

Les maladies virales émergentes chez les plantes maraîchères et florales

Eric Verdin

Unité de Pathologie Végétale (UR 407)

INRA PACA - Avignon

eric.verdin@avignon.inra.fr

Les maladies virales

- XVII^e : panachures de la tulipe et tulipes 'Rembrandt'



Jan Brueghel le Jeune : Satire de la tulipomanie (1640)



Tulip breaking virus (TBV)

- Fin XIX^e : découverte du 1^{er} virus (virus de la mosaïque du tabac, TMV)
- Aujourd'hui : > 1000 espèces virales décrites chez les plantes supérieures

Dommmages directs et indirects causés par les virus

- ✓ Réduction de croissance
- ✓ Réduction de vigueur : sensibilité accrue au gel, à la sécheresse, à d'autres agents pathogènes...
- ✓ Réduction de la qualité : aspect, goût, conservation, texture...
- ✓ Moindre aptitude à la multiplication : fleurs, graines, boutures..
- ✓ Coûts induits : mise en place de méthodes de lutte, quarantaines, programmes d'éradication, sélection sanitaire, création de variétés résistantes, recherche, vulgarisation et enseignement...

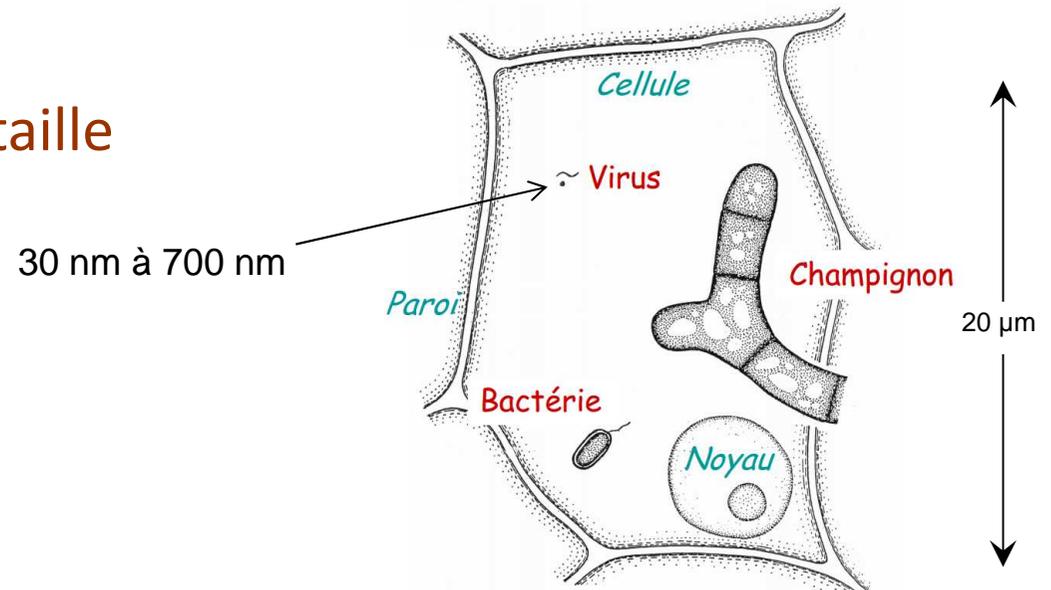
Quelques exemples concrets de pertes causées par des virus

TABLE 3.2 Some examples of crop losses due to viruses

Crop	Virus	Countries	Loss/year
Rice	Tungro	SE Asia	$\$1.5 \times 10^9$
	Ragged stunt	SE Asia	$\$1.4 \times 10^8$
	Hoja blanca	S. and C. America	$\$9.0 \times 10^6$
Barley	Barley yellow dwarf	UK	$\pounds 6 \times 10^6$
Wheat	Barley yellow dwarf	UK	$\pounds 5 \times 10^6$
Potato	Potato leafroll	UK	$\pounds 3-5 \times 10^7$
	Potato virus Y		
	Potato virus X		
Sugarbeet	Beet yellows	UK	$\pounds 5-50 \times 10^6$
	Beet mild yellows		
Citrus	Citrus tristeza	Worldwide	$\pounds 9-24 \times 10^6$
Cassava	African cassava mosaic	Africa	$\$2 \times 10^9$
Many crops	Tomato spotted wilt ^a	Worldwide	$\$1 \times 10^9$
Cocoa	Cocoa swollen shoot	Ghana	1.9×10^8 trees ^b

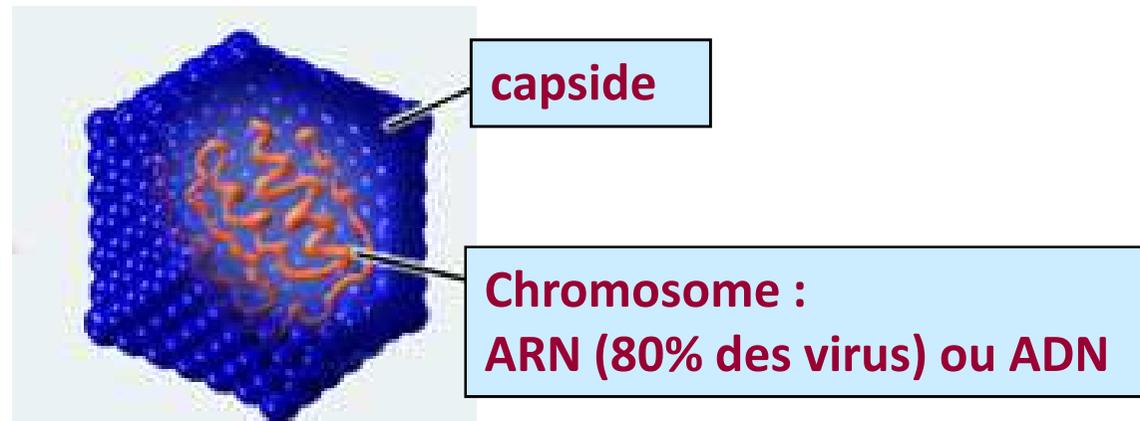
Qu'est-ce qu'un virus ?

- Micro-organisme de petite taille



- Structure très simple constituée :

d'un chromosome qui porte l'information génétique (4 à 12 gènes)
 d'une carapace de protéine (la capside) qui protège le chromosome



Que font les virus aux plantes ?

- ✓ Les virus sont des parasites obligatoires
- ✓ Ils causent des maladies généralisées : toute la plante est atteinte
- ✓ Lorsqu'une plante est infectée, elle le restera toute sa vie
- ✓ Les principaux symptômes qui leur sont associés sont :



Mosaïques

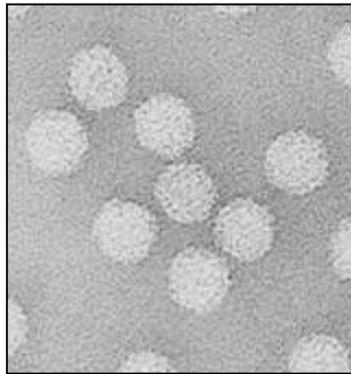


Jaunisses

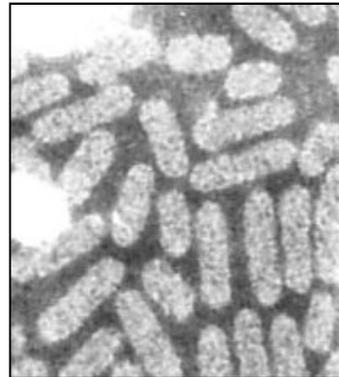


Nécroses

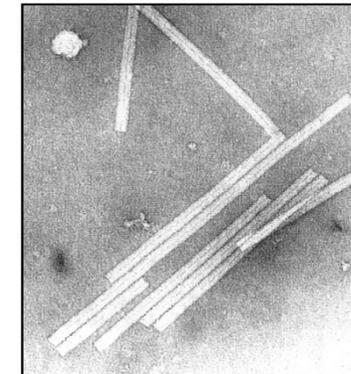
A quoi ressemble un virus de plante ?



