

maladies à virus des plantes ornementales

JOSETTE ALBOUY
JEAN-CLAUDE DEVERGNE

DU LABO AU TERRAIN

 **INRA**
EDITIONS

**maladies à virus
des plantes
ornementales**

maladies à virus des plantes ornementales

**JOSETTE ALBOUY
JEAN-CLAUDE DEVERGNE**

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147, rue de l'Université – 75338 Paris Cedex 07

DU LABO AU TERRAIN

Ouvrages parus dans la même collection

Combattre les ravageurs des cultures : enjeux et perspectives

G. RIBA, Christine SILVY
1989, 230 p.

Ennemis et maladies des prairies

G. RAYNAL, J. GONDRAN,
R. BOURNOVILLE, M. COURTILLOT éd.
1989, 252 p., 39 pl. couleur

Cultures florales de serre en zone méditerranéenne française

Éléments climatiques et physiologiques
Coédition INRA-PHM Revue Horticole
E. BERNINGER
1990, 208 p.

Cultures en pots et conteneurs

Principes agronomiques et applications
Coédition INRA-PHM Revue Horticole
F. LEMAIRE, A. DARTIGUES,
L.-M. RIVIÈRE, S. CHARPENTIER
1990, 184 p.

Le canard de Barbarie

B. SAUVEUR, H. de CARVILLE éd.
1990, 182 p.

L'escargot *Helix aspersa*

Biologie-élevage
J.C. BONNET, P. AUPINEL,
J.L. VRILLON
1990, 124 p.

Les herbicides : mode d'action et principes d'utilisation

R. SCALLA, éd.
1991, 464 p.

Les maladies des plantes maraîchères, 3^e édition

C.M. MESSIAEN, D. BLANCARD,
F. ROUXEL, R. LAFON
1991, 552 p.

Nutrition et alimentation des volailles

M. LARBIER, B. LECLERCQ
1992, 355 p.

Les *Allium* alimentaires reproduits par voie végétative

C.M. MESSIAEN, J. COHAT,
J.P. LEROUX, M. PICHON, A. BEYRIES
1993, 244 p.

Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes

C. BALDY, C.J. STIGTER
1993, 250 p.

Écopathologie animale

Méthodologie, application en milieu tropical
B. FAYE, P.C. LEFEVRE, R. LANCELOT,
R. QUIRIN
1994, 120 p.

Ravageurs des végétaux d'ornement

Arbres - Arbustes - Fleurs
D.V. ALFORD
Version française : M.C. COMMEAU,
R. COUTIN, A. FRAVAL
1994, 464 p.

Efficacité et sélectivité des herbicides

C. GAUVRIT
1996, 158 p.

Les Deutéromycètes. Classification et clés d'identification générique

E. KIFFER, M. MORELET
1997, 306 p.

© INRA, 1998

ISBN : 2-7380-0763-5

ISSN : 1150-3564

© Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 3, rue Hautefeuille, Paris 6^e.

PRÉFACE

L'horticulture, dans sa branche ornementale, implique une qualité irréprochable. Elle est de plus soumise à un marché mondial où la concurrence est rude. Il faut, pour réussir, assurer la sécurité d'approvisionnement du commerce en produits de qualité, en lots homogènes et à des prix compétitifs. Une véritable stratégie d'assurance-qualité s'impose tout au long de la chaîne de production, allant du choix des semences et des plants à la présentation de plantes attractives pour une clientèle internationale exigeante. Le contrôle des maladies à virus et le respect de normes rigoureuses participent à cette démarche d'assurance qualité ; comme le soulignent les auteurs de cet ouvrage, ils sont indispensables à tous les stades de la production. Les viroses peuvent en effet anéantir les jeunes plantations, ralentir et altérer leur développement et leur valeur esthétique. Les professionnels de l'horticulture restent souvent désespérés face à ces maladies insidieuses que l'on peut confondre avec des accidents physiologiques ou des erreurs dans la conduite des cultures. L'absence de moyens de lutte dès lors que la plante est contaminée explique leur embarras pour arrêter une stratégie limitant les risques de viroses.

Souvent appelés en consultation comme experts par les horticulteurs ou par les agents de développement de la profession, Josette Albouy et Jean-Claude Devergne ont souhaité présenter de façon très précise, bien qu'accessible à tous, le fruit de leurs travaux et de leur expérience.

