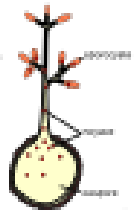
6b.2/3/4 formation  
et libération des oospores



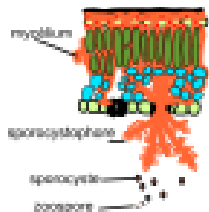
1. maturation  
des oospores



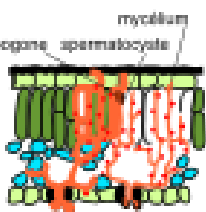
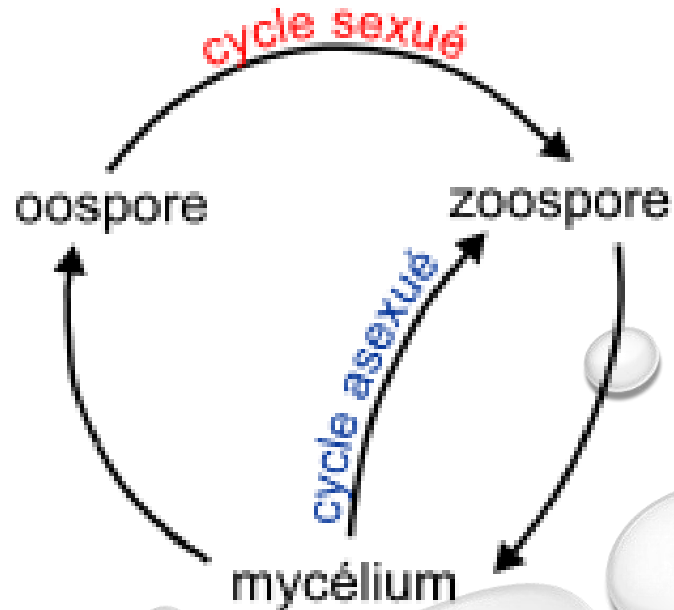
2. germination de  
l'oospore



6a.1 sporulation  
6a.2 germination  
des sporocystes



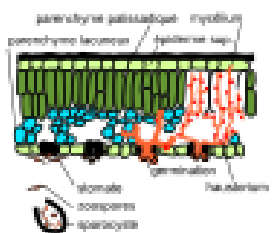
cycle asexué



cycle sexué

6b.1 méiose

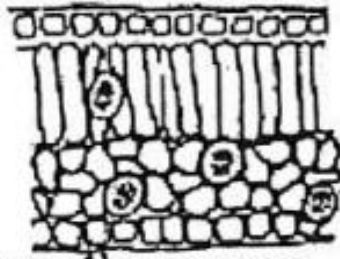
3. dispersion  
des zoospores



4. germination du zoospore  
5. infection primaire

(Coupe transversale d'une feuille)

Champignons passant l'hiver à l'abri sous forme d'oospore à l'intérieur des feuilles tombées au sol



Production des sporanges au printemps sous l'effet de l'humidité

oospore



Sporanges libérant des zoospores dans l'eau



Échaboussées sur les tissus sensible, les zoospores s'engouffrent et germent après avoir formé un filamen germinatif qui pénètre par les stomates.

Taches brun-jaune sur la face supérieure d'une feuille, avec plaque blanches de sporulation sur le revers de la feuille



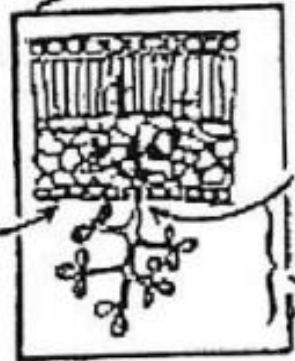
Distorsion d'une pousse infectée



Viville infectée

(Coupe transversale d'une feuille)

Face inférieure

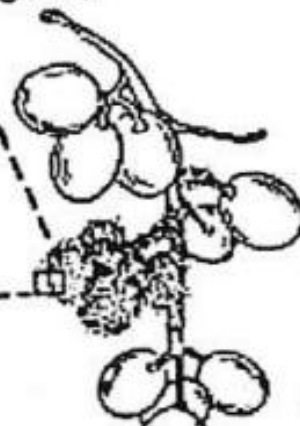


(Coupe transversale d'un grain.)