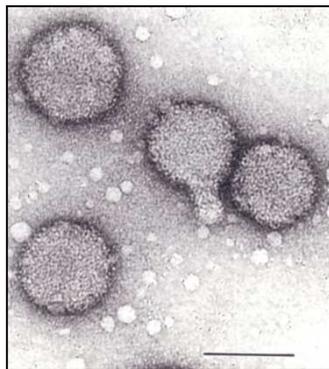
Rond :
Cucumovirus (CMV)
Polerovirus (CABYV)



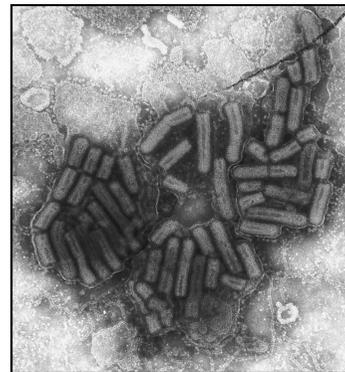
Bacilliforme :
Alfamovirus (AMV)
Badnavirus (BSV)



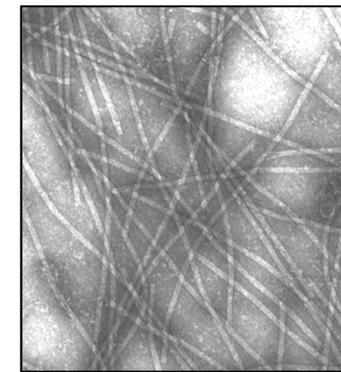
Bâtonnet :
Tobamovirus (TMV)



Enveloppé :
Tospovirus (TSWV)



Bacilliforme enveloppé :
Rhabdovirus (EMDV)



Flexueux :
Potyvirus (PVY, PPV)
Potexvirus (PepMV)

Comment les virus se disséminent-ils ?

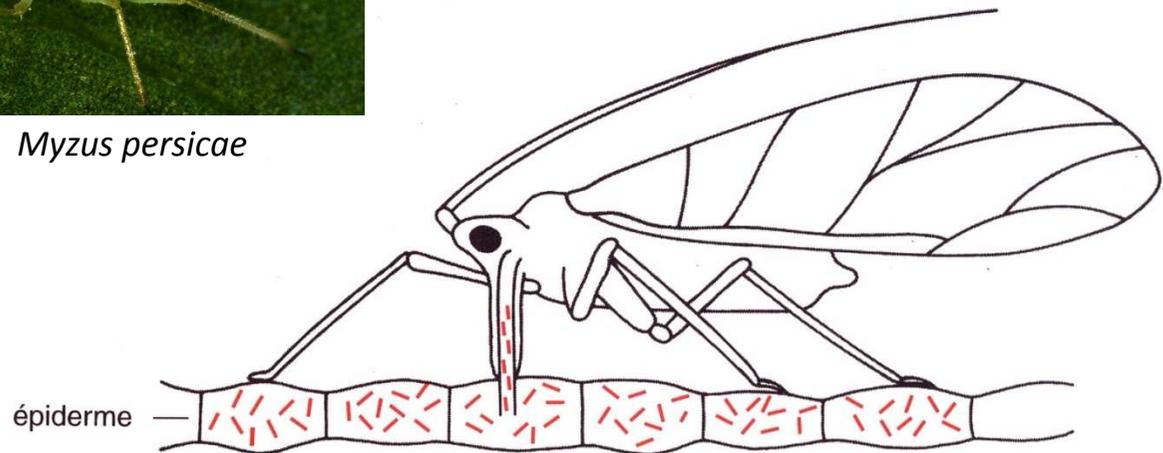
- Les virus de plantes ont besoin de '*vecteurs*' pour se disséminer dans la nature et dans les cultures.
- Vecteurs les plus importants : les pucerons



