

Jean DUBERN

INITIATION

LA PHYTOVIROLOGIE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR - HANN



Mars 1984

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

DAKAR - Sénégal

Initiation à la Phytovirologie

par

Jean DUBERN

LES VIROSES
DES
PLANTES CULTIVEES

88888888888888888888

I - INTRODUCTION	
a - Historique.....	
b - Importance économique.....	
II - Les VIRUS PHYTOPATHOGENES	
a - Définition.....	
b - Morphologie.....	
c - Biochimie.....	
III - L'INFECTION VIRALE	
a - Spécificité.....	
b - Pénétration.....	
c - Localisation.....	
d - Multiplication des Virus.....	
e - Résistance des hôtes.....	
f - Action sur l'hôte et interactions	
hôte-parasite.....	
1 - Sur la morphologie de l'hôte	
(Symptomatologie)...	
2 - Sur l'anatomie des hôtes	
(Inclusions cellulaires).	
3 - Sur la physiologie de l'hôte.....	
g - Interférences entre virus.....	
h - Conditions de milieu et	
Infection parasitaire.....	
IV - TRANSMISSION des VIRUS.....	
V - METHODES de LUTTE.....	
VI - CLASSIFICATION et DENOMINATION.....	

I - INTRODUCTION

a - Historique :

Les maladies à virus doivent exister depuis longtemps sur les plantes. Nous savons maintenant qu'une panachure des pétales de tulipe, décrite par Charles de l'Ecluse en 1576 et peinte par des artistes hollandais de cette époque, a une cause virale; dès la fin du 17^{ème} siècle on soupçonnait une corrélation entre cette altération et une maladie de la plante qui la présentait.

Au 18^{ème} siècle, certaines maladies de la pomme de terre, désignées sous le nom de "triquelée" ou "dégénération", ont posé des problèmes et leur cause a longtemps été attribuée à une altération des variétés-clônes à la suite de leur multiplication végétative prolongée; dans ces cas également, on sait maintenant que ce sont les virus qui sont responsables de ces troubles.

Cependant les études scientifiques sur ces maladies n'ont commencé qu'en 1886 lorsque MAYER a décrit une maladie du tabac : la mosaïque et a démontré qu'elle était transmissible, donc de nature parasitaire. IWANOWSKY, en 1892, constate que le jus provenant des tabacs malades reste infectieux après passage dans un filtre Chamberland qui retient les bactéries; mais, pour lui, des toxines bactériennes seraient responsables. BEIJERINCK (1898) reprit ces expériences en Hollande et fit état, le premier, de la responsabilité d'un "contagium vivum fluidum".

Au début de ce siècle QUANJER, en Hollande encore, s'illustra par ses travaux sur les viroses de la pomme de terre; à ce moment également une corrélation a été observée entre certaines maladies à virus et l'activité d'insectes.

Enfin, vers 1935, STANLEY réussit à isoler pour la première fois des agglomérats de particules virales responsables de la mosaïque du tabac. Depuis, grâce à l'utilisation du microscope électronique, la morphologie de certains virus phytopathogènes a été précisée alors que leur structure biochimique faisait l'objet de nombreuses études portant notamment sur les acides nucléiques.

En même temps certains aspects de la transmission des maladies à virus sont éclaircis avec la mise en évidence d'agents vecteurs dont l'importance avait été négligée jusqu'à ces dernières années.

b - Importance économique :

L'importance des maladies à virus a été soulignée depuis longtemps chez les plantes vivaces à multiplication végétative; c'est ainsi qu'on estime les pertes annuelles dues aux seules mosaïques légères de la pomme de terre, en Grande-Bretagne, à 200.000 tonnes de tubercules. Les arbres fruitiers qui, jusqu'à ces dernières années, semblaient atteints par ce type de maladie en Amérique, présentent également en Europe les graves symptômes de certaines viroses; c'est ainsi que la liste A (maladies à virus contre lesquelles on doit lutter en tous lieux, d'une façon permanente), établie par le Ministère de l'Agriculture, s'est vue complétée à la date du 25 Juin 1959 par un certain nombre de viroses du pommier, du cerisier, du prunier et du pêcher.

Cependant il ne faut pas négliger les dégâts infligés par ces maladies à des plantes annuelles : tabac, tomate, etc.. on trouve plantes récoltées dès leur première année de végétation : betteraves. Dans ce dernier cas on estime à 20 % la baisse de rendement des betteraves sucrières en Europe, au cours des dernières années, du seul fait de la jaunisse.

De part leur climat aux écarts de température relativement faibles, les régions intertropicales sont extrêmement propices au développement de la plupart des prédateurs; cela est également valable pour les virus; il n'est pas nécessaire d'insister sur l'importance de certains virus dans ces régions: virus de la Mosaïque Africaine du Manioc; virus de la Rosette de l'Arachide, virus de la Mosaïque du Concombrela plupart des virus des zones tempérées additionnés aux virus propres aux régions intertropicales se trouvent agir ainsi très souvent en synergie.

II - Les VIRUS

PHYTOPATHOGENES

a - Définition :

Ce sont des parasites obligatoires invisibles au microscope ordinaire, c'est à dire dont les dimensions restent, en principe, inférieures à 300 millimicrons; une définition plus ancienne ajoutait que ces parasites étaient filtrables.

Ces termes appellent un certain nombre de remarques : le caractère de "parasite obligatoire" n'appartient pas aux seuls virus; de nombreux champignons phytopathogènes, agents de Rouilles ou de Blancs par exemple, sont, à l'instar de certains virus, dans cette catégorie, ainsi que des phanérogames parasites telles que Cuscutas et Orobanches.

Le fait d'être invisibles au microscope ordinaire n'écarte pas toute connaissance concernant la morphologie des virus puisque beaucoup d'entre eux ont été observés au microscope électronique.

Enfin la filtrabilité des virus n'est plus à retenir lorsque l'on sait que certains virus phytopathogènes ne passent pas à travers les bougies Chamberland alors que certaines bactéries peuvent les franchir. Par ailleurs les techniques modernes permettent de confectionner des filtres qui empêchent le passage des virus ou de certains d'entre eux au moins.

b - Morphologie :

L'utilisation du microscope électronique permet de suivre les contours et d'apprécier l'épaisseur des particules virales. D'après leur forme divers types de virus phytopathogènes ont été observés jusqu'ici :

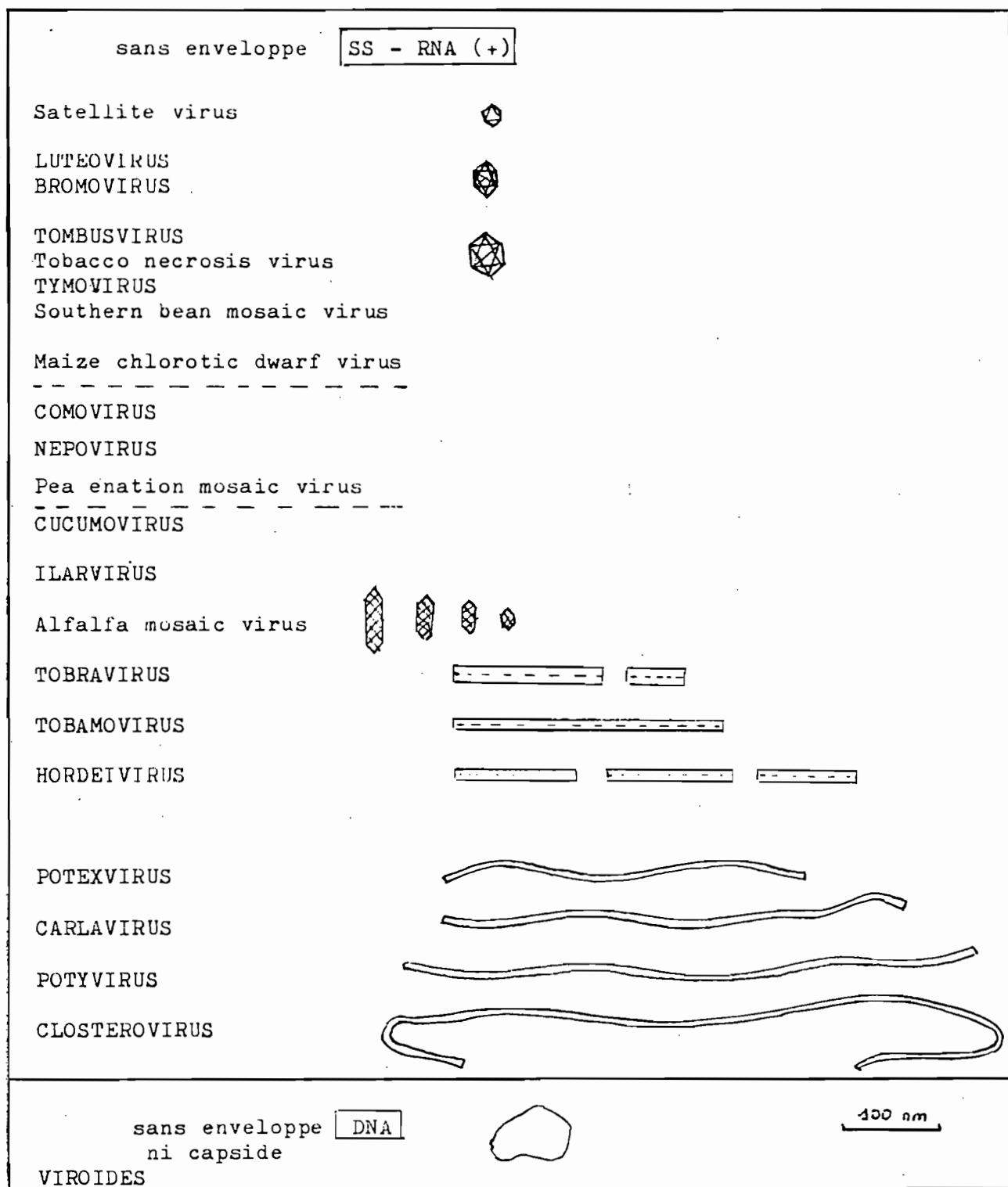
Les tableaux des deux pages suivantes résument les diverses structures: bâtonnets, filaments, parasphériques, virus à enveloppe, viroïdes.

c - Biochimie :

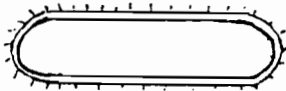
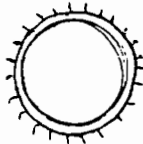
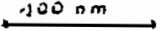
Les techniques modernes de purification ont permis d'étudier la structure biochimique de certains virus phytopathogènes, notamment du virus de la mosaïque du tabac (VMT).

Les virus sont des nucléoprotéides à acide ribonucléique, c'est à dire une combinaison de protéides et d'acides nucléiques. Les virus des animaux renferment de l'acide desoxyribonucléique (ADN), de l'acide ribonucléique (ARN) ou un mélange ADN + ARN. Les bactériophages ont de l'ADN.

