

Table des matières

Préface de Pierre Cornuet	XXI
---------------------------------	-----

Introduction	I
--------------------	---

Le virus, la cellule et la plante

1. Structures virales

Architecture du virion	9
Les capsides virales	10
<i>Chez les virus des plantes, les capsides virales sont en général composées de copies d'une seule protéine</i>	10
<i>La morphologie du virion et sa taille sont des caractères très importants pour la taxonomie.</i>	15
Le TMV et les virus à symétrie hélicoïdale	15
<i>La structure de la sous-unité capsidiale, ses relations avec l'ARN viral sont connues avec précision</i>	15
<i>Malgré la stabilité du virion du TMV, l'ARN doit pouvoir se décapsider et s'encapsider</i>	18
<i>Les virus flexueux présentent aussi une symétrie hélicoïdale</i>	19
<i>Les virus enveloppés ont une nucléocapside de symétrie hélicoïdale</i>	21
Les virions parasphériques	22
<i>Les virions parasphériques ont des symétries de l'icosaèdre</i>	22
<i>Variations autour du thème « 180 sous-unités »</i>	23
<i>La plupart des virus simples de symétrie icosaédrique ont des sous-unités capsidiales de même structure</i>	25
<i>Sous-unités capsidiales et ARN s'assemblent in vitro</i>	26
<i>L'ARN des virus icosaédriques a une origine d'encapsulation</i>	28
<i>Pour être infectieux, le virion doit subir un changement conformationnel</i>	28
Les acides nucléiques viraux	28
ADN ou ARN	28
Extrémités de l'ARN messager cellulaire et des transcrits viraux	29
Extrémités des ARN viraux génomiques	29
Structures secondaires et tertiaires	32
Particularités structurales des ADN viraux	32
L'information virale: un message protégé	33

2. L'infection de la cellule: synthèse des protéines virales

Arrivée du messager viral dans la cellule	37
La pénétration du virus dans la plante est liée à une effraction	37
Messagers viraux	38

<i>Messagers viraux et ribosomes cytoplasmiques</i>	38
<i>Lorsque le génome viral n'est pas directement messenger, il subit une transcription en ARN messenger</i>	41
<i>L'initiation de la traduction exige de nombreux partenaires</i>	42
La traduction du messenger viral	44
Compétition entre messagers viraux et cellulaires	44
<i>Rôle des structures 5'</i>	44
<i>Rôle des structures 3'</i>	45
<i>Rôle des IRES, site d'entrée interne des ribosomes</i>	45
<i>Activation de la traduction par une protéine virale</i>	45
Expression de tous les gènes viraux	46
<i>Fragmentation du message</i>	46
<i>Transcription en ARN subgénomiques</i>	46
<i>Lecture facultative d'un codon d'initiation AUG (leaky scanning)</i>	47
<i>Terminaison facultative ou translecture (readthrough)</i>	48
<i>Changement de cadre de lecture (frameshift)</i>	48
<i>Clivage d'une polyprotéine</i>	50
Des stratégies multiples	51
L'utilisation des ribosomes de l'hôte ne permet pas une lutte par antibiotiques	52

3. L'infection de la cellule: réplication de l'acide nucléique viral

La réplication des virus à ARN (+)	53
Quels gènes gouvernent la réplication?	54
Un virus modèle pour l'étude de la réplication: le BMV	54
Les sites membranaires de la réplication	57
Isolement et solubilisation des réplicases	58
La réplicase contient des protéines virales: polymérase et hélicase	59
<i>La polymérase</i>	59
<i>L'hélicase</i>	63
<i>Polymérase et hélicase ont une interaction forte dans le complexe de réplication</i>	64
Coopération spécifique avec des facteurs cellulaires	64
Des protéines de la plante sont associées aux protéines virales	65
Asymétrie, la réplication produit surtout des chaînes (+)	66
Des séquences virales sont des promoteurs de la réplicase	66
<i>Promoteur de réplication pour la synthèse des chaînes (-)</i>	66
<i>Promoteur de réplication pour la synthèse des brins (+)</i>	68
<i>Promoteurs de transcription pour la synthèse des ARN subgénomiques</i>	70
Module de réplication des virus dont l'ARN porte une VPg	71
La copie d'ARN nécessite une amorce	73
Inhibition de l'expression de gènes cellulaires	74
Les super-groupes de virus à ARN (+)	74
La réplication des virus à ARN (-)	76
Les <i>Rhabdoviridae</i>	78
Les <i>Tenuivirus</i> et les <i>Tospovirus</i>	79
La réplication des virus à ADN simple brin: <i>Geminiviridae</i> et <i>Nanovirus</i>	79
Deux éléments viraux sont indispensables à la réplication	81