Aphis gossypii



Myzus persicae



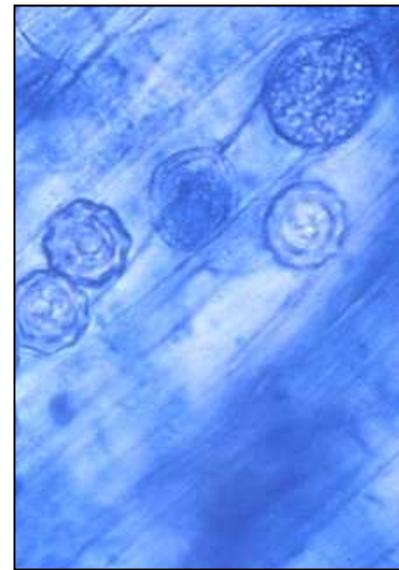
Autres stratégies de dissémination



Aleurodes



Coléoptères



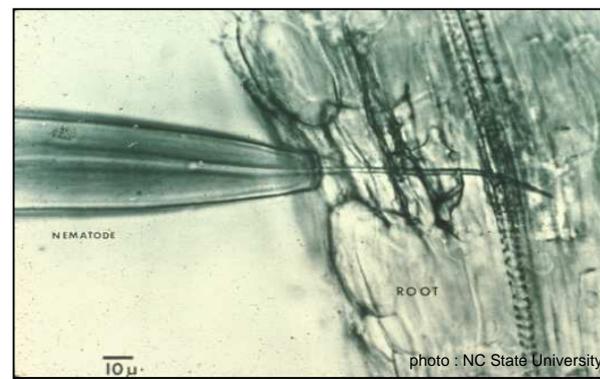
Champignons



Homme : opérations
culturales



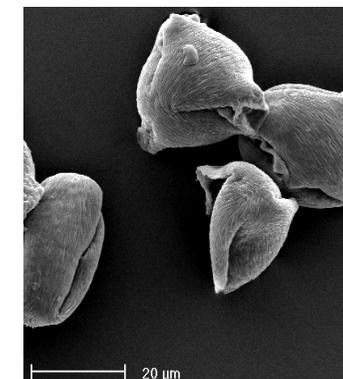
Thrips



Nématodes

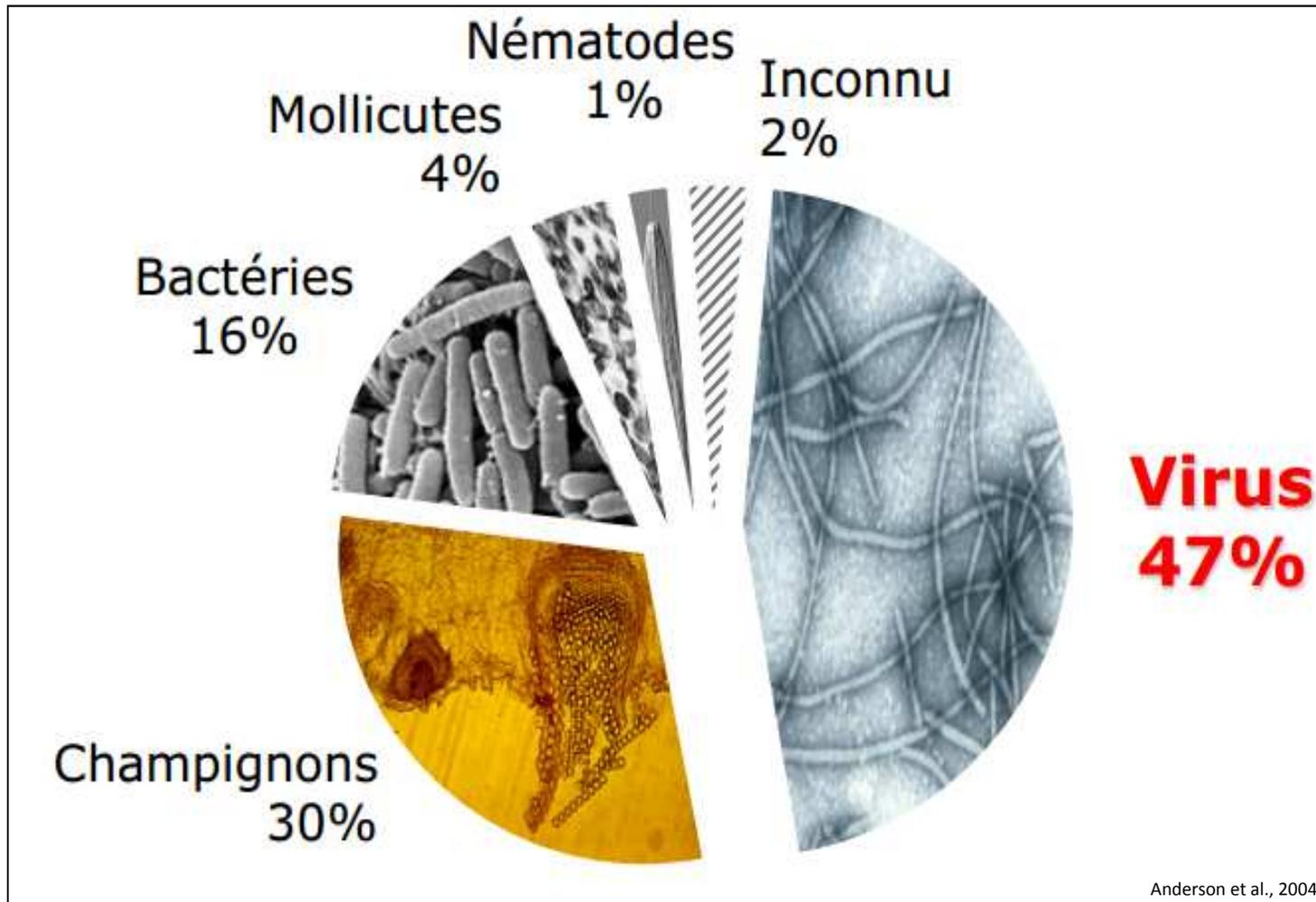


Graine



Pollen

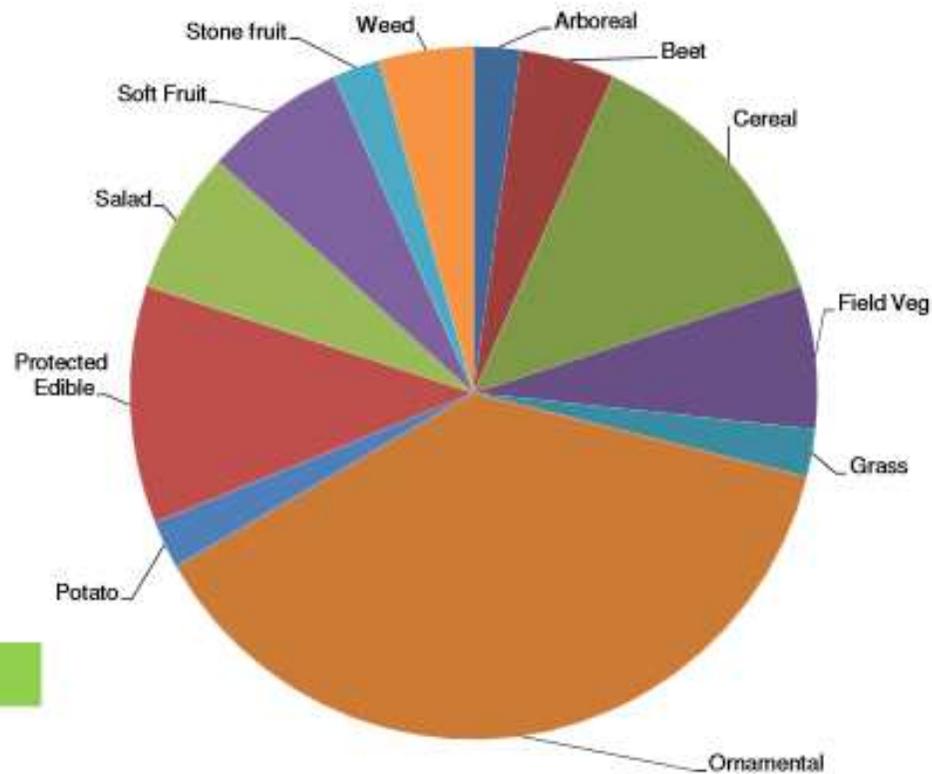
Maladies émergentes chez les plantes



→ ½ des maladies émergentes sont d'origine virale

Les émergences virales

New virus first findings in the UK: 1980-2013



Total = 55

Les émergences virales

- Définition 'maladie émergente' :
Maladie nouvellement apparue ou prenant une nouvelle importance pour une culture donnée et dans une aire géographique donnée.

- 1 siècle de recul seulement sur les virus : peu de données historiques
→ confusion possible entre découverte et émergence !

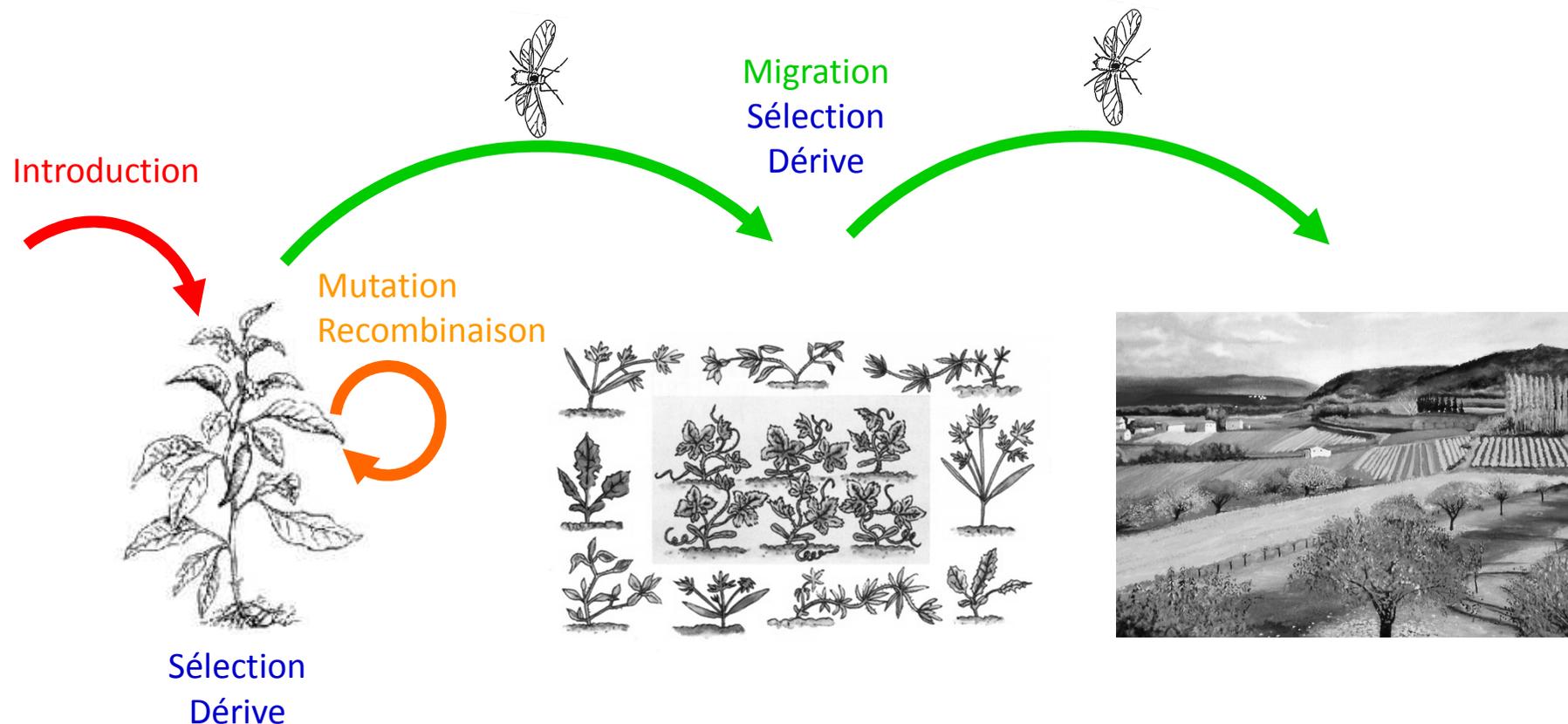
- Situation par filière (depuis 20 ans):
Maraichère et Ornementale (herbacées) > Fruitière (espèces ligneuses)

