

Chapitre 4 : Les Virus phytopathogènes, et bases moléculaires de l'interaction

- Le mot virus est issu du latin virus, qui signifie « poison » ;
- Les virus sont des, microorganismes très simples constitués de matériel génétique entourés d'une paroi protectrice composées de protéines ;
- les virus sont des parasites obligatoires dotés d'un pouvoir infectieux et facultés génétiques

Définition

- Un virus de plantes = Phytovirus,
- C'est un parasite **obligatoire** de cellules vivantes d'une plante hôte.
- Ces organismes pathogènes sont multipliées par les cellules végétales contaminées.
- Ils provoquent généralement des perturbations métaboliques conduisant à l'expression des symptômes (maladies virales).

Définition

- L'infection d'un végétal par un phytovirus exige que ce dernier soit introduit dans une cellule vivante de l'hôte.

- Trois caractères fondamentaux des virus :
- 1/ les virus ne contiennent qu'un seul type d'acide nucléique (ADN ou ARN) qui constitue le génome viral
- 2/ les virus se reproduisent à partir de son seul matériel génétique et par réplication
- 3/ les virus sont doués de parasitisme intracellulaire absolu car leur multiplication implique l'utilisation des structure de la cellule hôte et spécialement les ribosomes

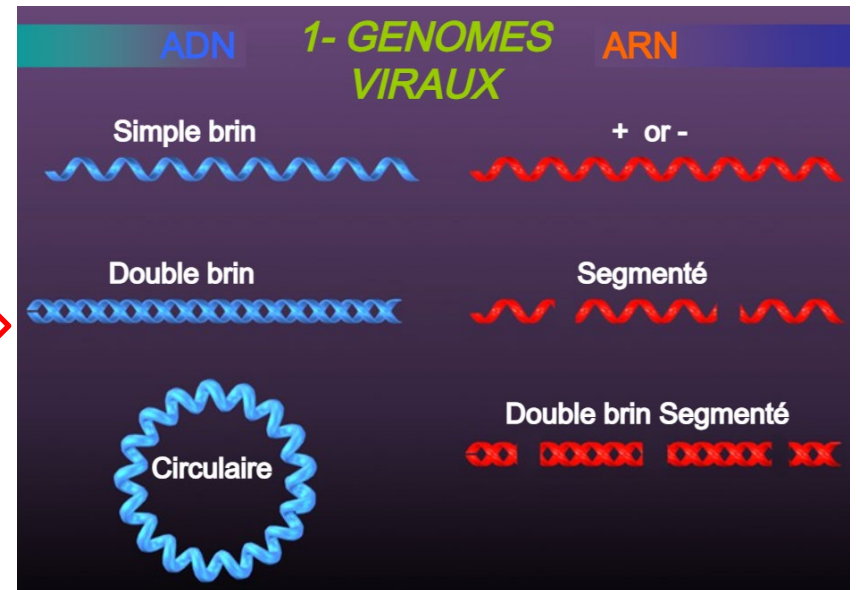
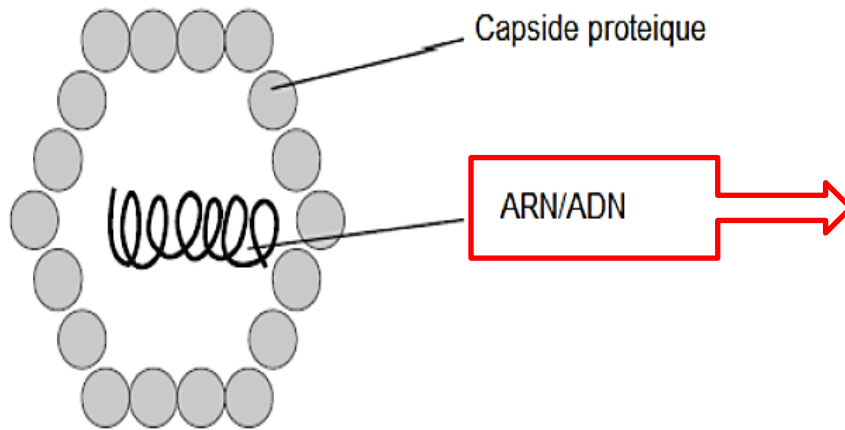
- **II- Structure de virus**

- Une particule virale complète, appelé virion, est composée d'un filament d'acide nucléique ARN ou ADN,
- généralement stabilisé par des nucléoprotéines basiques, enfermé dans une coque protéique protectrice appelée **capside**.
- La forme de la capsid est à la base des différentes morphologies des virus.

Structure des virus:

Les virus possèdent une structure se résumant à deux ou trois éléments, selon les virus

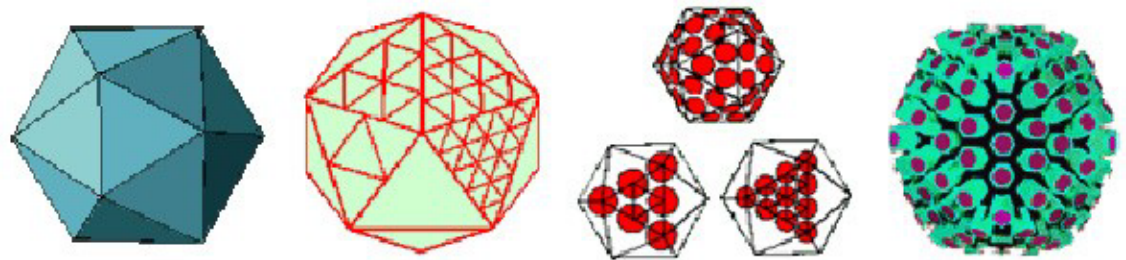
Structure virale très simple = nucléocapside



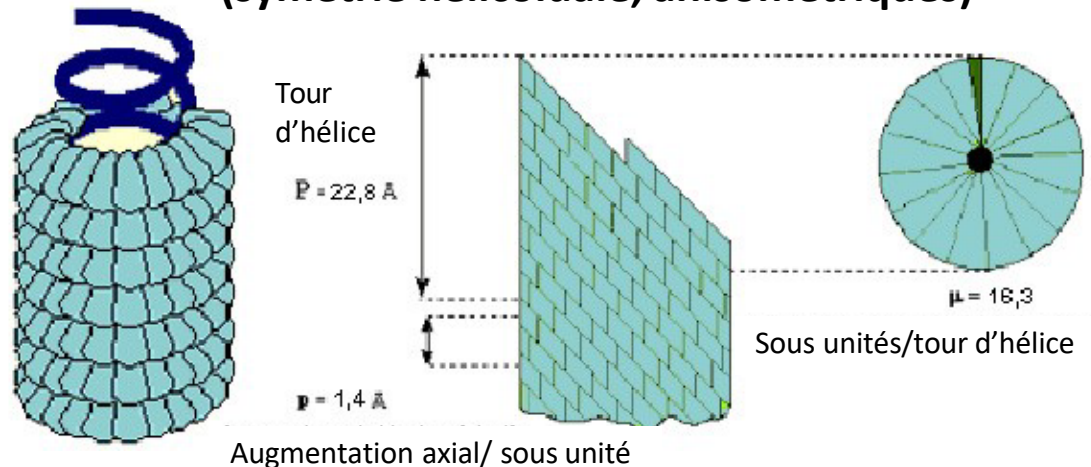
- La capside est une coque qui entoure et protège l'acide nucléique viral.
- Elle est constituée par l'assemblage de structures protéiques.
- La capside est constituée de sous-unités protéiques appelées protomères.
- L'ensemble capside et acide nucléique est nommé **nucléocapside**.
- La structure de la capside entraîne la forme du virus, ce qui permet de distinguer deux groupes principaux type de virus : les virus à **symétrie cubique** et les virus à **symétrie hélicoïdale**