Dans la première partie de l'ouvrage, cinq chapitres sont consacrés à la nature et à la biologie des virus, à leur épidémiologie, au diagnostic et aux méthodes de lutte. Les lecteurs apprécieront la richesse des informations et la clarté de leur présentation. Plusieurs niveaux de lecture sont possibles : acquisition rapide des connaissances de base ou approfondissement grâce aux précisions données par les encadrés. Ces connaissances, applicables à toutes les viroses quelles que soient les espèces, doivent cependant être adaptées au cas par cas à chacune des espèces et aux différents systèmes de production.

La seconde partie de l'ouvrage, modestement appelée "dictionnaire", apporte pour chaque espèce ornementale les informations nécessaires afin de porter un diagnostic et de définir une stratégie de protection adaptée à l'espèce considérée. Les descriptions sont complétées par une iconographie qui facilitera le diagnostic.

Les auteurs, tous les deux Directeurs de Recherche à l'INRA, sont souvent sollicités par les professionnels qui apprécient leur compétence et leur sont reconnaissants d'avoir initié les programmes de sélection sanitaire ayant permis la mise sur le marché d'un

matériel de reproduction indemne de virus. Après de nombreuses années de recherches au service de l'INRA et de la profession horticole, Josette Albouy et Jean-Claude Devergne ont décidé de conjuguer leur expérience pour mettre à la disposition des professionnels de l'horticulture, des enseignants et des chercheurs leurs connaissances scientifiques et leur compétence d'experts. Celles-ci auraient été partiellement perdues s'ils n'avaient pas rédigé cet ouvrage de synthèse.

Puissent tous les chercheurs suivre cet exemple et valoriser les résultats de leurs travaux par des publications de cette qualité, et celles-ci être prises en compte pour leur carrière au même titre que leurs articles scientifiques dans des revues spécialisées. Leurs publications scientifiques ont permis aux auteurs de valider les méthodes de diagnostic et de protection des plantes qui ont ensuite servi de base scientifique aux innovations qu'ils ont proposées et mises en oeuvre. Elles témoignent aussi de leur capacité à explorer de nouvelles voies de recherche pour tirer partie du progrès scientifique, notamment dans le domaine de la génétique moléculaire, et améliorer les méthodes de lutte contre les virus par la création de variétés résistantes.

Jean Marrou
Directeur de Recherche Emérite de l'INRA
Membre de l'Académie d'Agriculture de France

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS SUR LES MALADIES À VIRUS DES PLANTES ORNEMENTALES	11
I. Virus et viroses	13
Les phytovirus	15
Le processus d'infection virale	19
au niveau cellulaire	23
au niveau tissulaire	24
Les viroses des végétaux cultivés	26
II. Symptomatologie	29
Description des symptômes	31
Symptômes sur fleurs	32
<i>Les panachures florales</i>	32
<i>Les nécroses</i>	32
<i>Les déformations</i>	33
Symptômes sur feuilles	33
<i>Les mosaïques foliaires</i>	33
<i>Les nécroses foliaires</i>	35
<i>Les déformations</i>	35
Symptômes sur bulbes	36
Dérèglements de la croissance	37
Symptômes internes	37
<i>Les inclusions</i>	39
<i>Les modifications de la structure cellulaire</i>	41
L'identification et la détection des virus	42
Les infections naturelles	43
Les infections expérimentales	46
Impact économique des symptômes	47

III. Étiologie des maladies virales	51
Les virus qui infectent les plantes ornementales	53
Classification des principaux genres de virus représentés	54
chez les plantes ornementales	57
Liste des virus classés par genres avec leurs hôtes ornementaux	57
Les méthodes de diagnostic	86
Les méthodes biologiques	86
Les méthodes immunologiques.....	91
<i>Les tests de précipitation et d'immunodiffusion</i>	93
<i>Les tests ELISA</i>	95
Les examens en microscopie.....	102
<i>La microscopie électronique</i>	102
<i>L'immuno-électromicroscopie</i>	106
Les méthodes d'hybridation moléculaire.....	107
<i>Les sondes moléculaires</i>	107
<i>L'amplification enzymatique par PCR</i>	110
IV. Dissémination des maladies à virus	115
Propagation des virus par les semences et les plants	118
Propagation par la multiplication végétative.....	118
Transmission par la graine	118
Dissémination des virus de plante à plante.....	119
Transmission par le greffage	120
Transmission mécanique par contact	120
Transmission biologique par vecteurs.....	122
<i>Les grands groupes de vecteurs</i>	122
<i>Spécificité de la vection</i>	127
<i>Modalités de la vection</i>	128
Transmission par le pollen	131
Aspects épidémiologiques	131
Les facteurs épidémiologiques.....	131
Conséquences écologiques et économiques.....	133
V. Méthodes de lutte	137
Les méthodes dites curatives	138
La culture de méristème	138
La thermothérapie	143