La protéine Rep des <i>Geminiviridae</i> agit sur le cycle cellulaire	81
Les <i>Nanovirus</i> dérèglent également le cycle cellulaire	82
Réplication des virus à ADN double brin: <i>Caulimoviridae</i>	83
Conclusion	87

4. Le mouvement du virus dans la plante

Le transport du TMV: un modèle d'étude	90
Cinétiques de l'infection de la plante entière et de la feuille	90
Transport du TMV de cellule à cellule	94
<i>La protéine de mouvement mobilise l'ARN viral</i>	94
<i>La protéine de mouvement a deux domaines de liaison à l'ARN</i>	95
<i>La protéine de mouvement interagit avec le cytosquelette et les plasmodesmes</i>	95
Mouvement à longue distance du TMV	97
<i>La protéine capsidale joue un rôle déterminant dans le mouvement par les plasmodesmes du phloème</i>	99
<i>Les protéines de réplication interviennent aussi</i>	99
<i>Le flux des produits de la photosynthèse oriente le complexe viral vers les tissus en croissance</i>	99
Des macromolécules passent par les plasmodesmes dans la plante saine	100
Variations autour du modèle de mouvement du TMV	101
Un bloc de trois gènes (TGB) présent chez huit genres viraux	102
<i>Le mouvement de cellule à cellule chez les Benyvirus (fig. 4.7), Hordeivirus, Pecluvirus implique un TGB de classe 1</i>	102
<i>Chez les Potexvirus, la capsidale est impliquée dans le mouvement de cellule à cellule avec les produits d'un TGB de classe 2</i>	103
Le mouvement du CMV met en jeu les protéines de mouvement, de structure et de réplication	103
<i>Mouvement de cellule à cellule</i>	103
<i>Mouvement à longue distance</i>	104
Chez les Potyvirus, CP et HC-Pro coopèrent avec CI et VPg	104
<i>Mouvement de cellule à cellule</i>	104
<i>Mouvement à longue distance</i>	106
Le cas de virus restreints au phloème	107
Le cas de virus à réplication nucléaire	108
<i>Deux protéines coordonnent le mouvement de l'ADN double brin des Begomovirus bipartites par les pores de la membrane nucléaire et par les plasmodesmes</i>	108
<i>Chez les Geminiviridae monopartites, la capsidale joue un rôle essentiel</i>	108
Une autre forme de passage par le plasmodesme: le virion	110
La protéine de mouvement forme des tubules intercellulaires	110
Le passage d'une forme virion: un sujet de débat	110
<i>Mouvement de cellule à cellule avec formation de tubules chez le CMV ?</i>	111
<i>Mouvement de cellule à cellule par passage direct du virion chez les Poty- et Potexvirus ?</i> ..	112
<i>Transport à longue distance</i>	113
<i>Les particules de certains poterovirus (BWYV) franchissent les plasmodesmes phloémiens</i>	113
Quelques remarques générales sur le mouvement des virus	114
Une structure commune dans la « super-famille 30K »	114

Les protéines de mouvement sont génétiquement interchangeables	114
Les différents plasmodesmes: une série d'obstacles à franchir	115
<i>Restriction au niveau des plasmodesmes reliant le parenchyme périvasculaire au parenchyme phloémien</i>	115
<i>Restriction au niveau des plasmodesmes reliant les cellules du parenchyme phloémien aux cellules compagnes</i>	115
<i>Restriction au niveau des plasmodesmes reliant les cellules compagnes aux tubes criblés</i>	116
Conclusion	116