stomate



Sporangiophores et sporanges sortant du stomate

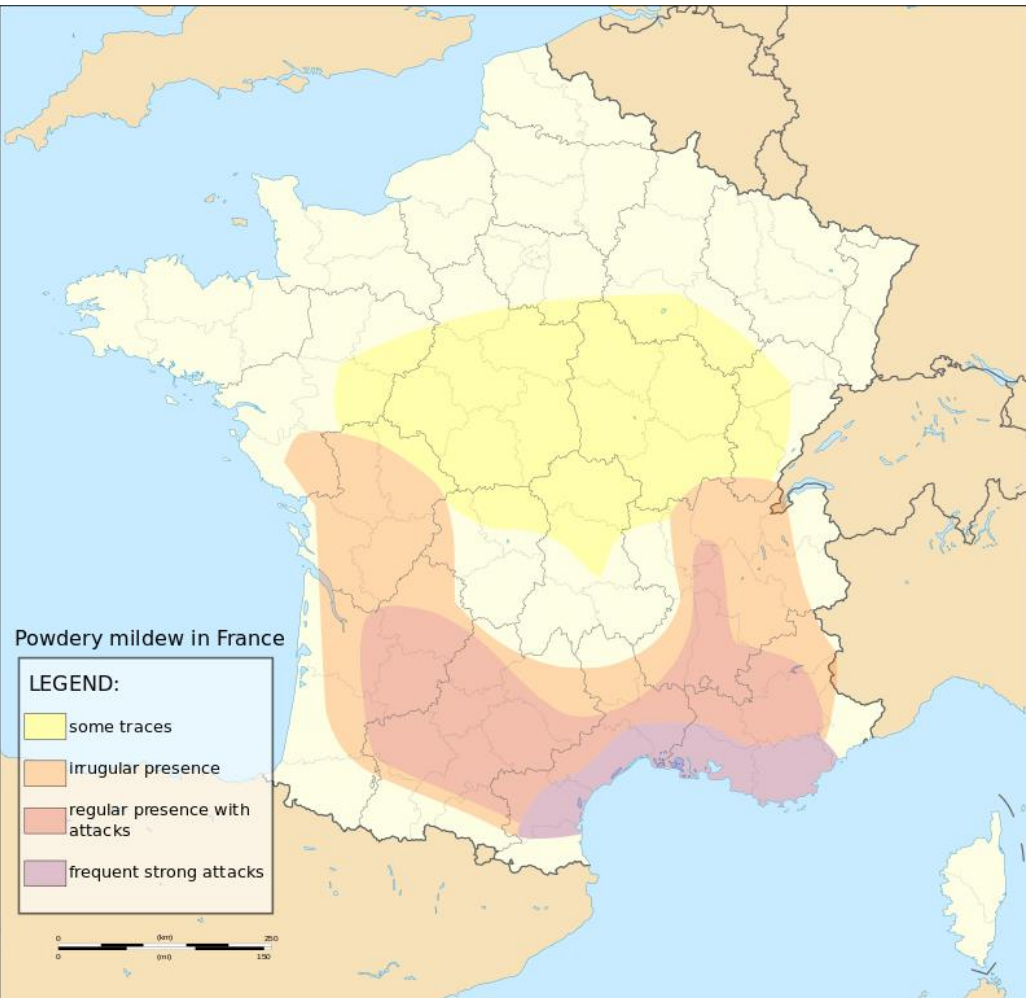


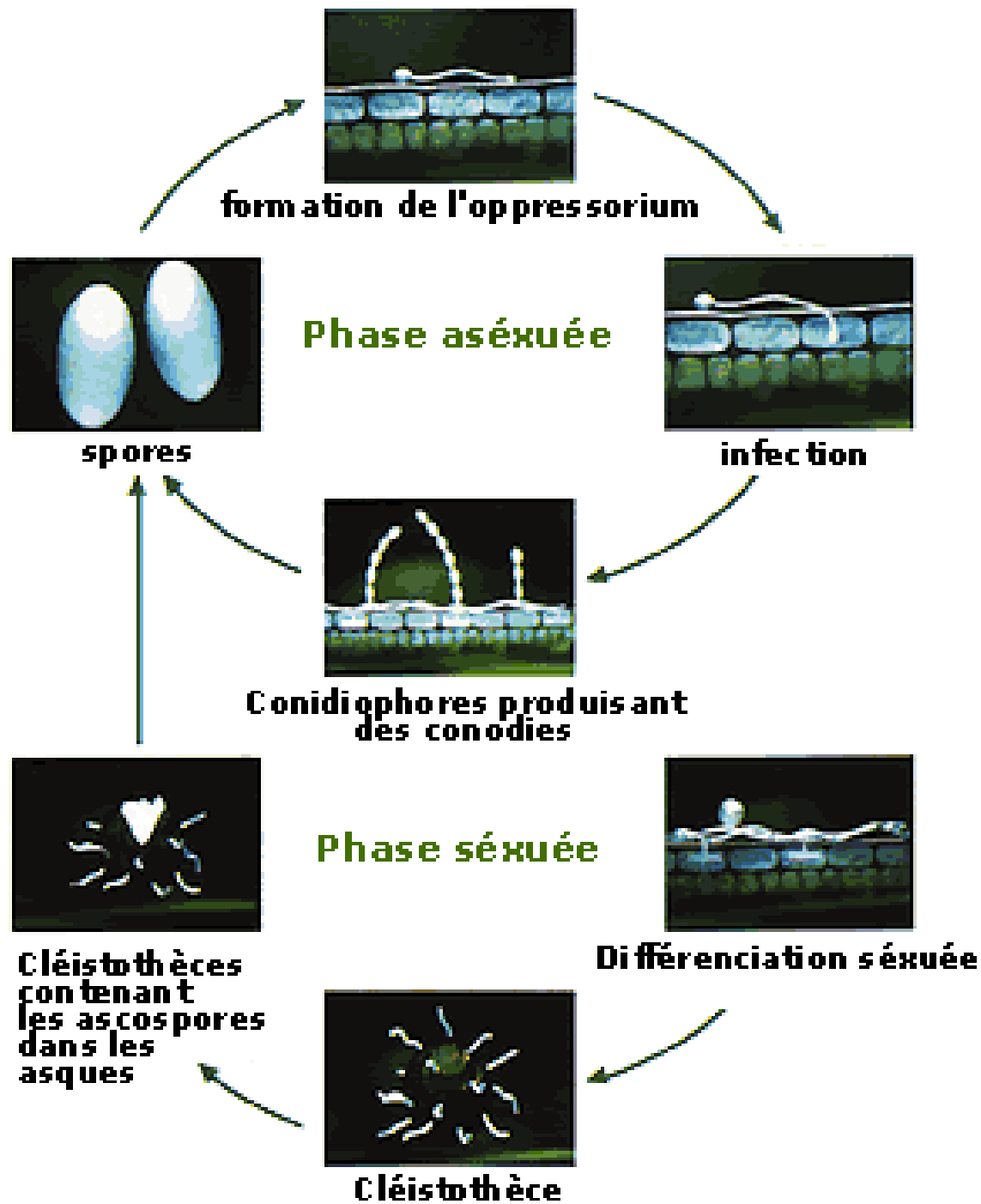
Grappe infectée

**Plasmopora**  
**viticola**



# Oïdum : maladie du blanc (Ascomycète)



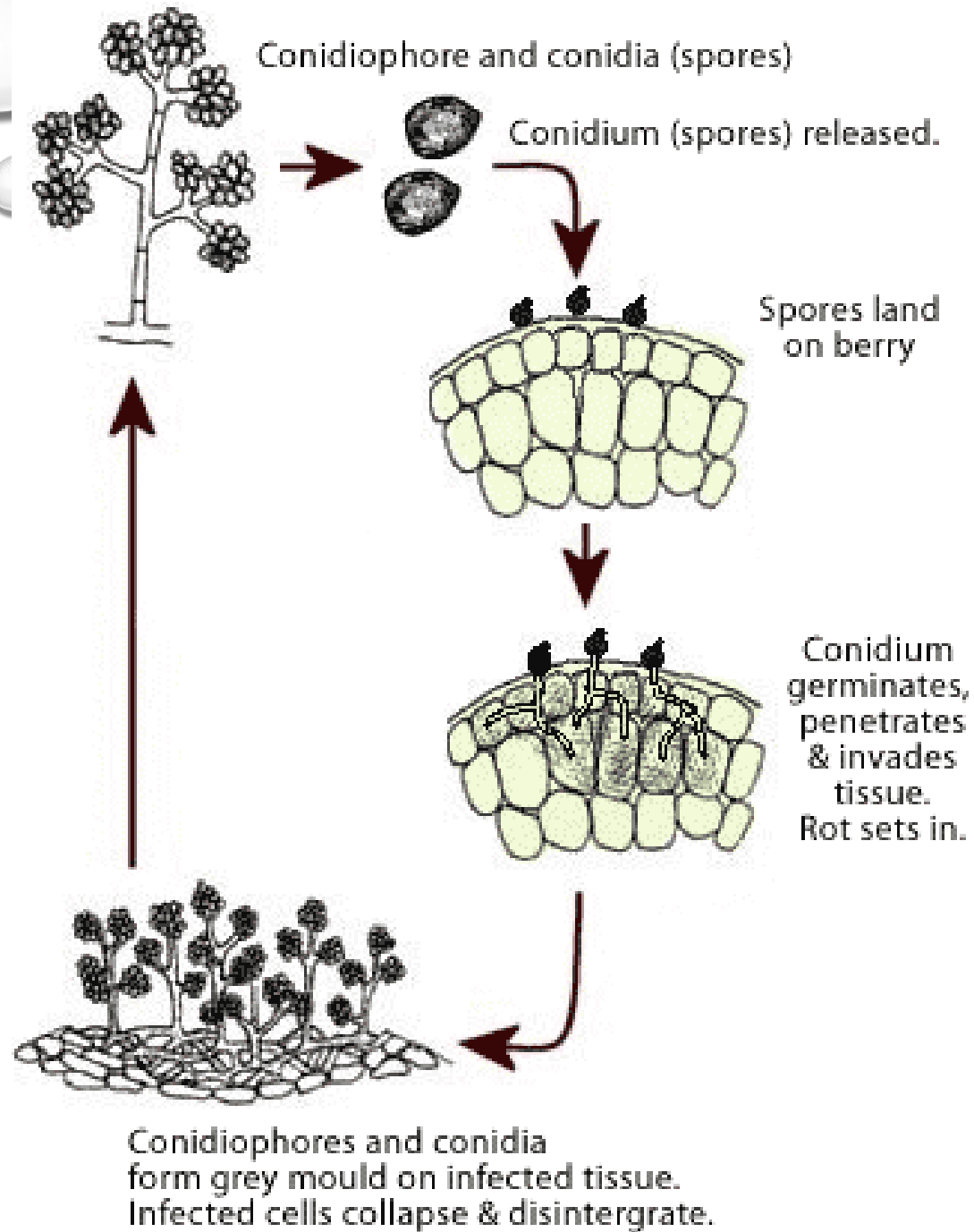




*Botrytis cinera*, un ascomycète



# Cycle de *Botrytis cinerea*





La rouille noire du blé : *Puccinia graminis* :  
un basidiomycète



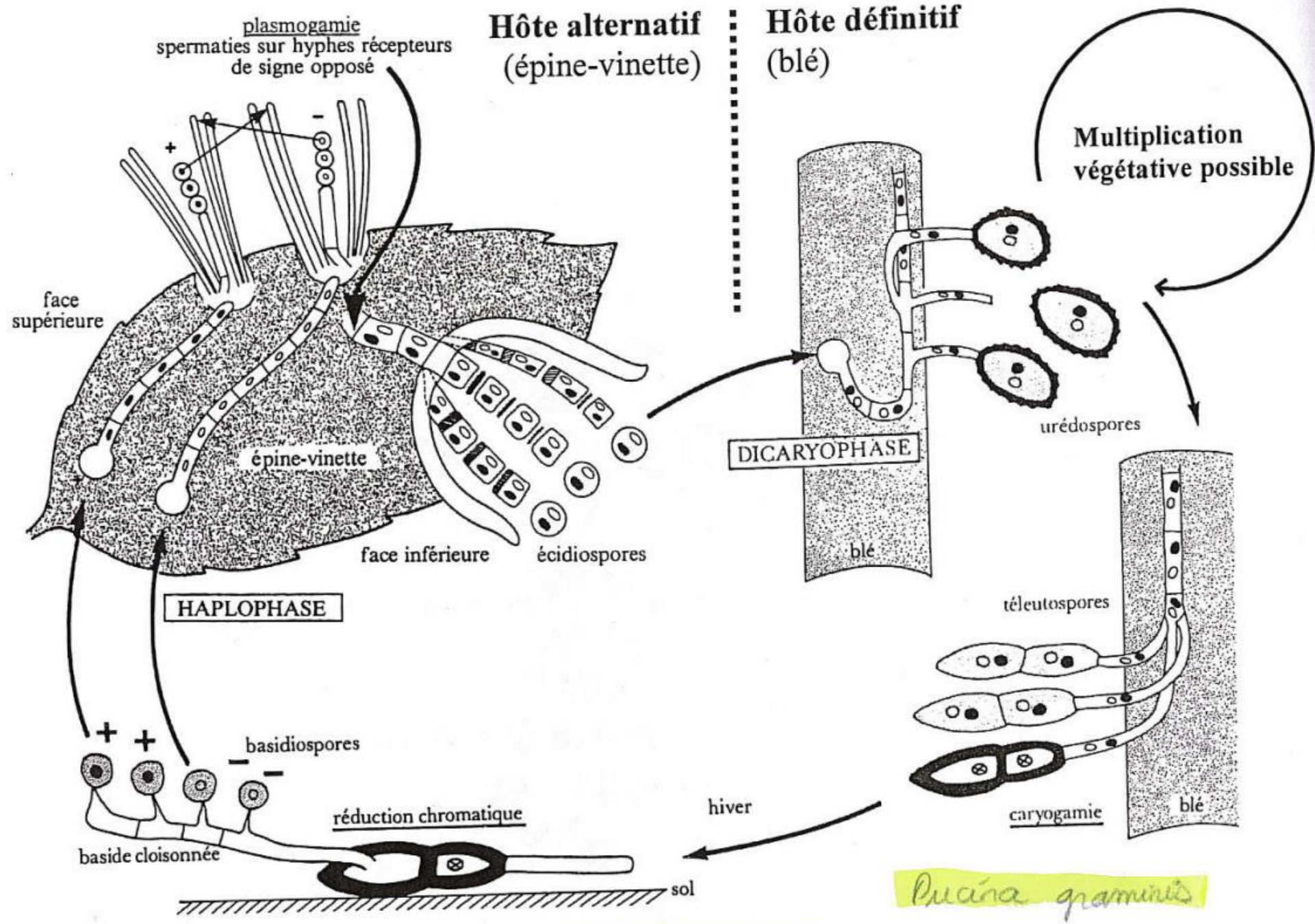
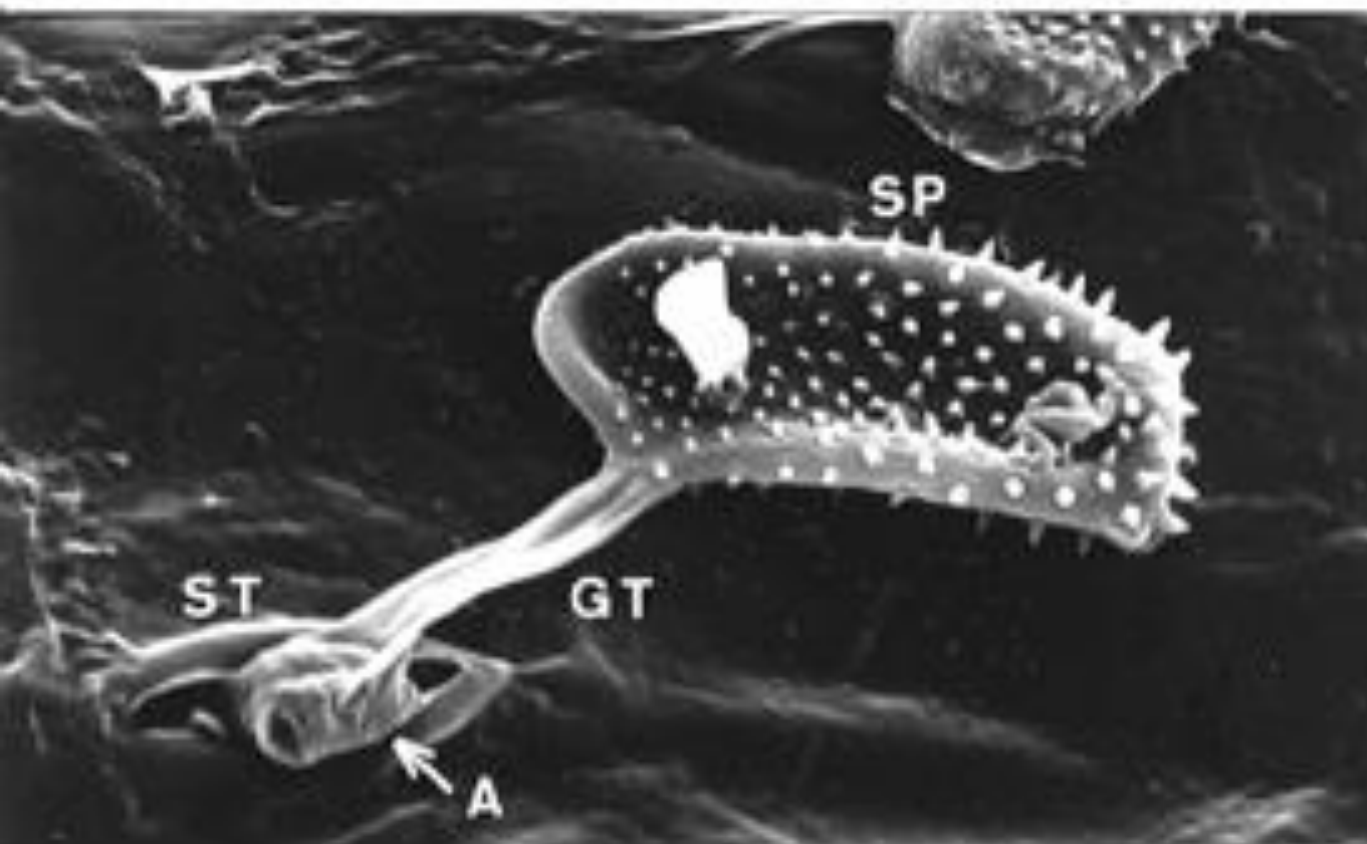


Fig.21. Cycle à 2 hôtes de *Puccinia graminis* (rouille du blé). Le cycle passe par la production de

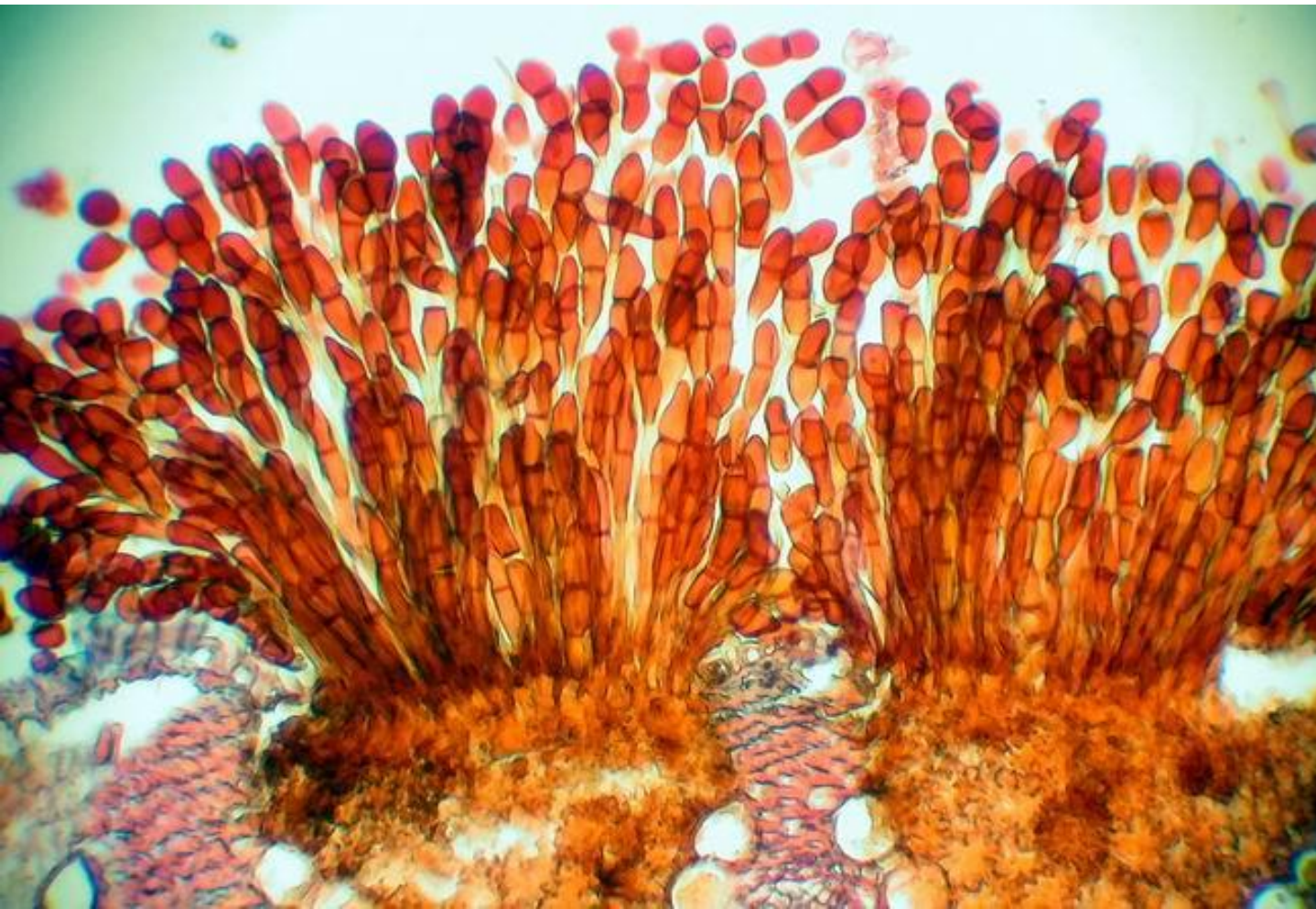




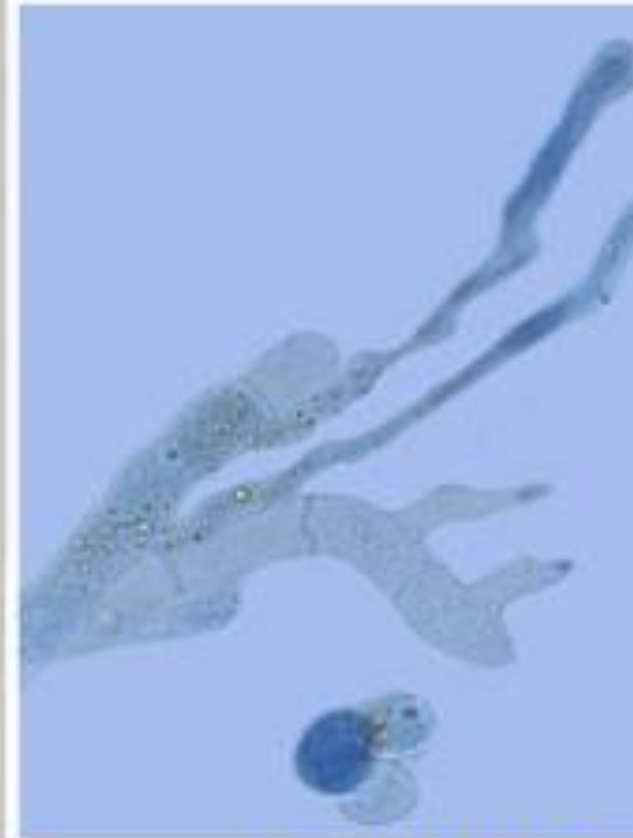
Germination d'une spore de champignon  
sur une feuille de Peuplier