Les Groupes des Virus des Plantes



Les Groupes des Virus des Plantes

sans enveloppe	ds - RNA	
REOVIRIDAE		
sans enveloppe	ds - DNA	
CAULIMOVIRUS		
sans enveloppe	ss - DNA	
GEMINIVIRUS		
avec enveloppe	ss - RNA (-)	
RHABDOVIRIDAE		
avec enveloppe	ss - RNA (?)	
Tomato Spotted Wilt Virus		

CARACTERISTIQUES DE QUELQUES VIRUS

Virus	A.N. (1)	nb de types d'A.N.	poids mol. particule $\times 10^{-6}$ (D)	% Ac nuc.	poids mol. A.N. $\times 10^{-6}$ (D)	Type (2)	Dimensions en nm (3)	Sous-unités protéiques		
								Nb.	poids mol. $\times 10^{-3}$ (2)	Nb. ac. aminés
Coliphage T2	D2	I	340	40	137	X	100	-	-	-
Coliphage MS2	RI	I	3.4	32	1.1	S	25	180	14	129
Cowpox	D2	-	3200	5	160	S	300	-	-	-
Polio	RI	-	6,9	29	2	S	28	180	27-32	-
Cauliflower Mosaic	D2	I	28	15	4,7	S	50	-	33	-
Wound tumor	R2	I2	68	20	2,8 ; 0,32	S	70	540	150; 122; 63; 44 (4)	-
Tobacco mosaic	RI	I	39,4	5	2,05	B	300x18	2130	17,5	158
<u>Tobacco rattle</u>	RI	2	50; 12-29	5	2,3; 0,6-1,3	B	190; 45-115	-	24	218
Potato virus Y	RI	-	-	5	-	F	730x11	-	-	-
Turnip yellow mosaic	RI	I	5,4	34	1,9	S	28	180	20	189
Tobacco necrosis	RI	I	7	19	1,5	S	26	180	33	312
Sattelite virus	RI	I	2	20	0,4	S	17	60	23	208
<u>Brome mosaic</u>	RI	4	4,6	22	1,0	S	25	180	20	189
<u>Alfalfa mosaic</u>	RI	4	3,7-7,3	18	1,27; 1,0; 0,76 0,33	X	5,8; 48; 36 19x18	-	27	224

(1) A. N. : Acides nucléiques; D = ADN; R = ARN; I = 1 brin; 2 = 2 brins

(2) S = parasphériques; B = bâtonnets; F = flexueux; X = type différent

(3) diamètre pour les virus parasphériques

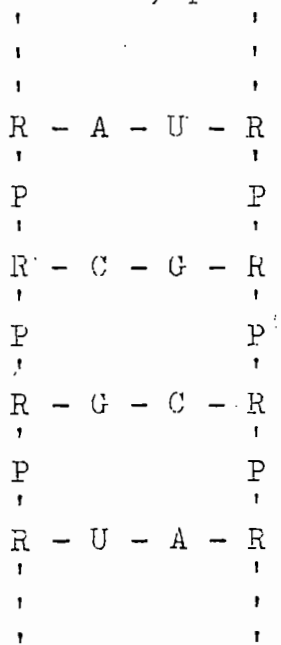
(4) : protéines codées par les principaux A. N.

Les virus soulignés sont à composants multiples

Les virus phytopathogènes connus ont tous, en leur centre ou suivant leur axe, de l'acide ribonucléique (ARN). D'après ANDERER (1960) l'ARN du VMT contient environ 6000 nucléotides.

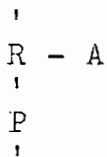
1) L'acide ribonucléique (ARN) est constitué de 2 chaînes enroulées l'une autour de l'autre et unies par des groupes basiques latéraux. Les chaînes sont formées de suites alternées d'acide phosphorique et de sucre (ribose); les groupes basiques puriques comprennent l'adénine et la guanine; les groupes basiques pyrimidiques consistent en uracile (thymine pour l'ADN) et cytosine.

Chacun des barreaux qui relie les 2 chaînes voit l'union obligatoire Adénine - Uracile ou Guanine - Cytosine suivant, par exemple, le schéma :



où : R = ribose
P = acide phosphorique
A = adénine
C = cytosine
G = guanine
U = uracile

Un nucléotide est constitué par une base, un sucre et l'acide phosphorique. Un exemple de nucléotide à adénine peut être figuré schématiquement comme suit :



2) Dans la particule virale, une enveloppe ou "coque" de protéine va entourer l'ARN; d'après ANDERER (1960) la protéine du VMT consiste en environ 2.200 chaînes de peptides.

3) Rôles de l'ARN et de l'enveloppe de protéine:

Depuis quelques années, on sait que le pouvoir infectieux de la particule virale est dû à l'ARN à partir duquel l'ensemble du virus peut se reconstituer : la synthèse de l'ARN apparaît comme un préliminaire nécessaire à la formation des protéines du virus (COCHRAN, 1960).

L'enveloppe de protéine semble protéger l'ARN vis à vis de certains facteurs défavorables : ribonucléases, radiations... et jouer un rôle déterminant dans la spécificité des virus (BARDEN, 1957).

4) Mutations : Un même type de virus (VMT par exemple) peut présenter plusieurs souches dont le pouvoir pathogène sera différent; de nouvelles souches, qui sont le résultat de mutations, peuvent apparaître; entre mutants il y a non seulement des différences biologiques mais aussi chimiques; in vitro l'altération de chacune des bases aminées est mutagène, et GIERER (1958) a pu obtenir ainsi des mutants. KNIGHT (1959) pense que la façon dont les nucléotides se succèdent dans l'ARN joue un rôle fondamental dans la génétique des virus avec, bien entendu, un retentissement sur leur pouvoir pathogène.

III - L' INFECTION VIRALE

a - Spécificité :

La spécificité d'un type de virus vis à vis de ses hôtes est régie par l'enveloppe de protéines du virus; mais, suivant les virus phytopathogènes considérés, la spécificité parasitaire sera plus ou moins large.

Certains virus sont polyphages ou ubiquistes, tels que le virus de la mosaïque du tabac (VMT) qui peut se trouver sur plusieurs centaines d'espèces de dicotylédones; d'autres auront une spécificité plus étroite :

le virus de l'enroulement de la pomme de terre se trouvera sur certaines solanacées seulement, celui de la mosaïque du chou-fleur ne semble pas avoir d'hôtes en dehors des crucifères; certains types de virus pourraient être limités à quelques genres d'hôte : virus des pétales verts (phyllosticta ou virescence) sur trèfle blanc et autres espèces de Trifolium et Fragaria spp.

Mais la spécificité parasitaire réelle d'un type de virus est difficile à préciser en raison de la présence possible du virus dans des hôtes qui ne montrent aucun symptôme (voir "viroses latentes" p. 244).

b - Pénétration :

La mise en contact du virus et de son hôte étant réalisée (voir : chapitre IV - Transmission des virus), il faut rechercher comment s'opère la pénétration du parasite dans son hôte.

Il apparaît que des blessures, même de très petite taille (quelques microns), sont nécessaires pour que la pénétration soit réalisée; dans la nature des blessures peuvent se trouver au niveau de poils brisés ou être réalisées par des insectes qui, en même temps, injecteront le virus à l'intérieur même de l'hôte. D'après HILDEBRANDT (1959), pour que la pénétration réussisse au niveau des cellules épidermiques, il faut, en même temps que la blessure, une pulsation du cytoplasme de la cellule lésée puis une cicatrisation rapide qui permette la survie de la cellule et du virus (parasite obligatoire) qu'elle contient.

Il apparaît que les stomates ne jouent aucun rôle dans la pénétration des particules virales.

Lors d'expériences d'inoculation le frottement d'une poudre fine abrasive, sur les organes de l'hôte, produira de très fines éraflures qui constitueront des blessures suffisantes pour assurer la pénétration, au moins de certains types de virus.

c - Localisation :

Certains symptômes primaires : lésions locales. Éclaircissement des nervures peuvent indiquer une diffusion limitée des particules virales autour du point de pénétration mais ces altérations sont temporaires et, si l'infection réussit, des symptômes généralisés seront l'indice d'une très large diffusion du virus dans la plante malade.

Lors du développement de certaines lésions locales les virus peuvent ^{ne} se répandre que dans certains parenchymes; lorsqu'un insecte les injecte d'autres types de virus pourront voir leur présence limitée au seul liber; mais le plus souvent (virus du type "mosaïques" tel que le VMT) les virus seront très répandus à la fois dans le liber et dans les parenchymes; leur vitesse de diffusion dans les tissus de l'hôte peut varier d'une fraction de centimètre à une centaine de centimètres par heure; leur mouvement sera particulièrement rapide dans le liber; de cellule à cellule leur déplacement est plus lent et notamment se réalise par les plasmodesmes qui assurent des liaisons cytoplasmiques très fines d'une cellule à l'autre à travers les membranes.

Le bois ne semble pas jouer de rôle lors de la diffusion des particules virales dans l'hôte; cependant certains virus transmis par des cicadelles peuvent n'exister que dans les vaisseaux du bois.

Par ailleurs, on a constaté l'absence des virus dans les méristèmes ainsi que dans les embryons; une explication structurale (absence de plasmodesmes) était avancée pour expliquer ces faits; certains travaux (CAIWELL et MERRETT, 1962) font revenir à des hypothèses biochimiques : dans tous les tissus où la synthèse des constituants cellulaires est rapide la compétition pour l'ATP (acide adenosine-triphosphorique) est plus ouverte, alors que dans les embryons et dans les meristèmes l'absence d'un surplus de ce matériel à forte énergie pourrait expliquer l'incapacité des virus à se développer dans ces tissus. La carence en phosphate et l'action de certains inhibiteurs respiratoires qui contrarient la multiplication des virus seraient à rapprocher de cette hypothèse.

d - Multiplication des virus :

Elle n'est possible qu'à l'intérieur de cellules bien vivantes; son étude a été faite particulièrement avec le VMT.

Le virus semble synthétisé dans la cellule-hôte; cette synthèse est déclenchée par une particule infectante qui pénètre dans la cellule; par la suite de très nombreuses particules apparaissent en dehors de la première; ce processus de multiplication des particules virales est donc essentiellement différent de celui des cellules vivantes qui voit la division d'une cellule initiale en deux cellules filles.

Cela fait considérer les particules virales

comme des macromolécules et non comme des êtres vivants.

BAWDEN (1957) a constaté que, dans la cellule-hôte infectée par le VMT, la synthèse de nouvelles particules virales ne commence pas immédiatement; une période de latence de quelques heures doit s'écouler; il semble qu'à ce moment une désintégration protéine-ARN se produise qui laisse pendant un certain temps l'ARN sans protection, comme le prouve l'efficacité antivirale de la ribonucléase appliquée dans les minutes qui suivent l'infection ou la sensibilité très forte de ce qui reste de la particule virale vis à vis des rayons UV à ce moment-là.