- Fréquence d'apparition :
Cas des cultures légumières : 1 virus / an depuis 15 ans

Facteurs favorisant les émergences virales

- Causes directement associées aux virus :
 - fort potentiel évolutif des virus : **mutation, recombinaison**
 - adaptation à de nouveaux hôtes (résistants ou non) : **sélection**
 - Autres forces évolutives : **dérive génétique, migration**

Emergence virale réussie de la plante au paysage :



Facteurs favorisant les émergences virales

➤ Causes indirectement associées aux virus :

- mondialisation des échanges : plants, semences, denrées, mouvement de population

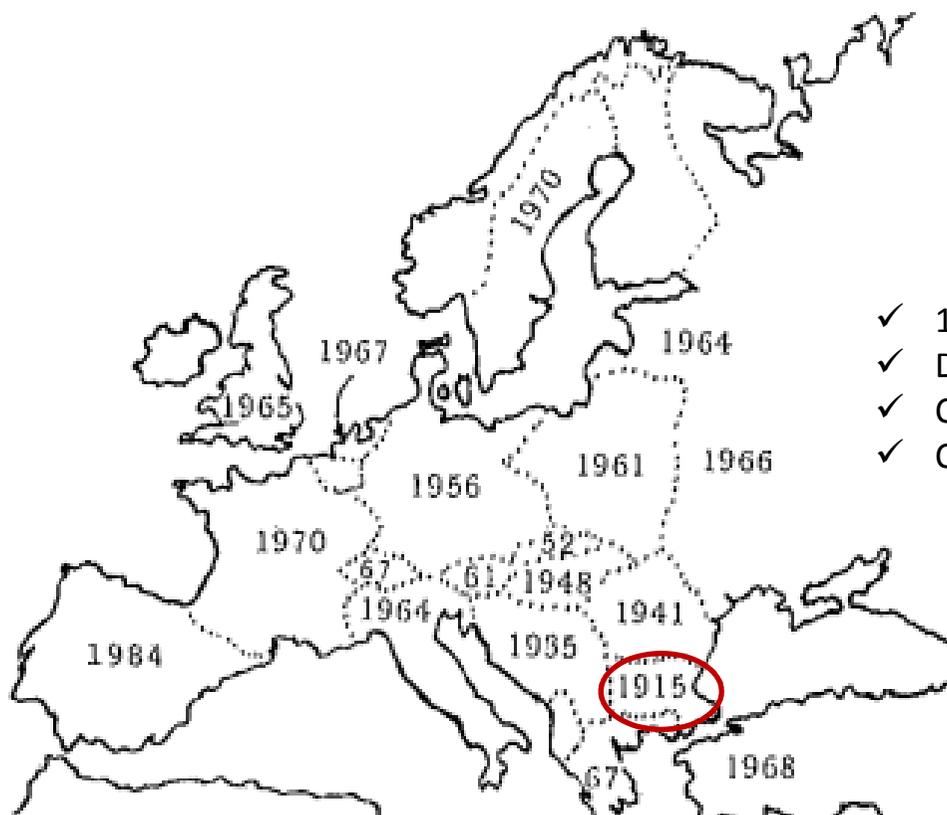


- évolution des pratiques culturales : abri, hors-sol, irrigation, contre-plantation...
- changements climatiques : pullulations de vecteurs de virus.

Emergence et transport de matériel

Cas du *Plum pox virus* (PPV) ou virus de la Sharka

- Transmission par les pucerons
- Espèces concernées : *Prunus sp.* (abricotier, prunier, pêcher...)

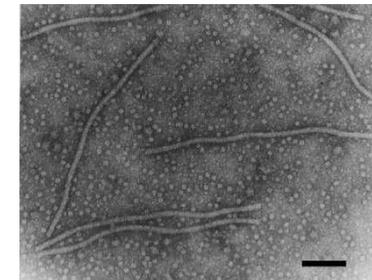


- ✓ 1^{er} cas répertorié : Bulgarie (1915)
- ✓ Dissémination à l'ensemble de l'Europe (± année 60')
- ✓ Continent américain : Chili (1992), USA (1999)
- ✓ Continent asiatique : Chine (2005)

→ extension mondiale attribuée aux transports de matériel infecté

Emergence et transport de matériel

Cas du *Pepino mosaic virus* (PepMV)

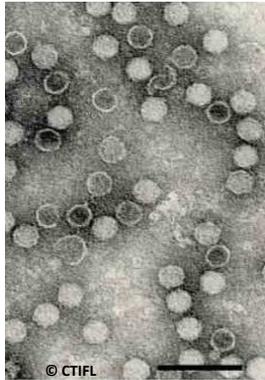


- Origine : Amérique du Sud
- 1^{ère} description dans les cultures de tomate en Europe : 1999
- Aujourd'hui : présence avérée dans la plupart des bassins de production de tomate
- Dégât : baisse de rendement (souches 'mild')
- Attention aux souches agressives à nos portes !

→ Causes probables : transport de semences ou de fruits contaminées

Emergence et amélioration génétique

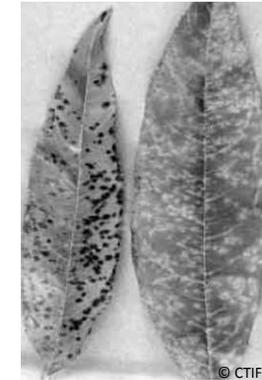
Chez les arbres fruitiers à noyaux



Apricot latent ringspot virus
(ALRSV) / abricotier



Cherry necrotic rusty mottle virus
(CNRMV) / cerisier



Maladie des anneaux
de suie / pêcher

Chez les espèces ornementales



Chrysanthemum stem necrosis virus (CSNV) / chrysanthème

- 1994 : Pays-Bas
- 2001 : Slovénie
- 2002 : UK



Plantago asiatica mosaic virus (PIAMV) / lis

- 2010 : Pays-Bas
- 2012 : Espagne et UK

→ Contrôle de l'état sanitaire du matériel importé

→ Adapter les schémas de sélection/certification aux 'nouveaux' virus

Emergence virale et remplacement de souches

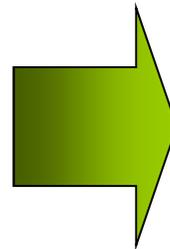
Cas du *Watermelon mosaic virus* (WMV)

- Transmission par les pucerons
- Forte prévalence sur les cucurbitacées

Peu de dégât
sur courgette



souche autochtone
(années '70 → 1999)



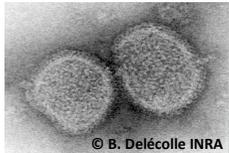
souche émergente
(2000 → ...)

