

PHYTOPATHOLOGIE

• Philippe LEPOIVRE •

Avec
site Internet



les
presses
agronomiques
de Gembloux



de boeck

Table des matières

ant-propos	5	2.2	Symptomatologie des maladies physiologiques ..	24
Les objectifs	5	2.2.1	<i>Altérations de la croissance</i>	24
Le public	5	2.2.2	<i>Perturbations du cycle reproductif</i>	24
Plan général de l'ouvrage	5	2.2.3	<i>Chloroses</i>	24
Un outil pédagogique	6	2.2.4	<i>Nécroses</i>	24
Trois niveaux de lecture	6	2.3	Niveau d'altération de l'état sanitaire	24
Pour le lecteur, un site spécifique interactif	6	2.4	Complexité des maladies physiologiques	25
Un outil complémentaire pour le professeur	6	2.4.1	<i>Facteurs climatiques</i>	25
merciements	7	2.4.2	<i>Facteurs radiatifs</i>	28
Chapitre 1		2.4.3	<i>Facteurs édaphiques et trophiques</i>	29
Les maladies des plantes : concepts généraux	9	2.4.4	<i>Facteurs atmosphériques</i>	34
(I. SEMAL ET P. LEPOIVRE)		2.4.5	<i>Autres facteurs</i>	38
1 Terminologie	9	2.5	Diagnostic des maladies physiologiques	38
2 Historique de la phytopathologie : les maladies		2.5.1	<i>Quelle partie de la plante présente</i>	
des plantes aussi vieilles que l'agriculture	10		<i>les symptômes ?</i>	38
3 Symptômes	11	2.5.2	<i>Quelle est la distribution (ou localisation)</i>	
1.3.1 <i>Modifications de couleur</i>	12		<i>des plantes atteintes ?</i>	38
1.3.2 <i>Altérations d'organes</i>	13	2.5.3	<i>Quelles sont les conditions locales ?</i>	38
1.3.3 <i>Modifications au niveau des rameaux</i>		2.5.4	<i>Quelle est l'histoire des plantes atteintes ?</i>	38
<i>et des tiges</i>	13	2.5.5	<i>Les plantes présentes sont-elles toutes</i>	
1.3.4 <i>Modifications au niveau des feuilles</i>	13		<i>également atteintes ?</i>	38
1.3.5 <i>Modifications des fleurs</i>	14	2.5.6	<i>Quels moyens préventifs ou curatifs peuvent</i>	
1.3.6 <i>Anomalies de croissance</i>	14		<i>être envisagés ?</i>	39
1.3.7 <i>Anomalies diverses</i>	14	Chapitre 3		
1.3.8 <i>Anomalies internes</i>	14	Les virus et viroïdes phytopathogènes	41	
1.3.9 <i>Excroissances pathologiques</i>	15	(J. KUMMERT ET P. LEPOIVRE)		
4 Etiologie	15	3.1	Caractères généraux des phytovirus	41
5 Dégâts et pertes	16	3.1.1	<i>Constitution</i>	41
1.5.1 <i>Relations entre symptômes, dégâts et pertes</i>		3.1.2	<i>Mécanismes de l'infection</i>	41
1.5.2 <i>Appréciation des pertes de rendement</i>	18	3.1.3	<i>Formes et structures</i>	42
1.5.3 <i>L'impact macroéconomique et social</i>		3.2	Taxonomie et classification	43
<i>des pertes de produits agricoles</i>	21	3.3	Virus à ARN monocaténaire de type messenger	44
Chapitre 2		3.3.1	<i>Introduction</i>	44
Les maladies non parasitaires	23	3.3.2	<i>Généralités</i>	47
(PAUL ET R. IMPENS)		3.3.3	<i>Cycle de réplication des virus à ARN</i>	
Généralités	23		<i>monocaténaire messenger</i>	48
		3.3.4	<i>Stratégies de réplication des virus à ARN</i>	
			<i>monocaténaire messenger</i>	49
		3.3.5	<i>Autres ARN présents dans les nucléoprotéines</i>	
			<i>virales</i>	53