Lorsque, dans les quelques heures qui suivent l'infection, la synthèse commence, on note une diminution des acides aminés, purines et pyrimidines constitutants normaux de la cellule. Le VMT se forme ainsi dans la cellule hôte à partir de ses constituants jusqu'alors normaux et auxquels leur intégration dans la particule virale confère de nouveaux caractères biologiques : pouvoir pathogène et transmissibilité.

ENGLER (1959) fournit de nouvelles preuves du rôle joué par l'ARN libre comme précurseur du VMT; lorsque l'ARN libre est introduit dans la cellule-hôte la période de latence est beaucoup plus courte puisque la désintégration de la particule virale est déjà réalisée.

BALD (1961) a constaté que le virus total est formé très peu de temps après manifestation d'une activité autour du noyau des cellules récemment infectées; le nucléole pourrait être la source d'ARN viral, alors que les plastiques joueraient un rôle dans la synthèse de l'enveloppe virale constituée de protéines.

Une cellule infectée par le VMT, à la suite de la synthèse de nouvelles particules virales, peut contenir plus de 100 particules par micron-cube (NIXON, 1956).

e - Résistance des notes .

Plusieurs types de résistance ont été notés; dans certains cas une résistance totale (souvent liée à un gène dominant) interdit tout début d'infection parasitaire, mais très souvent une réaction d'hypersensibilité va amener la localisation de l'infection et finalement la disparition de l'agent pathogène. Cependant si, pendant une période prolongée, une quantité continuellement importante d'inoculum est appliquée à l'hôte hypersensible une invasion généralisée (systémique) se produit (WEINTRAUB, 1961).

La résistance de certaines variétés de pommes de terre au virus X constitue un bon exemple de réaction d'hypersensibilité (BAGNALL, 1961) qui est liée à 2 gènes dominants.

f - Action du virus sur l'hôte
et interactions hôte-parasite :

f-1 - action sur la morphologie de l'hôte :
symptomatologie :

- Symptômes primaires.....
- Symptômes généralisés.....
- Infections sans symptômes..
- Méthodes de diagnose.....

- - - - -

Symptômes primaires :

Ils pourront se manifester au début de l'infection parasitaire et seront généralement suivis de symptômes plus étendus.

Les symptômes primaires, souvent associés à des virus transmissibles par la voie mécanique, sont généralement de 2 types (SMITH, 1960) :

- lésions locales : elles apparaissent dans les deux jours qui suivent la contamination ou l'inoculation; ce sont des taches en anneaux, quelquefois chlorotiques, mais qui évoluent généralement en nécroses; leur aspect dépendra du type de virus en cause, de l'espèce ou de la variété d'hôte; leur vitesse d'évolution sera largement fonction des conditions de milieu.

- Eclaircissement des nervures (Vein clearing): Ce type de symptômes primaires va se manifester 5 à 10 jours après la contamination ou inoculation, notamment dans les viroses du type "mosaïques"; cela intéresse surtout les nervures des feuilles les plus jeunes (exemple : Mosaïque du chou-fleur).

- Symptômes généralisés (ou systémiques) :

On peut les classer sommairement en trois types : décolorations, nécroses, déformations.

+ décolorations : Les divers organes de la plante malade, et notamment les feuilles, présentent une chlorose presque uniforme; il s'agit alors de maladies du type "jaunisses" dont un bon exemple sera fourni par la jaunisse de la betterave. Des risques de confusion peuvent exister avec certaines manifestations de carences.

Les mosaïques seront des décolorations sporadiques surtout visibles au niveau des limbes foliaires qui porteront des taches vert-clair, vert-foncé, jaunes ou presque blanchâtres. Un liseré vert foncé de part et d'autre des nervures (vein banding), des déformations plus ou moins accusées des limbes accompagneront souvent ces mosaïques.

Des panachures ou décolorations assez étendues pourront également se constater sur pétales de fleurs (exemple : "break" de la tulipe).

+ nécroses : Elles sont souvent précédées de décolorations, c'est notamment le cas avec les "taches en anneau" (Ring-spots) dont les zones concentriques d'abord chlorotiques prendront la teinte brune des tissus nécrosés.

Très souvent les taches nécrotiques commenceront à se manifester au niveau des nervures puis la brunissure gagnera toute la feuille et les autres organes de la plante (exemple : bigarrure ou streak de la pomme de terre).

+ déformations : Les plantes virosées présentent souvent un nanisme accusé, avec entre-nœuds courts (court-noué), feuilles petites et rapprochées (rosettes).

Des ondulations, cloques et graves déformations des limbes peuvent être accompagnées de décolorations ou de nécroses (exemple : syndrome des frisolées sur pomme de terre).

La maladie filiforme de la tomate, due au VMT et (ou) au virus 1 du concombre, se reconnaît à la déformation très accusée des limbes foliaires souvent réduits à leur nervure principale.

Une déformation foliaire qui accompagne souvent les viroses est désignée sous le nom d'énations; il s'agit d'excroissances qui se développent à la face inférieure des feuilles malades (exemple : feuilles de cerisier atteintes par la maladie de Pfeffinger).

Enfin des déformations peuvent être constatées au niveau des fleurs avec virescence fréquente (maladie des pétales verts des trèfles) ou sur les fruits (maladie de la gravelle des poires).

N.B. - Des variations importantes de symptômes peuvent être dues au virus dont certaines souches provoqueront un type de symptôme alors que d'autres souches pourront avoir un autre effet; c'est ainsi, que suivant les souches en cause, le VMT peut donner des mosaïques, des panachures ou des nécroses.

Par ailleurs un même type de virus peut déterminer l'apparition de symptômes différents suivant les espèces ou même les variétés d'hôtes; le virus X de la pomme de terre donnera une mosaïque sur pomme de terre et une nécrose sur tabac; le virus Y de la pomme de terre pourra provoquer une mosaïque sur la variété Bintje et une nécrose sur Ackersegen.

Les conditions de milieu auront également une influence sur l'expression des symptômes.

Enfin il ne faut pas oublier que ^{sur} certains hôtes un bon nombre de virus ne produiront aucun symptôme.

- Infections sans symptômes :

On a remarqué récemment que du jus de plantes apparemment saines pouvait provoquer l'apparition, sur d'autres espèces inoculées, de symptômes souvent graves de viroses. Ces infections inapparentes, qui sont chroniques et qui semblent être l'indice d'un certain équilibre hôte/parasite, sont appelées "viroses latentes"; on donne le nom de virus occultes aux agents pathogènes qui y sont associés. On connaît de nombreux cas de ces virus dont l'inoculum se trouvera disponible dans des plantes - réservoirs apparemment saines: c'est ainsi que le virus X de la pomme de terre est occulte chez de nombreuses variétés américaines de l'hôte; les virus "ring-spot" transmis par le sol doivent se comporter de cette façon sur de nombreuses adventices; enfin, parmi les arbres fruitiers, des porte-greffes sans symptômes peuvent transmettre, entre autres, les viroses "bois caoutchouc" du pommier ou Tristeza des Citrus.

- Méthodes de diagnose :

L'existence de viroses latentes et de souches donnant des symptômes différents au sein d'un même type de virus vont constituer de grosses difficultés pour la reconnaissance des maladies à virus. Cependant la diversité de symptômes provoqués par divers virus sur une même espèce, ou par un même virus sur une série d'espèces, fourniront les bases de deux méthodes de diagnose :

- plantes-tests : Ce sont des espèces d'hôtes qui vont exprimer des symptômes nettement tranchés après inoculation de divers virus.

C'est ainsi que HULLINGS (1956) recommande comme plante-test Chenopodium amaranticolor; le même Auteur, en 1959, a préconisé également l'utilisation de Nicotiana clevelandii.

- hôtes différentiels : un même type de virus est inoculé à une série d'espèces ou de variétés d'hôtes sur lesquels on sait qu'il doit provoquer des symptômes caractéristiques et nettement tranchés.

- tests chimiques : Ils sont utilisés en complément des précédents; basés sur l'accumulation de produits dans les tissus de l'hôte à la suite des interactions hôte/parasite, ils manquent généralement de spécificité; ils ont fait l'objet d'une mise au point récente de LINDNER (1961).

- Méthode sérologique : Elle pourra apporter une aide très précieuse lorsque l'examen macroscopique ne sera pas conduisant. Elle est basée sur le fait que la plupart des virus se comportent en antigènes qui font apparaître, dans le sérum d'un animal auquel le virus a été injecté, des substances nouvelles : les anticorps. Ces derniers s'unissent aux antigènes qui ont provoqué leur apparition en donnant une agglutination ou précipitation. Les antigènes d'un virus donné ne fixeront les anticorps du sérum d'un lapin que si ce dernier a été précédemment inoculé avec un virus du même type. Cependant cette méthode n'est applicable qu'aux virus dont la concentration est élevée, tels que les virus X et Y de la pomme de terre. Par ailleurs des travaux (BERCKS, 1961) ont montré des relations sérologiques entre virus qui peuvent être très différents, notamment par leur morphologie.

F - 2 - Action sur l'anatomie des hôtes : Inclusions cellulaires

De nombreux examens de cellules parasitées, au microscope ordinaire et au microscope électronique, en particulier de cellules épidermiques et de poils, ont révélé des modifications dues à la présence d'inclusions intracellulaires.

Le plus souvent ces inclusions sont intra-cytoplasmiques; elles se présentent sous l'aspect de plaques généralement hexagonales ou de fibres, tels que les paracristaux constitués par les aiguilles de STANLEY qui sont des agglomérats de VMT. Les inclusions peuvent également être amorphes; on les désigne sous le nom de Cornu X. Quel que soit leur aspect elles semblent toutes de même nature : ce sont des particules virales et des produits de désintégration cytoplasmique.

Leur localisation se situe fréquemment au voisinage de débris de chloroplastes; ceci appuie l'hypothèse selon laquelle l'enveloppe (au moins) des particules virales serait synthétisée à partir de matériaux fournis par les plastides.

Les inclusions intranucléaires. Elles ont surtout l'aspect de plaques ou de fibres mais elles semblent beaucoup plus rares dans les noyaux des plantes virosées que dans les noyaux d'insectes atteints par ce même type de maladies. Cependant des travaux récents en ont décelé qui semblent avoir un rapport étroit avec le nucléole qui pourrait être ainsi la source de l'ARN viral.

F-3 - Action sur la physiologie de l'hôte :

Ce que nous savons de la synthèse des particules virales à l'intérieur des cellules de l'hôte rend parfaitement explicables les troubles du métabolisme des nucléoprotéines de l'hôte lors du développement de l'infection virale : ELBERTZHALGEN (1958) a noté en particulier des synthèses intensifiées d'acides nucléiques et de protéines; la rareté des virus dans les cellules en division pourrait s'expliquer par l'utilisation complète par ces cellules des acides nucléiques et protéines qui ne sont plus disponibles pour les particules virales.