- **La capside:** c'est une structure qui entoure le génome.
- Sa structure dépend de ses capsomères (hélicoïdales, icosaoédriques)

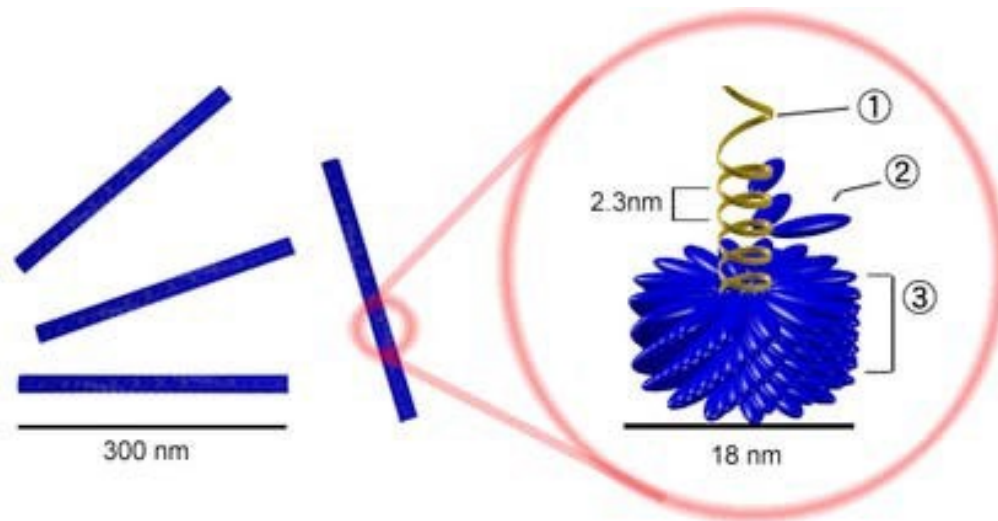
VIRUS SPHÉRIQUES (symétrie radial, isométriques)



VIRUS ALLONGÉS (symétrie hélicoïdale, anisométriques)



- Ils présentent un seul type de capsomère, n'ont pas de protéine de liaison spécifique



II- 1 Les acides nucléiques viraux

- Les acides nucléiques viraux sont infectieux ;chez les **virus des végétaux** ce sont généralement des ARN (exception faite pour les géminivirus ; et les caulimovirus), monocaténaire et de structure linéaire ; leurs poids moléculaires varient entre $0.4 \cdot 10^6$ D à $15.5 \cdot 10^6$ D ;

- l'acide nucléique peut se présenter :
- Soit sous forme d'un **brin unique** portant l'ensemble de l'information génétique et dans le virus est dit virus à génome simple ou virus à génome monopartite
- Soit sous forme de plusieurs brins ; l'information génétique étant partagée entre deux ou plusieurs brins, le virus est alors un virus à génome multiple ou multipartite,

- et dans ce cas, les différents brins peuvent être soit :
 - Encapsidés dans une même coque protéique
 - Encapsidés séparément dans différentes coques;
- l'ensemble des nucléoprotéines formera le virus

Taxonomie

en basant sur leurs Génome et leurs
morphologie

- Répartition des virus des plantes selon le type de génome :
- Virus a ADN bicatenaire, circulaire **Caulimoviridae** 2%
- Virus a ADN monocatenaire, circulaire **Geminiviridae** 2%
- Virus a ARN bicatenaire, linéaire **Reoviridae, Partitiviridae** 4%
- Virus a ARN monocatenaire, linéaire 90%
- 1°ARN anti messenger (-) : **Rhombdoviridae, Bunyaviridae**
- 2°ARN messenger (+) : **Bromoviridae, Closteroviridae, Comoviridae, Luteoviridae, Potyviridae, Sequiviridae, Tombusviridae**

dsDNA
Caulimoviridae


Caulimovirus
CsVM-like
PVCV-like
SbCMV-like

Badnavirus
RTBV-like

ssDNA

Geminiviridae


Mastrevirus
Curtovirus


Begomovirus


Nanovirus

ADN

dsRNA


Reovirus
Fijivirus
Phytoreovirus
Oryzavirus


Partiviridae
Alphacryptovirus
Betacryptovirus


Varicosavirus

100nm

ssRNA(-)


Rhabdoviridae
Cytorhabdovirus
Nucelorhabdovirus


Bunyaviridae
Tospovirus


Tenuivirus


Ophiovirus


ssRNA(RT)


Pseudoviridae


Ourmiavirus

ssRNA(+)

Sequiviridae
Tombusviridae


Luteoviridae
Marafivirus
Sobemovirus
Tymovirus
(Umbravirus)