3.4	Virus à ARN bicaténaire (Groupe III)	54
3.4.1	Reoviridae	54
3.4.2	Partitiviridae	54
3.5	Virus à génome d'ARN antimessager (Groupe V)	55
3.5.1	Rhabdoviridae	55
3.5.2	Bunyaviridae	55
3.5.3	Tenuiviridae et Ophiovirus	55
3.6	Virus à génome d'ADN monocaténaire (Groupe I)	56
3.6.1	Geminiviridae	56
3.6.2	Nanovirus	57
3.7	Virus à génome d'ADN bicaténaire (Groupe VII) : <i>Caulimoviridae</i>	57
3.7.1	Caulimovirus	57
3.7.2	Badnavirus	58
3.8	Mouvement des virus dans la plante	61
3.8.1	Mouvement de cellule à cellule	61
3.8.2	Mouvement à longue distance	62
3.8.3	Les virus restreints au phloème	63
3.8.4	Rôle de facteurs de l'hôte	63
3.9	Mutations et variabilité des virus	63
3.10	Viroïdes	64
3.10.1	Généralités	64
3.10.2	Classification	65
3.10.3	Propriétés physiques et physicochimiques	65
3.10.4	Localisation subcellulaire des viroïdes	66
3.10.5	Réplication et mouvement des viroïdes	66
3.10.6	Pathogenèse	66
3.10.7	Origine des viroïdes	66
3.11	Transmission des virus et viroïdes	67
3.11.1	Transmission verticale	67
3.11.2	Transmission horizontale	70
3.11.3	Epidémiologie de la transmission des phytovirus et les conséquences en matière de lutte	73
3.12	Moyens de lutte	74
3.12.1	Généralités	74
3.12.2	Prémunition	74

Chapitre 4

Les procaryotes phytopathogènes (P. LEPOIVRE)

4.1	Caractères généraux des procaryotes	79
4.1.1	Organisation de la cellule procaryotique	79
4.2	Systèmes de classification	83
4.2.1	Fondements des systèmes de classification	83
4.2.2	Classifications phénotypiques	83
4.2.3	Classifications moléculaires	83

4.2.4	Niveaux taxonomiques propres à la phytopathologie	84
4.2.5	Principaux taxons chez les procaryotes phytopathogènes	84
4.3	Cycle parasitaire des bactéries	95
4.3.1	Les interactions avec les plantes	95
4.3.2	Cycle parasitaire : conservation, dispersion et infection des bactéries	95

Chapitre 5

Les protozoaires phytopathogènes (M. DOLLET ET P. LEPOIVRE)

5.1	Introduction	105
5.2	Propriétés générales des trypanosomatides	106
5.2.1	Classification des protozoaires phytopathogènes	106
5.3	Trypanosomatides des cellules laticifères (Groupe <i>laticicola</i>)	107
5.4	Trypanosomatides du phloème (Groupe <i>phloemicola</i>)	107
5.5	Trypanosomatides des fruits (Groupe <i>frugicola</i>)	108
5.6	Lutte contre les trypanosomatides	108

Chapitre 6

Les champignons phytopathogènes (B. NASRAOUI ET P. LEPOIVRE)

6.1	Caractères généraux des champignons	111
6.1.1	Appareil végétatif ou thalle	111
6.1.2	Cytologie et physiologie du thalle fongique	113
6.1.3	Reproduction	114
6.2	Systèmes de classification	116
6.2.1	Fondements des systèmes de classification	116
6.2.2	Classifications basées sur les critères morphologiques	116
6.2.3	Classifications moléculaires	116
6.3	Présentation générale des champignons et des principales maladies fongiques	117
6.3.1	Champignons à plasmode : les Plasmodiophoromycota	118
6.3.2	Champignons à thalle unicellulaire ou filamenteux cœnocytique	118
6.3.3	Champignons à thalle unicellulaire ou filamenteux septé	121
6.4	Cycle parasitaire des champignons	128
6.4.1	Relations champignons-plantes	128
6.4.2	Cycle parasitaire : conservation, dispersion et infection	130
6.4.3	Structure des populations des champignons phytopathogènes	133