Une action de l'infection virale sur la chlorophylle est également concevable lorsque l'on soupçonne le rôle joué par les chloroplastes dans la synthèse virale; effectivement les plantes virosées présentent une diminution de leur activité photosynthétique accompagnée de nombreuses désintégrations de chloroplastes.

nous a permis de souligner l'importance de la polyphénol-oxydase des hôtes qui se trouvaient aux prises avec des champignons ou bactéries phytopathogènes. Plusieurs auteurs (MARTIN, 1959; PARKAS et al., 1959-60; KIKUCHI, 1960) ont étudié l'activité de la polyphénol-oxydase pendant l'infection virale; tous constatent une forte augmentation

d'activité de cette enzyme, avec production corrélative de quinones; notamment au niveau des lésions locales; pour MARKAS, cette activité accrue est une cause de la destruction des cellules au niveau des lésions et joue un rôle essentiel dans le mécanisme responsable de la réaction d'hypersensibilité qui localise l'agent pathogène; MARTIN, par ailleurs, note l'accumulation des composés phénoliques, tels que l'acide chlorogénique, chez les plantes malades après la synthèse des virus; pour lui, l'activité accrue de la polyphénol-oxydase serait adaptée à la disponibilité de substrats plus importants.

MARTIN (1959) a noté également une interférence entre virus en multiplication et anthocyanes; le virus détourne à son profit les bases puriques et pyrimidiques qui interviennent normalement dans la synthèse de ces pigments; l'irrégularité de la pigmentation qui en résulte peut aider à la diagnose de maladies à virus, notamment sur gorges de pomme de terre.

Enfin PAVILLARD et BEAUCHAMP (1955-57), MARTIN (1959), et de nombreux auteurs étrangers, se sont attachés à rechercher les conséquences de l'infection virale sur le métabolisme auxinique; la plupart d'entre eux ont noté une diminution sensible de la teneur en Auxine des plantes virosées, avec par contre accumulation de scopoline qui est un inhibiteur de croissance.

g - Interférences entre virus :

Il peut y avoir "prémunité" (ou protection croisée), antagonisme ou synergie lorsque deux virus infectent la même plante.

g-1 - Prémunité : Lorsque deux souches différentes d'un même type de virus sont inoculées en même temps, elles vont généralement se répandre dans les tissus en se partageant leurs zones d'action. Lorsque deux souches différentes sont inoculées l'une après l'autre, la première souche protégera l'hôte vis à vis d'une infection par l'autre souche : c'est le phénomène de "prémunité" ou "protection croisée" dont on peut envisager une application pratique : inoculation d'un hôte avec une souche peu virulente, afin de le protéger vis à vis d'une souche plus active d'un même type de virus dont on redoute l'attaque. Des exemples de protections réciproques entre souches ont été trouvés chez le virus X du tabac, chez le virus Y de la pomme de terre, chez le virus de la

Jaunisse des Asters etc.. Cependant la prémunité peut également exister entre virus complètement distincts tels que le VMT et le virus des taches annulaires (Black Ring Spot) des choux (THOMSON, 1958).

g-2 - Antagonisme : Les cas d'antagonismes entre virus non apparentés sont à rapprocher des derniers exemples de prémunité qui viennent d'être cités. Cependant, ici, la présence simultanée de deux types de virus antagonistes peut avoir pour effet la neutralisation des symptômes que l'un et l'autre auraient pu provoquer; c'est ce qui semble se produire entre certaines souches de virus Y et de virus X de la pomme de terre.

g-3 - Synergie : Le plus souvent la présence simultanée, lors de l'infection, de deux ou plusieurs virus (complexe viral) aura pour conséquence une action synergique avec production de symptômes plus graves, et souvent de type différent, comparés à ceux dus à l'activité des virus responsables pris isolément. C'est ainsi que sur certaines variétés de pomme de terre les virus X et A qui, isolément, provoqueront des mosaïques légères, peuvent, s'ils sont présents en même temps sur l'hôte, donner une frisolée intense; la présence simultanée sur fraisiers du Fragaria virus 1 (agent de la jaunisse) et du Fragaria virus 2 aura pour conséquence le développement d'une "frisée" particulièrement grave.

h - Conditions de milieu et infection parasitaire

h-1 - Facteurs climatiques :

- Température :

Les températures élevées provoquent souvent, en particulier pour les viroses "mosaïques", une suppression totale ou partielle des symptômes qui sont "masqués". Cependant certains viroses expriment des symptômes plus graves lorsque les températures sont relativement élevées: la maladie des taches annulaires noires des choux, à la différence de la mosaïque du chou-fleur, donnera les symptômes les plus graves sur des hôtes exposés à 28°, alors qu'à 16° la maladie sera moins visible. D'autre part, la température élevée provoque parfois des dégâts sur les hôtes avec pour conséquence une progression plus facile de l'infection virale.

Enfin le point d'inactivation thermique relativement bas de certains virus sera mis à profit : lors de l'application des méthodes de thermothérapie (voir Ch. V - Méthodes de lutte).

- Lumière :

Une lumière intense masquera souvent les symptômes du type mosaïque; on a constaté par ailleurs que la mise à l'obscurité des plantes, avant leur inoculation par des virus, augmente nettement leur sensibilité.

- Vent :

Dans les cultures trop serrées le vent favorisera la mise en contact d'organes de plantes malades avec ceux de plantes jusqu'alors saines; ce contact se traduit fréquemment par l'apparition de légères plaies (poils brisés, par exemple) qui aideront à la pénétration du parasite.

h-2 - Facteurs édaphiques :

Le rôle du sol dans la mise en contact hôte-parasite sera discuté ch. IV

En retenant seulement ici les propriétés chimiques du sol, il semble que l'apport d'engrais peut se traduire par des résultats très divers suivant le type d'engrais utilisé et les plantes-hôtes en cause. Cependant, dans le cas de l'Enroulement de la pomme de terre, on a pu noter que de forts apports en azote, dans un sol peu humide, avaient pour conséquence un retard, ou même une suppression totale des symptômes. Par contre l'apport de phosphates aggraverait en définitive les symptômes, ce qui semble en accord avec le rôle supposé des phosphates lors de la multiplication des virus

h-3 - Facteurs biotiques :

Certaines plantes supérieures peuvent aider à la transmission de viroses; c'est ainsi que les Cuscutes par l'intermédiaire de leurs vaisseaux libériens, feront passer les particules virales d'un hôte à l'autre.

Les plantes spontanées et adventices réservoirs de virus, avec ou sans expression de symptômes, auront une grande importance dans la conservation des agents pathogènes sur et autour de parcelles cultivées.

Enfin les animaux et l'homme pourront aider à la mise en contact virus-hôtes

IV Les Vecteurs de Virus

- 1 - Les Athropodes

Un assez grand nombre de virus se transmettent par les Insectes et quelques autres arthropodes. D'après les relevés qui ont été faits à ce sujet, nous pouvons estimer que la moitié environ des virus connus (environ 450) sont transmis par ce procédé.

La plupart des Insectes qui servent de vecteurs sont du type de ceux qui prélèvent leur nourriture au moyen de pièces buccales piqueuses : ce sont des Thysanoptères, Hétéroptères et Homoptères. Toutefois les vecteurs, ont été également identifiés parmi les groupes présentant des pièces buccales du type broyeur : Coléoptères, Aoridiens et Forficules.

- 1 - 1 - Les Insectes piqueurs

Le phénomène global de la transmission d'un virus par un insecte piqueur peut se scinder en trois étapes distinctes : le prélèvement de nourriture par l'insecte sur une plante infectée, la transmission de l'affection à une plante saine et enfin la perte de la capacité de la transmettre. La durée relative de chacune de ces périodes est déterminée surtout par l'identité du virus en cause.

Bien qu'il n'y ait pas de séparation rigoureuse et stricte entre les types de virus transmis par les Insectes, on distingue cependant les persistants et les non-persistants. Les premiers sont des virus à longue période de rétention, les seconds, au contraire, sont des virus à courte période de rétention.

Quelques autres virus, appelés "carrier viruses" ou "associate viruses" par les auteurs anglosaxons, jouissent d'une propriété particulière : ils ne sont transmis par leur

vecteur qu'à la condition d'être accompagnés, dans la plante, source d'infection, d'un autre virus bien déterminé. Ce phénomène a été observé en ce qui concerne le virus de la Merhure du Tabac, le virus aucuba de la pomme de terre, le virus de la Rosette de l'Arachide.

Les virus persistants sont transmis par la plupart des insectes piqueurs mais les non-persistants ne le sont en général que par les Aphididae. Certaines espèces parmi ces derniers sont vectrices des deux types de virus, comme, par exemple *Myzus persicae* Sulz.

a) - Les virus non-persistants.

En général, au cours de la transmission des virus non-persistants par les pucerons, on observe ce qui suit :

- les pucerons sont le plus infectieux quand ils se sont nourris environ 30 s. sur la plante infectée.
- les virus se transmettent plus facilement si les insectes ont subi un jeûne préalable au repas d'acquisition.
- les vecteurs cessent d'être infectieux habituellement dans un délai de moins d'une heure s'ils continuent à se nourrir, et de quelques heures dans le cas contraire.
- les pucerons ayant acquis leur nourriture après une période de jeûne perdraient plus rapidement le pouvoir infectieux que ceux n'ayant pas jeûné.

Si ces règles sont généralement admises et appliquées lors de la mise au point d'une technique de transmission de virus non persistants, il est néanmoins nécessaire que chaque cas soit étudié séparément. Si la plupart de ces virus se concentrent surtout dans les cellules épidermiques du végétal, par contre certains d'entre eux, envahissent de préférence d'autres tissus foliaires.

La transmission des virus non-persistants serait essentiellement mécanique et en relation avec l'extrémité des stylets du vecteur à laquelle adhérerait de la salive, rendue infectieuse lors du repas d'acquisition.

b) les virus persistants.

A l'encontre du cas précédent, lors de la transmission d'un virus persistant par un insecte, il est nécessaire que ce dernier se nourrisse pendant un temps assez long (de 10 à 15 nm à n heures) sur la plante source avant d'être contaminé; c'est le repas d'acquisition, pris au cours de la période passée sur la plante infectée ou période d'acquisition. En outre les transmissions ne se réalisent pas immédiatement à la suite de ce repas d'acquisition, mais après une certaine période dite période de latence ou période d'incubation. Celle-ci peut varier de 1 heure à plusieurs jours. On explique ce phénomène par le fait que le virus traverserait la paroi intestinale de l'insecte, pénétrerait dans le sang et de là, dans les glandes salivaires. Il serait injecté dans la plante saine avec la salive secrétée au moment où l'insecte se nourrit.