Comoviridae
Idaeovirus

Bromoviridae


Cucumovirus
Bromovirus



Ilarvirus



Alfamovirus

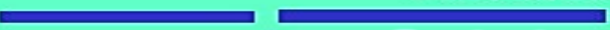
ARN



Tobamovirus

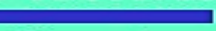

Tobravirus


Hordeivirus


Furovirus


Pectovirus


Ponovirus


Benyvirus


Allexivirus, Carlavirus, Foveavirus, Potexvirus

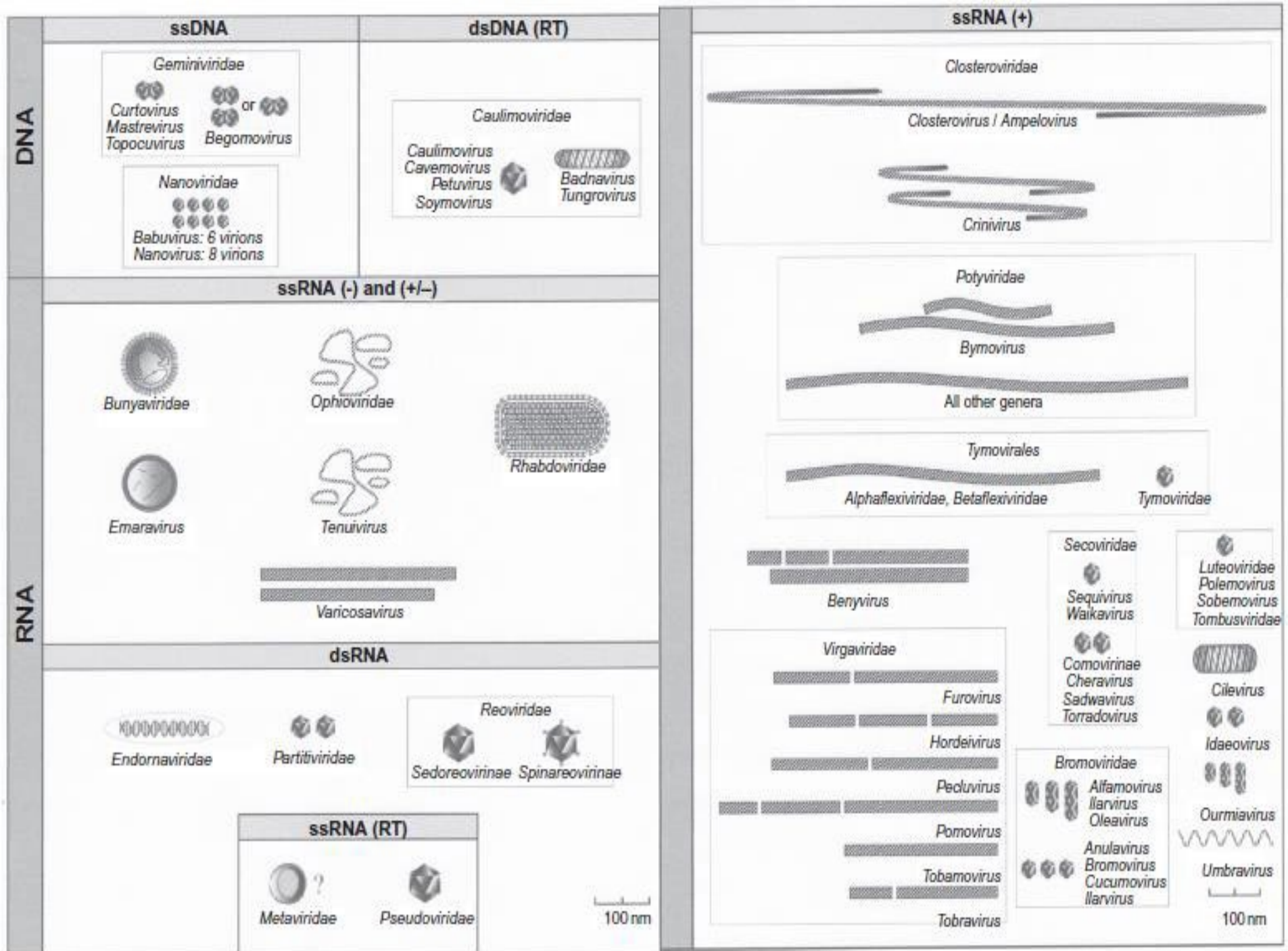

Capillovirus, Trichovirus, Vitivirus


Potyviridae
Potyvirus, Rymovirus, Tritimovirus, Macluravirus, Bymovirus, Ipomovirus


Closteroviridae
Closterovirus, Crinivirus, Vinivirus

- **VII- Classification des virus
phytopathogènes**

- Les virus sont classés selon le **type d'acides nucléiques** et la **forme générale** des virions



Nomenclature

- Les virus des plantes sont nommés en général par :
 - Le nom de leur hôte principal
 - Par les symptômes caractéristiques qu'ils produisent

Tobacco Mosaic Virus (TMV)



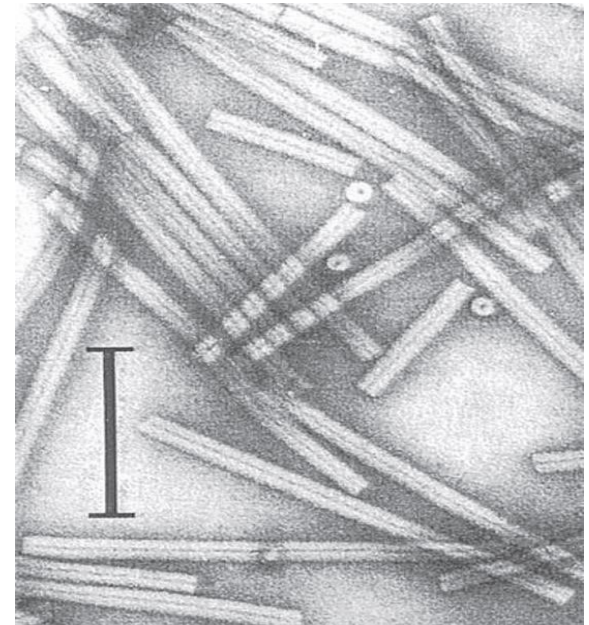
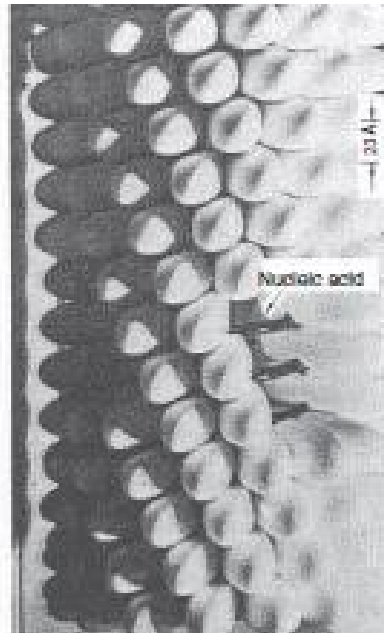
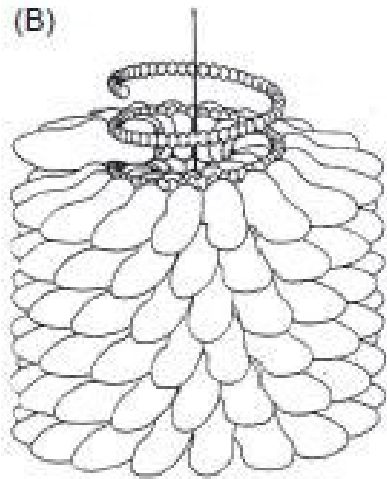
Potato Leafroll Virus (PLRV)



II-2 Forme générale de virus

- Deux grands types de structure virale ont été mis en évidence :
- les virus **allongés**, à structure hélicoïdale,
- les virus **quasi- sphériques**, à structure icosaédrique.

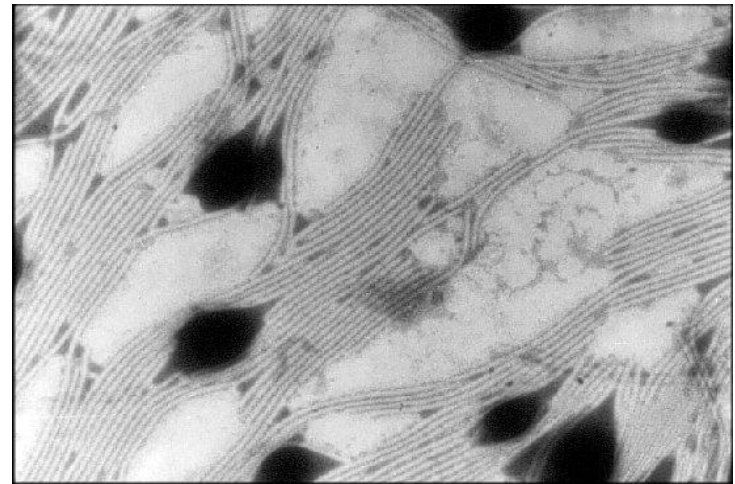
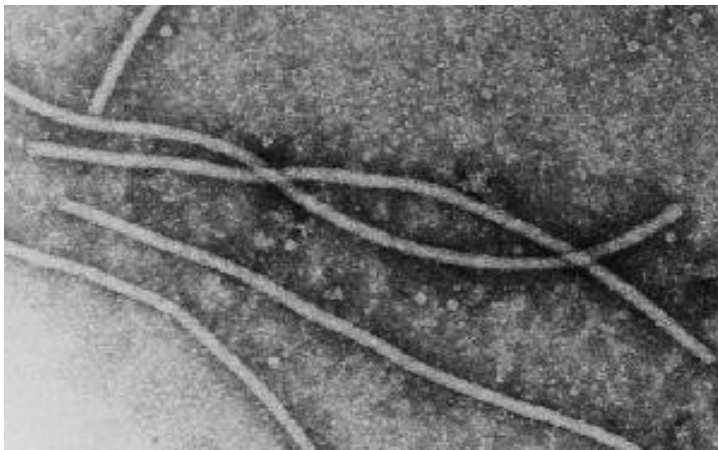
- **1. Virus à symétrie hélicoïdale en forme de bâtonnets rigides**
- Les virus allongés présentent donc des particules de **symétrie hélicoïdale**. Les interactions entre les sous unités protéiques qui forment la capside sont donc très fortes. Le virus à symétrie hélicoïdale le mieux connu est le **virus de la mosaïque du tabac (TMV)**



