



SCIENCES SUP



**Atlas**

1<sup>er</sup> cycle/Licence • Prépas • CAPES • Pharmacie

# BIOLOGIE VÉGÉTALE

**Associations et interactions  
chez les plantes**

*Preface de Marc-André Selosse*

**Émile Duhoux  
Michel Nicole**



DUNOD

# Table des matières

Preface	
Etrennis et amis intimes .....	III
 Partie A	
Interactions plantes-symbiotes : les symbioses fixatrices d'azote .....	1
 Chapitre 1	
Les symbioses Rhizobium-Légumineuses .....	2
1.1 Les partenaires végétaux .....	2
1.2 Les partenaires bactériens .....	4
1.3 Organisation du nodule .....	8
1.4 Formation d'un nodule .....	10
1.4.1 Les signaux moléculaires .....	10
1.4.2 Ontogenèse du nodule .....	12
a) <i>Infection du poil absorbant</i> .....	12
b) <i>Initiation du primordium nodulaire</i> .....	12
c) <i>Formation du cordon d'infection</i> .....	14
d) <i>Développement du nodule et régulation du nombre de nodules</i> .....	14
1.5 La symbiose <i>Rhizobium-Parasponia</i> .....	16
1.6 La fixation d'azote atmosphérique .....	18
 Chapitre 2	
Les symbioses actinorhiziennes .....	22
2.1 Les partenaires végétaux .....	22
2.2 Le partenaire bactérien .....	24
2.3 Le nodule actinorhizien ou actinorhize .....	28
2.4 Les interactions plante/ <i>Frankia</i> : exemple de la symbiose <i>Casuarina/Frankia</i> .....	30
2.4.1 L'interaction peut être observée au niveau histo-cytologique .....	30
2.4.2 Interaction moléculaire .....	31
2.4.3 Ontogenèse du nodule .....	34
 Chapitre 3	
Diversité des types nodulaires .....	36
3.1 Les grands types de nodules .....	36
3.1.1 Nodules déterminés et indéterminés .....	36
3.1.2 Nodules des légumineuses et des plantes actinorhiziennes .....	36

3.2 Les nodules aériens .....	38
3.2.1 L'exemple du <i>Sesbania rostrata</i> ( <i>Papilionoideae</i> ) .....	38
a) Les sites d'infection .....	38
b) Ontogenèse du nodule .....	39
c) Intérêt agronomique .....	39
3.2.2 La nodulation aérienne .....	40
Chapitre 4	
Les symbioses avec les cyanobactéries .....	42
4.1 La symbiose <i>Azolla-Anaebaena</i> .....	42
4.2 Les symbioses chez <i>Gunnera</i> et <i>Cycas</i> .....	44
4.2.1 La symbiose <i>Gunnera-Nostoc</i> .....	44
4.2.2 La symbiose <i>Cycas-Nostoc</i> .....	44
Chapitre 5	
Évolution des symbioses fixatrices d'azote .....	46
5.1 Un clade unique des plantes à nodules fixateurs d'azote .....	46
5.2 Apparitions de la symbiose .....	48
5.2.1 Chez les plantes actinorhiziennes .....	48
5.2.2 Chez les légumineuses .....	49
5.2.3 Signification évolutive du prénodule .....	49
5.3 Origine des nodulines .....	50
PARTIE B	
Interactions Plantes-Symbiotes : Les associations mycorhiziennes .....	53
Chapitre 6	
Les grands types de mycorhizes et leur organisation .....	54
6.1 Classification des mycorhizes .....	54
6.2 Les endomycorhizes .....	56
6.2.1 Les partenaires .....	56
a) Les plantes-hôtes .....	56
b) Les champignons .....	56
6.2.2 Cycle de vie d'un champignon endomycorhizien AM .....	58
6.2.3 Infection de la plante-hôte .....	60
6.2.4 Les arbuscules et les vésicules .....	62
a) Les arbuscules .....	62
b) Les vésicules .....	62
6.2.5 Modifications cellulaires et moléculaires au cours du développement de la mycorhize .....	64
6.2.6 Une curiosité : les pseudonodules à mycorhizes .....	66