Symptômes
sévéres sur
courgette

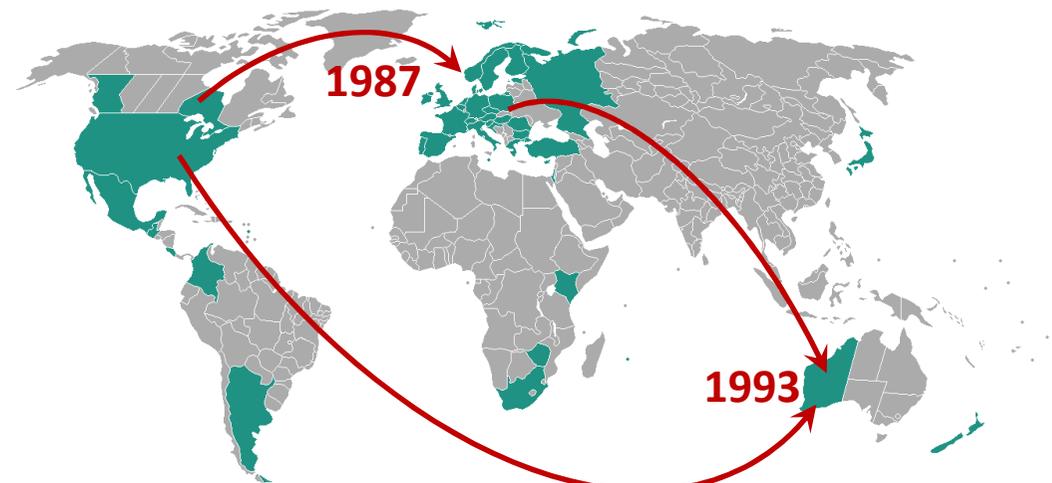
- Années '00 : remplacement de souches dans le sud-est (courgette) suivi en temps réels
- Apport de l'épidémiologie moléculaire pour suivre l'histoire évolutive du WMV
 - origine extrême-orientale des souches émergentes
 - voies d'introduction non élucidées (transport de matériel ?)

Emergence virale et introduction d'un vecteur efficace

Cas du *Tomato spotted wilt virus* (TSWV)



- Gamme d'hôtes > 1000 espèces
- Décrit depuis ± 1930
- Jusqu'à fin années '80 : transmission par le thrips du tabac → dégâts limités
- Année '90 : fortes épidémies associées à l'arrivée du thrips californien *Frankliniella occidentalis*.
- Aujourd'hui :
 - Distribution mondiale
 - Difficulté à contrôler les thrips

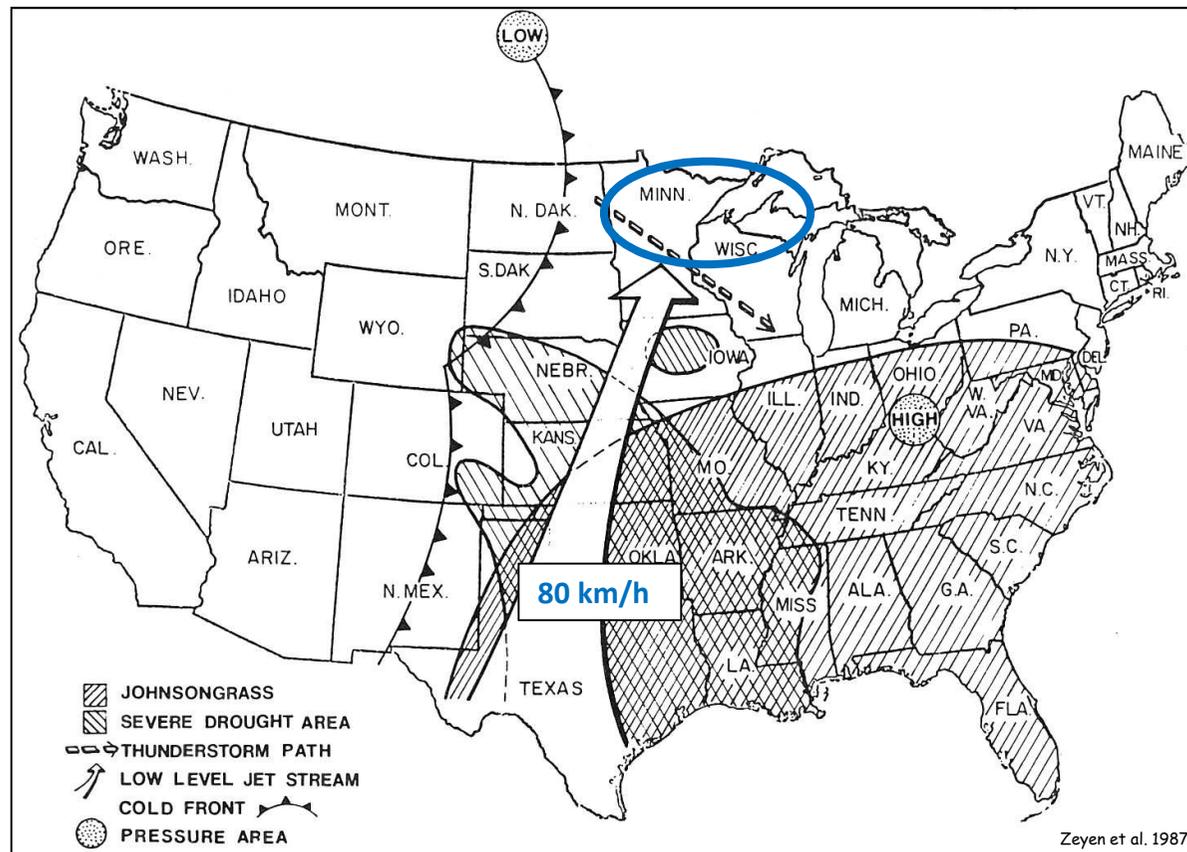


Répartition de *F. occidentalis*

Emergence et influence du climat

Cas du *Maize dwarf mosaic virus* (MDMV)

- *Potyvirus* transmis par les pucerons
- Réservoir du MDMV : le sorghum 'Johnsongrass' (mauvaise herbe)
- 1977 : épidémie sévère de MDMV dans les cultures de maïs ('Corn belt', USA)



→ causes probables : dissémination des pucerons par le vent sur de longues distances (1500 km en 20 heures)

Emergence et résistances variétales

Le modèle TSWV / piment



- 1999 : variétés résistantes (locus Tsw) déployées en Espagne et Italie
- 2000 : apparition de souches surmontant la résistance
- Aujourd'hui : prédominance des souches contournantes dans le bassin méditerranéen