Chapitre 7	
Les Angiospermes parasites : biologie et méthodes de lutte 145	
(J. SALLÉ ET U. NEUMANN)	
7.1	Introduction 145
7.2	Cycles biologiques de quelques Angiospermes parasites 147
7.2.1	<i>Scrophulariaceae</i> 147
7.2.2	<i>Orobanchaceae</i> 149
7.2.3	<i>Cuscutaceae</i> 150
7.2.4	<i>Loranthaceae sensu largo</i> 151
7.3	Etablissement de la relation trophique entre les Angiospermes parasites et la plante-hôte ... 152
7.3.1	Diversité des systèmes d'absorption chez les Angiospermes parasites 152
7.3.2	Modalités de pénétration des suçoirs dans les tissus de l'hôte 153
7.3.3	Mécanismes de résistance vis-à-vis des Angiospermes parasites 154
7.4	Conséquences du parasitisme 155
7.4.1	Le détournement trophique 155
7.4.2	Les baisses de rendement 156
7.4.3	L'hypertrophie localisée 156
7.4.4	Le bois madré 156
7.5	Méthodes de lutte 156
7.5.1	Bases génétiques de la résistance des plantes vis-à-vis des Angiospermes parasites 156
Chapitre 8	
Les mécanismes de résistance et la spécificité parasitaire 161	
(J. LEPOIVRE)	
8.1	Interface hôte-parasite : l'établissement de la relation parasitaire 161
8.2	Relations hôte-pathogène 162
8.2.1	Relations compatibles et incompatibles 162
8.2.2	Incompatibilité dans la relation non-hôte ... 162
8.3	Principaux facteurs de pathogenèse chez les parasites cellulaires 163
8.3.1	Effets des agents pathogènes sur la paroi pecto-cellulosique 163
8.3.2	Toxines 165
8.4	Molécules de l'hôte impliquées dans les mécanismes de résistance 168
8.4.1	Modifications des parois 168
8.4.2	Phytoalexines 169
8.4.3	Protéines associées à la résistance 170
8.5	Phénomène d'extinction génique induit par les virus 171
8.6	Réactions d'hypersensibilité (mort cellulaire programmée ou apoptose) ... 172
8.6.1	Étapes de la réaction hypersensible 172
8.7	Mécanismes gouvernant la spécificité de la relation parasitaire en dehors des relations gène pour gène 176
8.7.1	Induction de la résistance (concept de résistance induite) 176
8.7.2	Non induction de la résistance dans le cas des relations compatibles (concept de sensibilité induite) 178
8.7.3	Contournement des mécanismes de résistance (concept de sensibilité induite) 178
8.7.4	Suppression des mécanismes de résistance (concept de sensibilité induite) 178
8.8	Bases de la spécificité parasitaire dans le cadre d'une relation gène pour gène 180
8.8.1	Gènes de résistance impliqués dans l'induction de la réaction hypersensible 180
8.8.2	Gènes d'avirulence 182
8.8.3	Transduction de signaux moléculaires 186
8.8.4	Diversité phénotypique des réactions d'hypersensibilité : études de cas 186
Chapitre 9	
L'épidémiologie 193	
(Y. SACHE)	
9.1	Introduction 193
9.2	L'expérimentation en épidémiologie 194
9.2.1	Les échelles d'études de l'épidémiologie ... 194
9.2.2	La mesure des variables épidémiologiques 195
9.3	La dynamique des épidémies 197
9.3.1	Les cycles épidémiques 197
9.3.2	Le monocycle et ses compartiments 198
9.3.3	L'épidémie polycyclique 202
9.3.4	La récurrence des épidémies 203
9.4	La distribution géographique des maladies 204
9.4.1	Echelle continentale 204
9.4.2	Echelle sous-continentale 205
9.4.3	Echelle parcellaire 205
9.5	Modélisation et simulation des épidémies 205
9.5.1	Bases de la modélisation 205
9.5.2	Modèles statistiques 205
9.5.3	Modèles mécanistes 205
9.5.4	Modèles à compartiments 208
9.5.5	Prévisions des pertes de rendement 208
9.5.6	Modèles couplés couvert végétal — parasites 208
9.6	L'évolution des structures génétiques