<b>6.3 Les ectomycorhizes . . . . .</b>	68
6.3.1 Les partenaires . . . . .	68
a) <i>Les plantes-hôtes . . . . .</i>	68
b) <i>Les champignons . . . . .</i>	68
6.3.2 Mycorhizes et fructifications de champignons . . . . .	72
a) <i>Relations mycorhizes/carpophores d'un Basidiomycotina : le lactaire délicieux . . . . .</i>	72
b) <i>Relations mycorhizes/carpophore d'un Ascomycotina : la truffe . . . . .</i>	74
6.3.3 Interactions plante/champignon . . . . .	76
a) <i>Les différentes étapes . . . . .</i>	76
b) <i>Les interactions moléculaires . . . . .</i>	78
 <b>Chapitre 7</b>	
<b>Rôles et applications des mycorhizes . . . . .</b>	80
<b>7.1 Rôles des mycorhizes dans la nutrition minérale de la plante . . . . .</b>	80
7.1.1 Augmentation de volume du sol exploré . . . . .	80
7.1.2 Nutrition azotée améliorée . . . . .	80
7.1.3 Nutrition phosphatée améliorée . . . . .	80
7.1.4 Le coût en carbone des symbioses mycorhiziennes . . . . .	82
7.1.5 Effets bénéfiques des champignons mycorhiziens . . . . .	82
<b>7.2 Applications de la mycorhization contrôlée . . . . .</b>	84
7.2.1 Technologie de l'inoculation . . . . .	84
7.2.2 Application dans la production forestière . . . . .	84
7.2.3 Mycorhizes et micropropagation . . . . .	84
7.2.4 Application dans la production de champignons comestibles . . . . .	84
 <b>Chapitre 8</b>	
<b>Évolution des symbioses mycorhiziennes . . . . .</b>	86
<b>8.1 Origines évolutives des symbioses mycorhiziennes . . . . .</b>	86
<b>8.2 Rôle des mycorhizes dans l'évolution des végétaux . . . . .</b>	88
8.2.1 Coévolution des racines et des champignons mycorhiziens . . . . .	88
8.2.2 Histoire évolutive des mycorhizes . . . . .	89
<b>8.3 Évolution de la signalisation dans les endosymbioses . . . . .</b>	89
8.3.1 Régulation de l'organogenèse . . . . .	89
8.3.2 Un dialogue moléculaire à l'origine des endosymbioses . . . . .	90
8.3.3 Les voies de signalisation . . . . .	90
<b>8.4 Les plantes mycotrophes : exemples d'interactions trophiques inversées . . . . .</b>	92
8.4.1 La Néottie nid-d'oiseau ( <i>Neottia nidus-avis</i> ) . . . . .	92
8.4.2 Le Monotrope ( <i>Monotropa hypopitys</i> ) . . . . .	92

## PARTIE C

<b>Interactions plantes-parasites</b> .....	95
Chapitre 9	
<b>Diversité des partenaires et modes d'actions</b> .....	96
9.1 Champignons .....	96
9.1.1 Quelques données sur la systématique des champignons phytopathogènes .....	96
9.1.2 Comment les champignons attaquent les plantes .....	97
a) <i>Les structures d'infection</i> .....	97
b) <i>Les enzymes de dégradation des parois</i> .....	97
c) <i>Les toxines, facteurs prépondérants du développement des maladies</i> .....	99
9.2 Les procaryotes : bactéries et mollicutes .....	101
9.2.1 Quelques données sur la systématique des procaryotes phytopathogènes .....	102
a) <i>Les bactéries</i> .....	102
b) <i>Les mollicutes</i> .....	102
9.2.2 Comment les bactéries parasites s'associent aux plantes .....	102
a) <i>Colonisation des plantes par les espèces du genre Xanthomonas</i> .....	102
b) <i>Colonisation des plantes par Rhodococcus</i> .....	103
c) <i>Colonisation des plantes par Agrobacterium tumefaciens</i> .....	106
9.2.3 Développement des mollicutes dans les plantes .....	108
9.3 Les virus .....	110
9.3.1 Quelques données sur la classification et la nomenclature des virus .....	111
9.3.2 Morphologie, composition et structure des virus .....	113
9.3.3 Le cycle cellulaire du virus dans la plante .....	113
a) <i>La traduction du génome</i> .....	114
b) <i>La réplication</i> .....	114
c) <i>L'encapsidation</i> .....	114
9.3.4 Le mouvement du virus dans la plante .....	114
9.4 Les nématodes phytoparasites .....	116
9.4.1 Quelques données sur la systématique des nématodes phytoparasites .....	116
9.4.2 Comment les nématodes infectent les racines des plantes .....	118
Chapitre 10	
<b>Réponses des plantes aux agents pathogènes</b> .....	119
10.1 Le déterminisme génétique de la résistance .....	119
10.1.1 La réaction hypersensible .....	119
10.1.2 Les gènes de résistance : rôles et structures .....	121
10.1.3 Les déterminants bactériens de l'avirulence .....	122
10.1.4 Interactions entre les produits de gènes <i>R</i> et <i>Avr</i> .....	122