## a) Conservation



**Planche 1**

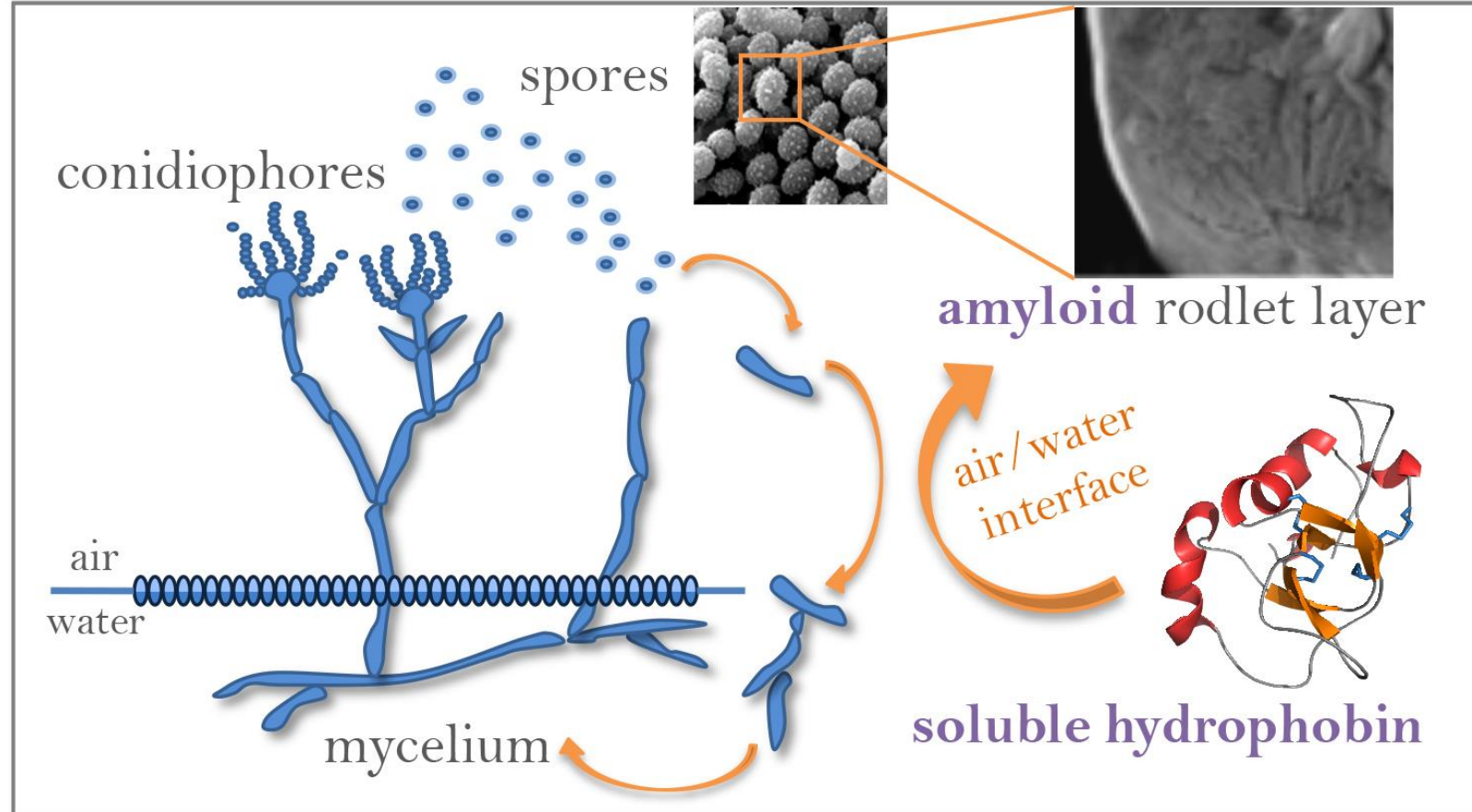


**Jacques Beck Cec**

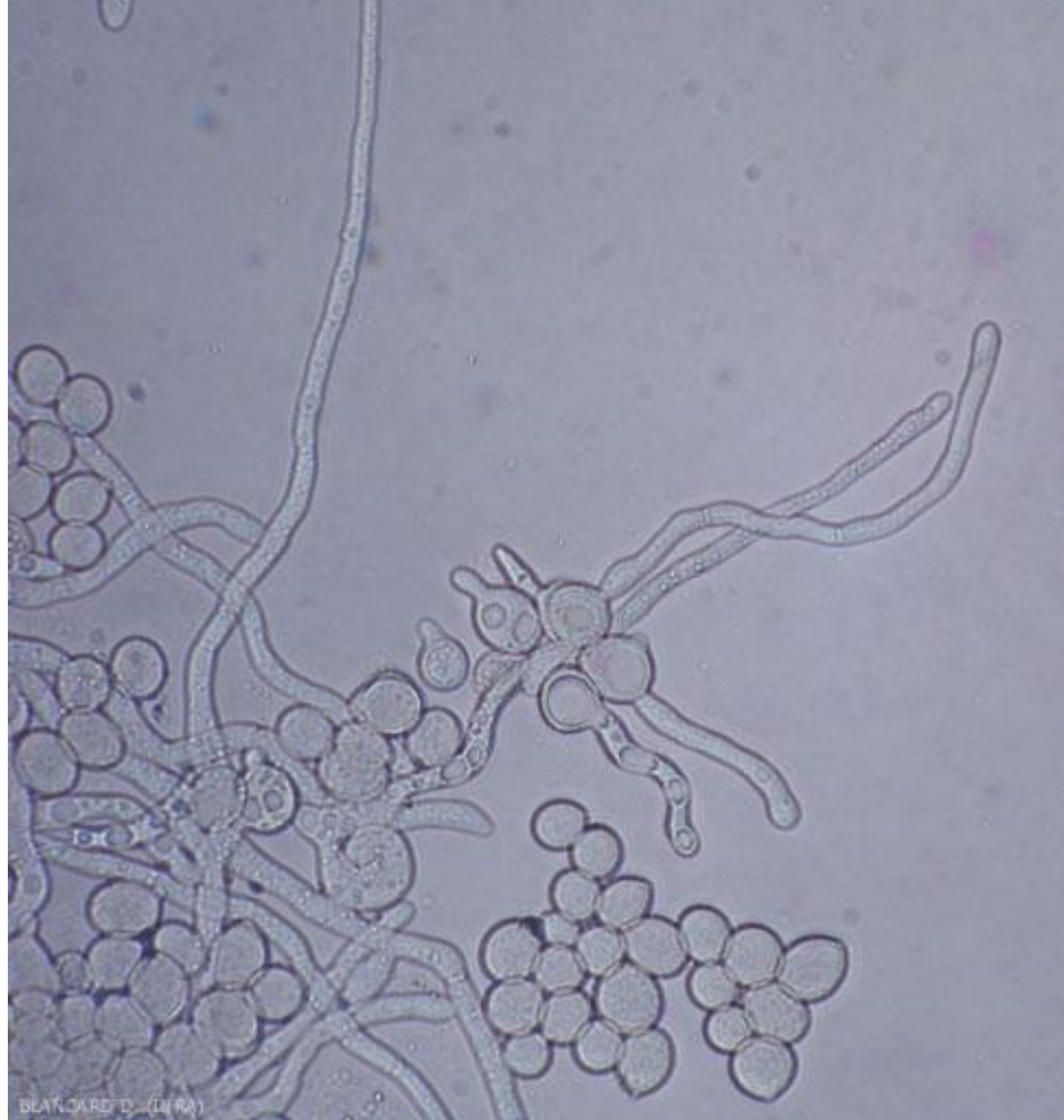


## b) Les différentes étapes de l'infection


1. Fixation à la cuticule à la surface des feuilles



## 2) Germination des spores



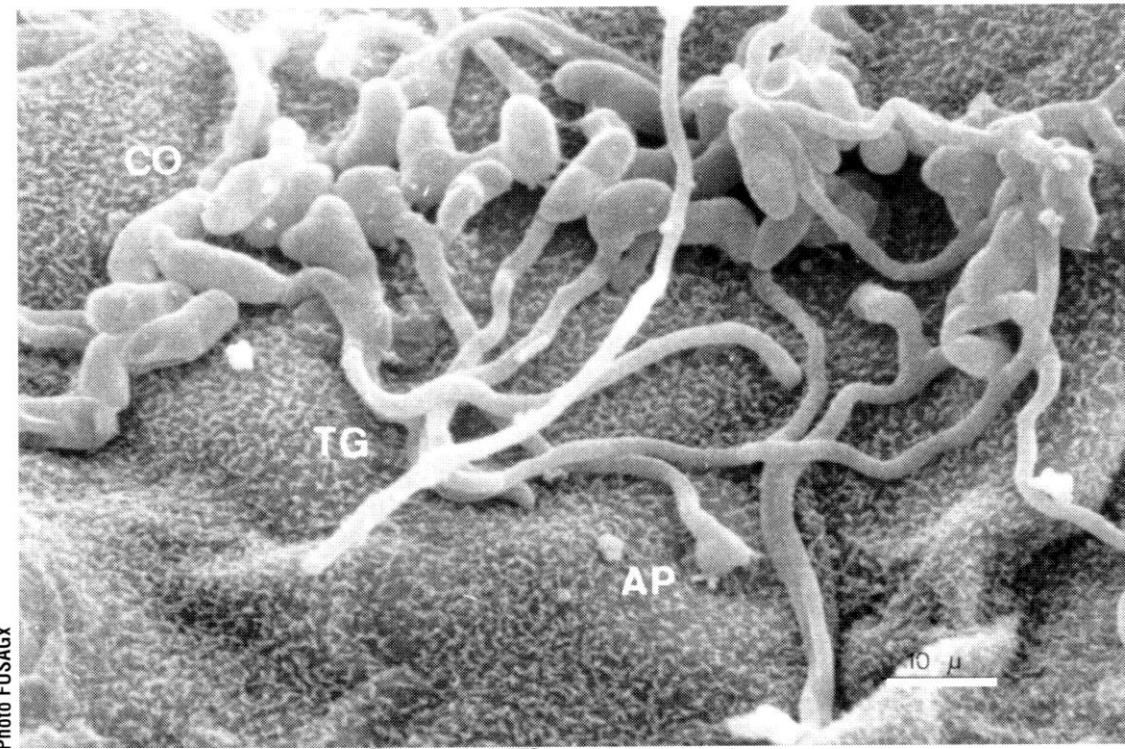
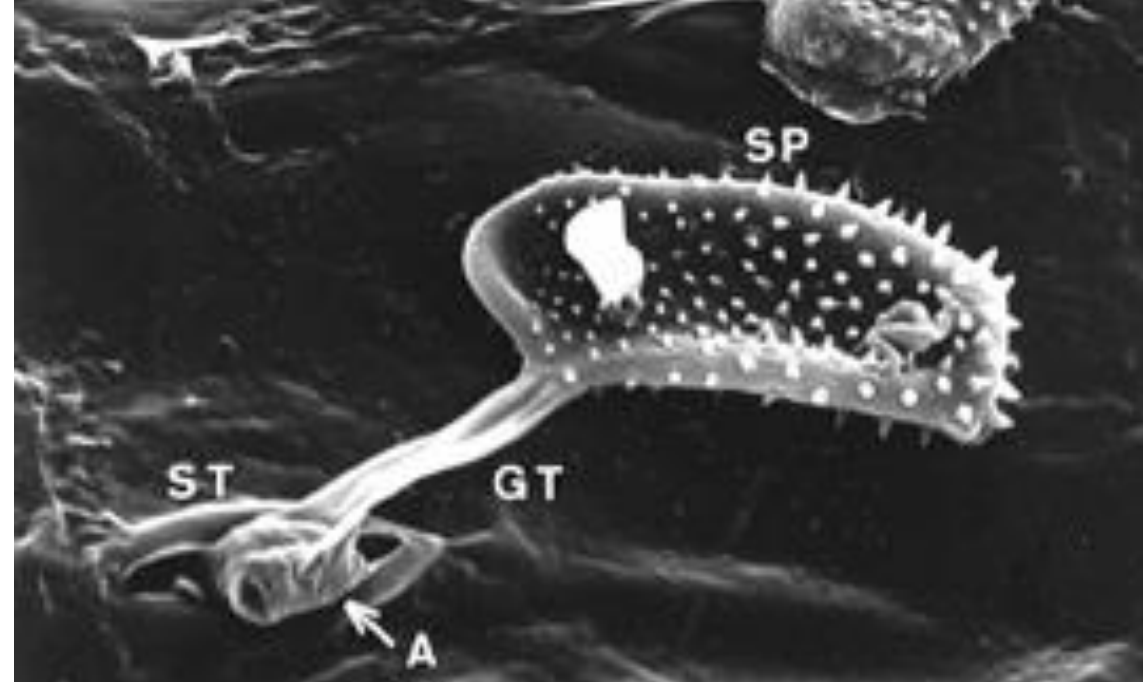


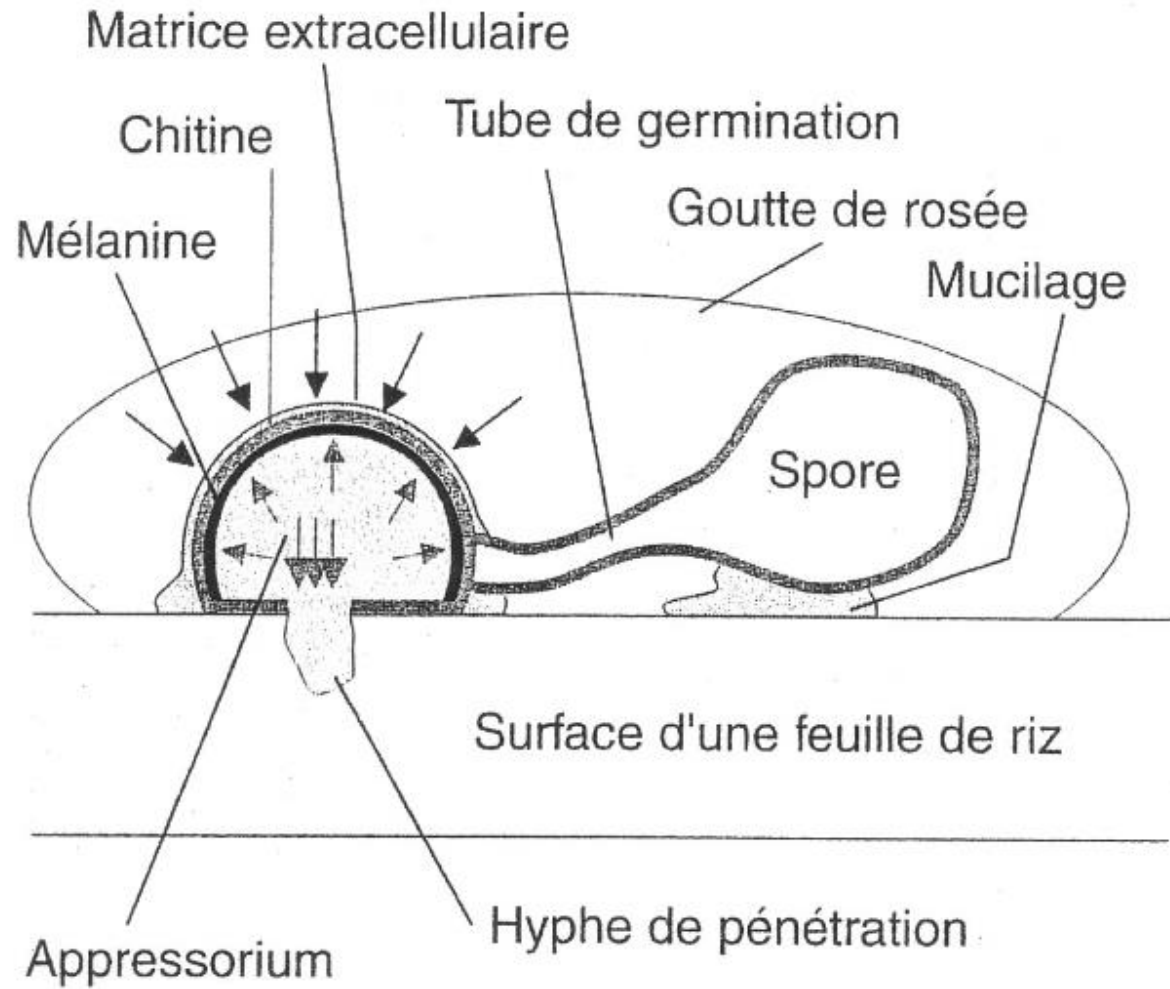


Conidies formant des **tubes germinatifs**  
et **appressoria** à la surface d'épiderme de  
Pois

## c) Formation de l'appressorium

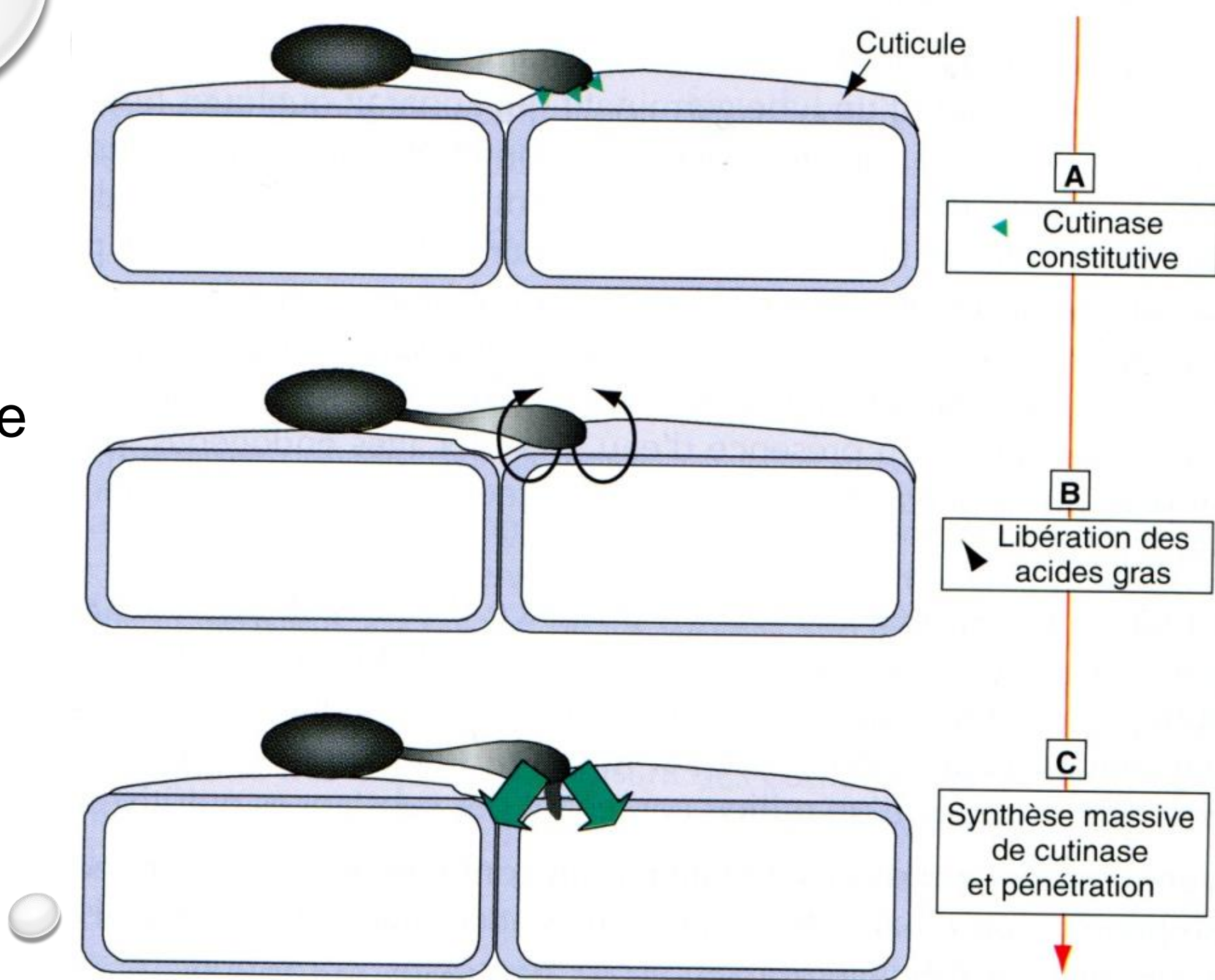
Germination d'une spore de champignon  
sur une feuille de Peuplier