5. La réaction de défense de la plante infectée

La plante combat l'infection par « silencing »	120
Rétablissement et « superimmunité » des feuilles en développement	120
Les plages vertes des mosaïques expriment aussi une résistance	122
Le silencing, un mécanisme général de défense	123
<i>Le rétablissement induit par le TRV est associé au PTGS</i>	123
<i>Le PVX induit VIGS en l'absence de rétablissement</i>	124
Petits ARN antisens et spécificité du silencing	124
<i>L'initiation</i>	125
<i>L'émission et la propagation d'un signal spécifique pour un « silencing systémique »</i> ..	126
<i>Le maintien du silencing</i>	126
Le rétablissement met en jeu, outre le silencing, un phénomène non identifié	127
Les virus peuvent supprimer le silencing	127
En infection double, l'effet synergique des <i>Potyvirus</i>	127
Suppression du silencing	129
<i>Le produit du gène HC-Pro des Potyvirus supprime le silencing précédemment induit</i> ..	129
<i>Le produit du gène 2b du CMV bloque l'initiation du silencing</i>	129
<i>Le produit du gène 19 kDa du TBSV ne supprime le PTGS qu'au niveau et à proximité des nervures</i>	129
<i>Dans N. benthamiana, le PVX n'est pas suppresseur de PTGS. Il pourrait échapper à la résistance VIGS qu'il induit.</i>	130
Conclusion	130

6. La résistance avec réaction d'hypersensibilité et la résistance extrême

Description du phénomène de résistance	134
Résistance avec réaction d'hypersensibilité	134
Résistance extrême	137
L'induction de la résistance	137
Résistance avec HR du tabac au TMV	137
<i>Le gène d'avirulence par rapport à N'est le gène capsid</i>	138
<i>Le gène d'avirulence relatif à N est le gène de l'hélicase (126 kDa)</i>	138
<i>Le gène N est le premier gène de résistance à un virus qui ait été cloné</i>	138
<i>Les domaines de la protéine N</i>	139
Résistance extrême: le système Rx-PVX chez la pomme de terre	140
<i>Le gène d'avirulence de PVX relatif à Rx est le gène capsid</i>	140
<i>Le gène Rx est le deuxième gène de résistance à un virus qui ait été cloné et séquencé</i> ..	141
<i>La protéine Rx est aussi une protéine NB-LRR</i>	141

<i>La résistance extrême gouvernée par Rx est épistatique sur la résistance avec hypersensibilité liée à N</i>	142
<i>La mort cellulaire est un phénomène annexe et non la cause de la résistance avec hypersensibilité</i>	142
La transduction du signal	142
Transduction intra- et intercellulaire du signal	143
Transduction conduisant à la résistance acquise systémique (SAR)	143
<i>L'acide salicylique joue un rôle important dans le transfert de signal conduisant à la SAR</i>	143
<i>L'analyse génétique de la SAR</i>	145
<i>La réaction d'hypersensibilité: une mort cellulaire programmée qui conduit à une amplification du signal</i>	146
<i>D'autres voies de transfert de signal n'impliquent pas l'acide salicylique</i>	147
L'expression de la résistance	147
L'activation de nombreux gènes	147
<i>Protéines cytoplasmiques</i>	148
<i>Protéines pariétales</i>	148
<i>Protéines extracellulaires</i>	148
Le mécanisme intime de la résistance aux virus n'est pas élucidé	149
Conclusion	150

7. ARN pathogènes sub-viraux: satellites et viroïdes

Virus satellites et ARN satellites	153
Les virus satellites	153
Les ARN satellites à fonction messagère	154
Les ARN satellites linéaires sans fonction messagère	155
Les ARN satellites circulaires sans fonction messagère	156
Les satellites ou le parasitisme appliqué aux virus	156
Les viroïdes	157
Les propriétés de l'ARN viroïdal	159
<i>Le groupe du PSTVd</i>	159
<i>Les viroïdes à coupure autocatalytique</i>	160
Le pouvoir pathogène des viroïdes	161
L'évolution des viroïdes	162

