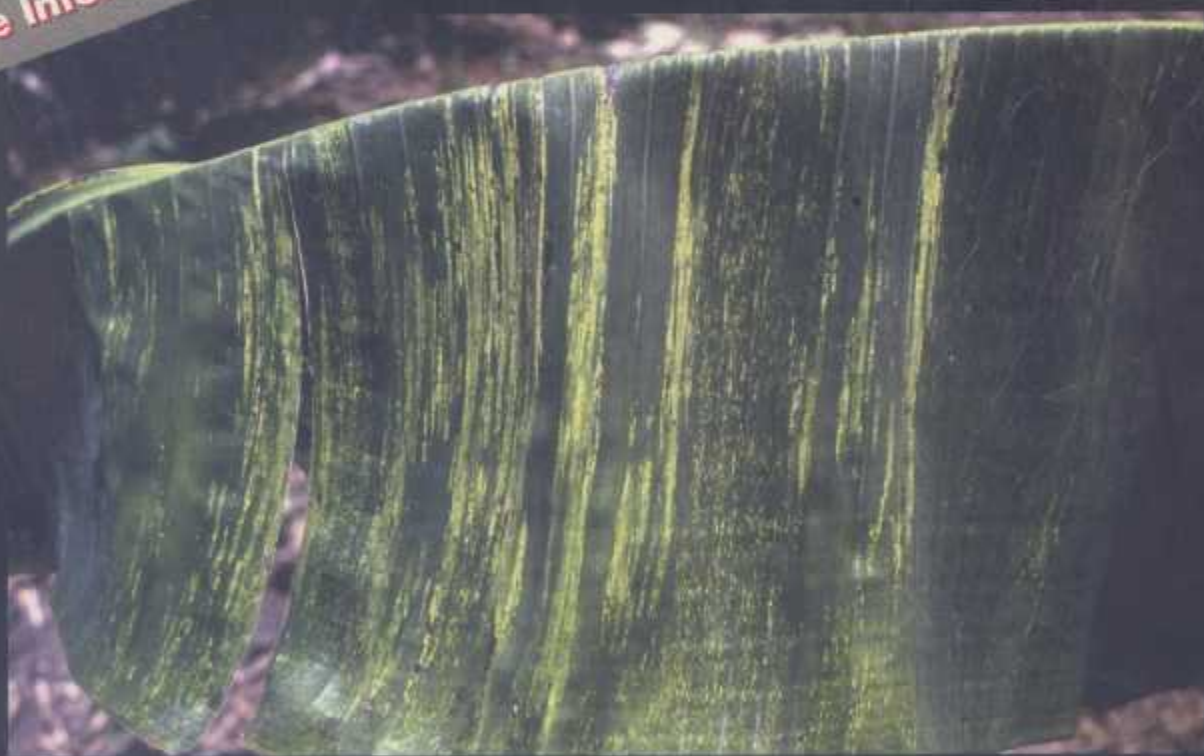


PHYTOPATHOLOGIE

• Philippe LEPOIVRE •

Avec
site Internet



les
presses
agronomiques
de Gembloux



de boeck

L'arsenal de lutte contre les maladies des plantes cultivées se fonde sur une connaissance de plus en plus fine des agents pathogènes en cause, de leur biologie et de leurs interactions avec les plantes et l'environnement.

Cet ouvrage collectif développé grâce à une collaboration étroite entre les enseignants et chercheurs de plusieurs universités et institutions de recherche, ambitionne de donner aux étudiants une vue globale des **spécificités de la biologie et de l'écologie des agents phytopathogènes**, ainsi que de leurs **interactions avec les plantes**. Il appuie cet objectif sur les développements théoriques récents de la biologie moléculaire, de la biochimie, de la microbiologie et de la génétique dans le contexte de pratiques agricole, horticole ou sylvicole en évolution constante. Les concepts et méthodologies présentés rendent le lecteur apte à raisonner en termes de contexte et de synthèse dans une perspective d'action, à identifier les composantes biologiques, phytotechniques et socio-économiques à prendre en compte dans la résolution des problèmes phytopathologiques.