On a montré que certains virus à longue période de latence étaient susceptible de se multiplier dans le corps de l'insecte. Les virus persistants sont surtout prédominants dans le phloème. Ils ne sont pas transmis par inoculation mécanique de jus infecté, à de rares exceptions près (virus de la Marbrure du Tabac, virus de la Rosette de l'Arachide). Il est possible d'injecter du matériel virosé à des insectes sains, les rendant ainsi infectieux à l'égard des plantes. De même il est possible d'isoler le virus à partir de l'insecte.

Les virus peuvent être transmis par tous les stades de la vie de l'insecte : par les adultes, par les différents stades larvaires, mais cela est fonction de leur mobilité, et même par les oeufs (soit dans les oeufs, soit sur les oeufs), comme pour les virus du nanisme, du hoja blanca et du stripe du Riz.

- 1 - 2 - Les insectes broyeurs

En ce qui concerne la transmission des virus par insectes à organe buccaux broyeurs, on considère généralement

qu'il s'agit d'un phénomène strictement mécanique.

L'inoculation de plantes saines de Tabac avec le virus de la Mosaïque et des Taches annulaires du Tabac peut être effectué par une espèce d'Acrididae, *Melanoplus differentialis*, au même titre que le transfert à partir d'un couteau. Le succès de la transmission de ce virus par ces insectes semble procéder d'une regurgitation. Durant la période de nutrition sur le végétal, le liquide regurgité contenant le virus est mis en contact avec la feuille et l'infection a lieu.

- 1 - 3 - Principaux groupes d'Arthropodes vecteurs

Classe : Insecta

- Ordre Saltatoria			
- famille Tettigoniidae	: Lesptophyes punctatissima	:	Turnip Yellow mosaic
- famille Acrididae	: Locuste migratoria	:	idem
- Ordre Dermoptère			
- famille Forficulidae	: Forficule auricularia	:	idem
- Ordre Thysanoptère			
- famille Thripidae	: Thrips tabaci	:	Tobacco ring-spot
- Ordre Coleoptère			
- famille Coccinellidae	: Epilochna	:	Squash mosaic
- famille Chrysomelidae	: Cerotome ruficornis	:	Cowpee mosaic
- Ordre Lepidoptère			
- famille Noctuidae	: Boratara brassicae	:	Tobacco mosaic
- famille Pieridae	: Pieris brassicae	:	Turnip yellow mosaic
- Ordre Heteroptère			
- famille Cepsidae	: Lygus pratensis	:	Potato spindle tuber
- Ordre Homoptère - <u>Auchenorrhyncha</u>			
- famille Jassidae	: Empoasca fabae	:	Papaw bunchy top
<u>Sternorrhyncha</u>			
- famille Psyllidae	: Psylla pyricola	:	Peer decline
- famille Aleurodidae	: Bemisia Tabaci	:	Abutilon infectious variegation
- famille Aphididae	: Aphis craccivora	:	Groundnut Rosette virus
- famille Pseudococcidae	: Pseudococcus citri	:	Cacao swollen shoot

Classe = Arachnida

- Ordre Acarina

- famille Tetranychidae : Tetranychidae telarius L. : Potato Y.
- famille Eriophyidae : Aceria tulipae : Wheat streak Mosaic

- 2 - Les Nématodes

Parmi les nématodes vivent aux dépens des racines des plantes, les uns pénètrent à l'intérieur des tissus, les autres mènent constamment une vie libre dans le sol en se nourrissant à la surface des racines, dont ils piquent les tissus par leur stylet buccal.

Les nématodes vecteurs de virus actuellement connus appartiennent seulement à ce groupe de nématodes libres ectoparasites. Ce sont tous des animaux de taille relativement grande, visibles à l'oeil nu, puisqu'ils atteignent au stade adulte de 1 à 5 mm de long, selon les espèces. Tous possèdent un très fort stylet buccal en forme de poignard.

La biologie de ces parasites est très mal connue. Ils sont pour la plupart localisés dans la zone de sol située à 30, 60 cm et jusqu'à 1,40 m. Ils sont extrêmement fragiles, hormis les kystes. Les kystes peuvent résister à une très forte dessiccation et survivre plusieurs mois, voire plusieurs années.

- Classe Nematoda

- ordre : Tylenchida

Famille Criconematidae: Criconemoides teres: Peach rosette mosaic

- ordre : Dorylaimida

Famille Dorylaimidae : Xiphinema diversicaudatum: Arabis mosaic
Longidorus elongatus : Tomato black ring

Famille Diphtersphoridae: Trichodorus pachydermus : Potato stem nottle

- 3 - Les Champignons

Autres vecteurs du sol, les champignons peuvent également transmettre des virus. Responsables de maladies à virus de

grande importance économique, leur distribution géographique est très vaste. Les relations virus-hôtes sont encore malconnues. L'acquisition du virus a lieu au stade zoopores juste avant la pénétration dans la plante.

Actuellement 4 genres ont été répertoriés; ils appartiennent à deux ordres :

- | | | |
|---------------------------|--------------------------|------------------|
| - ordre Chytridiales | : Olpidium brassicae | : Tobacco stunt |
| | Synchytrium endobioticum | : Potato X |
| - ordre Plasmodiophorales | : Polymyxa graminis | : Wheat mosaic |
| | Spongospora subterranea | : Potato mop top |

- 4 - Autres modes de transmission

a - Organes de la multiplication végétative :

Les maladies à virus sont connues depuis très longtemps chez les variétés-clones; cela n'a rien d'étonnant puisque tous les virus sont transmissibles par les organes de la multiplication végétative : tubercules, bulbes, rhizomes, greffes, boutures. Cependant il peut arriver que ces organes, ou certaines de leurs parties, échappent à l'infection parasitaire; il semble ainsi que des tubercules de pomme de terre récoltés avant leur pleine maturité puissent être exempts de certaines viroses.

On peut admettre que la transmission d'un virus d'un hôte à un autre par l'intermédiaire de Cuscutes s'apparente à la transmission par greffage.

Expérimentalement les cuscutes, sortes de greffes naturelles, ainsi que divers systèmes de greffage, seront utilisés pour infecter des plantes avec des types de virus non transmissibles ou difficilement transmissibles par d'autres moyens.

b - Semences :

Parmi les nombreux virus phytopathogènes connus, moins de cinquante sont susceptibles d'être transmis

par les semences; parmi ceux-là nous retiendrons : certaines souches du virus de la jaunisse de la betterave (semences de betteraves), le virus de la mosaïque du houblon (semences de houblon), le virus de la mosaïque de la laitue (semences de laitue); encore faut-il noter que, dans ce dernier cas, le pourcentage des semences infectées va présenter des différences considérables suivant les variétés, et même au sein d'une variété, suivant le stade auquel l'hôte a été infecté; les infections aux dépens d'hôtes jeunes ont pour résultat un nombre plus important de transmissions par semences.

Il faut ajouter que, pour un même virus, la transmission pourra être possible par les semences de certains de ses hôtes seulement : le VMT est transmissible par la semence de tomate mais non par celle de tabac; le virus de la maladie bronzée de la tomate est transmissible par la semence de fève mais non par celle de tomate, etc...

On a cherché à savoir pourquoi les virus étaient généralement absents dans les embryons. D'après CROWLEY (1958) l'isolement anatomique de ce tissu, non relié aux tissus voisins par des plasmodesmes, en serait la raison; cependant CALDWELL, citant des travaux de MERRETT (1962), estime que la rareté des virus dans les embryons serait due à une disponibilité insuffisante au niveau de ces tissus d'adénosine-triphosphate et d'autres matériaux de forte énergie.

c - Pollen :

Ce mode de transmission semble très rare; WAY (1959) lui attribue cependant une grande responsabilité dans l'extension d'une virose du cerisier (Nécrotic Ring Spot); la striure de l'orge peut se transmettre occasionnellement de cette manière.

d - Contact (voie mécanique)

Cette transmission est réalisée entre organes de plantes voisines ou par le contact de terre, d'outils,

d'animaux qui portent les virus, avec des plantes. Ces contacts provoquent en même temps des blessures qui permettent la pénétration du virus dans l'hôte. Des blessures très fines suffisent, telles que les éraflures produites expérimentalement, dans les essais d'inoculation, après frottement des organes à l'aide d'une poudre abrasive,

Dans la nature la transmission par voie mécanique peut se faire dans les cultures au-dessus du sol : heurts provoqués par le vent entre organes aériens de plantes voisines (viroses de la pomme de terre); projection par le vent, sur les organes inférieurs des plantes, de fines particules de terre ou de débris végétaux contenant des virus (VMT); animaux sauvages ou domestiques qui parcourent les récoltes; vêtements des ouvriers, outils divers, tracteurs sont responsables de nombreuses disséminations de viroses dans les cultures de pomme de terre; les couteaux utilisés pour couper les tubercules ou les fleurs, les doigts des ouvriers, lors des pincements du tabac par exemple, sont autant de moyens de dissémination, par voie mécanique, des virus. Les emballages peuvent également jouer un rôle : sacs de pommes de terre en contact avec les germes et qui transmettent le virus X.

La transmission naturelle par contact (ou voie mécanique) semble également pouvoir se faire dans le sol; ce mode de transmission est encore peu étudié mais son existence a été démontrée entre racines de pommes de terre au contact qui peuvent se transmettre ainsi des viroses.

N.B. La transmission par contact (ou voie mécanique)

s'applique surtout aux virus qui existent en fortes concentrations dans les plantes malades; exemples : VMT, virus X de la pomme de terre. Certains virus ne sont pas transmissibles par cette voie; exemples : Bigarrure de l'orge, Rabougrissement épidémique du maïs, Enroulement de la pomme de terre...

V LES METHODES DE LUTTE

- 1 - Méthodes curatives :

Le but de ces méthodes est de guérir les plantes malades ou au moins de faire disparaître l'agent pathogène de certains de leurs organes, en particulier des organes qui sont utilisés pour la multiplication végétative des variétés-clones.

5 types de méthodes sont à retenir :

- 1 - 1 - Méthodes physiques :

a - Thermothérapie :

Ce traitement curatif fait intervenir la chaleur. KASSANIS (1957) et ROLAND (1957) le recommandent tout particulièrement pour régénérer des variétés-clones entièrement atteintes; le traitement par la chaleur de leurs organes de multiplication végétative pourra donner des plantes saines utilisées pour la sélection ou directement en culture.

Cependant cette méthode n'est concevable que pour lutter contre des virus dont la température d'inactivation est assez basse (aux environs de 35°), ce qui semble être le cas pour des virus sphériques et quelques virus en bâtonnets ou filiformes. De bons résultats ont été obtenus en exposant les plantes virosées, ou plus souvent leurs organes de la multiplication végétative, à l'air chaud (37°), en présence d'une forte humidité atmosphérique, pendant 8 à 30 jours; on a ainsi guéri des pommes de terre de l'Enroulement, des framboisiers et fraisiers de viroses importantes des pêcheurs atteints de jaunisse, du tabac atteint de "Ring Spot".