d) Le percement de la cuticule



e) Le percement  
du suber

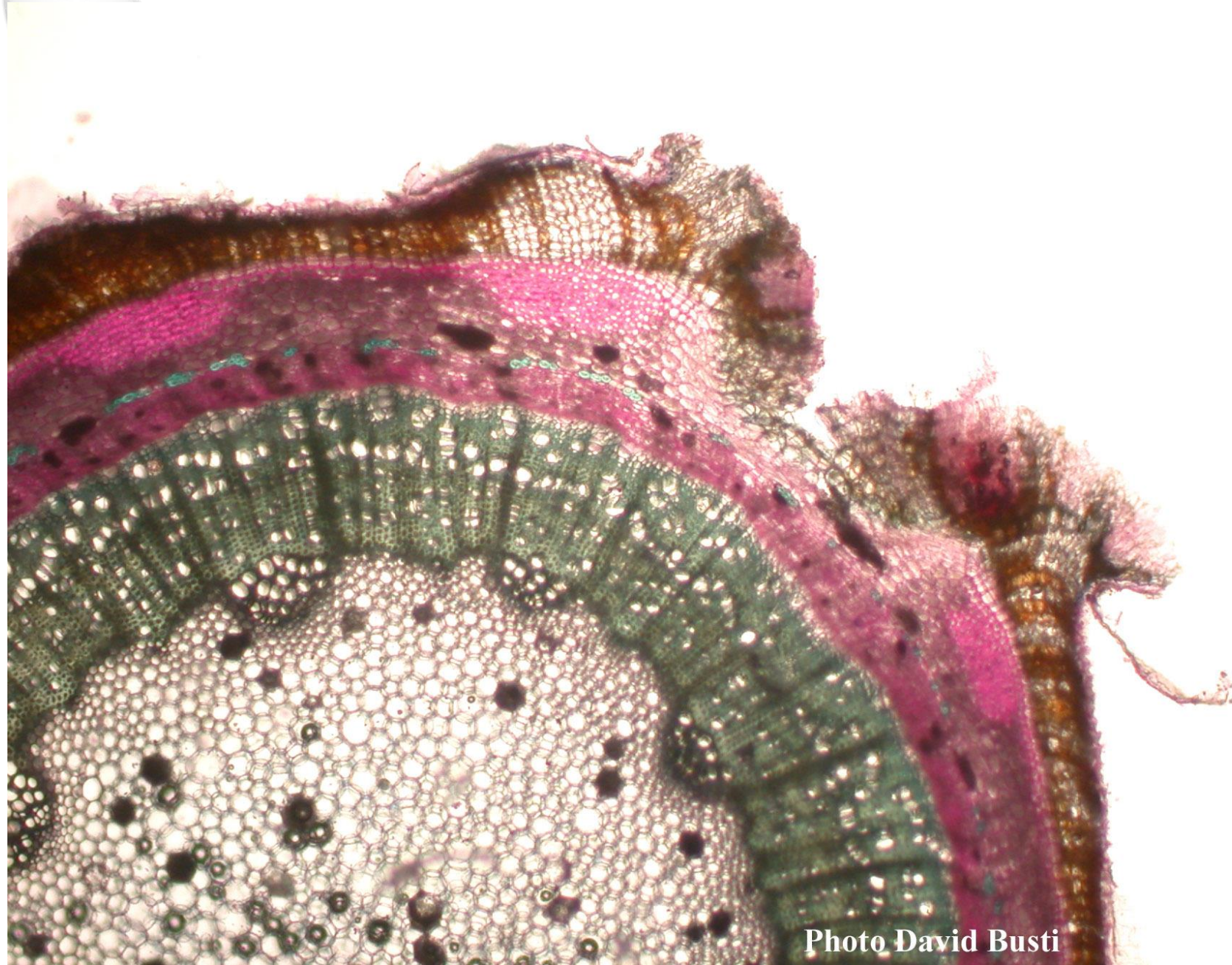


Photo David Busti



# La tavelure du Pommier

Champignon ascomycète  
*Venturia inaequalis*

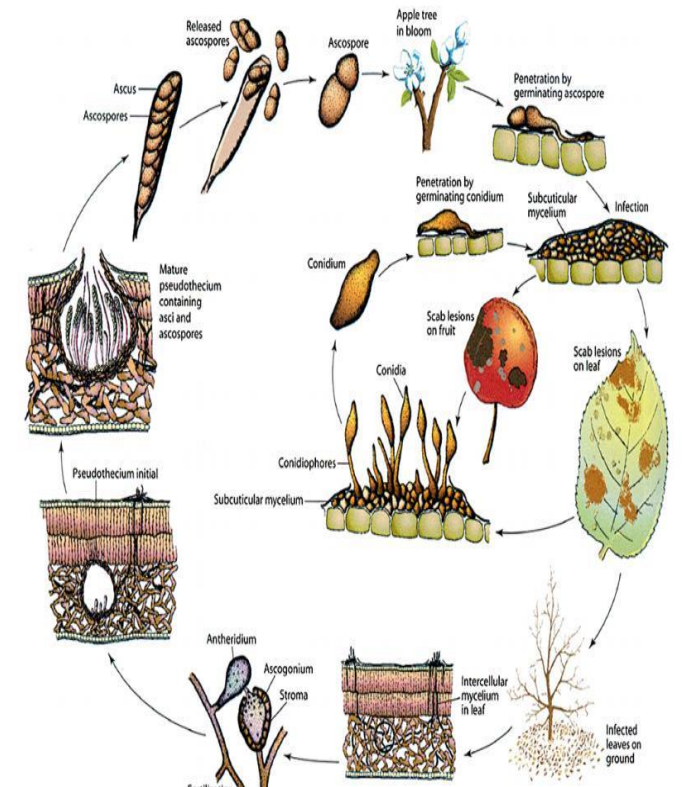


## f) Mise en place de la relation trophique

# NECROTROPHE

# BIOTROPHE

# HEMIBIOTROPHE





**Suçoir** de *Melampasora lini*  
dans une cellule foliaire de lin

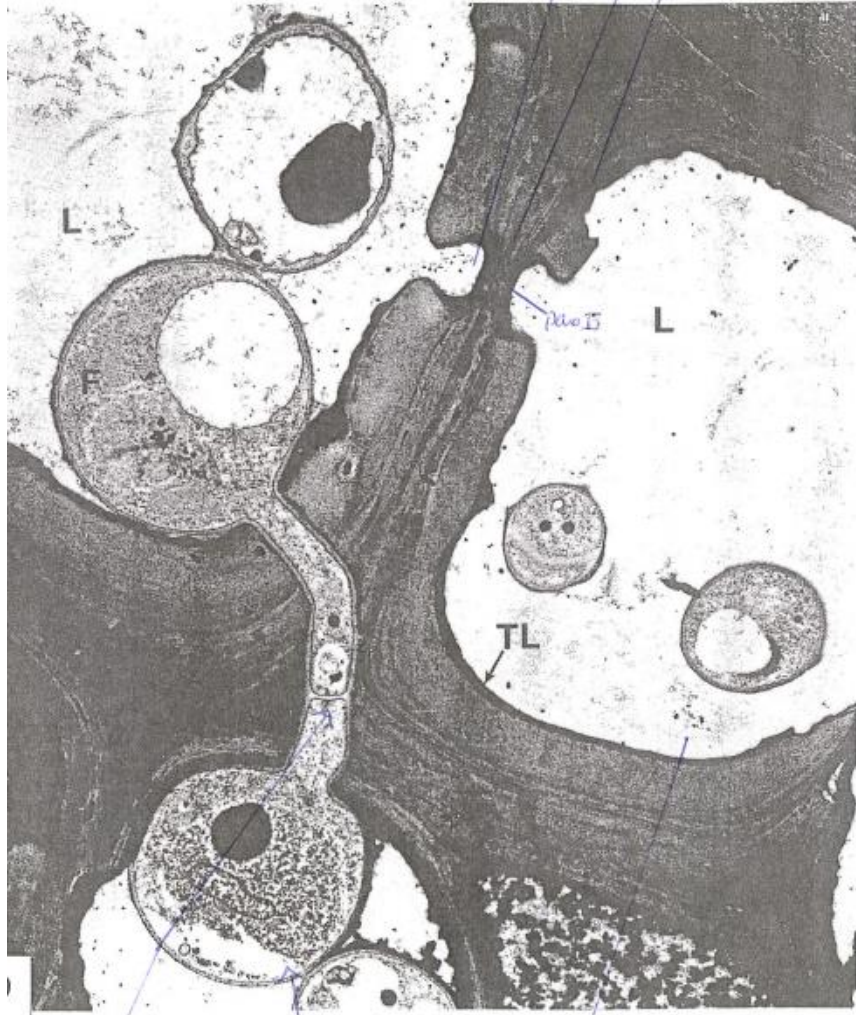


CHAMPIGNON PARASITE

Porclocher

lamelle mycène  
(composé de kératine)

Panc II strié



structure de porci

filament mycelien

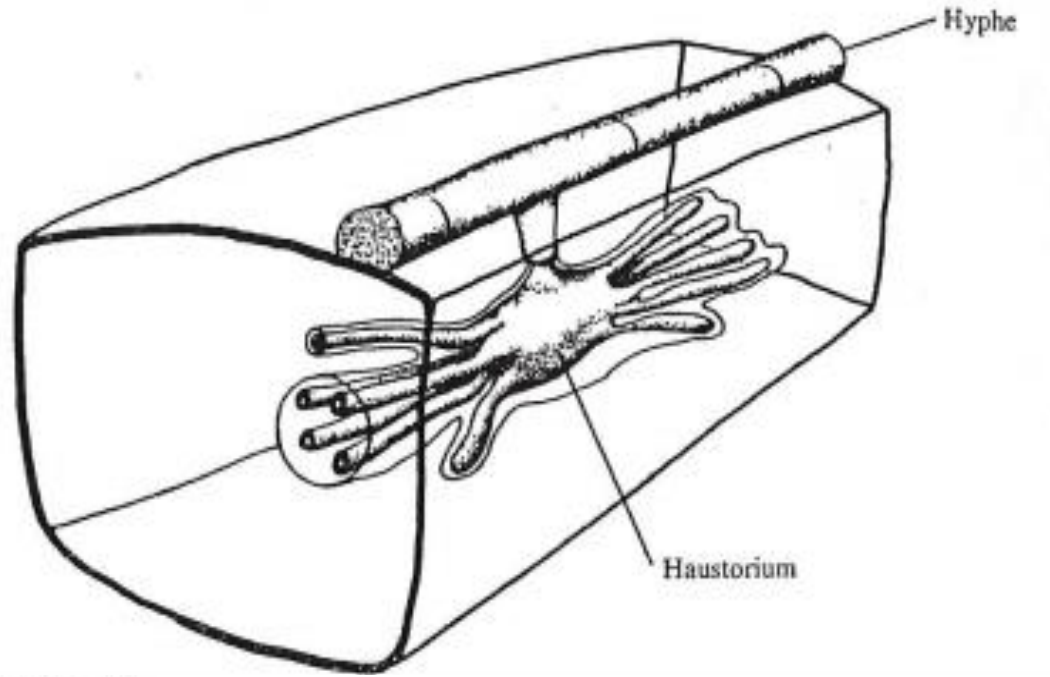
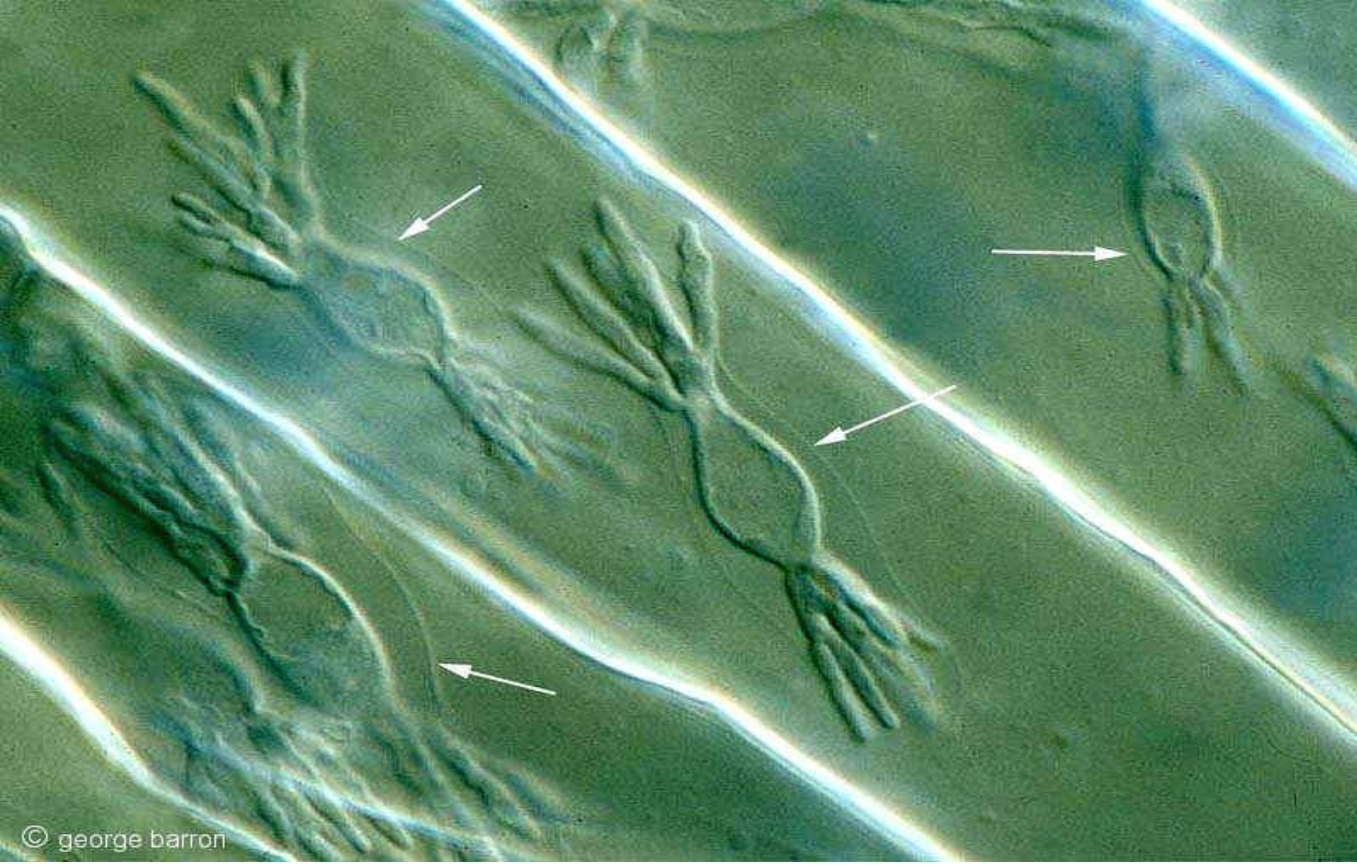
4 mode VAISSEAU