Le virus dans l'agro-environnement

8. La dissémination des virus

Être transmis ou disparaître	165
Multiplication végétative et greffage	167
Certains virus sont transmis par la graine	169
<i>La plupart des virus infectent les tissus maternels de la graine mais ne sont pas transmis à la plantule</i>	169
<i>L'infection de l'embryon est le facteur clé de la transmission</i>	169
<i>Des exceptions à la règle</i>	169
<i>Il y a deux voies possibles pour l'infection de l'embryon</i>	171

<i>La propriété de transmission par la graine varie avec les génotypes du virus et de son hôte</i>	173
<i>Les déterminants viraux de la transmission par la graine gouvernent la réplication et le mouvement</i>	173
Transmission par simple contact	174
Transmission par vecteurs	175
<i>Les pucerons : des insectes surdoués pour la transmission des virus de plantes</i>	176
<i>Il existe de nombreux autres vecteurs aériens efficaces</i>	183
<i>Les nématodes et les champignons sont des vecteurs telluriques</i>	185
Des interactions moléculaires spécifiques entre virus et vecteurs	188
La capsid : une protéine clé de la transmission	188
<i>La capsid du CMV est le seul déterminant de la transmission par pucerons</i>	188
<i>D'autres virus dépendent exclusivement de la capsid pour leur transmission par aleurodes ou par champignons</i>	189
<i>La capsid peut aussi être le seul déterminant de la vection chez certains virus circulants</i>	190
Le facteur assistant et la capsid coopèrent pour la transmission	190
<i>Découverte du facteur assistant des potyvirus</i>	190
<i>Le facteur assistant des potyvirus : une protéine multifonctionnelle</i>	191
<i>La protéine de capsid et le facteur assistant portent des domaines fonctionnels importants pour la transmission</i>	192
<i>D'autres virus utilisent la stratégie facteur assistant</i>	193
La protéine de translecture : une seconde protéine structurale	194
<i>Les protéines de structure des Luteoviridae</i>	194
<i>Les virions réalisent un trajet complexe dans le vecteur</i>	194
<i>Le franchissement de la paroi intestinale</i>	194
<i>La migration dans l'hémocèle ou cavité générale du puceron</i>	196
<i>Accumulation des particules virales dans les glandes salivaires</i>	196
<i>Une protéine de translecture intervient aussi dans certaines transmissions par champignons</i>	197
Les virus multipliants	197
Les interactions entre virus lors de la transmission	198
<i>L'hétéro-encapsidation est un échange des protéines de structure</i>	198
<i>L'hétéro-assistance est une aide fonctionnelle entre deux virus</i>	201
L'épidémiologie des maladies à virus	202
Quelques facteurs importants	202
Les étapes d'une épidémie	203
<i>L'évaluation du nombre de plantes infectées dans le champ</i>	203
<i>On peut distinguer deux étapes dans le développement des épidémies d'une maladie virale</i>	203
La dissémination des virus	205
La modélisation et la prévision des épidémies	205

9. Le diagnostic

Symptômes observés sur la plante	214
Des symptômes variés	214
<i>Les mosaïques</i>	215
<i>Les panachures florales</i>	215
<i>Les jaunisses</i>	215
<i>Les nécroses</i>	215
<i>Les retards de croissance et déformations</i>	216

La symptomatologie permet-elle un diagnostic fiable ?	216
Orienter le diagnostic	218
Symptômes observés à l'échelle cellulaire	218
Diagnostic par voie biologique	222
L'inoculation mécanique	222
L'inoculation par vecteurs	223
Le greffage	223
Principaux types de réaction des hôtes différentiels	224
Le diagnostic sérologique	227
Réaction antigène-anticorps: la base du diagnostic sérologique	227
<i>L'antigène viral</i>	227
<i>Les anticorps polyclonaux</i>	227
<i>Les anticorps monoclonaux</i>	231
<i>Les épitopes viraux</i>	231
<i>L'affinité d'un anticorps pour un épitope</i>	234
Les tests d'immunoprécipitation et d'immunodiffusion	234
La technique ELISA	236
<i>Le marquage des anticorps par une enzyme augmente la sensibilité de détection</i>	236
<i>La qualité du sérum a une influence décisive sur la sensibilité et la spécificité du test</i>	238
<i>Le choix du seuil de positivité, un compromis entre sensibilité et spécificité de détection</i>	240
<i>DIBA et TBIA, deux variantes d'ELISA sur membrane</i>	240
L'apport de la microscopie électronique	242
L'observation directe des virus oriente le diagnostic	242
Association de la sérologie et de la microscopie électronique	243
Détection des acides nucléiques viraux	244
Les tests d'hybridation moléculaire	244
L'amplification de séquences d'acides nucléiques	246
Du bon usage des méthodes de diagnostic	249