2. Virus à symétrie hélicoïdale en forme de bâtonnets flexueux

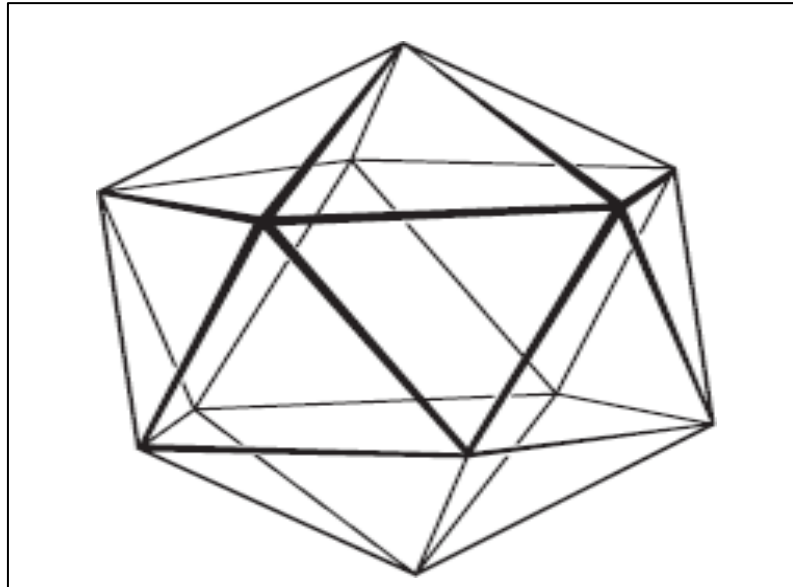
- D'autres virus qui présentent une symétrie hélicoïdale forment des particules allongées mais « flexueuses ».

Dans ce cas, les interactions protéine-protéine qui forme la capside sont moins fortes que dans le cas des virus rigides. Le virus X ou Y de la pomme de terre (*Potato virus X* - PVX, *Potato virus Y* PVY) sont des exemples de ce type de virus.



3. Virus à symétrie icosaédrique

- Ces virus se présentent sous forme de sphères qui sont des figures géométriques de type icosaèdre ;
L'**icosaèdre** est un **polyèdre régulier** ayant **trois axes de symétrie**, **12 sommets**, **20 faces** qui sont des triangles équilatéraux et 30 arêtes ; c'est le cas de virus de la mosaïque de concombre



III- Mécanisme de l'infection

- L'inoculation d'un virus à une plante, requiert la **blesure** préalable d'une cellule par rupture de la paroi, suivi du transfert de l'inoculum au contact de la membrane cytoplasmique

III- Mécanisme de l'infection

- Sur les feuilles les symptômes initiaux apparaissent généralement au site de l'inoculation, sous forme de foyers localisés. Chez certains couples plante virus ; la multiplication et l'extension du virus sont limitées à des **lésions nécrotiques** (infections locales), tandis que dans d'autre cas le virus envahit l'ensemble de tissus de la plante hôte (infection systémique)

IV- Les symptômes

Les symptômes macroscopiques apparaissent chez la plante infectée 5 à 15 jours après la date de l'infection:

1/ Rabougrissement, nanisme et développement en Rosette: la réduction de la taille des plants est l'un des symptômes de virus des plus communs.

En général, les entrenœuds sont raccourcis donnant un effet de tassement ou balai de sorcière.

2/ **Mosaïques** et symptômes apparentés : ces symptômes **sont caractéristiques** des infections virales prennent des dénominations déférentes en fonction de la forme, de la taille, et l'intensité de la coloration :

- mosaïque (décoloration en petits point ou petites taches) ;
- marbrure (grandes plages vert clair ou jaune sur vert foncé),
- panachure (décoloration sur les fleurs), stries (décoloration sous formes de bandes longitudinales)

3/ Chlorose et jaunissement

4 /Les taches annulaires : ce sont des taches ou des **anneaux concentriques nécrotiques** ou chlorotiques qui apparaissent sur les feuilles et les fruits, ce symptôme est caractéristique des virus transmis par **les nématodes**.

Exemple le Virus du Rattle du Tabac

5/ Les nécroses

Les Symptômes des Maladies Virales

- Mosaïque



- Tumeurs
ou galles

- Nanisme



Virus de la mosaïque du tabac.



Nanisme de pomme de terre.

- Flétrissement

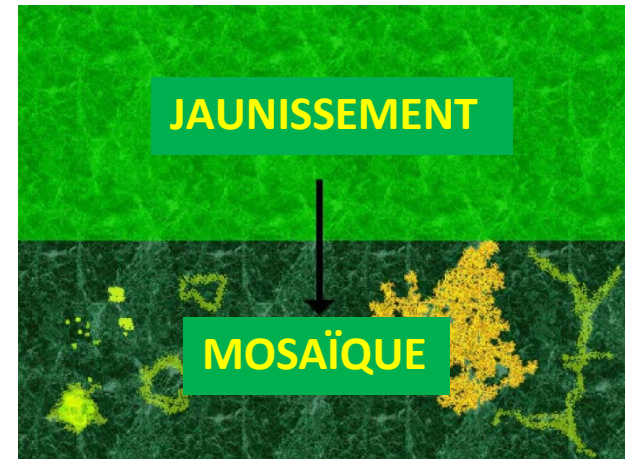


Virus de la maladie bronzée de la tomate (*Tomato spotted wilt virus (TSWV)*)

- Chlorose



Jaunissement de la betterave
par BYV



- Anneaux chlorotiques



Anneaux chlorotiques

- Necroses



Necroses des nervures.