HYPHE qui préleve  
nutriments issu de paroi du porci

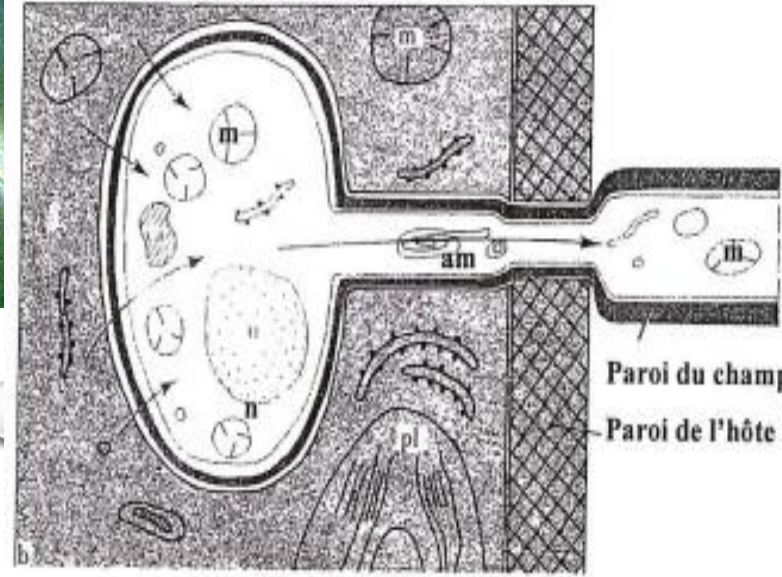
SUCOIR INTRA-PARIÉTAL

} encrage champignon, et moppingage d'un  
neurone au cell leuco





**Absorbotrophie**



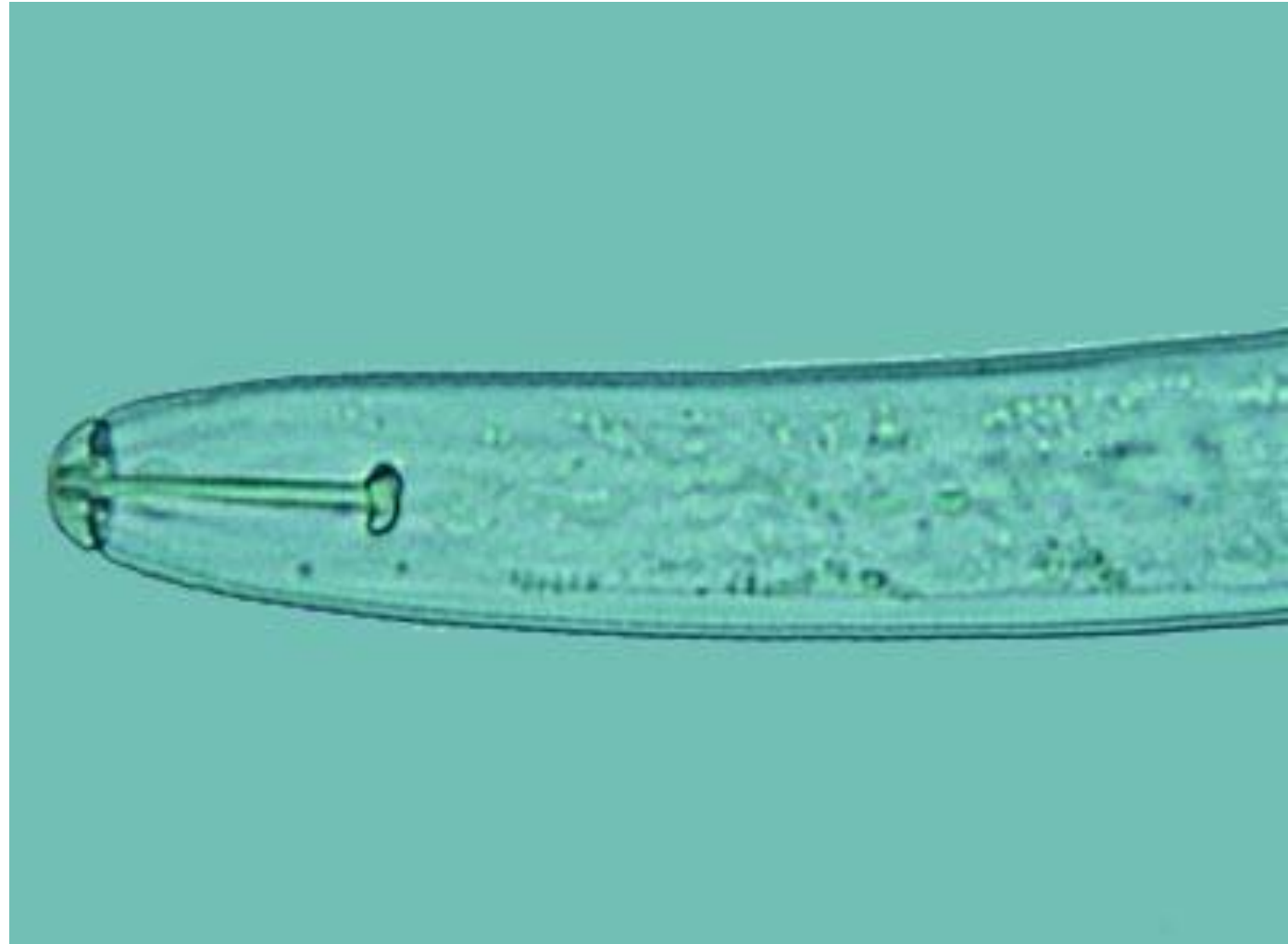
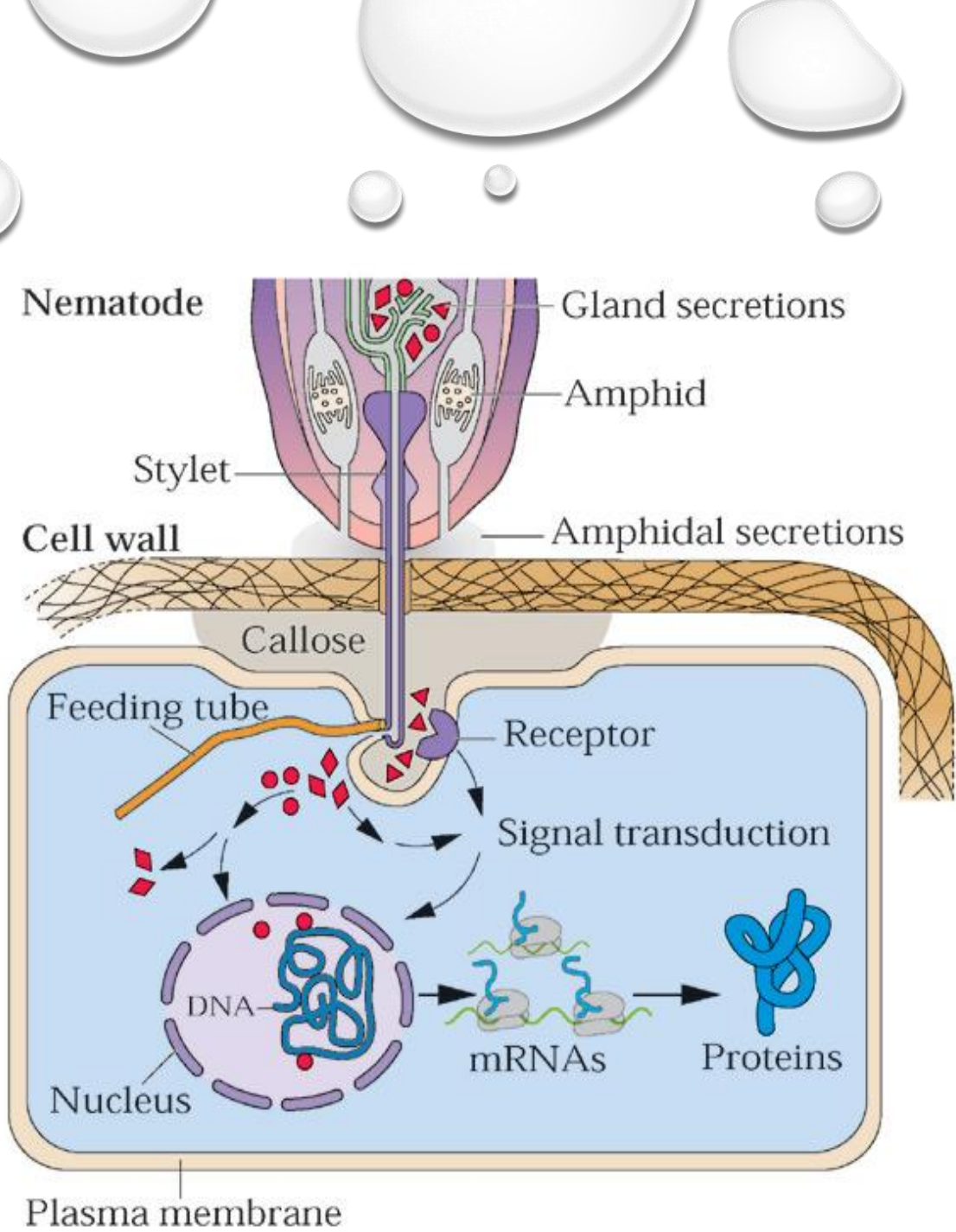
**Fig.32.** Détournement des éléments de l'hôte par absorbotrophie chez les champignons  
 m = mitochondrie ;  
 n = noyau ;  
 pl = chloroplaste ;  
 am = accumulation membrane  
 (Roland 44)

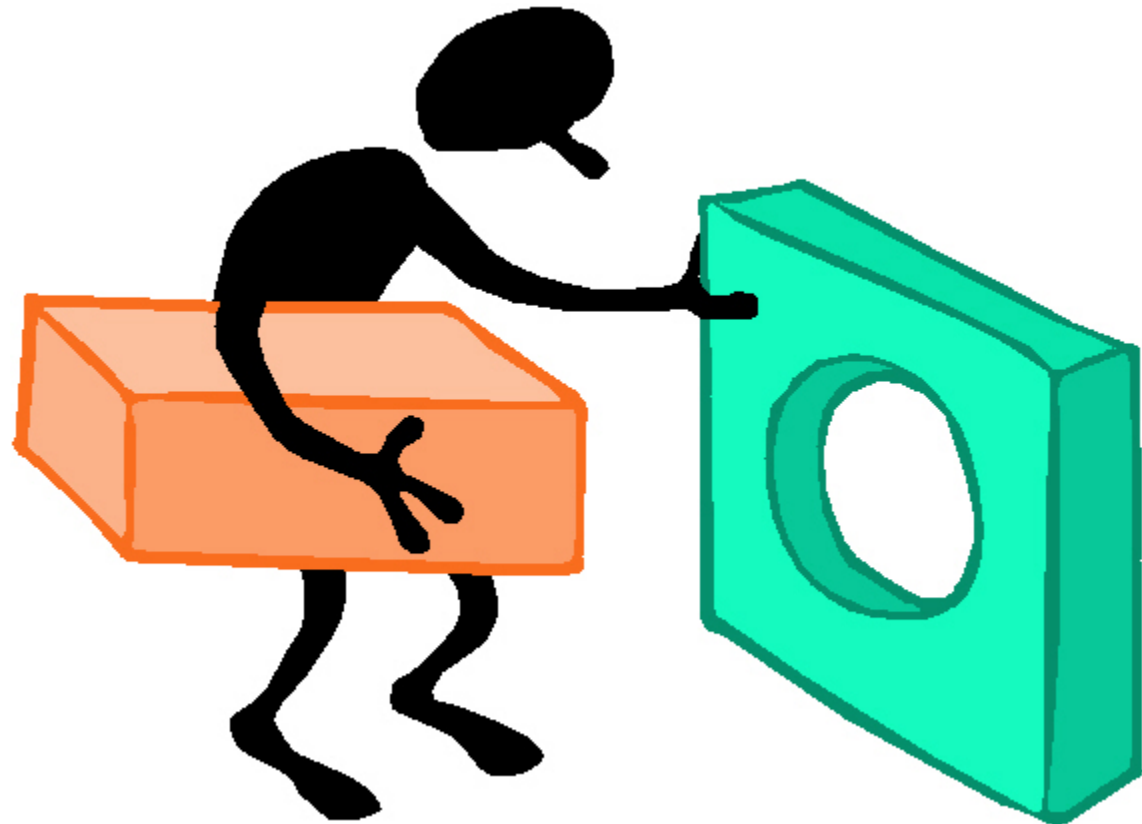


# 3. Dispersion

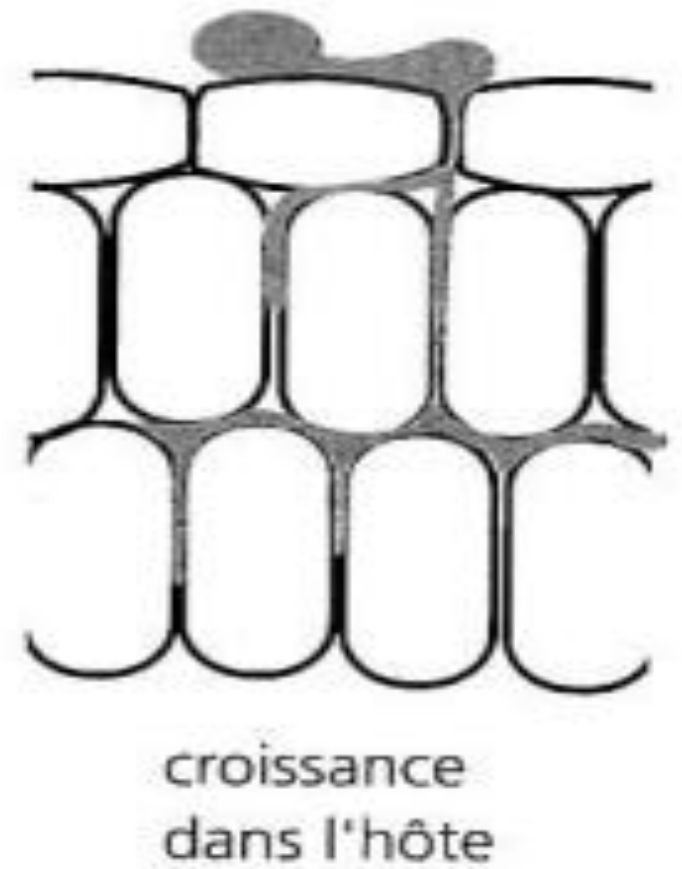
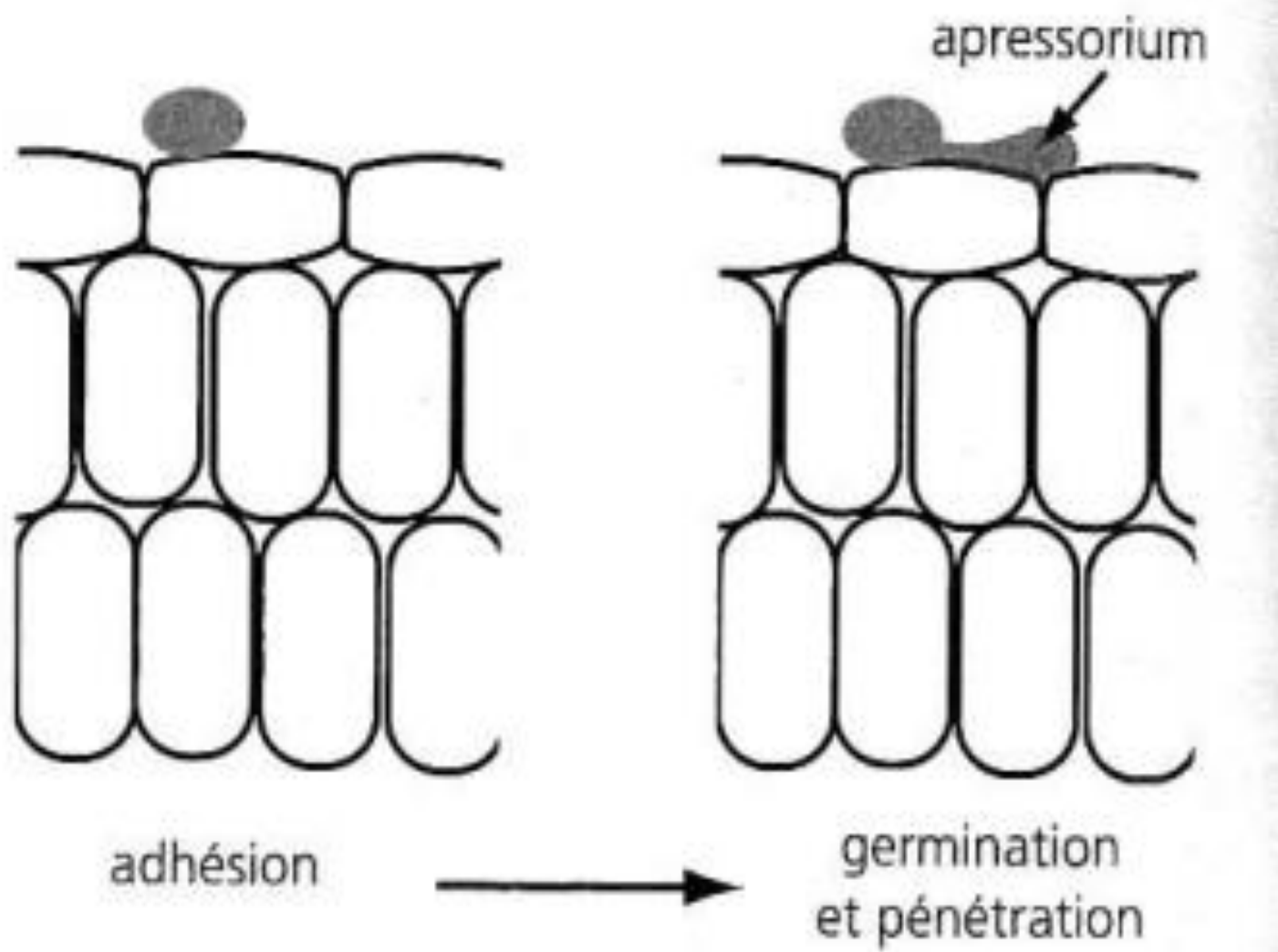