La chimiothérapie	144
Les mesures prophylactiques	145
Les cultures de plein air	145
Les cultures sous abri	147
La sélection sanitaire	150
Les stades de la production de plants sains	150
<i>Matériel initial</i>	150
<i>Matériel de multiplication</i>	151
<i>Matériel de base et plants certifiés</i>	152
L'élimination des plantes malades	153
<i>L'inspection visuelle</i>	153
<i>Les méthodes d'indexage</i>	153
L'utilisation de variétés résistantes	162
Les stratégies	163
<i>Protéine de capsid</i>	163
<i>ARN satellites</i>	163
<i>Séquences défectives interférentes</i>	165
<i>Séquences anti-sens</i>	166
Les perspectives	166
DEUXIÈME PARTIE : DICTIONNAIRE DES PLANTES ORNEMENTALES ET DE LEURS VIROSES	171
TROISIÈME PARTIE : LISTES ALPHABÉTIQUES	435
Virus	437
Acronymes des virus	447
Plantes	457
CRÉDIT PHOTOGRAPHIQUE	472
REMERCIEMENTS	473

Première partie

GÉNÉRALITÉS SUR LES MALADIES
À VIRUS DES PLANTES
ORNEMENTALES

I

VIRUS ET VIROSES

On connaît aujourd'hui plusieurs milliers de virus, capables d'infecter des espèces appartenant aux règnes animal et végétal ; les maladies dont ils sont responsables, appelées « **viroses** », sont souvent fort graves ; chez les êtres humains et les animaux, elles sont parfois à l'origine d'épidémies meurtrières. Pour rappeler leur importance, il suffit de citer, chez l'homme, la poliomyélite, la variole, les encéphalites, la grippe, le SIDA ; chez l'animal, la maladie de Carré du chien et la peste porcine. Mais les plantes peuvent également être affectées par des maladies d'origine virale. Chez les végétaux cultivés, ces phytovirus causent des dégâts parfois considérables : ainsi, la maladie de la *tristeza* des agrumes a nécessité l'arrachage de plusieurs millions d'arbres en Amérique du Sud ; la « rhizomanie » de la betterave est une des maladies qui ont le plus affecté les récoltes dans les régions productrices ; la maladie du gonflement des tiges ou *Cacao swollen shoot* a provoqué la mort de plusieurs centaines de millions de cacaoyers dans les pays d'Afrique de l'Ouest ; récemment, depuis les années 80, le virus de la maladie bronzée de la tomate, ou *Tomato spotted wilt*, fait des ravages dans les cultures horticoles maraîchères et ornementales.

Certaines de ces viroses sont connues depuis fort longtemps (encadré page suivante), parfois même avant qu'on ait démontré leur nature infectieuse ; mais, pour la plupart d'entre elles, l'identification de l'agent responsable est en revanche beaucoup plus récente.

Le terme « **virus** » qui signifie en latin « poison », a été utilisé à l'origine pour désigner tout agent inconnu susceptible de provoquer des troubles de la santé et tenu pour responsable de maladies ayant une cause indéterminée. A la suite des découvertes des bactériologistes du siècle dernier et de l'identification de nombreux germes pathogènes, cette appellation fut alors réservée aux agents de très petite taille capables de passer au travers des filtres et ayant apparemment la faculté de se multiplier dans l'organisme vivant infecté.