- Ramaux planes

- Gale



La gale du poire

- Perforations



écorce liégeuse de la vigne

- taches annulaires sur les feuilles



- Baisse du rendement



- Déformation du fruit



- Bigarrure



- Exfoliation de l'écorce

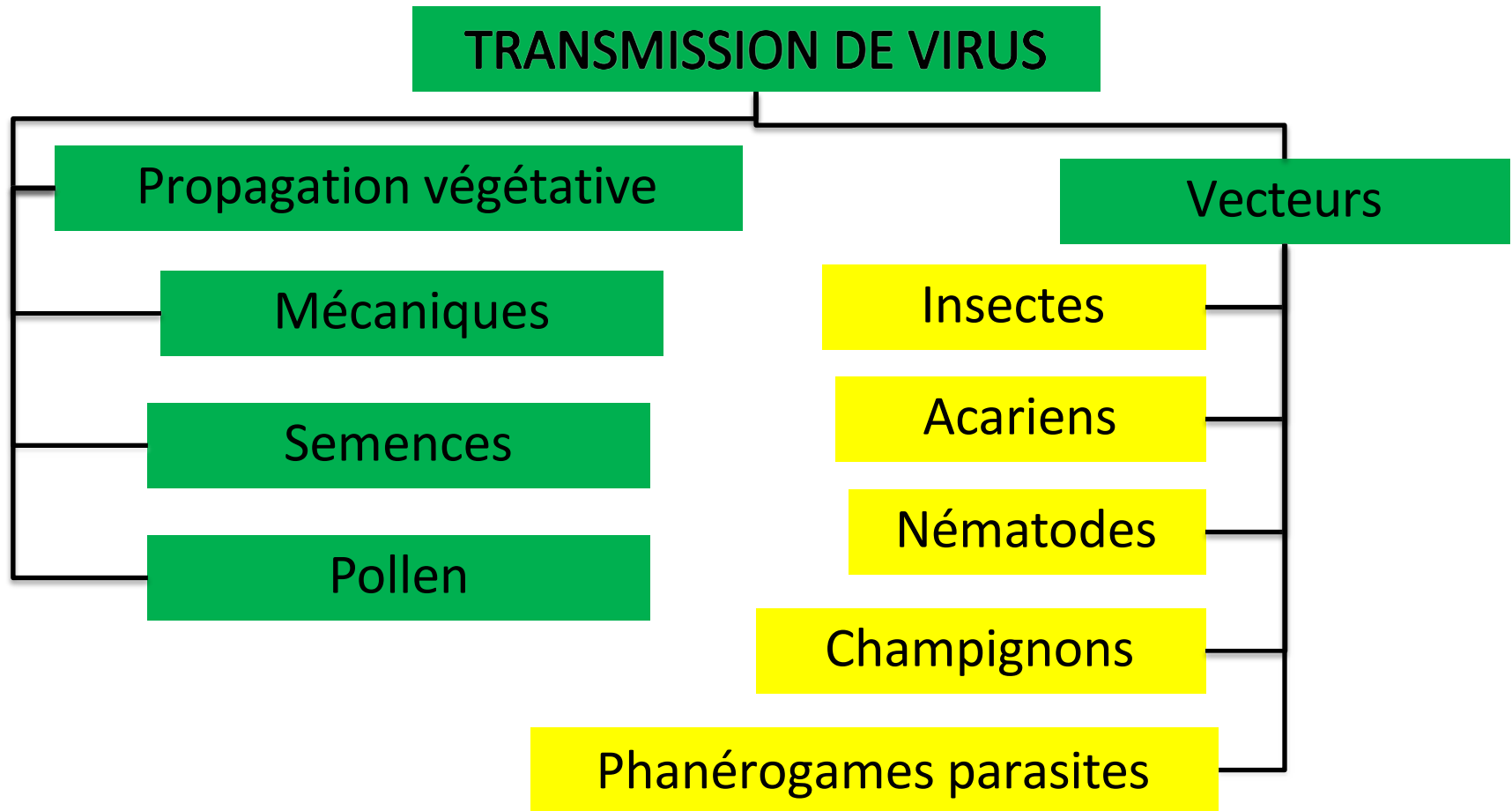


Les Réponses de la plante a l'infection:

- Synthèse de protéines PR
- Augmentation de la production des composés phénoliques dans la paroi cellualire
- Libération de espèces actives d'oxigène.
- Production des phytoalexines
- Accumulation de l'acide salicilique

V-La transmission des virus phytopathogènes

La transmission des phytovirus



A)- Transmission sans intervention de vecteurs

- soit **mécanique**, qui se déroule via de micro-blessures en surface des plantes. par simple contact de doigts infectés avec les plantes (c'est le cas de virus de la mosaïque de la tomate), ou à l'aide de matériel agricole contaminé (sécateurs, engins agricoles, ...)

- soit par voie **végétative**, en pomme de terre par exemple par greffons; les boutures; tubercules. par la semence et même par le pollen dans certains cas (ex. certains virus des arbres) .
- Ce type de transmission est appelé également **transmission verticale**.

VECTEURS

INVERTÉBRÉS

ARTHROPODES

INSECTES

Homoptères
Coléoptères,
Orthoptères
Thysanoptères
Hétéroptères

ACARIENS

Eriophides
Tetraniquides

NON ARTHROPODES

NÉMATODES

Xiphinema
Longidorus
Trichodorus
Paratrachodorus

CHAMPIGNONS

Olpidum
Synchitrium
Polymyxa
Spongospora

PHANÉROGAMES PARASITES

Cuscuta

La transmission des phytovirus par les vecteurs

- **Période d'acquisition:** le temps nécessaire à l'acquisition du virus par l'insecte à partir d'une plante infectée.
- **Période de latence:** définissant la période s'écoulant entre le moment où il peut transmettre le virus.
- **Période de rétention:** qui correspond au temps pendant lequel un vecteur ayant acquis un virus reste capable de le transmettre à une plante.

La transmission des phytovirus par les vecteurs

- **Virus à transmission propagative:** lorsqu'un virus se réplique durant son passage dans le vecteur
- **Virus à transmission circulante:** lorsque le virus passe par le milieu intérieur du vecteur sans s'y réplique
- **Virus à transmission non-circulante:** si le virus ne pénètre jamais le milieu intérieur du vecteur

B)- Transmission par un vecteur

1- La transmission par un vecteur de type arthropodes, essentiellement par insecte et acarien. Ces vecteurs peuvent être des pucerons, des cicadelles ; les aleurodes ; ou des acariens.

Deux types de transmission par arthropodes :

1- la transmission selon le mode non persistant:

- comporte une phase acquisition rapide du virus,
- suivie d'une phase de transmission tout aussi très rapide

Exemple: virus Y de la pomme de terre, *potyvirus*,
caulimovirus.

Il est malheureusement difficile de contrôler le virus transmis de cette manière vu la mobilité de l'insecte, et ici les stratégies de contrôle à l'aide d'insecticides sont de peu d'utilité.

2) transmission selon le mode persistant:

- passe par une circulation du virus dans le corps de l'insecte.
- Ce mode de transmission implique une interaction moléculaire très précise entre le virus et son vecteur insecte, de manière à permettre au virus de franchir plusieurs **barrières épithéliales**, via des mécanismes d'endocytose. Exemple : *luteovirus*

2- Les virus peuvent aussi être transmis par nématodes:

il s'agit d'une association qui requiert une grande **spécificité** d'interaction avec le vecteur, et seules quelques espèces de nématodes sont capables d'opérer ces transmissions caractérisées par des **distributions en tâches** au sein des parcelles infectées.