10. La lutte contre les maladies à virus des plantes: méthodes prophylactiques

Des plants et des semences indemnes de virus	252
L'assainissement des plantes à multiplication végétative	253
<i>La thérapie: une méthode empirique mais souvent efficace</i>	253
<i>La culture de méristèmes a permis l'assainissement de très nombreuses espèces cultivées</i>	254
<i>Il importe de bien contrôler l'état sanitaire du matériel régénéré</i>	257
Les programmes de certification sanitaire	258
<i>Des règlements techniques définissent les conditions de production de plants et semences certifiés</i>	258
<i>La production de plants de pomme de terre certifiés en France</i>	259
<i>La vigne fait aussi l'objet d'une sélection sanitaire rigoureuse</i>	261
Les risques de transmission par la graine	262
<i>Importance d'un contrôle de qualité des semences pour les échanges locaux et internationaux</i>	263
<i>La détermination des seuils de tolérance découle d'études épidémiologiques</i>	265
<i>Les ressources génétiques doivent être complètement exemptes de virus</i>	266

Empêcher ou réduire la dissémination des virus	266
L'élimination des sources de virus dans l'environnement	267
<i>Les plantes adventices: des sources abondantes de virus</i>	267
<i>Les contaminations peuvent provenir de cultures voisines</i>	267
<i>L'éradication, une méthode radicale efficace chez les plantes pérennes</i>	268
Perturber l'efficacité des vecteurs	268
<i>Traitements phytosanitaires contre les vecteurs aériens</i>	268
<i>Traitements phytosanitaires contre les vecteurs telluriques</i>	272
<i>Désinfection des outils pour lutter contre les virus transmis mécaniquement</i>	273
<i>Les plastiques utilisés en agriculture peuvent perturber l'activité des vecteurs aériens</i> ..	273
La prémunition	275
<i>Le principe de la prémunition</i>	275
<i>Isolement des souches provoquant des symptômes faibles</i>	275
<i>Limites de la prémunition</i>	277
<i>Mécanismes mis en jeu</i>	279

11. La lutte contre les maladies à virus des plantes : la sélection de variétés résistantes

Recherche et caractérisation de résistances	281
Les ressources génétiques ou banques de gènes	281
Le choix d'une souche virale à partir d'une collection d'isolats	283
L'analyse du déterminisme génétique de la résistance	284
Diversité des mécanismes de résistance	286
Des résistances à chaque étape du cycle viral	286
<i>Résistance à l'inoculation de virus par les pucerons</i>	286
<i>Réduction de la probabilité d'infection</i>	286
<i>Localisation du virus près du site d'inoculation</i>	286
<i>Résistance à la migration du virus dans l'ensemble de la plante</i>	288
<i>Moindre multiplication virale</i>	288
<i>Résistance à l'acquisition de virus par les pucerons</i>	288
Les gènes de résistance: deux modèles	289
<i>La résistance liée à la perte d'un facteur de sensibilité est récessive</i>	289
<i>La résistance liée à la production d'un inhibiteur est dominante</i>	291
Durabilité des gènes de résistance	292
La virulence / avirulence peut concerner chaque gène d'un virus	292
<i>Isolement et caractérisation de souches virulentes</i>	292
<i>Les trois gènes de résistance au Tomato mosaic virus chez la tomate peuvent être contournés</i>	294
<i>D'autres études diversifient encore les gènes de virulence</i>	296
Comment créer des résistances durables?	296

12. La lutte contre les maladies à virus des plantes : le génie génétique pour la résistance

Le transfert de gènes	300
Une histoire très ancienne, des techniques nouvelles	300
Du laboratoire au champ	300