On peut également procéder par trempage dans l'eau chaude : boutures de canne à sucre guéries de certaines viroses après trempage dans de l'eau à $50-55^{\circ}$ pendant 8 à 30 minutes.

Mais comme l'a souligné YARWOOD (1956), le traitement par la chaleur peut accroître la sensibilité de certains hôtes vis à vis de nombreuses maladies; exemple : le haricot anthracnose et rouille.

Enfin, il faut préciser qu'un petit nombre de virus phytopathogènes auront un point d'inactivation thermique suffisamment bas pour permettre l'application de la thermothérapie; de nombreux virus en bâtonnets, tels que le VMT garderont leur activité in-vitro jusqu'à 90°; ils connaissent cependant au cours des premières minutes de l'infection parasitaire une période critique qui les rend sensibles à des températures de 38 à 40°; à ce moment de effet l'ARN viral est dépouillé de son enveloppe protectrice de protéine. On voit mal d'ailleurs quelle application pratique pourrait être retirée de cette observation dans les cas de contaminations naturelles dont le moment est difficile à préciser.

b - Lumière, radiations :

Nous avons vu précédemment qu'une exposition à une lumière de forte intensité a souvent pour résultat de masquer les symptômes de certaines viroses du type mosaïque, mais il ne s'agit pas là d'une guérison, la plante demeure infectée.

Expérimentalement on a pu constater que l'application de rayons ultra-violet, au cours des quelques minutes qui suivent une inoculation, pouvait amener la destruction des virus qui, pour les raisons soulignées plus haut, connaissent à ce moment un stade critique; mais, là encore, les applications pratiques ne sont guère concevables, d'autant plus que ces radiations risquent d'endommager les hôtes et voient leur action neutralisée par les radiations visibles.

- 1 - 2 - Méthodes chimiques : (chimiothérapie)

a - Analogues de constituants de l'ARN :

De bons résultats ont été obtenus contre certains virus phytopathogènes en traitant les plantes malades par des analogues de constituants de l'ARN. Ces composés s'incorporent à l'ARN viral et bloquent son pouvoir pathogène ainsi que les possibilités de multiplication

de la particule virale, comme l'ont démontré les travaux sur le mécanisme d'action du 2 - thiouracile (2 TU) particulièrement étudié par FRANCKI (1960-61) et sur celui de la 8 - azaguanine examiné par LINDNER et al. (1960). Les deux composés cités inhibent le développement de nombreuses viroses dont la mosaïque du tabac.

Des travaux récents avec la 6 - méthyl-purine (KURTZMAN et al., 1960) ont montré qu'à certaines doses ce composé provoquait au moins un retard dans l'apparition des symptômes sur les plantes traitées, à la suite d'une inhibition de la multiplication du virus phytopathogène.

b - Ribonucléase :

DIENER (1959) a obtenu une inhibition de l'infection des cotylédons de concombre inoculés avec le virus "Ring Spot" lorsqu'au jus infectieux était ajoutée de la ribonucléase pancréatique. Le mode d'action de cette enzyme s'explique bien puisque son substrat (ARN) se trouve sans protection dans les premières minutes de l'infection parasitaire; cependant, comme c'était déjà le cas pour l'application des rayons UV, cette constatation a un intérêt seulement théorique.

c - Produits divers :

On connaît depuis quelques années l'efficacité relative de produits tels que l'urée, la quinquhydrone, le sulfate de zinc ou le vert-malachite contre certains virus. BRAUN et KRADOLFER (1961) ont constaté également l'activité du sulfate d'hydrazine, de la benzoquinone... sur le pouvoir infectieux du VMT ou du virus X de la pomme de terre.

Enfin HARE (1959), puis HAGBORG (1960), ont constaté que du petit lait, appliqué en pulvérisations sur les plantes virosées diminue les effets des parasites, en particulier sur Orges atroces de striure. (mode d'action ?)

d - Substances de croissance :

Divers travaux ayant laissé entrevoir une possibilité d'antagonisme entre substances de croissance et virus phyto-

pathogènes, de nombreux essais ont été faits avec ces composés.

LIMASSET (1958) a constaté l'effet inhibiteur d'acides phénoxyacétiques sur les virus X et Y de la pomme de terre. BHATT (1958) a obtenu avec certaines concentrations d'acide naphtylacétique (ANA) d'excellents résultats contre le Streak de la tomate. MARAMOROSCH (1957), après applications de gibbérellins, constate la neutralisation de symptômes de nanisme provoqués par divers virus.

e - Substances antibiotiques : (méthodes biologiques)

GRAM (1957) a isolé, à partir d'une culture de Streptomyces, une substance antibiotique et antivirale qu'il a appelé cytovirine; cette substance se révèle efficace contre la mosaïque du tabac et la maladie bronzée de la tomate, cependant WITTMANN (1958) et SIMONS (1960) soulignent les graves dangers de phytotoxicité présentés par cette substance.

Enfin d'après HIRAI (1960), certains antibiotiques apparentés à l'actidione pourraient avoir une action inhibitrice sur le VMT en bloquant, au début de l'infection parasitaire, la désintégration de la particule virale qui semble, avec la libération de son ARN, indispensable à toute synthèse ultérieure de nouveaux virus.

- 1 - 3 - Cultures de méristèmes (méthodes biologiques) et utilisation d'embryons adventifs : (= tissus sans virus)

Ces méthodes, basées sur l'absence, ou l'extrême rareté, des virus dans les méristèmes et dans les embryons, permettent la régénération de certaines variétés-clones.

a - Culture de méristèmes :

MOPEL et MARTIN (1955) ont mis au point cette méthode qui a été reprise en Grande-Bretagne par KASSANIS (1957) et en Hollande par QUAK (1957).

Après prélèvement sur une variété clone virosée, un fragment de méristème est cultivé dans une solution de KNOP modifiée; la plantule obtenue est greffée sur une plante saine issue de semis; après développement suffisant du greffon,

des boutures sont prélevées et cultivées en serre. C'est ainsi qu'ont été obtenues des régénérations de variétés de pommes de terre et de dahlias (culture de méristèmes + substances de croissance, pour mieux isoler les méristèmes prélevés des autres tissus virosés) et de variétés d'oeillets (cultures de méristèmes + chaleur, pour écarter toute possibilité de conservation du virus).

b - Utilisation d'embryons adventifs :

La formation d'embryons adventifs (ou nucellaires), qui ont totalement échappé à la fécondation, est une forme de multiplication asexuée; l'absence ou la rareté des virus dans les tissus embryonnaires a amené WRATHERS (1959) à utiliser ces embryons-organs de la multiplication végétative pour régénérer certains porte-greffes de Citrus.

- 2 Méthodes préventives :

Le but de ces méthodes est d'empêcher l'infection virale :

- 2 - 1 - Emploi de variétés résistantes et tolérantes :

Certains hybrides, résultats de croisements entre *Solanum tuberosum* et *Solanum* sauvages, se révèlent résistants vis à vis de l'écroulement et des virus A, X et Y de la pomme de terre; la résistance totale (sans début d'infection) serait contrôlée par un gène dominant et la résistance par hypersensibilité par 2 gènes dominants (ROSS, 1958).

- 2 - 2 - Prémunité :

La "prémunité" ou "protection croisée" a été observée entre diverses souches de certains types de virus.

Une "vaccination" avec une souche faible de VMT ou de virus de la jaunisse protégera respectivement la tomate et les Asters vis à vis d'attaques ultérieures par des souches plus actives des mêmes types de virus. Cependant cette méthode de lutte, qui a surtout un intérêt théorique, peut présenter un grave danger qui annule l'action synergique éventuelle (avec production de symptômes graves) du virus faible inoculé avec un virus d'un autre type qui pourrait attaquer la plante traitée.

- 2 - 3 - Sélection généalogique :

Cette méthode est largement employée sur pommes de terre et sur fraisiers (voir : Etude de ces viroses); elle consiste à isoler des têtes de familles rigoureusement saines : état sanitaire vérifié par la méthode sérologique (pomme de terre) ou garanti par la thermothérapie (fraisier); les têtes de familles donneront des cultures qui seront isolées le plus possible et suivies pendant 4 à 5 ans, au cours desquels tout pied malade sera impitoyablement arraché et détruit.

- 2 - 4 - Lutte contre les animaux vecteurs :

La plupart des maladies à virus sont disséminées par des animaux; la destruction des vecteurs semble donc à priori une méthode de lutte très intéressante contre les viroses. Il apparaît cependant que les traitements insecticides et acaricides ne seront efficaces qu'à certains moments précis : stades de développement des plantes traitées, périodes d'activité des vecteurs; les nouveaux insecticides systémiques qui peuvent persister assez longtemps dans les plantes traitées, ont cependant permis d'obtenir des résultats, en particulier contre les virus persistants tels que celui de l'Enroulement de la pomme de terre.

DD = trichloropropane - dichloropropane contre Nématodes

La mise en évidence récente de la responsabilité de nématodes, dans la dissémination de certains virus, amène à conseiller pour lutter contre ces agents des traitements nématocides de désinfection du sol (voir Dégénérescence infectieuse DD vigne), qui se révèlent efficaces mais qui sont très coûteux et d'application difficile.

- 2 - 5 - Méthodes culturales diverses :

a - Destruction de plantes spontanées :

Il faudra, dans toute la mesure du possible, supprimer dans la parcelle cultivée, et autour de cette parcelle, les hôtes possibles du virus que l'on redoute; il ne suffira pas de détruire les plantes à symptômes manifestes puisque

de nombreux hôtes peuvent abriter des virus occultes, sans aucune expression de symptômes.

b - Destruction des plantes malades et des débris de culture :

Pour diminuer les risques d'extension épidémique des viroses, les plantes malades et les débris de leur culture doivent être détruits sur place, le plus rapidement possible.

c - Dates de semis :

Des semis tardifs de betteraves permettront, par exemple, d'éviter la grande époque de vol des pucerons vecteurs.

d - Isolement géographique des cultures sélectionnées :

Les cultures destinées à la production de plants sélectionnés (pomme de terre, par exemple) devront être faites dans des régions éloignées des zones de cultures principales et défavorables au vol des pucerons en raison du vent ou du froid qui y règnent: régions côtières, montagnes.

e - Isolement des cultures porte-graines :

Cette méthode se révèle particulièrement utile dans la lutte contre certaines viroses de plantes bisannuelles : chou-fleur ou betterave par exemple. Les cultures porte-graines de betteraves étaient autrefois pratiquées au voisinage immédiat des cultures-racines ce qui permettait au virus de passer l'hiver sur les plantes porte-graines à partir desquelles les pucerons infectaient les jeunes betteraves au printemps suivant; c'est pourquoi les cultures porte-graines de betteraves pour le Bassin parisien se pratiquent maintenant à l'écart, dans le Perche.