Le fait qu'encore aujourd'hui, dans le milieu horticole, on parle quelquefois de « maladie à virus » à propos d'une infection présentant des similitudes avec une affection virale mais dont l'étiologie n'a pas été démontrée (les scientifiques diront « de type viral ou *virus-like* ») est tout à fait significatif du caractère à la fois mystérieux et néfaste que l'on donne volontiers à ces agents. On a ainsi reconnu que des maladies qui avaient été attribuées à tort à des virus étaient en fait occasionnées par d'autres agents pathogènes : phytoplasmes (anciennement appelés mycoplasmes ou MLO) dans le cas de la jaunisse de la reine-marguerite ou du balai de sorcière du *Paulownia*, viroïdes dans le cas du rabougrissement du chrysanthème.

Ce n'est qu'à la fin du XIX^e siècle, à la suite des travaux de Pasteur sur les « virus filtrants » qu'ont pu être précisés certains caractères spécifiques aux phytovirus, avec l'étude de l'agent responsable de la mosaïque du tabac (Mayer, 1886 ; Iwanowski, 1892). C'est également à cette époque que de nombreuses maladies à virus furent décrites tant chez les plantes que chez les animaux. Plus tard, on devait montrer que les bactéries elles-mêmes étaient susceptibles d'être infectées par des agents contagieux, les bactériophages. En 1935, avec la cristallisation du virus de la mosaïque du tabac, Stanley marque une étape importante dans notre connaissance des phytovirus. Depuis, la virologie végétale a connu un développement prodigieux, particulièrement durant ces trente dernières années, grâce aux techniques récentes de biochimie et de génétique et biologie moléculaires.

Un peu d'histoire

Selon Inouye et Osaki (1980), la plus ancienne référence de symptôme viral sur plante ornementale daterait du VIII^e siècle. Un poème japonais, écrit par l'Impératrice Koken en l'an 752 de notre ère, parle de « feuille jaune » de l'eupatoire, ce qui pourrait correspondre à une infection par le virus du jaunissement des nervures reconnue seulement en 1979 sur la variété *Eupatorium chinense simplicifolium*. Plus près de nous, en Europe, l'exemple le plus souvent cité est celui de la tulipe infectée par le virus de la panachure. Les symptômes, décrits dès 1576 par Charles de l'Ecluse ont été souvent représentés dans les compositions florales des peintres flamands du XVII^e siècle (tulipes flammées « Rembrandt »). La panachure foliaire de l'*Abutilon* a été mentionnée en 1869 par Morren avant que son caractère infectieux ne fût reconnu par Baur en 1906. En 1894, Dod, en Grande-Bretagne décrit la maladie des striures jaunes du narcisse, due au *Narcissus yellow stripe virus* (NYSV) qui sera étudiée aux Pays-Bas par Van Slogteren et De Bruyn Outbater en 1946. La première mosaïque sur oeillet fut signalée aux États-Unis par Pel-tier en 1916 et une mosaïque sur cinéraire par Dickson en 1920 au Canada. La mosaïque du dahlia est connue depuis 1923 (Howe) et celle du rosier depuis 1928 (McWhorter).

Avant que l'étiologie exacte de ces maladies virales ait été reconnue, on parla longtemps à leur propos de « maladies de dégénérescence », car les plantes atteintes, multipliées végétativement, présentaient un affaiblissement général de plus en plus prononcé au fil des générations.

Les phytovirus

Parmi les agents pathogènes, les virus occupent une placée à part. Ce sont des parasites intracellulaires obligatoires, capables de se multiplier uniquement dans les cellules vivantes des organismes supérieurs et des microorganismes qu'ils envahissent. Pour assurer leur propre multiplication aux dépens de leur hôte, ils utilisent les mécanismes normaux du métabolisme de la cellule. On comprendra ainsi pourquoi il est si difficile de lutter chimiquement contre ce type d'infection.

Un virus est constitué d'une population d'individus identiques par leur forme, leurs dimensions, leur structure et leur composition chimique. La particule infectieuse, celle qui transmet la maladie d'un organisme à un autre, est le **virion**. Le virion est formé d'une ou plusieurs molécules d'**acide nucléique**, protégées par une enveloppe protéique appelée coque ou **capside** (encadré ci-dessous).