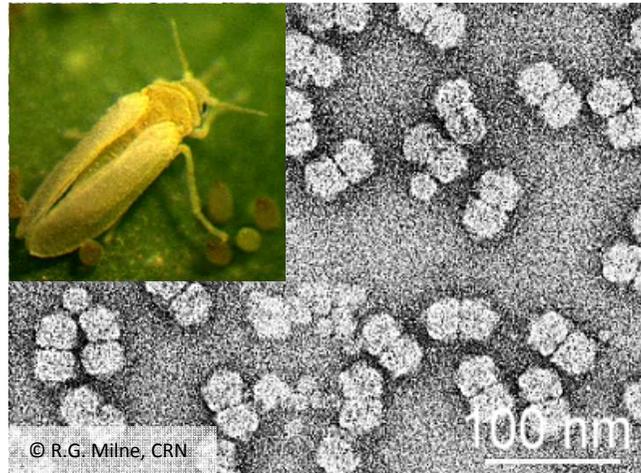
Le modèle ToMV / tomate

- Déploiement de variétés combinant des gènes de résistance (Tm1, Tm2...)
 - disparition du ToMV des cultures
- Retour aux variétés 'de type ancien' dépourvues de résistances
 - ré-émergence de virus, toujours présents dans l'environnement

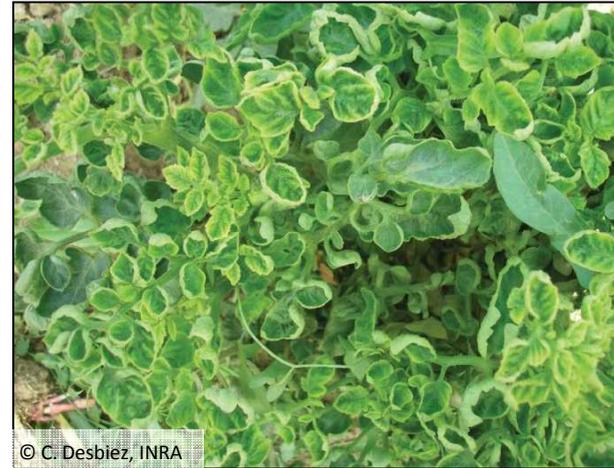


Emergence et causes multifactorielles

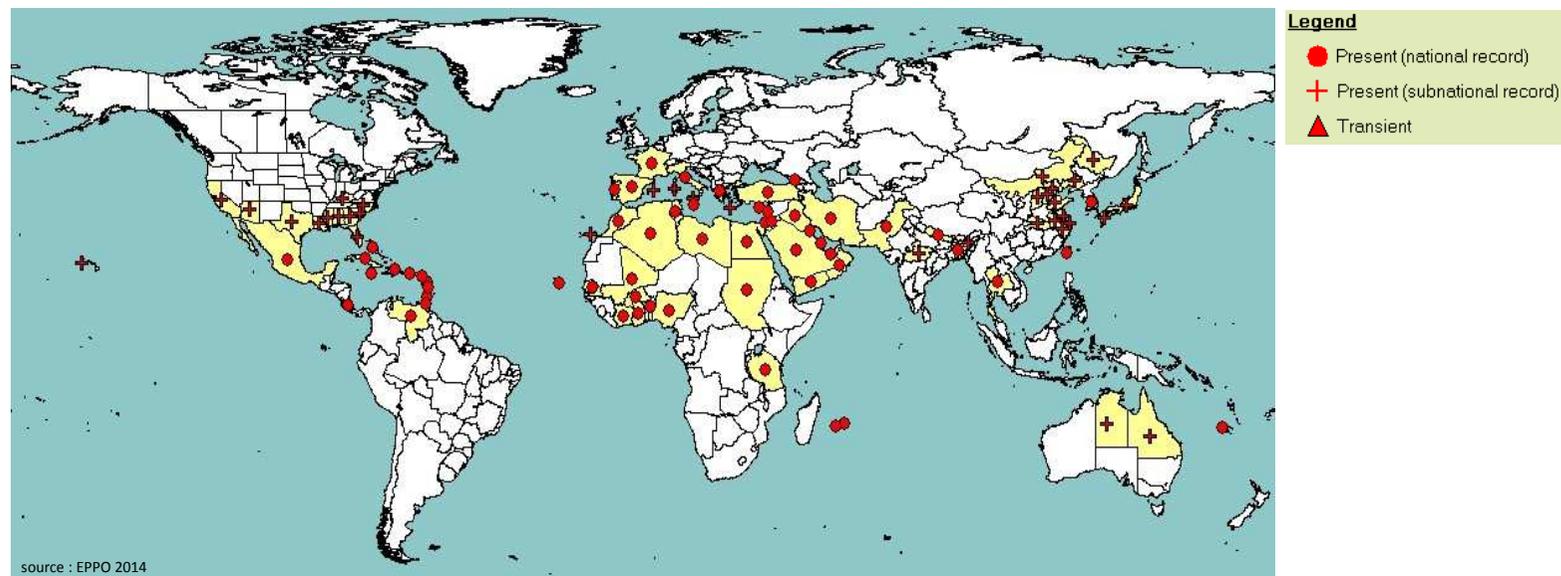
Cas des virus transmis par *Bemisia tabaci*



Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)



Tomate et lisianthus infectés par le TYLCV



Aire de répartition du TYLCV

Emergence et causes multifactorielles

Cas des virus transmis par *Bemisia tabaci*

- Années '00 : crise phytosanitaire majeure
- France : mise en place d'une politique de surveillance et d'éradication

Facteurs favorisant ces émergences :

- **Explosion du biotype 'B' de *B. tabaci*** (années '80)
 - forte fécondité
 - gamme d'hôtes étendue (espèces cultivés et sauvages)
 - transmission de nombreux virus (> 100 virus)
- **Réchauffement climatique** : accroissement de l'aire de répartition de *B. tabaci*
- **Contre-plantation (tomate)** : maintient du virus dans, puis hors des cultures
- **Inefficacité des méthodes de lutte chimique** : résistances aux insecticides

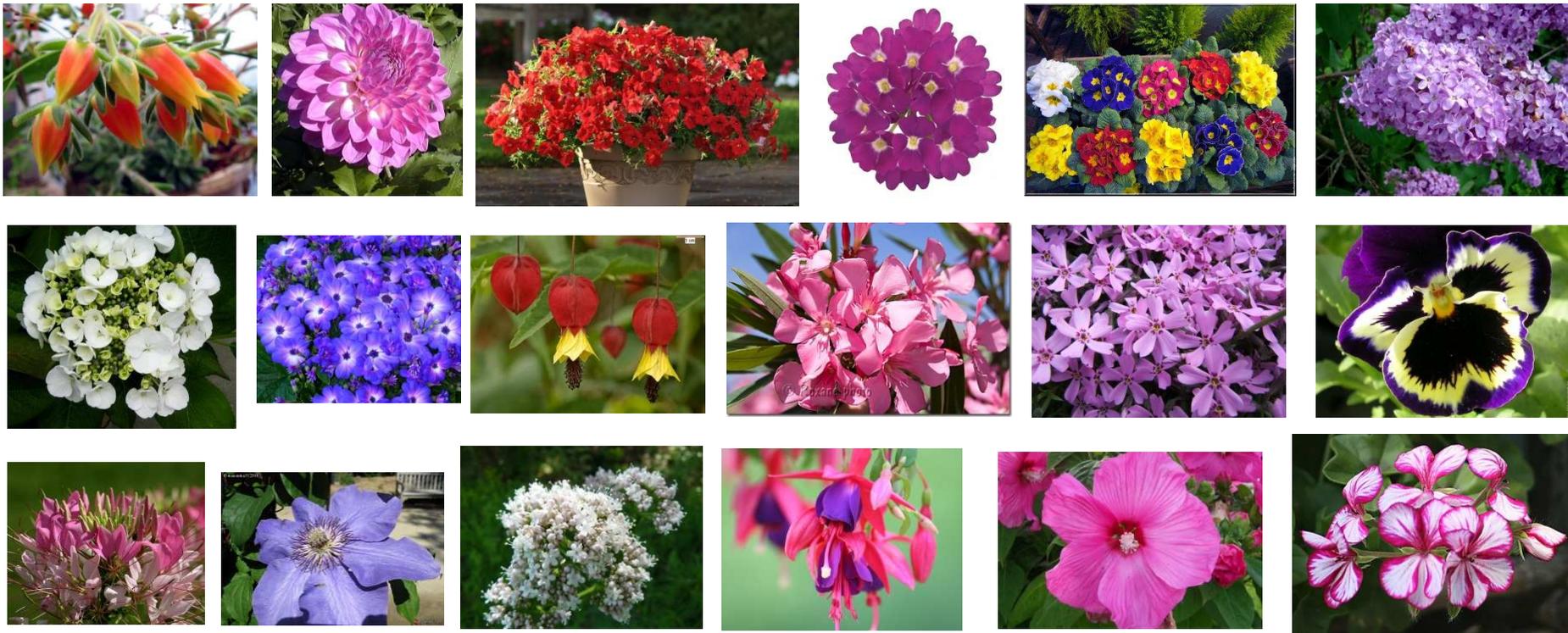
Conséquences sur les virus :