Les mêmes précautions d'isolement des porte-graines sont également recommandées dans la lutte contre la mosaïque du chou-fleur qui s'est révélée une maladie grave dans notre région au cours des dernières années.

VI CLASSIFICATION ET DENOMINATION DES VIRUS

Les virus phytopathogènes ne peuvent pas être classés parmi les êtres vivants. Cependant ces macromolécules pourraient dériver, à la suite d'une longue régression due au parasitisme; des Rickettsiales, bactéries qui semblent adaptées à la multiplication intracellulaire.

HOLMES (1939) classe les virus dans l'ordre des Virales, qui, pour lui, comprend 3 sous-ordres :

- I - Zoophagins = virus zoopathogènes
- II - Phytophagins : virus phytopathogènes
- III - Phagins : bactériophages.

Les Phytophagins eux-mêmes comprendraient des familles qui regrouperaient les virus par types de symptômes provoqués : chloroses, mosaïques, taches annulaires, etc...

Le système d'HOLMES désigne enfin chaque type de virus, à la manière d'espèces d'êtres vivants, par la nomenclature binaire; exemples :

Marmor tabaci = VMT

Corium solani = virus de l'Enroulement de la pomme de terre.

Cependant la plupart des Auteurs rejettent pour les virus la notion d'espèce et en même temps la nomenclature binaire de HOLMES, transposition de celle réservée aux êtres vivants.

En fait une grande anarchie a régné dans la dénomination des virus qui ont été désignés souvent par des lettres : virus A, X, Y de la pomme de terre,

ou bien par le nom générique de l'hôte principal suivi d'un numéro qui indique l'ordre chronologique de leur découverte, exemple :

Nicotiana virus 1 = VMT

Solanum virus 14 = virus de l'Enroulement de la pomme de terre.

ANNEXE

Liste des virus ayant été l'objet d'une fiche descriptive dans CMI/AAB, et classification morphologique.

CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses

INDEX (1970-1982)

Set 1 (June 1970)	— Nos 1- 20	Set 9 (October 1975)	— Nos 141-155
Set 2 (October 1970)	— Nos 21- 40	Set 10 (September 1976)	— Nos 156-170
Set 3 (June 1971)	— Nos 41- 60	Set 11 (September 1977)	— Nos 171-185
Set 4 (October 1971)	— Nos 61- 80	Set 12 (August 1978)	— Nos 186-200
Set 5 (June 1972)	— Nos 81- 95	Set 13 (July 1979)	— Nos 201-215
Set 6 (October 1972)	— Nos 96-110	Set 14 (September 1980)	— Nos 216-230
Set 7 (July 1973)	— Nos 111-125	Set 15 (July 1981)	— Nos 231-245
Set 8 (July 1974)	— Nos 126-140	Set 16 (July 1982)	— Nos 246-260

<i>Virus</i>	<i>Description</i>	<i>Virus</i>	<i>Description</i>
Agropyron mosaic	118	Carnation etched ring	182
Alfalfa latent	211	Carnation latent	61
Alfalfa mosaic	46; 229	Carnation mottle	7
Andean potato mottle	203	Carnation necrotic fleck	136
Apple chlorotic leaf spot	30	Carnation ringspot	21
Apple mosaic	83	Carnation vein mottle	78
Apple stem grooving	31	Carrot mottle	137
Apple (Tulare) mosaic	42	Carrot red leaf	249
Arabis mosaic	16	Carrot thin leaf	218
Arracacha A	216	Cassava common mosaic	90
Artichoke Italian latent	176	Cauliflower mosaic	24; 243
Avocado sun-blotch viroid	254	Celery mosaic	50
Barley stripe mosaic	68	Cereal chlorotic mottle	251
Barley yellow dwarf	32	Cherry leaf roll	80
Barley yellow mosaic	143	Cherry rasp leaf	159
Bean common mosaic	73	Chicory yellow mottle	132
Bean golden mosaic	192	Chloris striate mosaic	221
Bean mild mosaic	231	Chrysanthemum B	110
Bean pod mottle	108	Citrus exocortis viroid	226
Bean rugose mosaic	246	Citrus leaf rugose	164
Bean (southern) mosaic	57	Citrus tristeza	33
Bean yellow mosaic	40	Clitoria yellow vein	171
Bearded iris mosaic	147	Closterovirus group	260
Beet curly top	210	Clover yellow mosaic	111
Beet mosaic	53	Clover yellow vein	131
Beet necrotic yellow vein	144	Cocksfoot mild mosaic	107
Beet western yellows	89	Cocksfoot mottle	23
Beet yellows	13	Cocksfoot streak	59
Beet yellow stunt	207	Comovirus group	199
Belladonna mottle	52	Cowpea aphid-borne mosaic	134
Bidens mottle	161	Cowpea chlorotic mottle	49
Blackgram mottle	237	Cowpea mild mottle	140
Black raspberry latent	106	Cowpea mosaic	47; 197
Blueberry shoestring	204	Cowpea mottle	212
Broad bean mottle	101	Cowpea severe mosaic	209
Broad bean necrosis	223	Cucumber green mottle mosaic	154
Broad bean stain	29	Cucumber mosaic	1; 213
Broad bean true mosaic	20	Cucumber necrosis	82
Broad bean wilt	81	Cymbidium mosaic	27
Broccoli necrotic yellows	85	Cymbidium ringspot	178
Brome mosaic	3; 180	Dahlia mosaic	51
Bromovirus group	215	Daphne X	195
Cacao necrosis	173	Dasheen mosaic	191
Cacao swollen shoot	10	Desmodium yellow mottle	168
Cacao yellow mosaic	11	Echtes Ackerbohnenmosaik	20
Cactus X	58	Eggplant mosaic	124
Carlavirus group	259	Eggplant mottled dwarf	115

<i>Virus</i>	<i>Description</i>
Elderberry latent	127
Elm mottle	139
Erysimum latent	222
Frangipani mosaic	196
Galinsoga mosaic	252
Grapevine Bulgarian latent	186
Grapevine chrome mosaic	103
Grapevine fanleaf	28
Guinea grass mosaic	190
Henbane mosaic	95
Heracleum latent	228
Hibiscus chlorotic ringspot	227
Hibiscus latent ringspot	233
Hippeastrum mosaic	117
Hop mosaic	241
Hydrangea ringspot	114
Iris mild mosaic	116
Kennedya yellow mosaic	193
Leek yellow stripe	240
Lettuce mosaic	9
Lettuce necrotic yellows	26
Lilac chlorotic leafspot	202
Lilac ring mottle	201
Lily symptomless	96
Lucerne Australian latent	225
Lucerne transient streak	224
Maclura mosaic	239
Maize chlorotic dwarf	194
Maize mosaic	94
Maize rayado fino	220
Maize rough dwarf	72
Maize streak	133
Melandrium yellow fleck	236
Mulberry ringspot	142
Myrobalan latent ringspot	160
Narcissus latent	170
Narcissus mosaic	45
Narcissus tip necrosis	166
Narcissus yellow stripe	76
Nepovirus group	185
Nicotiana velutina mosaic	189
Oat blue dwarf	123
Oat mosaic	145
Oat necrotic mottle	169
Oat sterile dwarf	217
Odontoglossum ringspot	155
Okra mosaic	128
Onion yellow dwarf	158
Orchid fleck	183
Pangola stunt	175
Panicum mosaic	177
Papaya mosaic	56
Papaya ringspot	84
Parsnip mosaic	91
Parsnip yellow fleck	129
Passionfruit woodiness	122
Pea early-browning	120
Pea enation mosaic	25; 257
Pea seed-borne mosaic	146
Pea streak	112

<i>Virus</i>	<i>Description</i>
Peach rosette mosaic	150
Peanut clump	235
Peanut mottle	141
Peanut stunt	92
Pelargonium flower-break	130
Pepper mottle	253
Pepper veinal mottle	104
Peru tomato	255
Plant rhabdovirus group	244
Plum pox	70
Pokeweed mosaic	97
Poplar mosaic	75
Potato A	54
Potato aucuba mosaic	98
Potato black ringspot	206
Potato leafroll	36
Potato M	87
Potato mop-top	138
Potato S	60
Potato spindle tuber	66
Potato T	187
Potato X	4
Potato Y	37; 242
Potato yellow dwarf	35
Potexvirus group	200
Potyvirus group	245
Prune dwarf	19
Prunus necrotic ringspot	5
Quail pea mosaic	238
Radish mosaic	121
Raspberry bushy dwarf	165
Raspberry ringspot	6; 198
Raspberry vein chlorosis	174
Red clover mottle	74
Red clover necrotic mosaic	181
Red clover vein mosaic	22
Rhabdovirus (plant) group	244
Ribgrass mosaic	152
Rice black-streaked dwarf	135
Rice dwarf	102
Rice necrosis mosaic	172
Rice ragged stunt	248
Rice transitory yellowing	100
Rice tungro	67
Rice yellow mottle	149
Robinia mosaic	65
Rubus yellow net	188
Ryegrass mosaic	86
Saguaro cactus	148
Satellite	15
Satsuma dwarf	208
Scrophularia mottle	113
Shallot latent	250
Sonchus yellow net	205
Southern bean mosaic	57
Sowbane mosaic	64
Sowthistle yellow vein	62
Soybean dwarf	179
Soybean mosaic	93
Squash mosaic	43

<i>Virus</i>	<i>Description</i>	<i>Virus</i>	<i>Description</i>
Strawberry crinkle	163	Tomato (Peru)	255
Strawberry latent ringspot	126	Tomato ringspot	18
Strawberry vein banding	219	Tomato spotted wilt	39
Sugarcane Fiji disease	119	Tulare apple mosaic	42
Sugarcane mosaic	88	Tulip breaking	71
Sunn-hemp mosaic	153	Turnip crinkle	109
Sweet potato mild mottle	162	Turnip mosaic	8
Tephrosia symptomless	256	Turnip rosette	125
Tobacco etch	55; 258	Turnip yellow mosaic	2; 230
Tobacco leaf curl	232	Tymovirus group	214
Tobacco mosaic (type strain)	151	Viola mottle	247
Tobacco necrosis	14	Watermelon mosaic	63
Tobacco necrotic dwarf	234	Wheat (American) striate mosaic	99
Tobacco rattle	12	Wheat (soil-borne) mosaic	77
Tobacco ringspot	17	Wheat spindle streak mosaic	167
Tobacco streak	44	Wheat streak mosaic	48
Tobamovirus group	184	Wheat yellow leaf	157
Tomato aspermy	79	White clover mosaic	41
Tomato black ring	38	Wild cucumber mosaic	105
Tomato bushy stunt	69	Wound tumor	34
Tomato mosaic	156		

Affinities of Viruses in Descriptions 1-260

Viruses with rod-shaped or filamentous particles

Apple stem grooving virus group*

Apple stem grooving (31)†, potato T (187).