Transmission des virus par les insectes

Aphides et Punaies

Non persistante
Semi-persistante
Non propagative
Propagative

Cicadelles

Semi-persistante
Non propagative
Propagative

Mouche Blanche

Non persistante
Semi-persistante
Non propagative

Mineuses

Non persistante
Semi-persistante

Cochenilles

Semi-persistante

Thrips

Propagative

Scarabés et Sautrelles

Semi-persistante
Non propagative

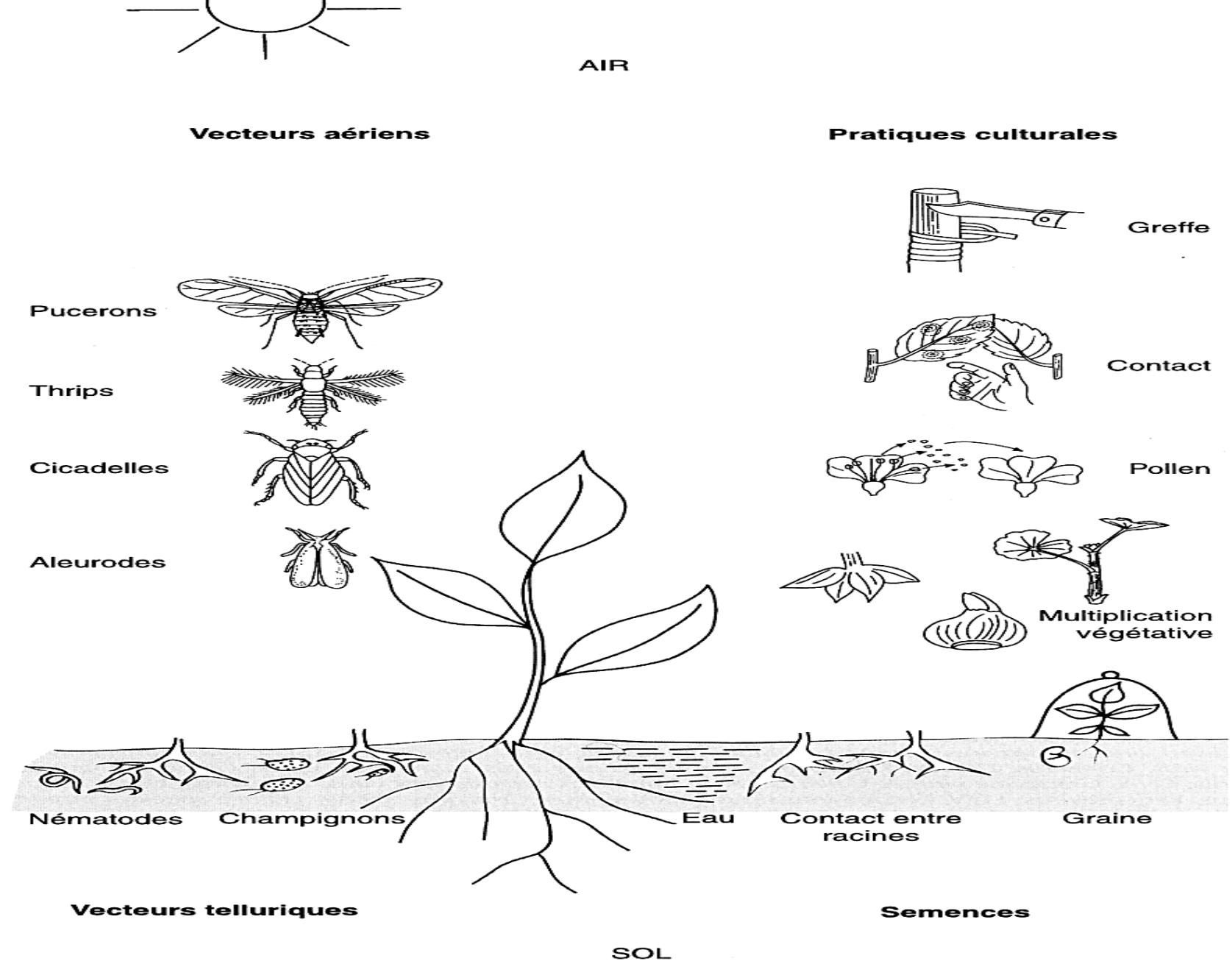


Figure 8.1. – Diversité des modes de dissémination des virus de plantes: transmission par les organes de multiplication végétative ou par la graine, transmission par contact et transmission par des vecteurs aériens ou telluriques.

3- transmission via des protozoaires du sol.

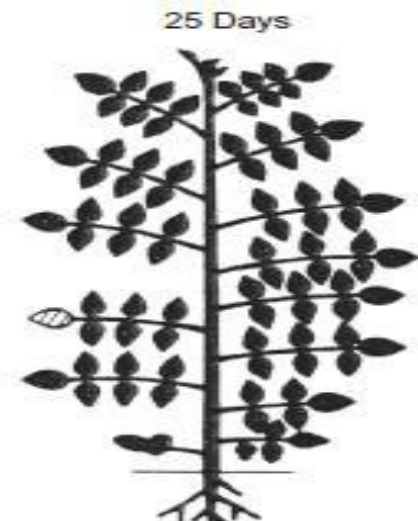
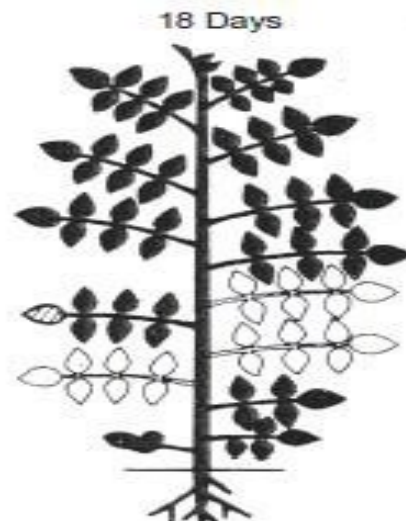
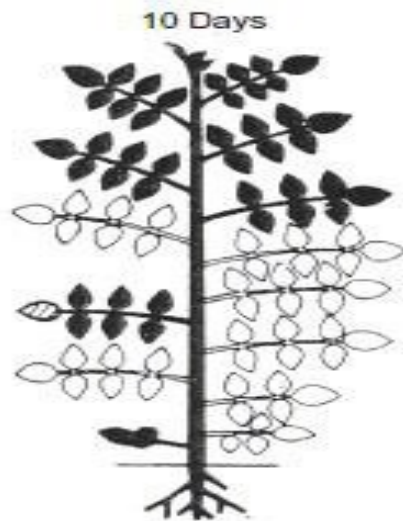
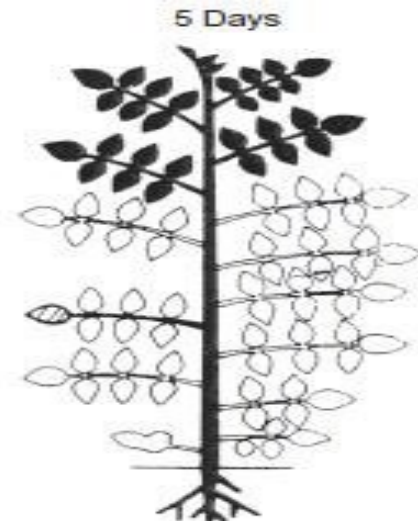
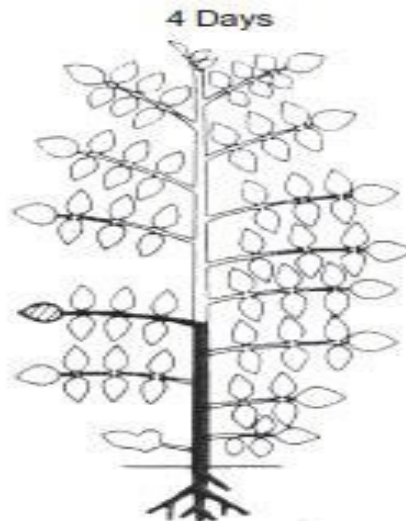
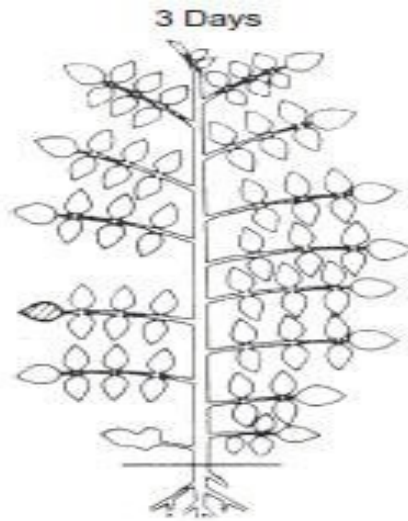
Exemple: Champignons vecteurs de virus *Olpidium*;
Polymyxa.

Un des principaux problèmes associés à ces virus est leur **persistance dans les sols** infestés en association avec le vecteur.

VI- La propagation du virus dans la plante infectée

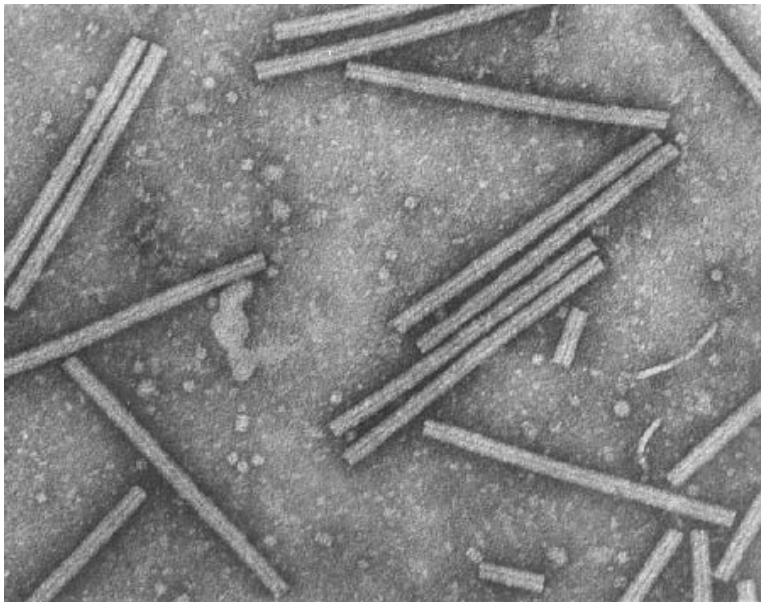
- **Le déplacement de cellule à cellule** se fait par les **plasmodesmes** (connexions cytoplasmiques qui traversent les parois des cellules adjacentes) ; les virus possèdent des gènes qui codent pour les protéines de mouvement et qui permettent la modification des canaux des plasmodesmes.
- **Le transport à longue distance** : la propagation à longue distance de virus se fait par l'intermédiaire des tissus vasculaires