lors des épidémies 209

9.7 L'épidémiologie en milieu naturel 209

9.7.1 Caractéristiques générales 209

9.7.2 Pathosystèmes et métapopulations 209

9.7.3 Dynamique spatio-temporelle 209

9.7.4 Dynamique des interactions génétiques 209

Chapitre 10
Le diagnostic : détection et identification des agents phytopathogènes 215

J. KUMMERT ET P. LEPOIVRE

10.1 Introduction 215

10.2 Etape de saisie des données : observation des symptômes et interprétation des circonstances de leur développement 216

10.2.1 Symptomatologie 216

10.3 Techniques de diagnostic de laboratoire 217

10.3.1 Méthodes biologiques 218

10.3.2 Méthodes sérologiques 222

10.3.3 Méthodes moléculaires (Cf. Note technique) 223

10.4 Critères d'évaluation des techniques de diagnostic dans le cadre d'une procédure de certification 225

10.4.1 Spécificité des techniques de diagnostic 225

10.4.2 Sensibilité des tests de diagnostic 227

10.4.3 Facilité d'emploi et coût d'utilisation des tests de diagnostic 228

10.4.4 Validation des procédures d'échantillonnage 228

Chapitre 11
Les aspects légaux de la lutte contre les maladies des plantes 231

(P. LEPOIVRE)

11.1 Introduction 231

11.2 Réglementation phytosanitaire internationale 231

11.2.1 Convention Internationale pour la Protection des Végétaux (CIPV) 232

11.2.2 Procédure d'évaluation des risques 233

11.2.3 Exigence d'une information précise et actualisée 235

11.3 Mesures phytosanitaires mises en œuvre par les services nationaux 235

11.3.1 Mesures de quarantaine 235

11.3.2 Mesures d'éradication 236

11.3.3 Certification 236

11.3.4 Coût / bénéfice des mesures réglementaires 236

11.4 Etudes de cas 238

11.4.1 Mesures de quarantaine destinées à prévenir l'introduction d'un agent

pathogène 238

11.4.2 Mesures d'éradication des foyers primaires d'agents de quarantaine 239

Chapitre 12
Les pratiques culturales et leurs effets sur les maladies des plantes 243

(P. LEPOIVRE)

12.1 Introduction 243

12.2 Pratiques culturales qui affectent l'inoculum 244

12.2.1 Pratiques préalables à la mise en place de la culture 244

12.2.2 Mesures d'assainissement en cours de végétation 249

12.2.3 Réduction du transport de l'inoculum 250

12.3 Nutrition de l'hôte 253

12.3.1 Engrais azotés 253

12.3.2 Eléments nutritifs divers 254

12.4 Gestion de l'eau 254

12.4.1 Cultures non irriguées 254

12.4.2 Cultures irriguées 254

12.5 Modalités de semis et de plantation 255

12.6 Techniques de récolte et de conservation 255

Chapitre 13
L'amélioration génétique de la résistance aux agents phytopathogènes 259

(P. LEPOIVRE)

13.1 Introduction 259

13.2 Résistance — tolérance des végétaux vis-à-vis des agents pathogènes 260

13.2.1 Concepts de résistance et de tolérance 260

13.2.2 Déterminisme génétique de la résistance vis-à-vis des agents pathogènes 260

13.2.3 Génétique de la résistance des plantes aux parasites 260

13.3 Amélioration pour la résistance vis-à-vis d'agents pathogènes 264

13.3.1 Elargissement de la variabilité génétique : le choix des gènes de résistance 264

13.3.2 Méthodes de criblage 276

13.4 Stratégies de gestion de la résistance 282

13.4.1 Résistance horizontale 282

13.4.2 La gestion de la résistance verticale 283

Chapitre 14
La lutte biologique en phytopathologie 289

(M. H. JUAKLI)