Barley yellow mosaic virus group*

Barley yellow mosaic (143), oat mosaic (145), rice necrosis mosaic (172), wheat spindle streak mosaic (167).

Carlaviruses (*potato virus S* group)

Group description (259), alfalfa latent (211), carnation latent (61), chrysanthemum B (110), cowpea mild mottle (140), hop mosaic (241), lily symptomless (96), narcissus latent (170), pea streak (112), poplar mosaic (75), potato M (87), potato S (60), red clover vein mosaic (22), shallot latent (250).

Closteroviruses (*beet yellows virus* group)

Group description (260), ? apple chlorotic leaf spot (30), beet yellows (13), beet yellow stunt (207), carnation necrotic fleck (136), citrus tristeza (33), ? heracleum latent (228), lilac chlorotic leafspot (202), wheat yellow leaf (157).

Hordeiviruses

Barley stripe mosaic (68).

Potexviruses (*potato virus X* group)

Group description (200), cactus X (58), cassava common mosaic (90), clover yellow mosaic (111), cymodidium mosaic (27), daphne X (195), hydrangea ringspot (114), narcissus mosaic (45), papaya mosaic (56), ? potato aucuba mosaic (98), potato X (4), viola mottle (247), white clover mosaic (41).

Potymoviruses (*potato virus Y* group)

Group description (245), bean common mosaic (73), bean yellow mosaic (40), bearded iris mosaic (147), beet mosaic (53), bidens mottle (161), carnation vein mottle (78), carrot thin leaf (218), celery mosaic (50), clover yellow vein (131), cocksfoot streak (59), cowpea aphid-borne mosaic (134),

* Editors' provisional grouping not yet considered by the International Committee on Taxonomy of Viruses.

† Description number.

dasheen mosaic (191), Guinea grass mosaic (190), henbane mosaic (95), hippeastrum mosaic (117), iris mild mosaic (116), leek yellow stripe (240), lettuce mosaic (9), ? maclura mosaic (239), narcissus yellow stripe (76), onion yellow dwarf (158), papaya ringspot (84), parsnip mosaic (91), passionfruit woodiness (122), pea seed-borne mosaic (146), peanut mottle (141), pepper mottle (253), pepper veinal mottle (104), Peru tomato (255), plum pox (70), pokeweed mosaic (97), potato A (54), potato Y (37; 242), soybean mosaic (93), sugarcane mosaic (88), tobacco etch (55; 258), tulip breaking (71), turnip mosaic (8), watermelon mosaic (63).

Tobamoviruses (*tobacco mosaic virus group*)

Group description (184), ? beet necrotic yellow vein (144), ? broad bean necrosis (223), cucumber green mottle mosaic (154), frangipani mosaic (196), ? nicotiana velutina mosaic (189), odontoglossum ringspot (155), ? peanut clump (235), ? potato mop-top (138), ribgrass mosaic (152), sunn-hemp mosaic (153), tobacco mosaic (type strain) (151), tomato mosaic (156), ? wheat (soil-borne) mosaic (77).

Tobraviruses (*tobacco rattle virus group*)

Pea early-browning (120), tobacco rattle (12).

Wheat streak mosaic virus group*

Agropyron mosaic (118), oat necrotic mottle (169), ryegrass mosaic (86), wheat streak mosaic (48).

Others

Sweet potato mild mottle (162).

Viruses with isometric particles

Bromoviruses (*brome mosaic virus group*)

Group description (215), broad bean mottle (101), brome mosaic (3; 180), cowpea chlorotic mottle (49), melandrium yellow fleck (236).

Caulimoviruses (*cauliflower mosaic virus group*)

Carnation etched ring (182), cauliflower mosaic (24; 243), dahlia mosaic (51), strawberry vein banding (219).

Cocksfoot mild mosaic virus group*

Cocksfoot mild mosaic (107), panicum mosaic (177).

Cornoviruses (*cowpea mosaic virus group*)

Group description (194), Andean potato mottle (203), bean pod mottle (108), bean rugose mosaic (246), broad bean stain (29), cowpea mosaic (47; 197), cowpea severe mosaic (209), echtes Ackerbohnenmosaik (20), quail pea mosaic (238), radish mosaic (121), red clover mottle (74), squash mosaic (43).

Cucumoviruses (*cucumber mosaic virus group*)

Cucumber mosaic (1; 213), peanut stunt (92), robinia mosaic (65), tomato aspermy (79).

Dianthoviruses (*carnation ringspot virus group*)

Carnation ringspot (21), red clover necrotic mosaic (181).

Geminiviruses (*maize streak virus group*)

Bean golden mosaic (192), ? beet curly top (210), chloris striate mosaic (221), maize streak (133), tobacco leaf curl (232).

Harviruses (*prunus necrotic ringspot virus group*)

Apple mosaic (83), black raspberry latent (106), citrus leaf rugose (164), elm mottle (139), lilac ring mottle (201), prune dwarf (19), prunus necrotic ringspot (5), tobacco streak (44), Tulare apple mosaic (42).

Luteoviruses (*barley yellow dwarf virus group*)

Barley yellow dwarf (32), beet western yellows (89), carrot red leaf (249), potato leafroll (36), soybean dwarf (179), tobacco necrotic dwarf (234).

Maize chlorotic dwarf virus group *φ 20 nm*

Maize chlorotic dwarf (194), ? rice tungro (67).

Nepoviruses (tobacco ringspot virus group) *φ 28 nm*

Group description (185), arabis mosaic (16), arracacha A (216), artichoke Italian latent (176), cacao necrosis (173), cherry leaf roll (80), ? cherry rasp leaf (159), chicory yellow mottle (132), grapevine Bulgarian latent (186), grapevine chrome mosaic (103), grapevine fanleaf (28), hibiscus latent ringspot (233), lucerne Australian latent (225), mulberry ringspot (142), myrobalan latent ringspot (160), peach rosette mosaic (150), potato black ringspot (206), raspberry ringspot (6; 198), ? strawberry latent ringspot (126), tobacco ringspot (17), tomato black ring (38), tomato ringspot (18).

Oat blue dwarf virus group* *φ 28 nm*

Maize rayado fino (220), oat blue dwarf (123).

Pea enation mosaic virus group *φ 27 nm*

Pea enation mosaic (25; 257).

Plant reoviruses

A. Phyteoreoviruses (wound tumor virus group) *φ 70 nm*

Rice dwarf (102), wound tumor (34).

B. Fijiviruses (sugarcane Fiji disease virus group) *φ 65 nm*

Maize rough dwarf (72), oat sterile dwarf (217), pangola stunt (175), rice black-streaked dwarf (135), sugarcane Fiji disease (119).

C. Others

Rice ragged stunt (248). *φ 50 nm*

Sobemoviruses (southern bean mosaic virus group) *φ 74-78 nm*

Cocksfoot mottle (23), lucerne transient streak (224), rice yellow mottle (149), southern bean mosaic (57), sowbane mosaic (64), turnip rosette (125).

Tobacco necrosis virus group

Tobacco necrosis (14).

Tomato spotted wilt virus group *φ 90 nm pre member*

Tomato spotted wilt (39).

Tombusviruses (tomato bushy stunt virus group) *φ 31 nm*

Tomato bushy stunt (69). Possible members: carnation mottle (7), cymbidium ringspot (178), galin-soga mosaic (252), narcissus tip necrosis (166), pelargonium flower-break (130), saguaro cactus (148), tephrosia symptomless (256), turnip crinkle (109).

Tymoviruses (turnip yellow mosaic virus group) *φ 30 nm*

Group description (214), belladonna mottle (52), cacao yellow mosaic (11), clitoria yellow vein (171), desmodium yellow mottle (168), eggplant mosaic (124), erysimum latent (222), kennedya yellow mosaic (193), okra mosaic (128), scrophularia mottle (113), turnip yellow mosaic (2; 230), wild cucumber mosaic (105).

Others

Bean mild mosaic (231), blackgram mottle (237), blueberry shoestring (204), broad bean wilt (81), carrot mottle (137), cowpea mottle (212), cucumber necrosis (82), elderberry latent (127), hibiscus chlorotic ringspot (227), parsnip yellow fleck (129), raspberry bushy dwarf (165), satellite (15), satsuma dwarf (208).

Viruses with bacilliform particles

Alfalfa mosaic virus group *φ 28 nm*

Alfalfa mosaic (46; 229).

Plant rhabdoviruses

Group description (244). 1.5-4.5 μ m x 400-800 nm

Sub-group I

Broccoli necrotic yellows (85), lettuce necrotic yellows (26), raspberry vein chlorosis (174), strawberry crinkle (163), wheat (American) striate mosaic (99).

Sub-group II

Cereal chlorotic mottle (251), eggplant mottled dwarf (115), maize mosaic (94), ? orchid fleck (183), potato yellow dwarf (35), rice transitory yellowing (100), sonchus yellow net (205), sowthistle yellow vein (62).

Others

Cacao swollen shoot (10), rubus yellow net (188).

Viroids

Avocado sun-blotch (254), citrus exocortis (226), potato spindle tuber (66).

Plant rhabdoviruses

Group description (244). *4.5-5.5 µm*

Sub-group I

Broccoli necrotic yellows (85), lettuce necrotic yellows (26), raspberry vein chlorosis (174), strawberry crinkle (163), wheat (American) striate mosaic (99).

Sub-group II

Cereal chlorotic mottle (251), eggplant mottled dwarf (115), maize mosaic (94), ? orchid fleck (183), potato yellow dwarf (35), rice transitory yellowing (100), sonchus yellow net (205), sowthistle yellow vein (62).

Others

Cacao swollen shoot (10), rubus yellow net (188).

Viroids

Avocado sun-blotch (254), citrus exocortis (226), potato spindle tuber (66).

Bibliographie

- . Annals of Applied Biology , publ. the Association of Applied Biologists, distrib. the Biochemical Society Book Depot, P.O. Box n°32, Colchester, Essex, CO28HP, G.-B..
- . Advances in Virus Research, éd. Max A. Lauffer and K. Maramorosch, A.P.
- . Annual Review of Phytopathology , ed. Raymond G. GROGAN, A.R., USA.
- . Descriptions of Plant Viruses, CMI/AAB, Ferry Lane , Kew, Surrey, G.-B.
- . Les Maladies des Cultures Maraichères, C. M. MESSIAN et R. LAFON, 1970
Ed. I.N.R.A., rue de Grenelle, 75 Paris, France.
- . Phythopathologische Zeitschrift, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, D.
- . Phythopathology, The American Phytopathological Society, 3340 Pilot Knob road, St Paul, MN 55121, USA.
- . Plant Disease, ed. James G. Horsfall and Ellis B. Cowling, 1977, 4 tomes, Academic Press. USA
- . Review of Plant Pathology, Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey G.-B. .
- . The Atlas of Insect and Plant Viruses, ed. K. Maramorosch, vol 8 of Ultrastructure in Biological Systems, A.P., USA. 1977.