Composition du virus

La capsid est formée de sous-unités capsidiales identiques dont le nombre fixe est caractéristique d'un virus donné; chacune d'elles comprend de 150 à plus de 600 acides aminés, de sorte que leur poids moléculaire peut varier de 20 à 40×10^6 kilodaltons (Kd). La séquence de ces acides aminés représente la structure primaire de la sous-unité; pour un certain nombre de virus, cette séquence est maintenant entièrement connue. Les acides nucléiques sont de deux types, ribonucléique (ARN) ou désoxyribonucléique (ADN), de forme linéaire ou circulaire, à un seul brin (monocaténaire) ou à deux brins complémentaires (bicaténaires). Ils se répartissent en un seul ou plusieurs segments dans une ou plusieurs particules (virions). Ces acides nucléiques sont constitués par une chaîne (de longueur variable) de nucléotides, composés chacun d'une molécule d'acide phosphorique, d'un sucre (ribose pour l'ARN, désoxyribose pour l'ADN) et d'une base azotée purique ou pyrimidique (fig. I.1). La grande majorité des phytovirus possèdent un ARN monocaténaire orienté dans le sens 5'--3' et directement accessible aux ribosomes de la cellule pour la synthèse des protéines; cet ARN est dit de polarité positive (ARN(+)).

La forme et les dimensions des particules sont très variables : particules isométriques (icosaédriques) de 18 à 70 nm de diamètre, particules en bâtonnets rigides jusqu'à 300 nm de long, particules flexueuses jusqu'à 1200 nm, particules bacilliformes de 160-380 nm de long sur 60-95 nm de large. Les virus peuvent être nus ou posséder une enveloppe de nature lipoprotéique.

L'acide nucléique est le composant le plus important du virus ; c'est lui qui porte l'information génétique nécessaire à sa propre réplication et par là même son pouvoir infectieux. Cette information est fournie par un code représenté par la séquence des bases qui détermine elle-même la séquence des acides aminés à l'origine des protéines codées par le virus. Dans certains cas, la séquence des bases, spécifique au virus, le nombre et la nature des gènes ainsi que leur expression sont connus (fig. I.1 et I.2).

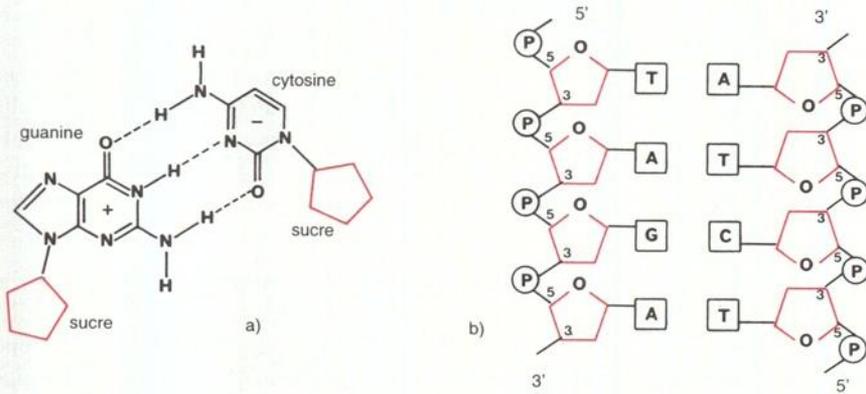


Figure I.1. Composition et structure de l'acide désoxyribonucléique (ADN double-brin). a) appariement des bases complémentaires ; b) molécule d'ADN : appariement des deux chaînes antiparallèles dont les séquences nucléotidiques sont complémentaires. A : adénine ; T : thymine ; C : cytosine ; G : guanine.

Les constituants du virus s'assemblent en arrangements réguliers dans les particules virales. L'architecture du virion est définie par les modes d'agrégation des sous-unités capsidiales et leurs interactions avec l'acide nucléique qu'elles renferment. On distingue deux grands types structuraux, l'un de symétrie cubique (par rapport à un point) et l'autre de symétrie hélicoïdale (par rapport à un axe) (fig. I.3)

Les systèmes de classification qui regroupent ensemble des virus ayant des caractéristiques communes tiennent largement compte, à côté de leurs propriétés biologiques (gamme d'hôtes, vecteurs) de la nature de leur génome et de la structure des virions (encadré page 18).