Ce livre est conçu comme un **outil d'apprentissage** offrant **différents niveaux d'approfondissement**. Une première partie s'adresse spécialement au lecteur débutant (niveau DEUG) qui découvre la matière. Un second niveau de lecture approfondit cette matière et s'adresse aux étudiants de licence, maîtrise et d'écoles d'ingénieur. Un troisième niveau exploite les études de cas et les modèles d'intérêt pédagogique qui sont présentés dans les nombreux encadrés rédigés en collaboration avec plusieurs spécialistes. La maîtrise des applications et problèmes phytopathologiques qui sont présentés dans les différents chapitres de cet ouvrage nécessite la compréhension des fondements de ces techniques, de leur domaine de pertinence. Les principes des techniques sont brièvement présentés aux étudiants qui ne les maîtriseraient pas afin de leur permettre d'acquérir une connaissance critique de la matière.

Chaque chapitre s'ouvre par un sommaire qui définit son objectif en termes de compétences qu'il permet d'acquérir et se termine par un résumé qui met en avant les éléments essentiels. En fin de chapitre, le lecteur trouvera une série de questions destinées à l'aider à évaluer son niveau de compréhension de la matière du chapitre (" questions de connaissance ") et stimuler davantage une analyse transversale et critique (" questions de réflexion ") plutôt qu'une mémorisation des faits. Enfin, une bibliographie choisie permet aux lecteurs qui le souhaitent d'approfondir les matières qui les intéressent.

Ce traité s'accompagne d'un **site d'enseignement à distance** (www.fsagx.ac.be/pp/coursenligne.php) qui enrichit son iconographie, y introduit l'interactivité, le mouvement et des exercices originaux de diagnostic où l'étudiant est placé virtuellement en situation de terrain et de laboratoire.

Ce livre s'adresse prioritairement aux étudiants des programmes de 2^e cycle de l'enseignement universitaire et des grandes Écoles qui abordent l'étude de la pathologie végétale. Il apporte le socle de connaissances sur lequel se construiront les cursus de 3^e cycle touchant plus spécifiquement l'un ou l'autre domaine de la phytopathologie. Ce traité éclairera également les enseignants, les chercheurs ou les ingénieurs désirant réactualiser certains aspects de leurs pratiques professionnelles.

Philippe Lepoivre

Ingénieur agronome de la Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux (Belgique) et docteur en sciences agronomiques de la même institution, il y exerce les responsabilités de l'enseignement et de la recherche en phytopathologie depuis 1993. Le service qu'il dirige s'attache à l'étude des outils moléculaires du diagnostic et des moyens de lutte biologique contre les phytopathogènes, à la sélection de plantes résistantes aux maladies et à la problématique des transferts technologiques dans les pays en développement.



PHYTOPATHOLOGIE

BASES MOLECULAIRES ET BIOLOGIQUES
DES PATHOSYSTEMES ET FONDEMENTS
DES STRATEGIES DE LUTTE

• Philippe LEPOIVRE •

(SOUS LA DIRECTION DE)



33116

③

BL 311/1



Table des matières

Avant-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
Remerciements	7	2.4.2 <i>Facteurs radiatifs</i>	26
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
(J. SEMAL ET P. LÉPOVRE)		2.4.5 <i>Autres facteurs</i>	38
1.1 Terminologie	9	2.5 Diagnostic des maladies physiologiques	36
1.2 Historique de la phytopathologie : les maladies des plantes aussi vieilles que l'agriculture	10	2.5.1 <i>Quelle partie de la plante présente les symptômes ?</i>	38
1.3 Symptômes	11	2.5.2 <i>Quelle est la distribution (ou localisation) des plantes atteintes ?</i>	38
1.3.1 <i>Modifications de couleur</i>	12	2.5.3 <i>Quelles sont les conditions locales ?</i>	38
1.3.2 <i>Altérations d'organes</i>	13	2.5.4 <i>Quelle est l'histoire des plantes atteintes ?</i>	38
1.3.3 <i>Modifications au niveau des rameaux et des tiges</i>	13	2.5.5 <i>Les plantes présentes sont-elles toutes également atteintes ?</i>	38
1.3.4 <i>Modifications au niveau des feuilles</i>	13	2.5.6 <i>Quels moyens préventifs ou curatifs peuvent être envisagés ?</i>	39
1.3.5 <i>Modifications des fleurs</i>	14	Chapitre 3	
1.3.6 <i>Anomalies de croissance</i>	14	Les virus et viroïdes phytopathogènes	41
1.3.7 <i>Anomalies diverses</i>	14	(J. KLUMBERT ET P. LÉPOVRE)	
1.3.8 <i>Anomalies internes</i>	14	3.1 Caractères généraux des phytovirus	41
1.3.9 <i>Excroissances pathologiques</i>	15	3.1.1 <i>Constitution</i>	41
1.4 Eriologie	15	3.1.2 <i>Mécanismes de l'infection</i>	41
1.5 Dégâts et pertes	16	3.1.3 <i>Formes et structures</i>	42
1.5.1 <i>Relations entre symptômes, dégâts et pertes</i>	16	3.2 Taxonomie et classification	43
1.5.2 <i>Appréciation des pertes de rendement</i>	18	3.3 Virus à ARN monocaténaire de type messenger	44
1.5.3 <i>L'impact macroéconomique et social des pertes de produits agricoles</i>	21	3.3.1 <i>Introduction</i>	44
Chapitre 2		3.3.2 <i>Généralités</i>	47
Les maladies non parasitaires	23	3.3.3 <i>Cycle de réplication des virus à ARN monocaténaire messenger</i>	48
(R. PAUL ET R. IMPENS)		3.3.4 <i>Stratégies de réplication des virus à ARN monocaténaire messenger</i>	49
2.1 Généralités	23	3.3.5 <i>Autres ARN présents dans les nucléoprotéines 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	Tenuviridae 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	Bodnavirus	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	Pathogénèse	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