14.1 Introduction 289

14.2 Définitions	291
14.3 Etapes du développement de la lutte biologique	292
14.3.1 Isolement et sélection des agents de lutte biologique	292
14.3.2 Production et formulation	294
14.3.3 Modes d'action	295
14.3.4 Traçage et écologie des agents de lutte biologique	302
14.3.5 Procédures d'homologation	304
14.4 Mise en pratique de la lutte biologique : les défis	305
14.4.1 Une augmentation de l'efficacité des souches sélectionnées	305
14.4.2 Une approche interdisciplinaire	305
14.4.3 Une augmentation de la compétitivité économique	305
14.5 Quelques études de cas	305
14.5.1 La lutte biologique contre les phytopathogènes du sol	305
14.5.2 La lutte biologique contre les agents pathogènes des parties aériennes	308
14.5.3 La lutte biologique contre les agents pathogènes des produits récoltés	311
Chapitre 15 La lutte chimique en phytopathologie	319
(P. LEROUX ET L. GARDAN)	
15.1 Introduction	319
15.2 Composés agissant directement sur les parasites	321
15.2.1 Matières actives multisites	321
15.2.2 Inhibiteurs spécifiques de la chaîne respiratoire	323
15.2.3 Produits affectant le métabolisme glucidique	325
15.2.4 Produits affectant le métabolisme lipidique	326
15.2.5 Produits affectant le métabolisme des acides nucléiques, des protéines ou de leurs précurseurs	328
15.2.6 Produits antimicrotubules	330
15.2.7 Inhibiteurs de la synthèse de mélanine	331
15.2.8 Molécules fongitoxiques dont les modes d'action ne sont pas connus	332
15.3 Composés à action indirecte sur les parasites ..	333
15.3.1 Phosphonates	333
15.3.2 Probénazole	334
15.3.3 Analogues structuraux de l'acide salicylique ..	334
15.3.4 Autres inducteurs	334
15.4 Phénomènes de résistance acquise aux produits antiparasitaires	334

15.4.1 Diagnostic d'une résistance et niveau de celle-ci	334
15.4.2 Déterminisme génétique des résistances	335
15.4.3 Mécanismes biochimiques de résistance	335
15.4.4 Résistance à plusieurs produits antiparasitaires	336
15.4.5 Evolution de la résistance dans des populations parasitaires	337
15.4.6 Stratégies anti-résistance	338

Chapitre 16**La prise de décision en matière
de protection phytopathologique :
vers le concept de lutte intégrée**

(P. LEPOIVRE ET J. SEMAL)

16.1 Introduction	343
16.2 Le champ phytosanitaire : le respect des règles générales de lutte contre les maladies des plantes	344
16.2.1 Règle 1 : Etablir la culture à partir d'organes de propagation sains	344
16.2.2 Règle 2 : Placer les organes de propagation ou les graines dans un substrat sain	345
16.2.3 Règle 3 : Empêcher la conservation des agents pathogènes dans l'environnement ..	345
16.2.4 Règle 4 : Empêcher le transport des germes infectieux	346
16.2.5 Règle 5 : Cultiver des variétés résistantes ou tolérantes	346
16.2.6 Règle 6 : Placer la culture dans des conditions écologiques et culturales défavorables aux agents de maladies	346
16.2.7 Règle 7 : Protéger les cultures par des moyens chimiques ou biologiques, préventifs ou curatifs	346
16.3 Le champ phytotechnique	347
16.4 Le champ socio-économique	347
16.4.1 Le coût des moyens de lutte	348
16.5 Le champ de l'évaluation technologique	351
16.5.1 Les différents niveaux de complexité : cas des technologies d'amélioration dans les pays en développement	351
16.5.2 La dépendance des biotechnologies vis-à-vis des ressources phylogénétiques	353
16.5.3 Appropriation des techniques aux situations et aux objectifs	353
16.5.4 L'évaluation des risques : la mise en application du principe de précaution ...	354
16.5.5 Appropriation des techniques aux situations et aux objectifs	355
16.6 Le champ social	355