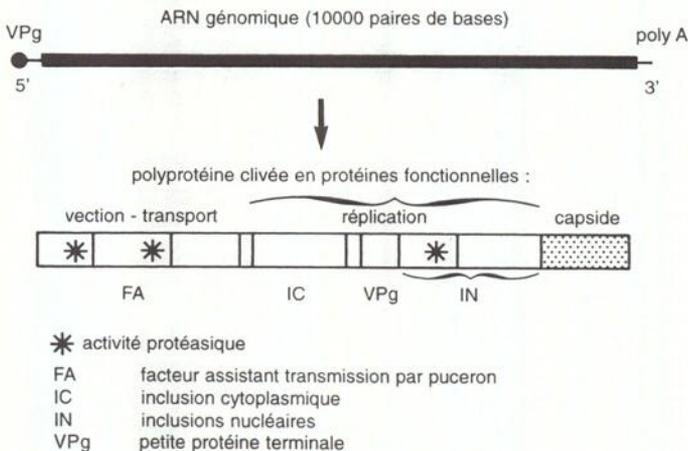


Figure I.2. L'acide nucléique (ici l'ARN d'un Potyvirus) est le support de l'information génétique.

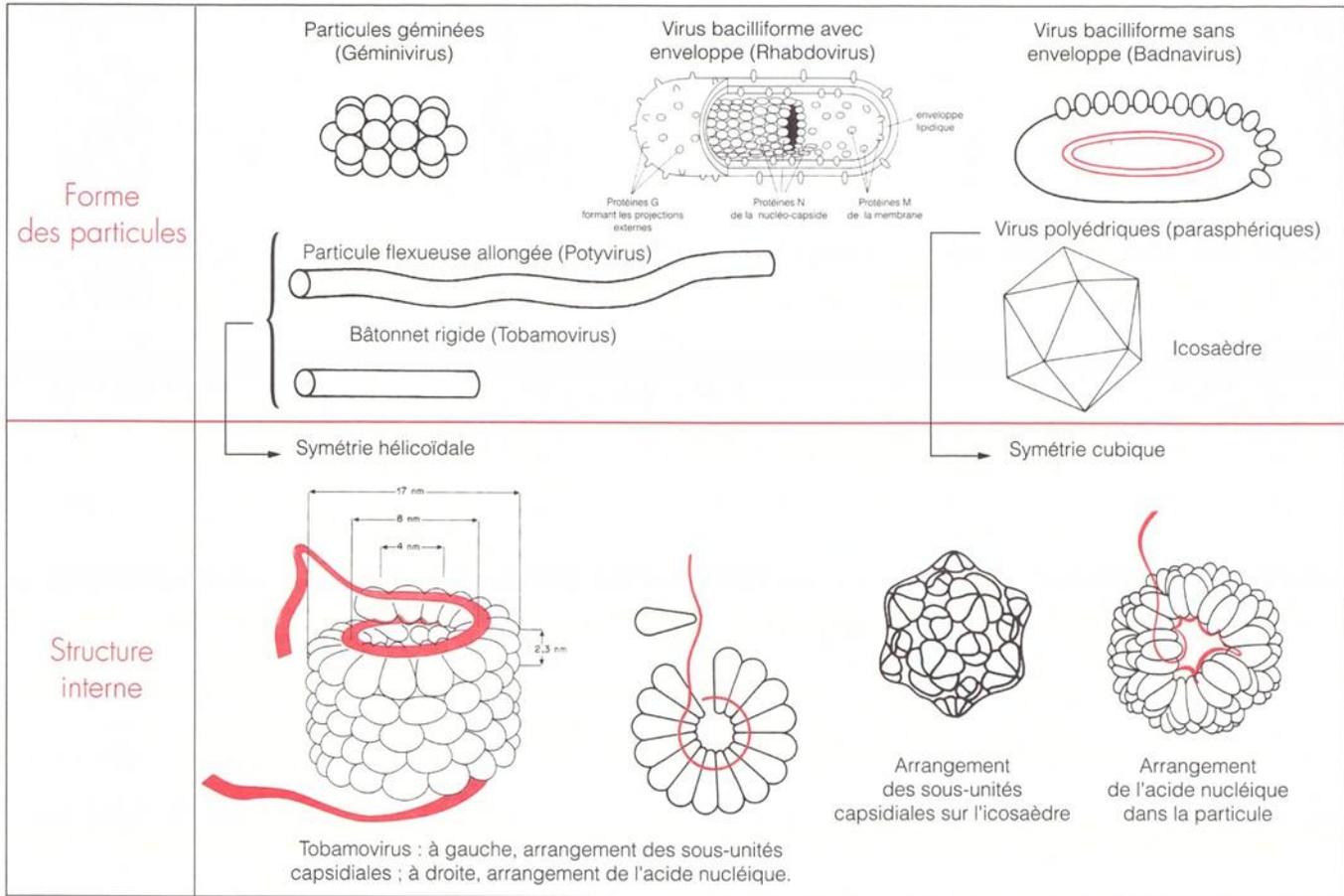


Figure I.3. Forme et architecture de quelques genres de phytovirus.

Place des phytovirus en virologie (cas des virus à ARN de polarité positive)

Goldbach (1986) a proposé une classification particulièrement intéressante pour les virus à ARN(+) (de polarité positive) qui représentent la grande majorité des phytovirus (environ 75 %). Cette classification utilise notre connaissance récente des séquences nucléotidiques complètes de nombreux virus végétaux ; elle repose sur les séquences des extrémités 5' et 3' de l'ARN viral et sur la stratégie d'expression de cet ARN, lors de sa traduction en protéines.

Compte tenu de similitudes dans l'organisation de leur génome, ces virus ont été classés en deux superfamilles : les virus **Picornas-associés** et les virus **Sindbis-associés**, en remarquant toutefois qu'au sein d'une même superfamille, les virus peuvent présenter des différences morphologiques, structurales (nombre d'ARN génomiques) ou biologiques (modalités de transmission, hôtes végétaux ou animaux).

Chez les virus **Picornas-associés** (Poliovirus), l'ARN possède une petite protéine VPg fixée à l'extrémité 5' ; son extrémité 3' est poly-adénillée ("queue poly-A"). Cet ARN (+) génomique est traduit en une longue polyprotéine à partir de laquelle les protéines fonctionnelles du virus sont produites par clivage protéolytique. Les virus appartenant à ce groupe présentent également des similitudes dans la séquence en acides aminés et la fonction de protéines non structurales impliquées dans la réplication, la protéolyse ou le transport du virus de cellule à cellule. Parmi les phytovirus appartenant à ce groupe figurent notamment les Poty- et les Nepovirus, qui infectent de nombreuses plantes ornementales.