(D. 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 coenocytique	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

(G. SALLÉ ET U. NEJMANIN)

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	Établissement 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 sucrais 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 mûré	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

(P. LÉPOIVRE)

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 pathogénèse 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	<i>Erapes de la réaction hypersensible</i>	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

(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 monocyclus 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	pathogène	238
9.7 L'épidémiologie en milieu naturel	209	11.4.2 Mesures d'éradication des foyers primaires d'agents de quarantaine	239
9.7.1 Caractéristiques générales	209		
9.7.2 Pansystèmes et métapopulations	209	Chapitre 12	
9.7.3 Dynamique spatio-temporelle	209	Les pratiques culturales et leurs effets sur les maladies des plantes	243
9.7.4 Dynamique des interactions génériques	209	(P. LEPOIVRE)	
Chapitre 10		12.1 Introduction	243
Le diagnostic : détection et identification des agents phytopathogènes	215	12.2 Pratiques culturales qui affectent l'inoculum	244
J. KUMMERT ET P. LEPOIVRE		12.2.1 Pratiques préalables à la mise en place de la culture	244
10.1 Introduction	215	12.2.2 Mesures d'assainissement en cours de végétation	249
10.2 Etape de saisie des données : observation des symptômes et interprétation des circonstances de leur développement	216	12.2.3 Réduction du transport de l'inoculum	250
10.2.1 Symptomatologie	216	12.3 Nutrition de l'hôte	253
10.3 Techniques de diagnostic de laboratoire	217	12.3.1 Engrais azotés	253
10.3.1 Méthodes biologiques	218	12.3.2 Eléments nutritifs divers	254
10.3.2 Méthodes sérologiques	222	12.4 Gestion de l'eau	254
10.3.3 Méthodes moléculaires (Cf. Note technique)	223	12.4.1 Cultures non irriguées	254
10.4 Critères d'évaluation des techniques de diagnostic dans le cadre d'une procédure de certification	225	12.4.2 Cultures irriguées	254
10.4.1 Spécificité des techniques de diagnostic	225	12.5 Modalités de semis et de plantation	255
10.4.2 Sensibilité des tests de diagnostic	227	12.6 Techniques de récolte et de conservation	255
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 13	
		L'amélioration génétique de la résistance aux agents phytopathogènes	259
Chapitre 11		(P. LEPOIVRE)	
Les aspects légaux de la lutte contre les maladies des plantes	231	13.1 Introduction	259
(P. LEPOIVRE)		13.2 Résistance — tolérance des végétaux vis-à-vis des agents pathogènes	260
11.1 Introduction	231	13.2.1 Concepts de résistance et de tolérance	260
11.2 Réglementation phytosanitaire internationale	231	13.2.2 Déterminisme génétique de la résistance vis-à-vis des agents pathogènes	263
11.2.1 Convention Internationale pour la Protection des Végétaux (CIPV)	232	13.2.3 Génétique de la résistance des plantes aux parasites	263
11.2.2 Procédure d'évaluation des risques	233	13.3 Amélioration pour la résistance vis-à-vis d'agents pathogènes	264
11.2.3 Exigence d'une information précise et actualisée	235	13.3.1 Elargissement de la variabilité génétique : le choix des gènes de résistance	264
11.3 Mesures phytosanitaires mises en œuvre par les services nationaux	235	13.3.2 Méthodes de criblage	276
11.3.1 Mesures de quarantaine	235	13.4 Stratégies de gestion de la résistance	282
11.3.2 Mesures d'éradication	236	13.4.1 Résistance horizontale	282
11.3.3 Certification	236	13.4.2 La gestion de la résistance verticale	283
11.3.4 Coût / bénéfice des mesures réglementaires	236		
11.4 Etudes de cas	238	Chapitre 14	
11.4.1 Mesures de quarantaine destinées à prévenir l'introduction d'un agent		La lutte biologique en phytopathologie	289
		(M. H. JIAKU)	
		14.1 Introduction	289