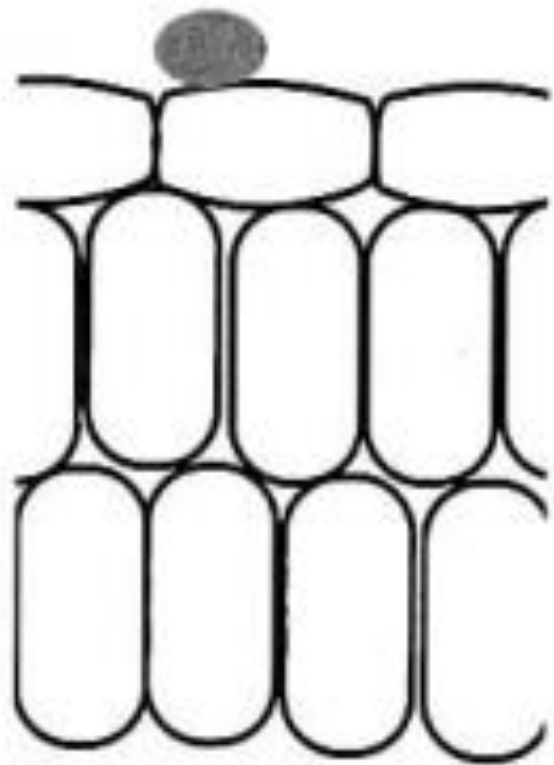




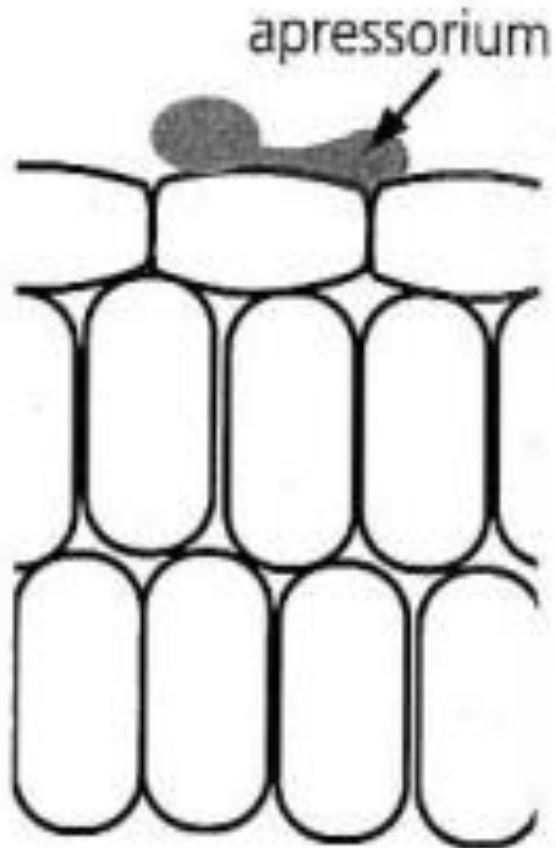


**HOTE SENSIBLE + PATHOGENE VIRULENT =>**

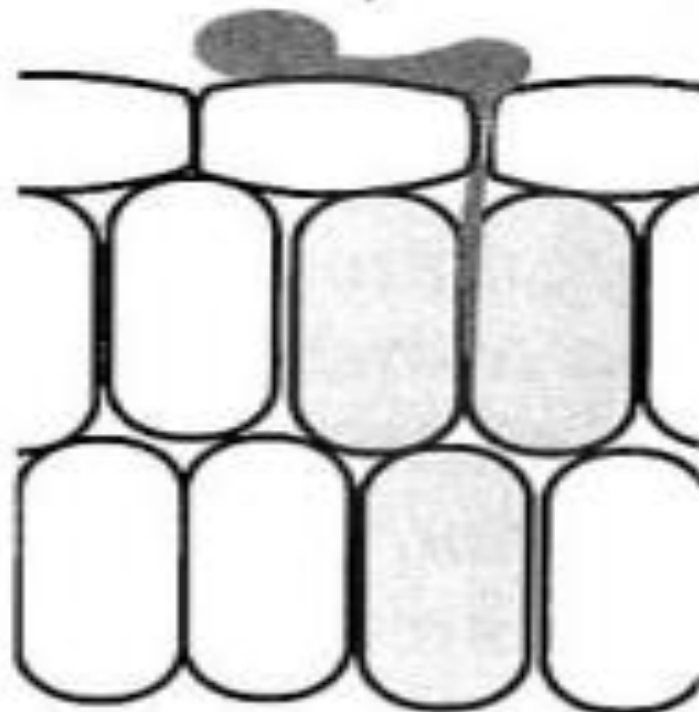
Relation compatible



adhésion



germination  
et pénétration



arrêt précoce de  
l'infection par une  
réaction  
d'hypersensibilité

**HOTE RESISTANT + PATHOGENE AVIRULENT =>**

Relation incompatible



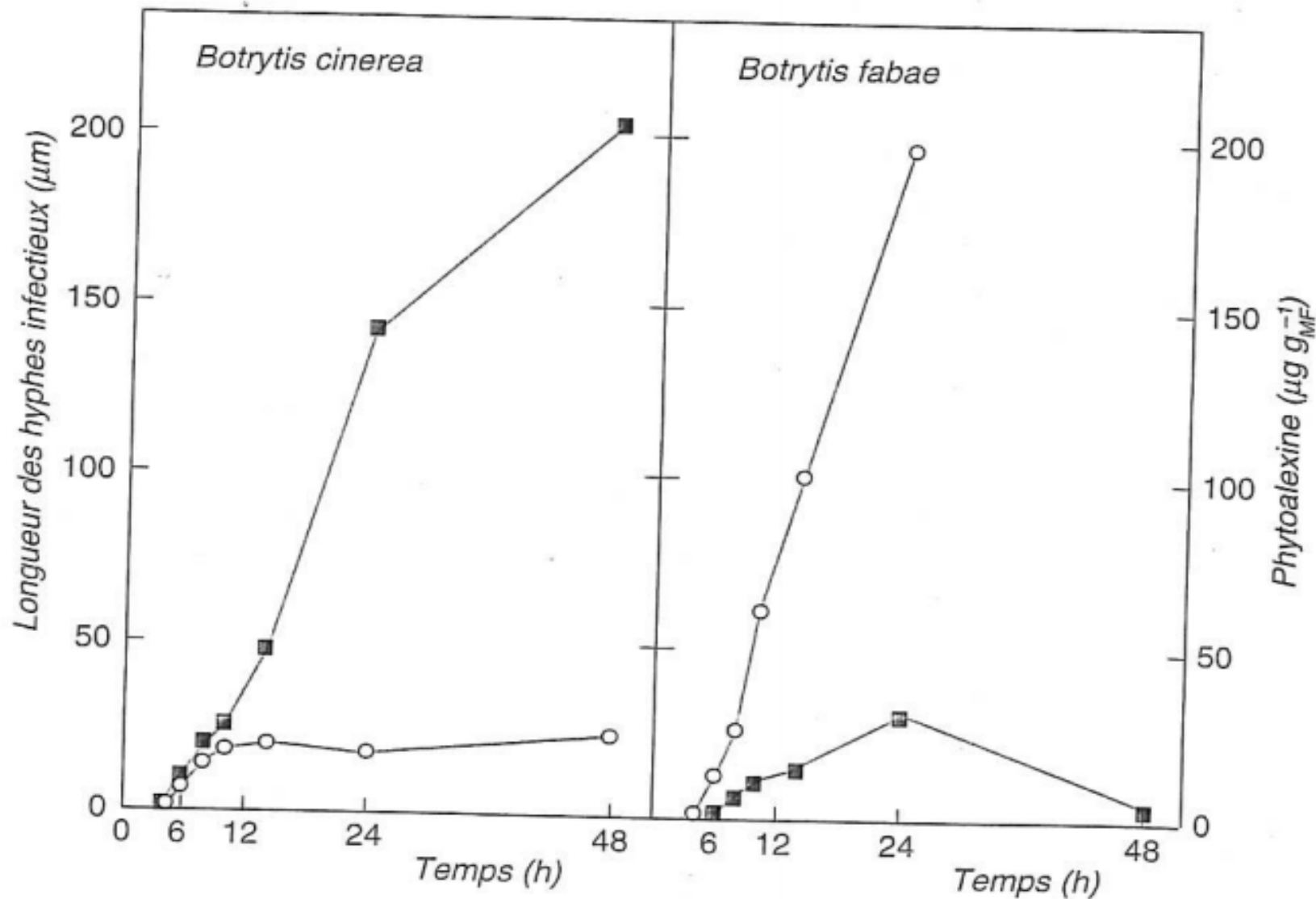
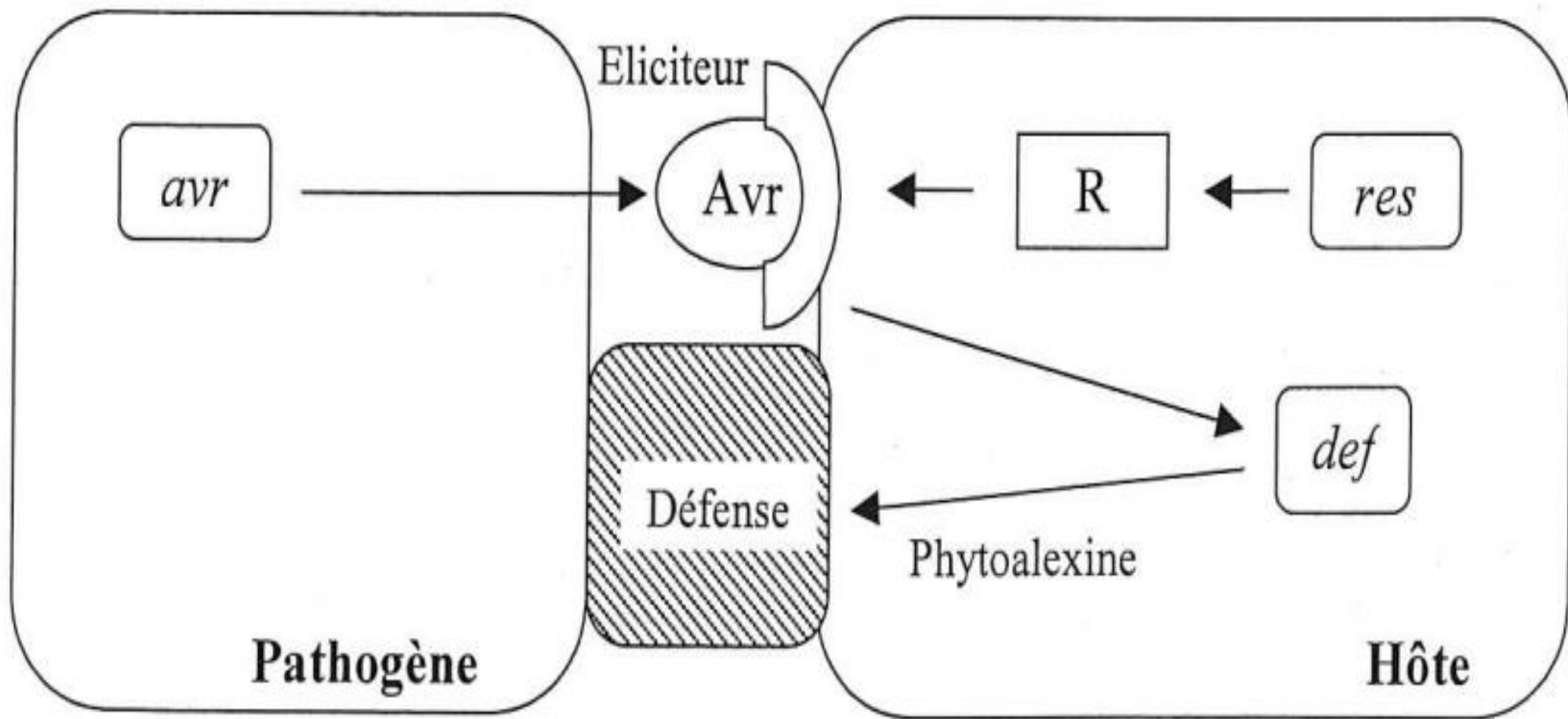


Figure 16-4. Rapports entre la croissance des hyphes d'un champignon infectieux et l'accumulation de phytoalexine chez la plante hôte.

Feuilles de Fève infiltrées avec des conidies de *Botrytis cinerea* (interaction incompatible) ou *B. fabae* (interaction compatible). ○, croissance des hyphes; ■, phytoalexine (wayerone) dosée dans les cellules épidermiques (d'après DARVILL et ALBERSHEIM, 1984).



**Fig.44. Induction des mécanismes de défense des plantes. (Heller 310)**

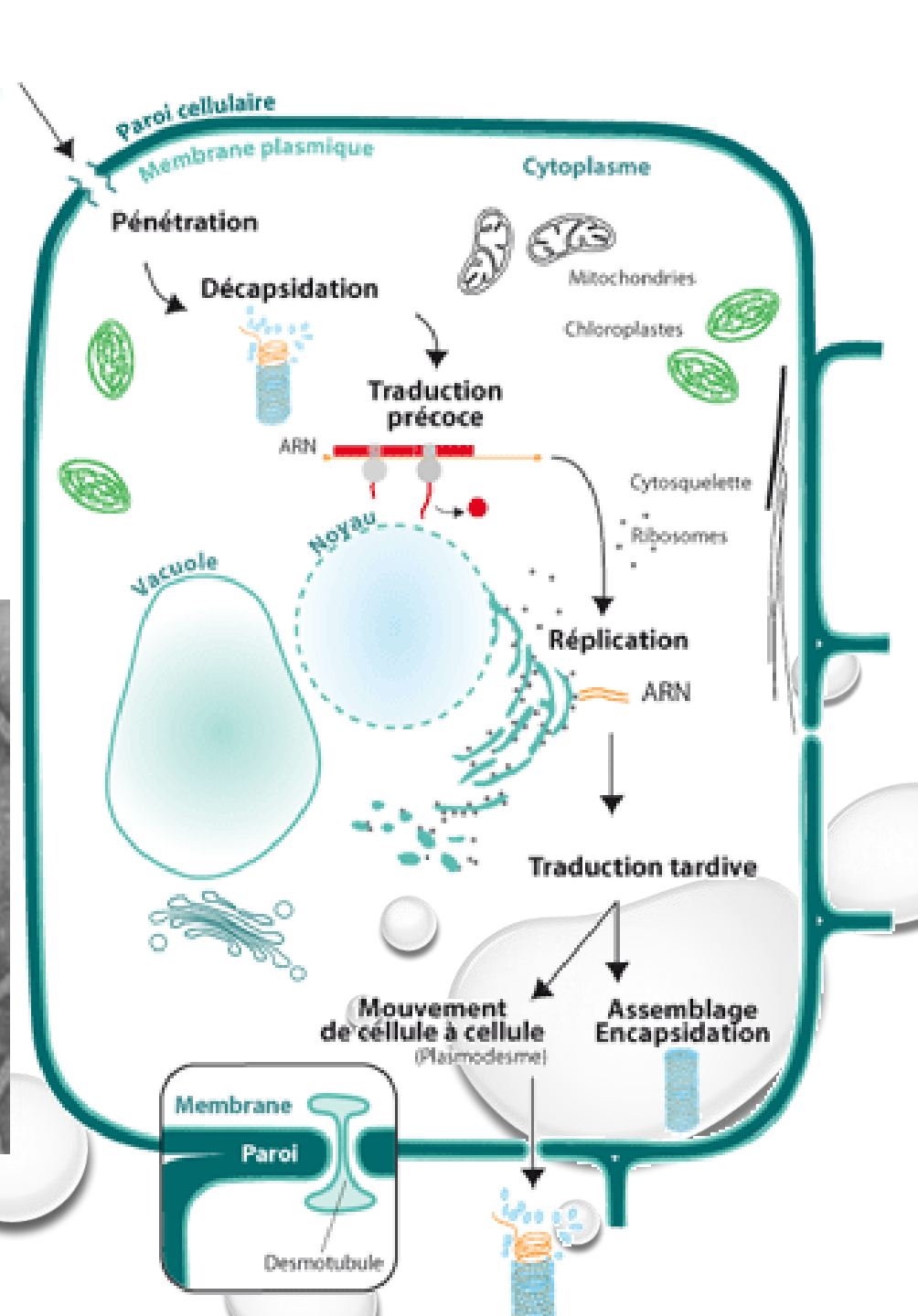
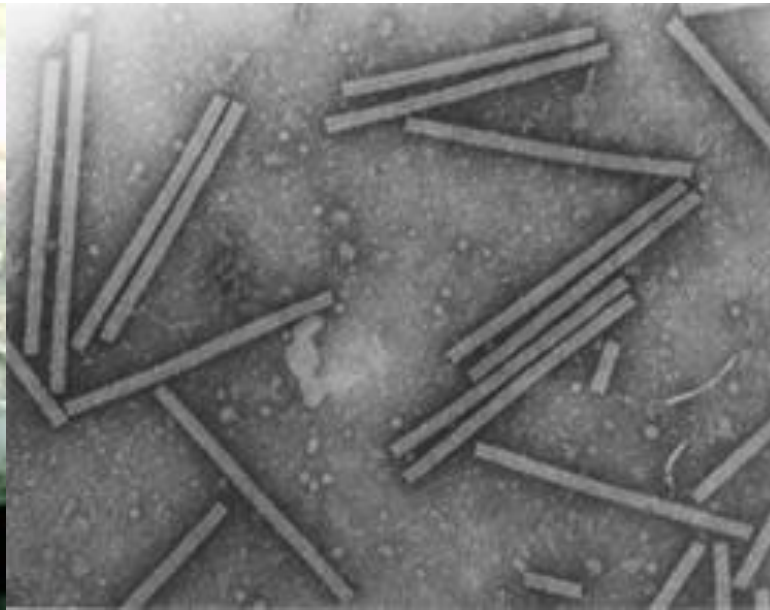
Gène d'avirulence du pathogène (gène *avr*, protéine Avr)

Gène de résistance de la plante (gène *res*, protéine R)

Gène de défense de la plante (gène *def*)