Les virus **Sindbis-associés** forment un groupe un peu moins homogène : leur génome est constitué d'un ou de plusieurs ARN (+) munis d'une coiffe en 5' et dont l'extrémité 3', bien que variable, présente souvent une configuration en forme de trèfle (*tRNA-like*). En outre, ces virus possèdent un ou plusieurs ARN subgénomiques qui sont des copies partielles de la partie 3' de l'ARN viral et qui permettent aux gènes internes de s'exprimer (expression monocistronique des eucaryotes). De très nombreux phytovirus, Tobamo-, Cucumo-, Ilar-, Potex- et Carlavirus, font partie de cette superfamille ; ces virus sont également bien représentés chez les espèces d'ornement.

Cette classification, en regroupant diverses familles de virus tant animaux que végétaux, permet d'établir des relations entre virus spécifiques de l'un ou l'autre règne. Il en est ainsi des virus animaux de la poliomyélite ou de l'hépatite A avec les Potyvirus végétaux, du virus Sindbis ou de celui de la rubéole avec les phytovirus de la mosaïque jaune du navet (TYMV) et de la mosaïque du tabac (TMV). Elle a le mérite de montrer qu'au sein du vaste monde des virus, il existe une certaine unité dans les rapports structure-fonction qui est tout à fait surprenante. Ainsi, des virus très différents, mais appartenant à la même superfamille, possèdent une structure commune dans leur génome (gènes ou portion de gène) qui aurait été conservée au cours de leur évolution à partir d'un ancêtre commun.

En 1962, Kassanis identifie dans une plante infectée par le virus de la nécrose du tabac (TNV), une petite particule nucléoprotéinique qui seule n'a aucun pouvoir infectieux mais qui est dépendante du TNV pour sa multiplication. Cette particule virale est dite