<b>10.2 La transduction du signal .....</b>	123
10.2.1 Le choc oxydatif : les formes réactives de l'oxygène .....	124
10.2.2 Le rôle des hormones dans la signalisation et la régulation de la défense .....	126
a) <i>L'acide salicylique</i> .....	127
b) <i>L'éthylène</i> .....	127
c) <i>L'acide jasmonique</i> .....	127
d) <i>La systémine</i> .....	128
10.2.3 Interconnexion des différentes voies de signalisation .....	128
<b>10.3 Les réactions de défense .....</b>	129
10.3.1 Les éliciteurs des réactions de défense .....	130
10.3.2 Le renforcement des barrières physiques .....	131
10.3.3 L'obstruction des vaisseaux .....	131
10.3.4 Les molécules antimicrobiennes .....	134
<b>10.4 Une réponse originale : l'extinction de gènes .....</b>	135
10.4.1 L'initiation .....	135
10.4.2 La propagation systémique et le maintien du mécanisme .....	135
<b>Chapitre 11</b>	
<b>La coévolution plante-parasite .....</b>	137
11.1 Coévolution plante-parasite à l'échelle populationnelle .....	138
11.2 Coévolution plante-parasite au plan génétique .....	138
11.3 Coévolution plante-parasite au plan physiologique .....	140
<b>Partie D</b>	
<b>Interactions plante-plante .....</b>	141
<b>Chapitre 12</b>	
<b>Les plantes parasites .....</b>	142
12.1 Diversité des plantes parasites .....	142
12.1.1 Les grands types de plantes parasites .....	142
a) <i>Les hémiparasites et les holoparasites</i> .....	142
b) <i>Les parasites épiphyses et épiphytes</i> .....	142
12.1.2 Origine évolutive du parasitisme .....	143
12.2 Un exemple d'hémiparasite épiphyte : le Gui .....	144
12.2.1 Morphologie .....	144
12.2.2 Le Gui est une plante parasite .....	144
12.2.3 Cycle de vie .....	144
12.3 Un exemple d'hémiparasite épiphize : le <i>Striga</i> .....	146
12.3.1 Le genre <i>Striga</i> .....	146
12.3.2 Cycle biologique de <i>Striga hermonthica</i> .....	146
12.3.3 Interactions entre le parasite et l'hôte .....	146
12.3.4 Les <i>Striga</i> dans les cultures .....	147

Chapitre 13	
<b>Interaction pollen-plante . . . . .</b>	<b>148</b>
<b>13.1 La pollinisation . . . . .</b>	<b>148</b>
13.1.1 Exemple des Orchidées . . . . .	148
13.1.2 La goutte micropylaire des Gymnospermes . . . . .	150
13.1.3 Exemple des <i>Araceae</i> . . . . .	152
1.3.2 Les incompatibilités polliniques . . . . .	154
a) <i>L'incompatibilité interspécifique</i> . . . . .	154
b) <i>L'auto-incompatibilité hétéromorphe</i> . . . . .	154
d) <i>L'auto-incompatibilité homomorphe</i> . . . . .	154
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>158</b>
<b>Glossaire . . . . .</b>	<b>159</b>
<b>Crédits . . . . .</b>	<b>161</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>165</b>

## Remerciements

Nous remercions très vivement nos collègues, spécialistes français ou étrangers, qui ont bien voulu nous communiquer leurs illustrations (photographies et schémas), pour les discussions critiques sur le contenu de l'ouvrage et/ou la lecture assidue du manuscrit : Antoon AKKERMANS, Laurence ALBAR, Noelle AMARGER, July BARCELONA, Howard BERG, Alison BERRY, Christian BOCK, Paola BONFANTE, Hassan BOUKCIM, Christophe BRUGIDOU, Gabriel CALLOT, Liliane CHESNOY, Alain CLERIVET, Jean-François DANIEL, Etienne DELANNOY, Jean DEXHEIMER, Hoang G. DIEM, Michel DOLLET, Yvon DOMMERGUES, Claudine ELMERICH, Denis FARGETTE, Diana FERNANDEZ, Claudine FRANCHE, Florian FRUGIER, Jean-Paul GEIGER, Jean Pierre GOURRET, Jean-François GUEGAN, Yves LE BASTARD, François LE TACON, Laurent LAPLAZE, Philippe LASHERMES, Anne-Claire LECOULS, Jeanine LHERMINIER, Philippe MARMEY, Francis MARTIN, Daniel MOUSAIN, Sandra NOIR, Philippe NORMAND, Michel PETERSCHMITT, Yves PRIN, Georges REVERSAT, René ROHR, Patrick SAINDRENAN, Georges SALLE, Pape I. SAMB, Jean-Louis SARAH, Marc-André SELOSSE, Denis TAGU, Laurent TORREGROSA, Catherine VALETTE, Solveig VEILLARD.

*Les auteurs*