- **Renforcement** de virus déjà installés : mosaïque du manioc en Afrique (CMD)
- Emergence rapide de **nombreux virus**:
Begomovirus (TYLCV, TYLCVSD...), *Crinivirus* (ToCV, LIYV), *Ipomovirus* (CVYV), *Torradovirus* (ToTV)
- Infections multiples favorisant la recombinaison
 - **meilleure adaptation** : plantes hôtes (polyphage), pouvoir pathogène, réplication, acquisition, transmission...

Emergence et espèces ornementales ?

- Comment estimer la diversité virale dans une filière en constante évolution ?
 - grande hétérogénéité : plantes en pots, à massifs, fleurs coupées
 - turn-over fréquent
 - production de plants à l'étranger (majoritairement)

- analyse de nombreuses espèces par séquençage haut-débit (NGS)
 - symptômes de types viraux
 - nombreuses origines (France, Europe)



Emergence et espèces ornementales ?

➤ Identification de 50 à 60 virus (36 échantillons/55; 39 espèces suivies) :

➤ Nouveaux hôtes

	Hôte	Virus
v003	Cleome	<i>Tulip virus X (TVX)</i>
v021	Cleome	<i>Cucumber mosaic virus (CMV)</i>
v129	Cleome	<i>Tobacco ringspot virus (TRSV)</i>
v114	Lisianthus	<i>Eggplant mottle dwarf virus (EMDV)</i>

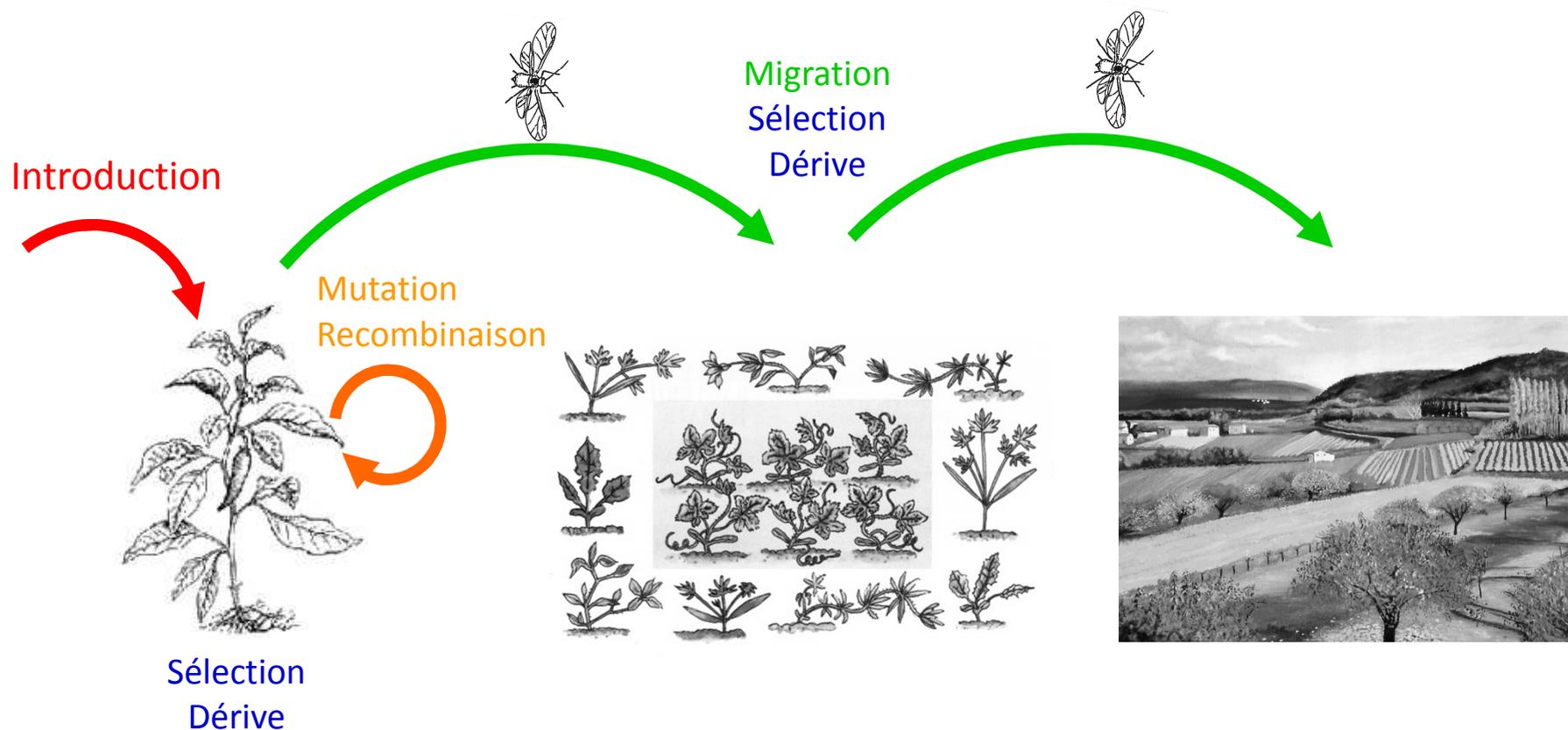
➤ Nouveaux virus ?

	Hôte	Virus le plus proche	Genre
v036	Pois de senteur	<i>Garlic virus C</i>	<i>Allexivirus</i>
v036	Pois de senteur	<i>Pea enation mosaic virus</i>	<i>Enamovirus</i>
v036	Pois de senteur	<i>Prune dwarf virus</i>	<i>Iilarvirus</i>
v036	Pois de senteur	<i>Rose spring dwarf-associated virus</i>	<i>Luteovirus</i>
v101	Anemone	<i>Pepper cryptic virus 2</i>	<i>Cryptovirus</i>
v146	Viola	<i>Viola white distortion associated virus</i>	<i>Iilarvirus</i>
v118	Pivoine	<i>Cycas necrotic stunt virus</i>	<i>Nepovirus</i>
v063	Cyclamen	<i>Brugmansia mosaic virus</i>	<i>Potyvirus</i>
v132	Canna	<i>Bean yellow mosaic virus</i>	<i>Potyvirus</i>
v046	Dahlia	<i>Dahlia latent viroid & Cirus viroid I-LSS</i>	<i>Viroid</i>
v088	Anemone	<i>Vicia faba virus 1</i>	<i>Partitivirus</i>
v101	Anemone	<i>Vicia faba virus 1</i>	<i>Partitivirus</i>

➤ A déterminer

	Hôte	Genre
v032	Hydrangea	<i>Potyvirus</i>
v033	Kalanchoe	<i>Potyvirus</i>
v051	Chrysanthemum	<i>Potyvirus</i>
v084	Green bell	<i>Potyvirus</i>

Comment prévenir les émergences virales ?