Mouvement de virus à l'intérieur de la plante



Virus de la mosaïque du tabac (TMV)

- ***Tobacco mosaic virus (TMV)***
- classification : Potyviridae, Tobamovirus
- C'est le virus le plus étudié
- Il a servi en tant que système modèle pour la virologie et de la biologie moléculaire



La structure

- Helicoïdales.
- L'une des plus stables
- Résistant aux agents chimiques et physiques qui inactivent les autres virus.
- La protéine de couverture résistante à la protéase.
- RNA cs +
- Proportion ARN/PROTÉINE: 5/95%

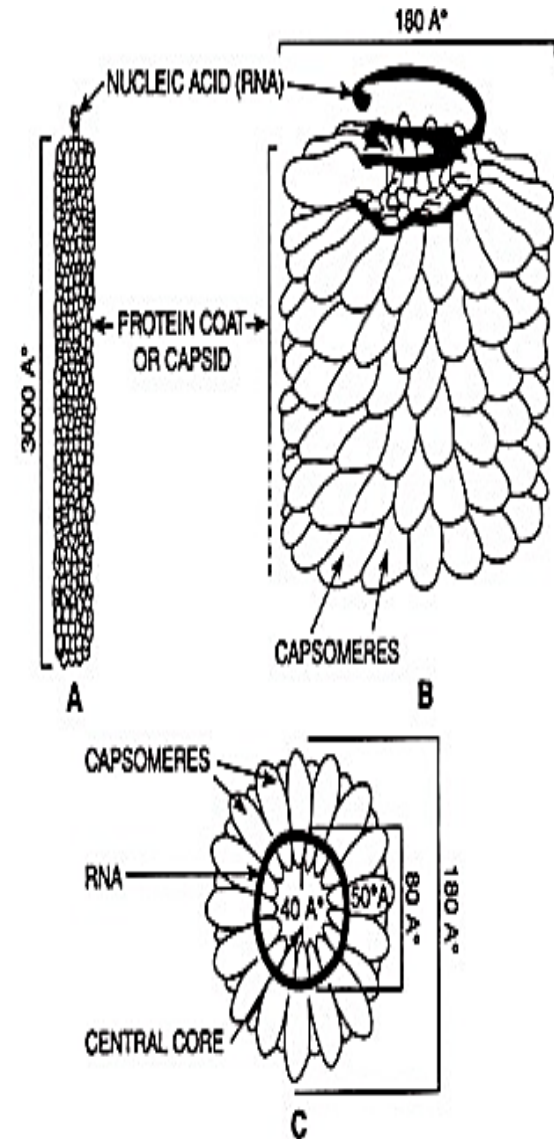


FIG. 13.20. Tobacco mosaic virus (TMV). A, surface view; B, an enlarged portion showing RNA-capsomere arrangement; C, view in section.

Gamme d'hôtes et transmission

- ✓ Une large gamme : > 500 esp. de plantes à fleurs.
D'importance commerciale comme: la tomate, tabac, piments et pomme de terre.
- ✓ **Transmission mécanique**, entre les plantes,
 - ✓ par les racines et le sol;
 - ✓ par inoculation mécanique;
 - ✓ Par les opérateurs qui manipulent les tabacs infectés, transmission facile à d'autres plantes contribuant à sa propagation.

Gamme d'hôtes et transmission

- ✓ **Transmission inconnue par des vecteurs arthropodes.**
- ✓ La stabilité du TMV:
 - pouvoir infectant **persiste 2 ans** dans les sols sans exposition au gel ou à la sécheresse.
 - aussi dans les restes des plantes dans le sol
 - dans les amendements organiques des plants de tomate

Signes et diagnostic

- En comparant avec d'autres virus, ses signes infectieux ne sont pas très définies
- La variation des signes depend de:
- la souche virale, l'âge de la plante, et les conditions de culture.



Signes et diagnostic

- **Symptomatologie:**
- zones en mosaïques vert foncé et clair; diminution du développement de la plante. En hiver, peuvent apparaître des plantes naines avec des feuilles en forme de "feuille de fougère"
- Généralement, ne tue pas la plante, il affecte la qualité et la quantité de la culture



Lutte

- Pour sa stabilité il est impossible de prévenir l'infection par le TMV dans la nature.
- Le TMV se trouve là où le tabac se développe.
- Il réduit le rendement de la culture jusqu'à 30%, en diminuant sa valeur commerciale.
- Il peut rester dans les cigarettes fabriquées à partir de feuilles infectées.

Lutte

- Des mesures pour prevenir la dissemination:
 - Utiliser les sols non contaminés
 - Interdire de fumer durant le travail
 - Laver les mains
 - Eliminer les plantes infectés
 - Réaliser des greffes sur des champs libres de tabac, de tomate et de piment.
 - Utiliser des variétés résistantes aux TMV

VIRUS DU NANISME DU BLÉ

- **Description:**
- formés par deux particules isométriques unies.
- Le génome consiste en une molécule circulaire d'ADN monocaténaire.
- **Cytopathologie:**
- les virions se trouvent dans le noyau des cellules des feuilles et des racines.
- Ils n'induisent pas la formation d'inclusions.

- **Hôtes:** hôtes naturels: l'avoine, l'orge et le blé.

Expérimentalement ils ont déterminé la sensibilité de plusieurs espèces de graminées.

- **Symptomatologie:**
- un retard de croissance sévère (nanisme) accompagné des stries jaunes sur les feuilles.
- **Transmission:** par la cicadelle: *Psammotettix alienus*.



Vecteur: la cicadelle
Psammotettix alienus



Culture d'orge

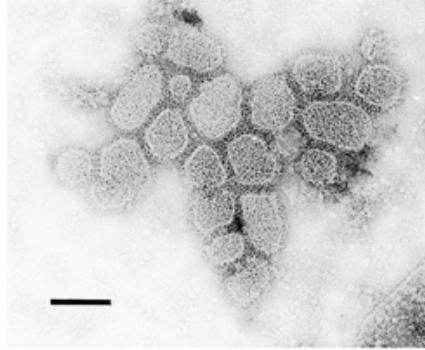
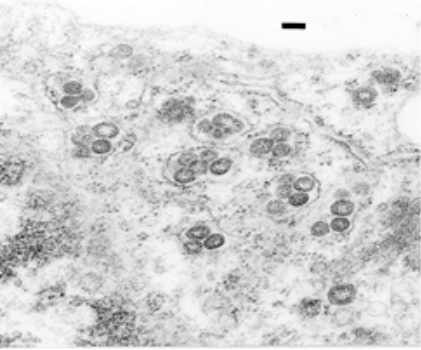
VIRUS DE BRONZÉ OU “SPOTTED WILT” DE LA TOMATE

- **Structure:** particule isométrique sphérique.
- Présente 3 chaînes d'ARN monocaténaire négatives.
Enveloppé par une lipoprotéine qui présente la surface couverte de projections.
- **Cytopathologie:** Inclus dans le réticulum endoplasmique, formant des paquets, dans le cytoplasme des cellules infectées



- **Hôtes:** ils sont très variés attaque les solanacea et les légumineuses presque 500 espèces.
- **Symptomatologie:** une teinte bronzée sur les jeunes feuilles, arrêt de croissance jusqu'à même à la mort, nécrose et jaunissement avec des taches annelées
- **Transmission** par les thysanoptères (thrips).