# Virus de la mosaïque du tabac



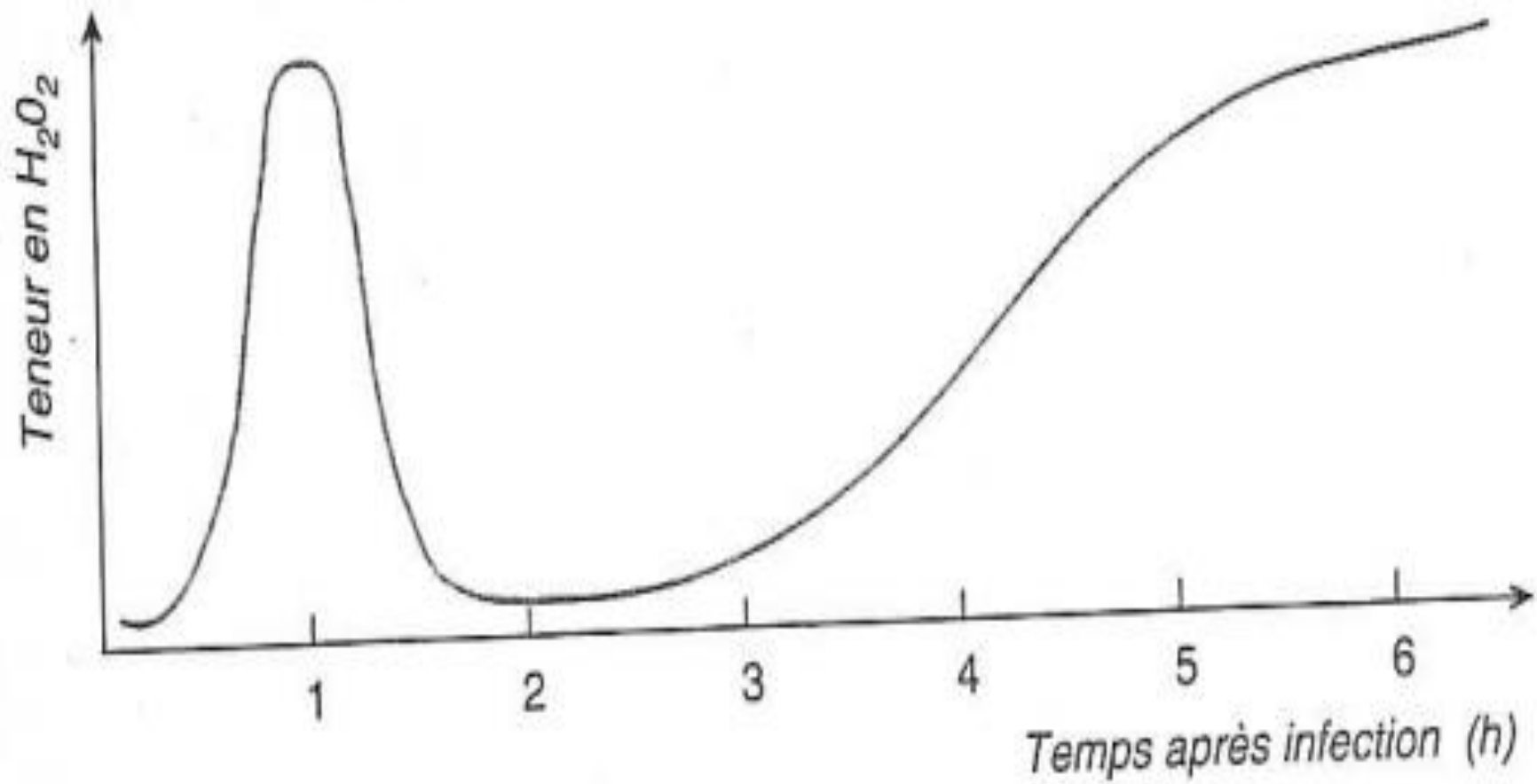


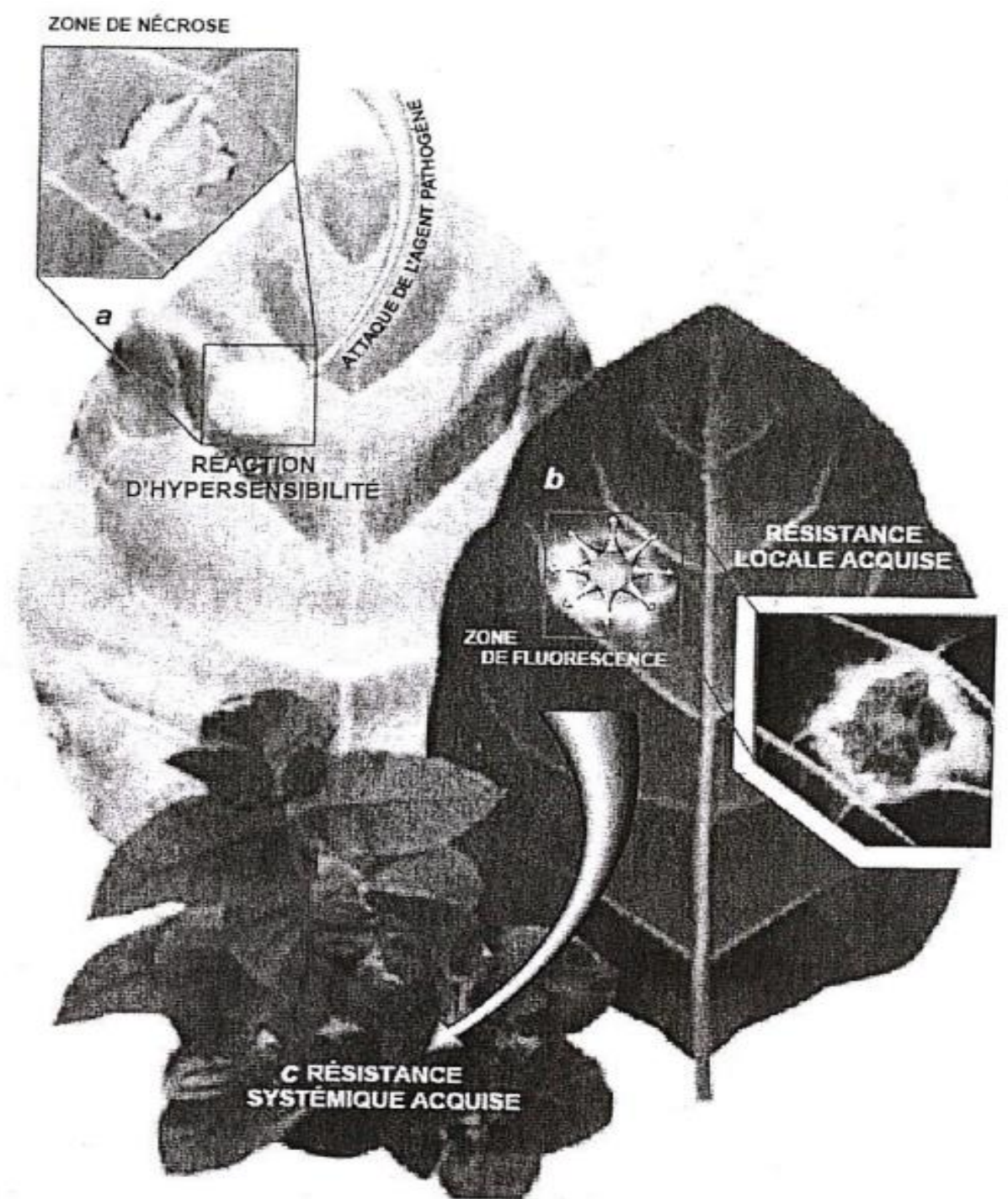
Figure 16-9. Évolution de la production des ROS, illustrée par le teneur en  $H_2O_2$ , lors d'une interaction incompatible.

D'après DRAPER, *Trends in Plant Sciences*, 1997, volume 2, figure 2, p. 164, © 1997 avec l'autorisation de Elsevier Science.



# 1. Réaction d'hypersensibilité

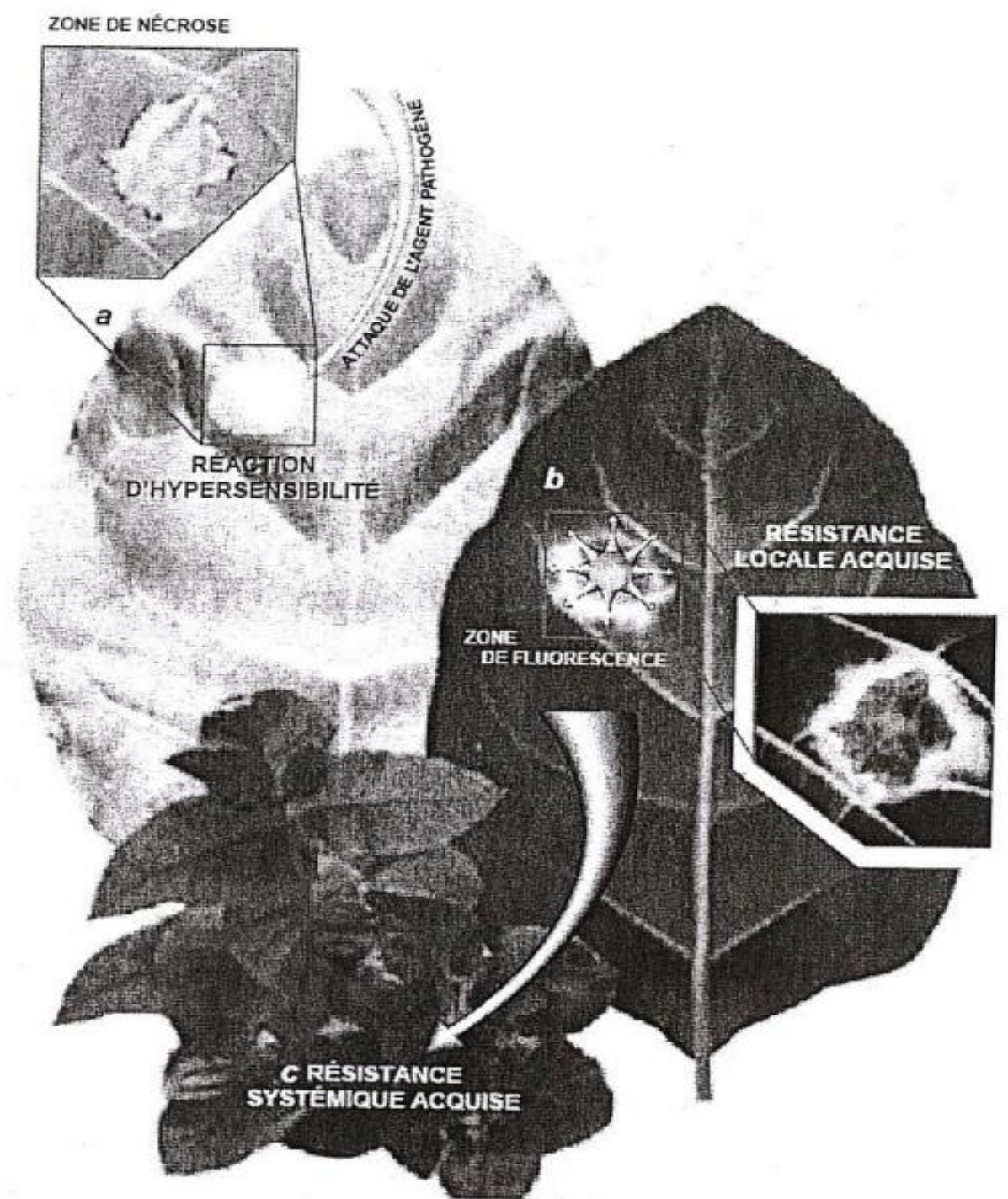
$H_2O_2$   
*Mort cellulaire*



# 1. Réaction d'hypersensibilité

$H_2O_2$   
*Mort cellulaire*

# 2. Résistance locale acquise





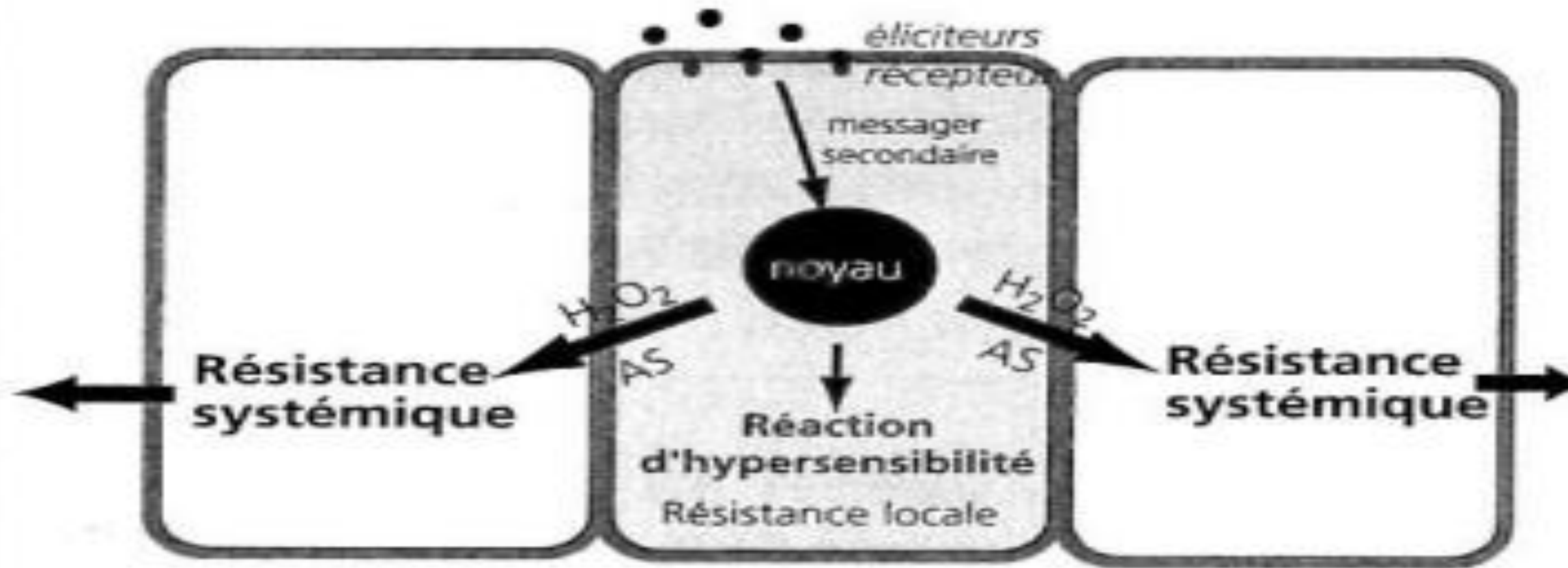
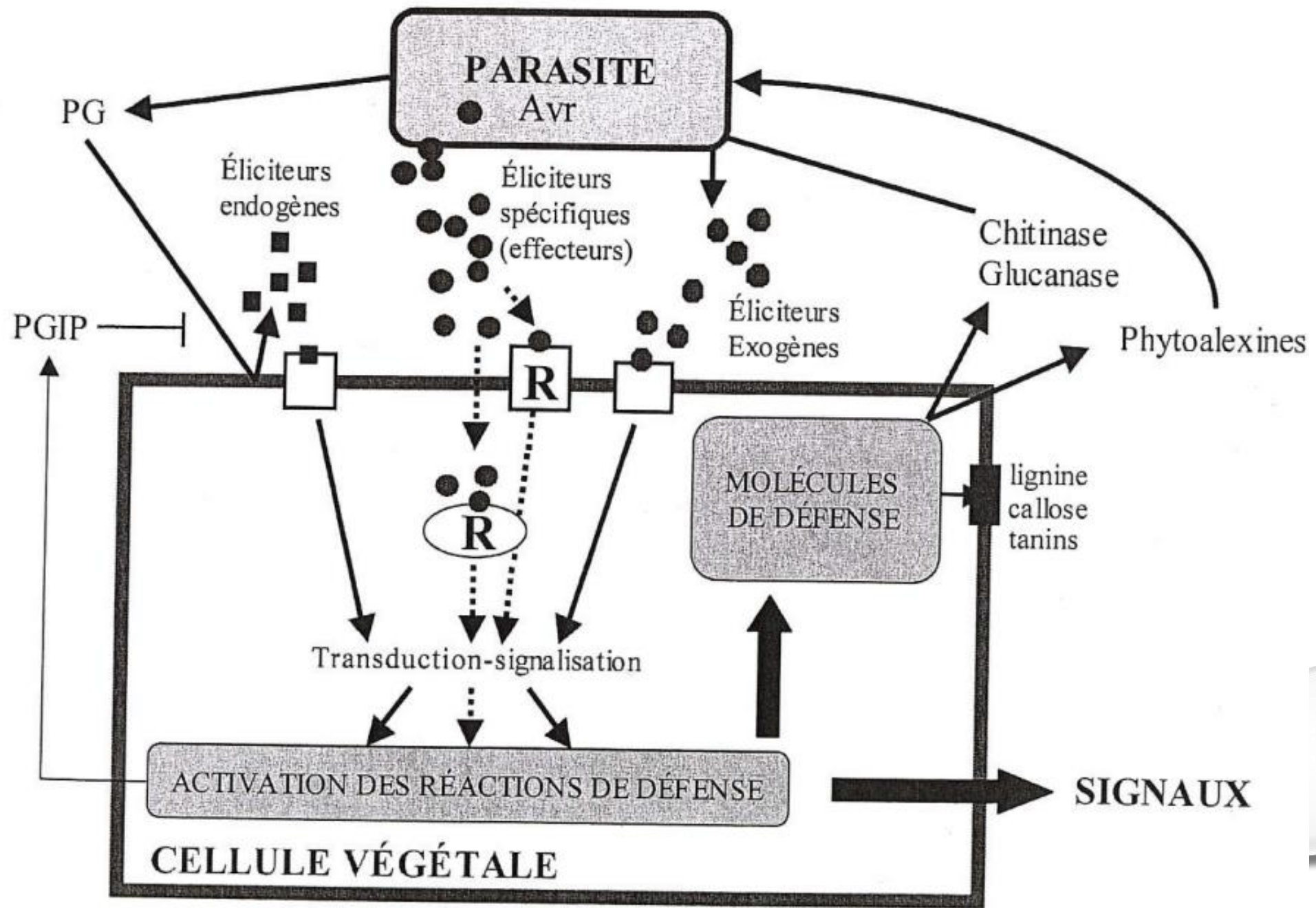


Figure 6-20: résistance induite locale et systémique

AS: acide salicylique.