Comment obtenir une plante transgénique?	301
La construction génique	301
<i>Le gène d'intérêt est inséré dans une construction génique pour être amplifié</i>	301
<i>La construction génique est introduite dans le noyau de la cellule végétale</i>	303
La régénération	305
<i>Repérage des transformants primaires</i>	305
<i>Régénération de plantes entières</i>	306
Le génie génétique et la résistance aux virus	306
Un concept très général : la résistance dérivée du pathogène	306
L'expression de la capsid virale	307
Expression d'autres protéines virales	310
<i>Protéine de mouvement</i>	310
<i>Réplicase</i>	310
<i>Protéine Rep des Geminiviridae</i>	311
ARN compétiteurs du génome viral	311
Expression d'un transgène homologue du génome viral	311
Expression d'ARN viral antisens ou d'une structure ribozyme	313
Quelques exemples de gènes non viraux	314
<i>Gènes de résistance</i>	314
<i>Protéines inactivant les ribosomes (RIP)</i>	315
<i>Inducteurs de résistance systémique</i>	315
Transgènes et virus dans l'environnement	315
Dispersion des transgènes par le pollen	317
Complémentation fonctionnelle	317
Recombinaison du transgène avec un génome viral	318
<i>Le risque de recombinaison génétique</i>	318
<i>Comment améliorer la conception des transgènes</i>	319
Transgenèse et législation	320
L'avenir des transgènes dans la lutte antivirale	320

Évolution et classification des virus

13. Évolution des virus

La mutation	326
<i>La mutation, première force dans l'évolution</i>	326
<i>L'émergence des variants : hasard et/ou nécessité ?</i>	326
<i>Mutation et sélection : un ajustement permanent de la relation hôte-virus</i>	327
La recombinaison	327
<i>La recombinaison s'observe chez les virus à ADN et les virus à ARN</i>	327
<i>La recombinaison est liée à la réplication</i>	328
<i>Un système expérimental de recombinaison : le BMV</i>	328
<i>Les recombinaisons peuvent s'observer dans la nature</i>	329
<i>Des recombinaisons entre acides nucléiques viraux et cellulaires</i>	330
<i>Des recombinaisons entre génomes viraux et transgènes</i>	331
<i>La recombinaison, homologue ou non homologue, est un acteur majeur de l'évolution des virus</i>	331
<i>Les « excès » de recombinaison ; les ARN défectifs interférents</i>	331
<i>Matériel, une possibilité d'échanges supplémentaire pour les génomes divisés</i>	332

<i>L'intégration dans le génome de l'hôte est exceptionnelle chez les virus des plantes</i>	332
Les quasi-espèces virales	333
<i>Un concept probabiliste et évolutionniste</i>	333
<i>La quasi-espèce est stabilisée par la sélection</i>	334
Les vecteurs, un champ exploré en permanence par les virus	334
Nouvelles maladies virales et virus émergents	335
Les phylogénies moléculaires	337
Origine des virus et des gènes viraux : l'évolution modulaire	338
Un phylum: les virus à ARN (+)	339
En guise de conclusion provisoire : comment fabriquer un virus ?	339
14. Classification	
L'espèce	342
Les genres	343
Les familles	343
Les ordres	344
15. Fiches des genres viraux	
ARN un brin positif, génome monopartite (parfois bi-), particule icosaédrique	349
Famille <i>Luteoviridae</i>	349
<i>Genre Enamovirus</i>	350
<i>Genre Luteovirus</i>	350
<i>Genre Polerovirus</i>	351
Famille <i>Sequiviridae</i>	352
<i>Genre Sequivirus</i>	352
<i>Genre Waikavirus</i>	353
Famille <i>Tombusviridae</i>	353
<i>Genre Aureusvirus</i>	354
<i>Genre Avenavirus</i>	354
<i>Genre Carmovirus</i>	354
<i>Genre Dianthovirus</i>	354
<i>Genre Machlomovirus</i>	355
<i>Genre Necrovirus</i>	355
<i>Genre Panicovirus</i>	356
<i>Genre Tombusvirus</i>	356
Genres non reliés à une famille	357
<i>Genre Marafivirus</i>	357
<i>Genre Sobemovirus</i>	357
<i>Genre Tymovirus</i>	358
<i>Genre Umbravirus</i>	359
ARN un brin positif, bipartite, particule icosaédrique	359
Famille <i>Comoviridae</i>	359
<i>Genre Comovirus</i>	359
<i>Genre Fabavirus</i>	360
<i>Genre Nepovirus</i>	360
Genre isolé	361
<i>Genre Idaeovirus</i>	361