14.2 Définitions	291	15.4.1 Diagnostic d'une résistance et niveau de celle-ci	334
14.3 Erapes du développement de la lutte biologique	292	15.4.2 Déterminisme génétique des résistances	335
14.3.1 Isolement et sélection des agents de lutte biologique	292	15.4.3 Mécanismes biochimiques de résistance	335
14.3.2 Production et formulation	294	15.4.4 Résistance à plusieurs produits antiparasitaires	336
14.3.3 Modes d'action	295	15.4.5 Évolution de la résistance dans des populations parasitaires	337
14.3.4 Trophage et écologie des agents de lutte biologique	302	15.4.6 Stratégies anti-résistance	338
14.3.5 Procédures d'homologation	304		
14.4 Mise en pratique de la lutte biologique : les défis	305	Chapitre 16	
14.4.1 Une augmentation de l'efficacité des souches sélectionnées	305	La prise de décision en matière de protection phytopathologique : vers le concept de lutte intégrée	343
14.4.2 Une approche interdisciplinaire	305	(P. LÉPOVRE ET J. SEMAL)	
14.4.3 Une augmentation de la compétitivité économique	305	16.1 Introduction	343
14.5 Quelques études de cas	305	16.2 Le champ phytosanitaire : le respect des règles générales de lutte contre les maladies des plantes	344
14.5.1 La lutte biologique contre les phytopathogènes du sol	305	16.2.1 Règle 1 : Établir la culture à partir d'organes de propagation sains	344
14.5.2 La lutte biologique contre les agents pathogènes des parties aériennes	308	16.2.2 Règle 2 : Placer les organes de propagation ou les graines dans un substrat sain	345
14.5.3 La lutte biologique contre les agents pathogènes des produits récoltés	311	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
Chapitre 15		16.2.5 Règle 5 : Cultiver des variétés résistantes ou tolérantes	346
La lutte chimique en phytopathologie	319	16.2.6 Règle 6 : Placer la culture dans des conditions écologiques et culturales défavorables aux agents de maladies	346
(P. LÉROUX ET L. GARDAN)		16.2.7 Règle 7 : Protéger les cultures par des moyens chimiques ou biologiques, préventifs ou curatifs	346
15.1 Introduction	319	16.3 Le champ phytotechnique	347
15.2 Composés agissant directement sur les parasites	321	16.4 Le champ socio-économique	347
15.2.1 Matière active multistres	321	16.4.1 Le coût des moyens de lutte	348
15.2.2 Inhibiteurs spécifiques de la chaîne respiratoire	323	16.5 Le champ de l'évaluation technologique	351
15.2.3 Produits affectant le métabolisme glucidique	325	16.5.1 Les différents niveaux de complexité : cas des technologies d'amélioration dans les pays en développement	351
15.2.4 Produits affectant le métabolisme lipidique	326	16.5.2 La dépendance des biotechnologies vis-à-vis des ressources phylogénétiques	353
15.2.5 Produits affectant le métabolisme des acides nucléiques, des protéines ou de leurs précurseurs	328	16.5.3 Appropriation des techniques aux situations et aux objectifs	353
15.2.6 Produits antimicrotubules	330	16.5.4 L'évaluation des risques : la mise en application du principe de précaution	354
15.2.7 Inhibiteurs de la synthèse de mélanine	331	16.5.5 Appropriation des techniques aux situations et aux objectifs	355
15.2.8 Molécules fongitoxiques dont les modes d'action ne sont pas connus	332	16.6 Le champ social	355
15.3 Composés à action indirecte sur les parasites	333		
15.3.1 Phosphonates	333		
15.3.2 Probenazole	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		

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

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

Principales abréviations	397
Glossaire	399
Bibliographie	407
Index	415