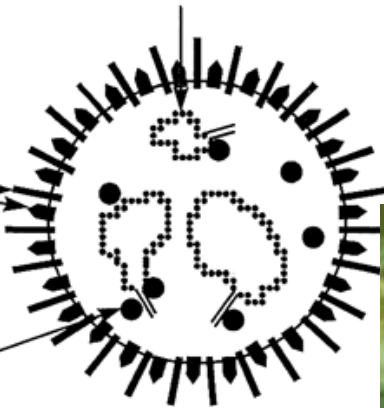




Nucléocapside + ARN

Glycoprotéines

Réplicase



Copyright D. Blancard (INRA)



UGA1327077

Le vecteur: Thrips

- **Au niveau subcellulaire**, les phytovirus peuvent induire des modifications variées telles que proliférations d'endomembranes formant des vésicules, modifications des organites (mitochondries, chloroplastes, noyau)
- Les virus de plantes **s'accumulent** généralement dans le cytoplasme en masses amorphes ou paracrystallines

Les viroïdes

- **Généralités**
- Un Viroïde est un agent infectieux des plantes et probablement des animaux, de structure plus simple qu'un virus. Ces particules, plus petites que les virus, contiennent **un ARN monocaténaire circulaire** (de taille entre 246 à 399 nucléotides ou 80 à 125 KDa) et n'ont pas de capside

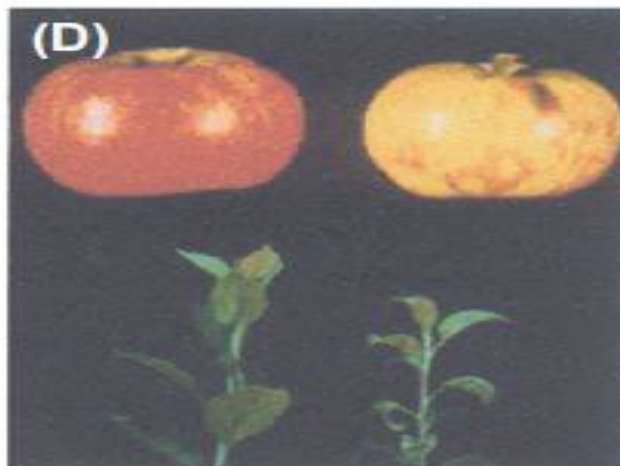
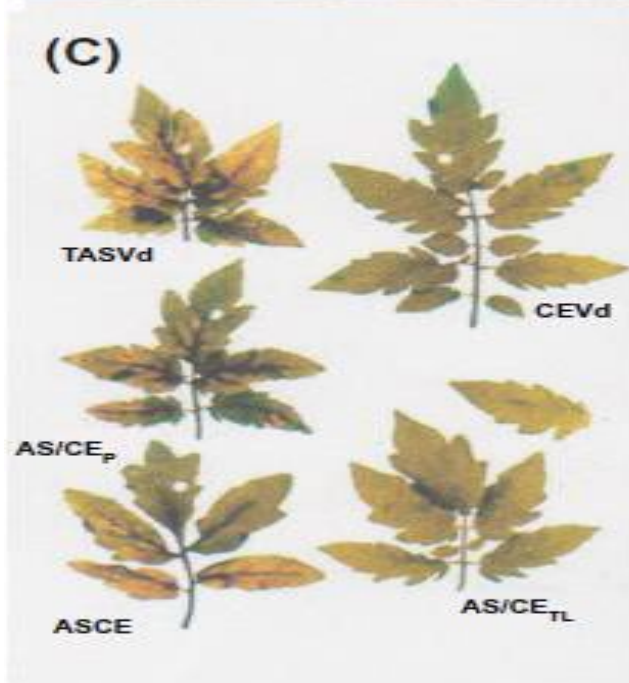
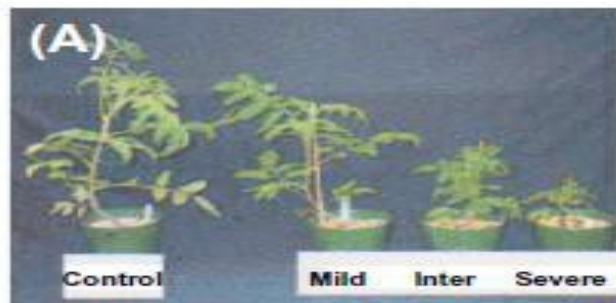
- Les viroïdes diffèrent des virus en ces points :
- Ils existent à l'intérieur des cellules en tant que particules d'ARN uniquement, sans capside ni enveloppe.
- Ils n'ont qu'un seul ARN circulaire qui contient très peu de nucléotides.

- Leur ARN ne code aucune protéine.
- Contrairement au virus dont l'ARN peut être copié dans le cytoplasme ou le noyau, l'ARN des viroïdes est copié dans le noyau ou dans le chloroplaste, selon la famille.

- Le transport des viroïdes de cellule à cellule se fait via les plasmodesmes, le transport à longue distance est réalisé par le phloème.

- **II- Pathogenèse**

- Les symptômes induits par les viroïdes sont en général semblable à ceux induits par les virus ; du point de vu agronomique ils peuvent aller du dépérissement lent mais létal du cocotier (*Coconut Cadang Cading Viroid CCCVd*) à l'infection latente sans symptôme dans le cas de viroïde latent du houblon (*Hop Latent Viroid HLVd*)



Symptôme
de viroïde

III. Transmission des viroïdes

- Tous les viroïdes infectent leurs hôtes de façon persistante et ne présentent pas de phénomène de rétablissement. on ne leur connaît pas de vecteurs autres que l'homme et ses instruments. Ils sont facilement transmissibles par voie mécanique, d'autre le sont aussi par la semence et le pollen

- **Classification des viroïdes**
- On connaît deux familles des viroïdes les *Pospoviridae* et les *Avsunviridae*

TABLE 5.1 Classification of Viroids

Family	Genus	Species	Abbreviation	Size (nt)
Pospiviroidae	<i>Pospiviroid</i>	Potato spindle tuber viroid (type species)	PSTVd	356–359
		Chrysanthemum stunt viroid	CSVd	356
		Citrus exocortis viroid	CEVd	371–372
		Columna latent viroid	CLVd	370
		Iresine viroid 1	IrVd-1	370
		Mexican papita viroid	MPVd	360
		Pepper chat fruit viroid	PCFVd	348
		Tomato apical stunt viroid	TASVd	360–363
		Tomato chlorotic dwarf viroid	TCDVd	360
		Tomato planta macho viroid	TPMVd	360
	<i>Hostuviroid</i>	Hop stunt viroid (type species)	HSVd	297–303
	<i>Cocadviroid</i>	Coconut cadang-cadang viroid (type species)	CCCVd	246–297
		Citrus bark cracking viroid	CBCVd	284
		Coconut tinangaja viroid	CtiVd	254
		Hop latent viroid	HLVd	256
	<i>Apscaviroid</i>	Apple scar skin viroid (type species)	ASSVd	329–331
		Apple dimple fruit viroid	ADFVd	306
		Australian grapevine viroid	AGVd	369
		Citrus bent leaf viroid	CBLVd	318
		Citrus dwarfing viroid (citrus viroid III)	CDVd	294–297
		Citrus viroid V	CVd-V	294
		Grapevine yellow speckle viroid 1	GYSVd-1	367
		Grapevine yellow speckle viroid 2	GYSVd-2	363
		Pear blister canker viroid	PBCVd	315
	<i>Coleviroid</i>	Coleus blumei viroid 1 (type species)	CbVd-1	248
		Coleus blumei viroid 2	CbVd-2	301
		Coleus blumei viroid 3	CbVd-3	361
Avsunviroidae	<i>Avsunviroid</i>	Avocado sunblotch viroid (type species)	ASBVd	246–250
	<i>Pelamoviroid</i>	Peach latent mosaic viroid (type species)	PLMVd	336–339
		Chrysanthemum chlorotic mottle viroid	CChMVd	399
	<i>Elaviroid</i>	Eggplant latent viroid (type species)	ELVd	332–335

Data from King et al. (2012).