.....> Voie spécifique

—> Voie non spécifique

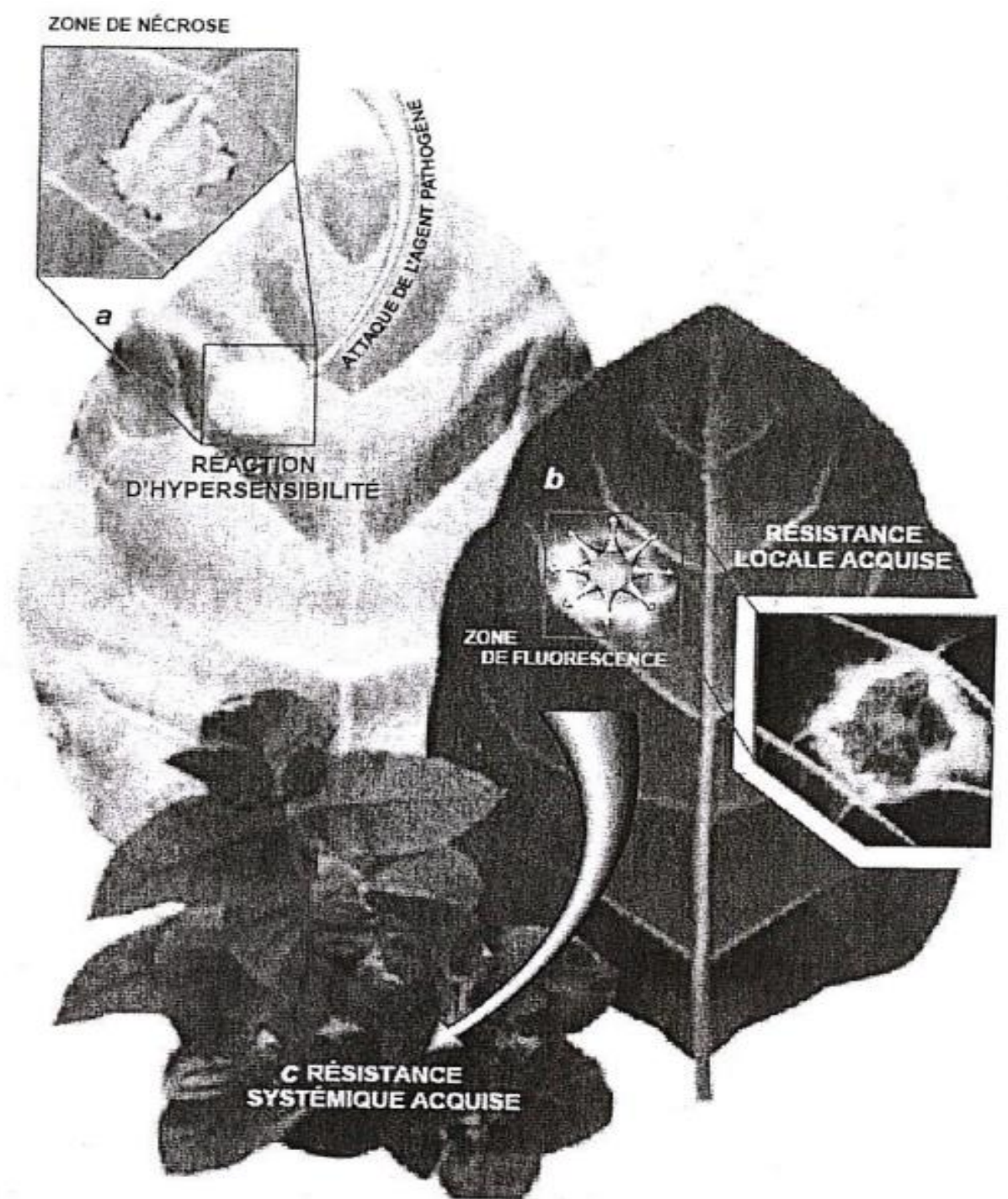


# 1. Réaction d'hypersensibilité

$H_2O_2$   
Mort cellulaire

# 2. Résistance locale acquise

$H_2O_2$   
Phytoalexine, Protéine PR



1. Réaction  
d'hypersensibilité

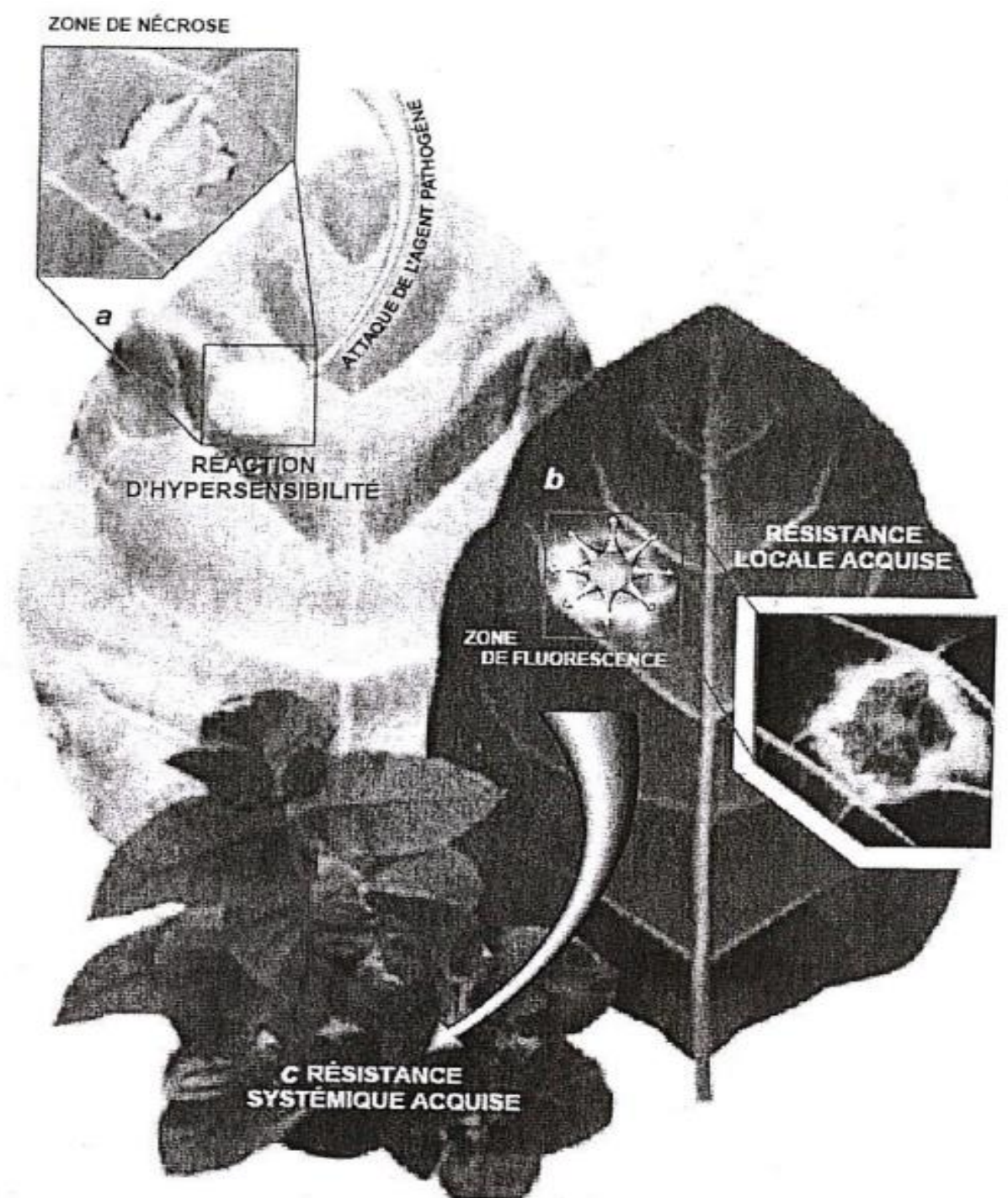
*Mort cellulaire*

2. Résistance locale acquise

*H2O2*

*Phytoalexine, Protéine PR*

3. Résistance systémique  
acquise





# 1. Réaction d'hypersensibilité

$H_2O_2$ ; Mort cellulaire

# 2. Résistance locale acquise

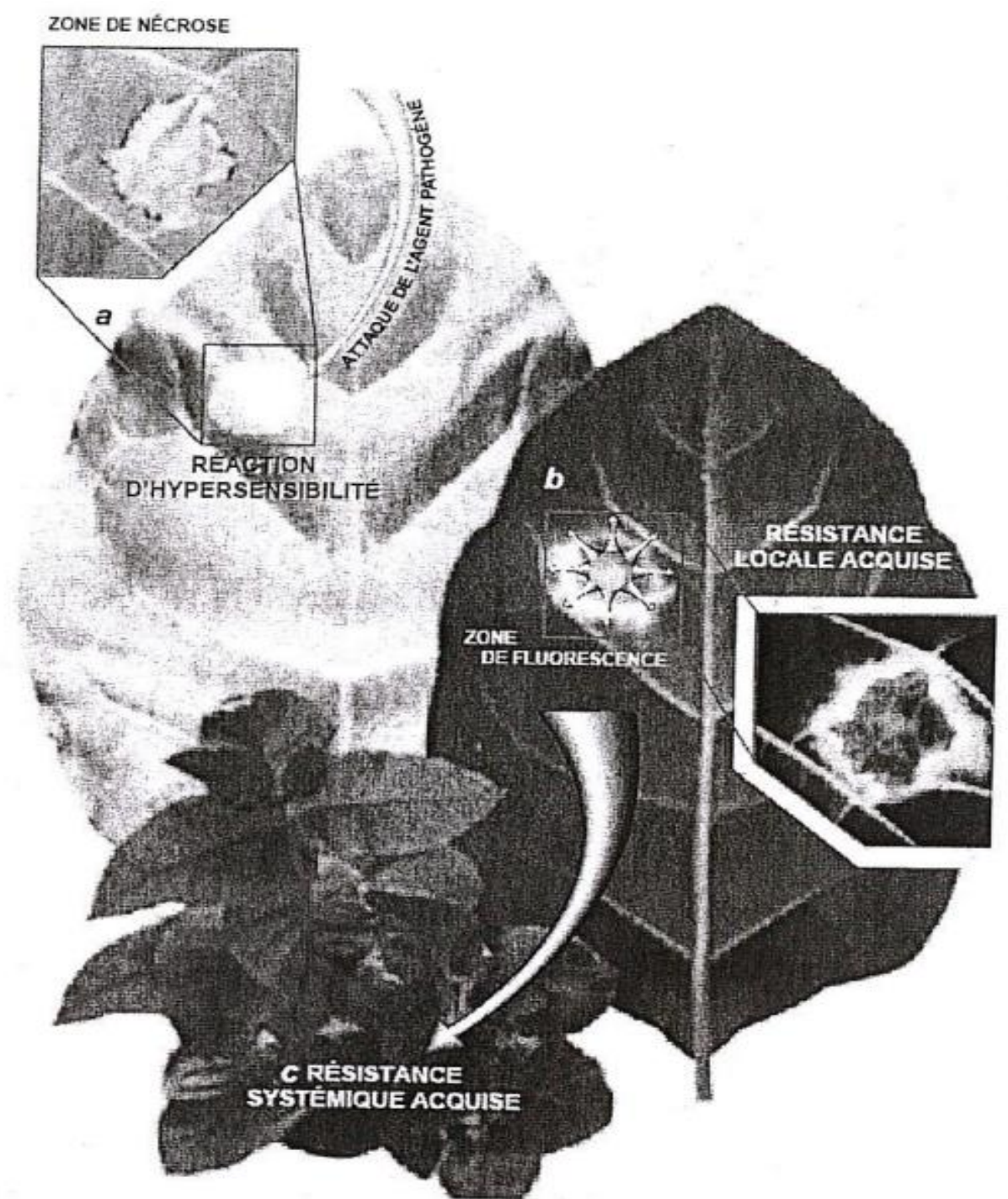
$H_2O_2$

Phytoalexine, Protéine PR

# 3. Résistance systémique acquise

Acide jasmonique/ Ethylène

Acide salicylique



**RECONNAISSANCE NON SPÉCIFIQUE  
ÉLICITEUR / RÉCEPTEUR**

**RECONNAISSANCE SPÉCIFIQUE  
GÈNE AVR / GÈNE R**

définition d'une stratégie  
signalisation - transduction  
induction de gènes de défense

**STRATÉGIE EFFICACE**  
résistance spécifique  
résistances systémiques

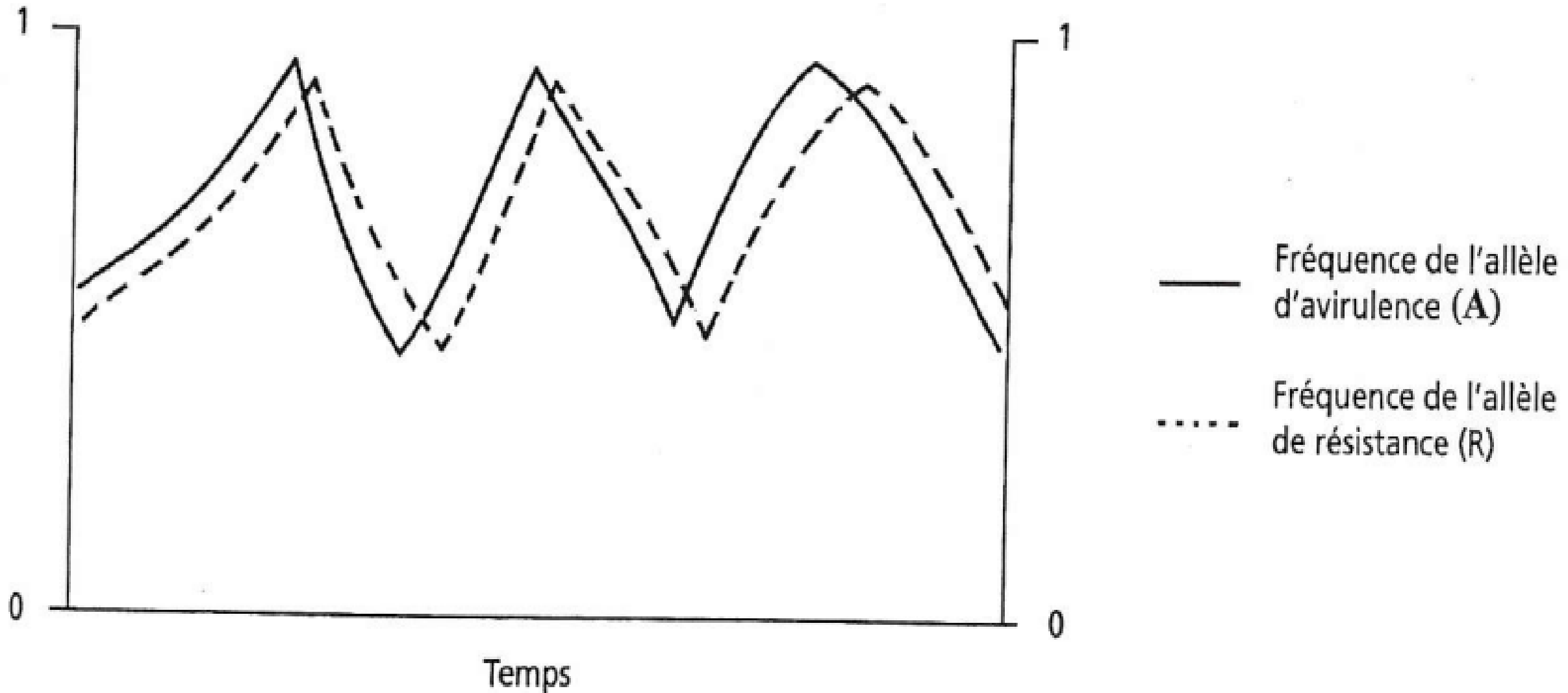
**STRATÉGIE INEFFICACE**  
affaiblissement ou  
mort de la plante

**INTERACTION INCOMPATIBLE**

**INTERACTION COMPATIBLE**



## Modèle de coévolution « gène pour gène »



# BILAN :

Lors d'une rencontre agent pathogène/ végétal (+/-) on peut observer soit une relation **compatible** : l'agent pathogène infecte le végétal, soit une relation **incompatible** : l'agent pathogène est rejeté grâce à une mise en marche d'un système de défense très perfectionné du végétal.