ARN un brin positif, génome tripartite, particule icosaédrique	362
Famille <i>Bromoviridae</i>	362
<i>Genre</i> Alfamovirus	362
<i>Genre</i> Bromovirus	363
<i>Genre</i> Cucumovirus	363
<i>Genre</i> Ilarvirus	364
<i>Genre</i> Oleavirus	364
<i>Genre</i> isolé	365
<i>Genre</i> Ourmiavirus	365
ARN 1 brin positif, particule hélicoïdale en bâtonnet	365
Genres isolés	365
<i>Genre</i> Benyvirus	365
<i>Genre</i> Furovirus	366
<i>Genre</i> Hordeivirus	367
<i>Genre</i> Pecluvirus	367
<i>Genre</i> Pomovirus	368
<i>Genre</i> Tobamovirus	368
<i>Genre</i> Tobravirus	369
ARN un brin positif, particule hélicoïdale flexueuse	370
Famille <i>Closteroviridae</i>	370
<i>Genre</i> Closterovirus	370
<i>Genre</i> Crinivirus	371
Famille <i>Potyviridae</i>	372
<i>Genre</i> Bymovirus	372
<i>Genre</i> Ipomovirus	373
<i>Genre</i> Macluravirus	373
<i>Genre</i> Potyvirus	373
<i>Genre</i> Rymovirus	375
<i>Genre</i> Tritimovirus	375
Genres isolés	375
<i>Genre</i> Alexivirus	375
<i>Genre</i> Capillovirus	375
<i>Genre</i> Carlavirus	376
<i>Genre</i> Foveavirus	377
<i>Genre</i> Potexvirus	377
<i>Genre</i> Trichovirus	378
<i>Genre</i> Vitivirus	379
ARN un brin négatif ou ambisens	379
Famille <i>Bunyaviridae</i>	379
<i>Genre</i> Tospovirus	379
Famille <i>Rhabdoviridae</i>	381
<i>Genre</i> Cytorhabdovirus	382
<i>Genre</i> Nucleorhabdovirus	382
Genres isolés	383
<i>Genre</i> Ophiovirus	383
<i>Genre</i> Tenuivirus	383
ARN deux brins	384
Famille <i>Partitiviridae</i>	384
<i>Genre</i> Alphacryptovirus	384
<i>Genre</i> Betacryptovirus	384

Famille <i>Reoviridae</i>	385
<i>Genre Fijivirus</i>	385
<i>Genre Oryzavirus</i>	386
<i>Genre Phytoreovirus</i>	386
Genre isolé	386
<i>Genre Varicosavirus</i>	386
ADN un brin	386
Famille <i>Geminiviridae</i>	386
<i>Genre Begomovirus</i>	388
<i>Genre Curtovirus</i>	388
<i>Genre Mastrevirus</i>	389
<i>Genre Topocuvirus</i>	389
Genre isolé	390
<i>Genre Nanovirus</i>	390
ADN deux brins avec transcription inverse	390
Famille <i>Caulimoviridae</i>	390
<i>Genre Badnavirus</i>	391
<i>Genre proche des Badnavirus dans la famille Caulimoviridae</i>	391
<i>Genre Rice Tungro Bacilliform-like Viruses</i>	391
<i>Genre Caulimovirus</i>	392
<i>Genres proches des Caulimovirus dans la famille Caulimoviridae</i>	392
Cassava Vein Mosaic-like Viruses	392
Petunia Vein Clearing-like Viruses	392
Soybean Chlorotic Mottle-like Viruses	392
Glossaire	395
Références bibliographiques	399
Crédit photo	437
Index	439