16.7 Les étapes de la décision	356	2. Variations somaclonales ou gamétoclonales ..	378
16.7.1 Identifier les causes	356	3. Réduction de la longueur d'un programme	
16.7.2 Prévoir l'évolution	356	d'amélioration	379
16.7.3 Les systèmes experts	356	Les méthodes immunologiques	381
16.7.4 Appropriier les techniques aux situations		1. Molécules de la reconnaissance immunitaire ..	381
et aux objectifs	357	2. Structure des immunoglobulines	381
16.8 La protection intégrée des cultures	358	3. Anticorps monoclonaux et colliclonaux	382
16.8.1 La protection intégrée des cultures		4. Techniques immunoenzymatiques	383
en zones tropicales (par X. Mourichon)	358	Bases des outils moléculaires en phytopathologie 385	
16.8.2 Quelques études de cas	359	(D. COLINET)	
Chapitre 17		1. Hybridation moléculaire	385
L'évolution des maladies		1.1 Principe de la reconnaissance	
et des systèmes de production	363	d'une séquence nucléotidique	
(P. LEPOIVRE ET J. SEMAL)		par hybridation moléculaire	385
17.1 Les systèmes de production	363	1.2 Réalisation d'une réaction d'hybridation	
17.1.1 Du néolithique au XX ^e siècle... ..	364	moléculaire	385
17.1.2 Les systèmes de culture du XXI ^e siècle	364	1.3 Etapes de préparation d'une molécule	
17.2 L'évolution de la protection des cultures	365	chimérique d'ADN	386
17.2.1 Les systèmes agricoles traditionnels	365	2. Clonage des gènes	386
17.2.2 Les systèmes agricoles intensifs	365	2.1 Marqueurs de sélection des transformants ...	386
17.3 Les mouvements planétaires des plantes		2.2 Construction de banques d'ADN	387
et des parasites	366	2.3 Criblage d'une banque	387
17.4 Les changements climatiques	367	2.4 Réaction de polymérisation en chaîne	388
17.4.1 Les modifications attendues suite		3. Analyse d'un gène cloné	388
à l'élévation de la température	367	3.1 Séquence nucléotidique	388
17.4.2 L'augmentation de la concentration		3.2 Techniques de transfert des acides	
en CO ₂	367	nucléiques sur membranes	388
17.5 Les maladies émergentes	368	Marqueurs moléculaires	389
Chapitre 18		1. Marqueurs de loci spécifiques	389
Éthique et responsabilité en science	371	1.1 La technique RFLP (Restriction Fragment	
(J. SEMAL)		Length Polymorphism)	389
18.1 Introduction	371	1.2 Les marqueurs microsatellites	389
18.2 Ethique et responsabilité	372	2. Marqueurs non spécifiques de loci	390
18.3 Risques et précautions	372	2.1 La méthode RAPD	390
18.4 Gestion des risques	374	2.2 L'AFLP	390
18.5 Globalisation et diversité	374	3. Cartes génétiques	391
18.6 Science conceptuelle et science appliquée	375	Mutagenèse transpositionnelle	393
18.7 Science publique et science privée	375	Transformation génétique des végétaux	395
18.8 Science et conscience : vers l'auto-éthique	376	1. Construction d'un gène chimérique	395
NOTES TECHNIQUES		1.1 Séquence codante et marqueurs	
Techniques de culture <i>in vitro</i> de tissus végétaux ..	377	de sélection	395
1. Techniques de culture <i>in vitro</i> utilisées		1.2 Promoteur	395
pour surmonter les phénomènes		1.3 Séquences d'adressage	395
d'incompatibilité de la fécondation	378	2. Stratégies de transfert des gènes	395

2.1	<i>Techniques de transfert direct :</i>	
	<i>le cas de la biolistique</i>	395
2.2	<i>Transferts par Agrobacterium tumefaciens</i> ...	395
	Régénération et caractérisation d'une plante	
	à partir d'une cellule transformée	396

Principales abréviations	397
Glossaire	399
Bibliographie	407
Index	415