1. Détecter les émergences
2. Gérer durablement les résistances
3. Mieux comprendre les épidémies virales

Comment prévenir les émergences virales ?

1. Détecter les émergences

Développement/utilisation d'outils sérologiques et moléculaires...

- **Spécifiques** : détection de routine, surveillance
ex. : ELISA, PCR et dérivés
- **Génériques** : étiologie
ex. : PCR et dérivés, séquençage haut-débit (NGS)
- **Quantitatifs** : co-infections, épidémiologie ...
ex. : qPCR

... au service du diagnostic et de la recherche



Tobacco mild green mosaic virus, TMGMV



Snake melon asteroid mosaic virus, SMAMV



Lettuce yellow mottle virus, LYMoV

Comment prévenir les émergences virales ?

2. Gérer durablement les résistances

- Estimer le potentiel de durabilité des résistances (mono ou polygéniques) chez différents pathosystèmes virus/hôtes
- Evaluer la contrainte évolutive exercée sur les facteurs d'avirulence
- Tendre vers une protection intégrée durable couplant déploiement des résistances et pratiques culturales (outils de modélisation)

3. Mieux comprendre les épidémies virales

- **Virus** : étude de la diversité des populations virales
- **Vecteurs** : identifier les espèces vectrices et leur mode de dissémination
- **Environnement** : étude de la dynamique des populations virales à l'échelle de la parcelle, du paysage

Comment prévenir les émergences virales ?

Une veille permanente...

➤ **via un réseau national et international**

- conseillers 'terrain' (fédérations, associations, CA, FREDON...)
- interprofession (France-Agrimer, CTIFL...), semenciers...
- commissions scientifiques nationales (CTPS, ASTREDHOR...)
- organismes de contrôle (ANSES)
- contacts/collaborations (pathologistes, OEPP, COST...)

➤ **via des enquêtes épidémiologiques régulières**

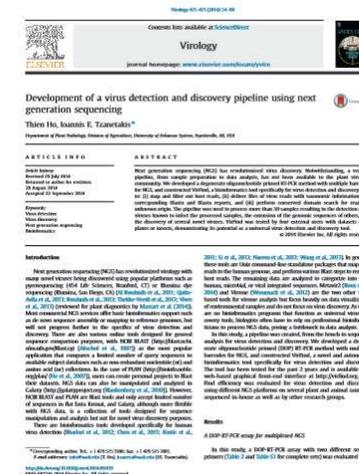
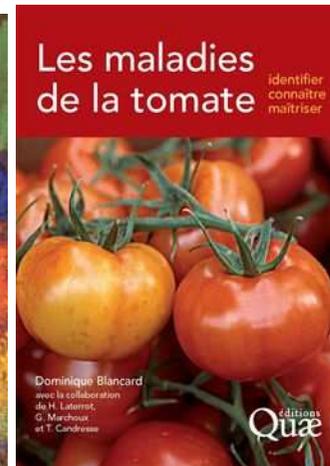
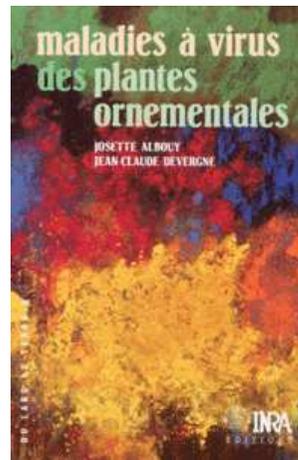
- plantes cultivées (solanacées, cucurbitacées...)
- plantes non cultivées (adventices, sauvages)



Comment prévenir les émergences virales ?

➤ En se maintenant informé

✓ Bulletins, ouvrages, articles scientifiques...

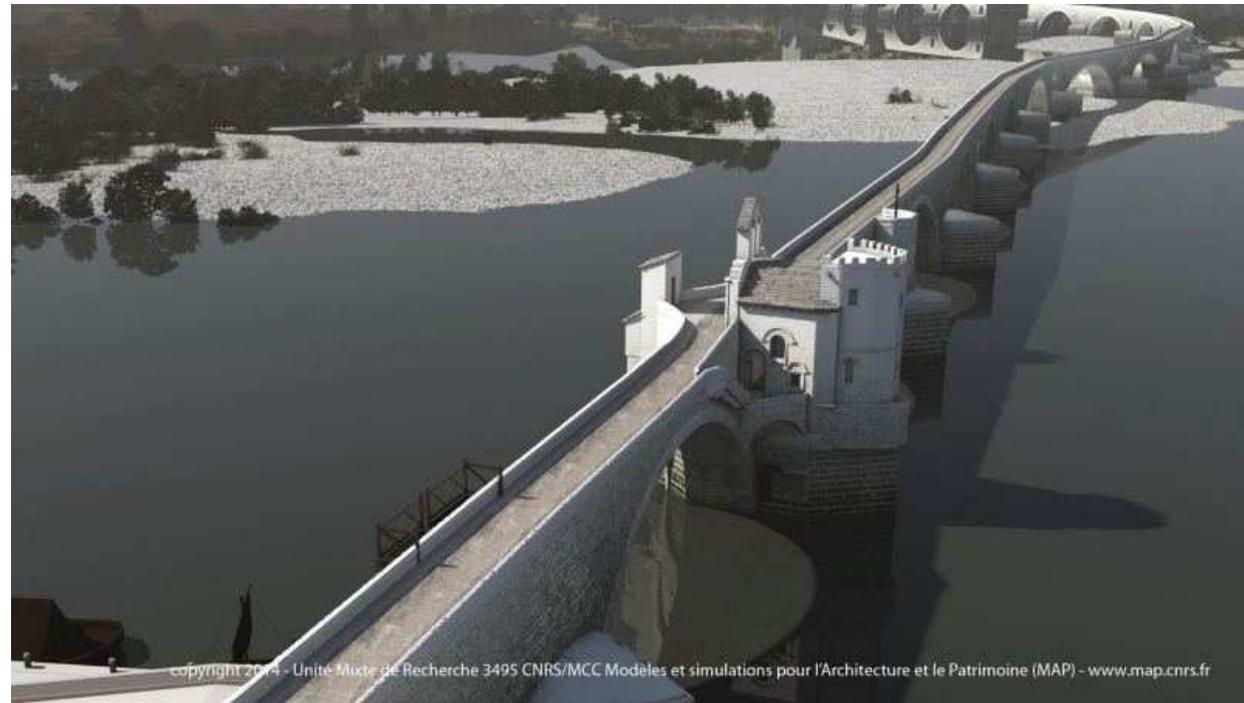


✓ Systèmes experts de diagnostic et d'épidémiosurveillance : e-phytia, Vigipl@nt



Conclusion

- De nombreux facteurs sont associés à l'émergence d'un 'nouveau' virus
- Dans de nombreux scénarios, plusieurs facteurs y contribuent simultanément
- L'activité humaine participe de façon majeure à créer des conditions favorables aux émergences
 - **La fréquence des phénomènes d'émergence va donc se maintenir, voire s'amplifier**
 - **Nécessité de repérer précocement, voire de prédire, les émergences virales**



merci...

