



Les Oomycètes, ces pseudo-champignons dévastateurs, l'exemple des *Phytophthora*

Antoine Dionne

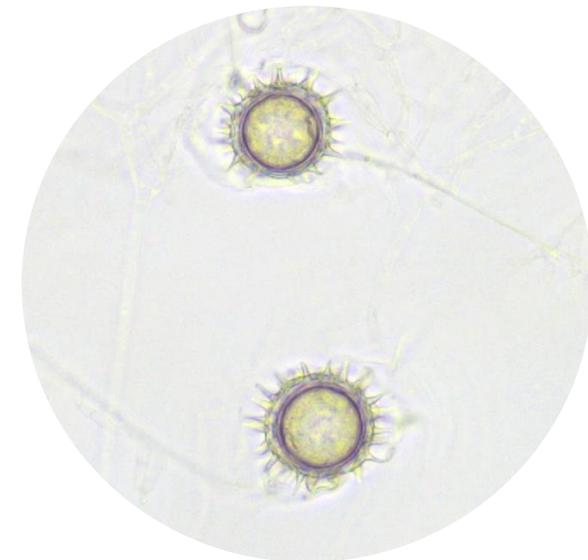
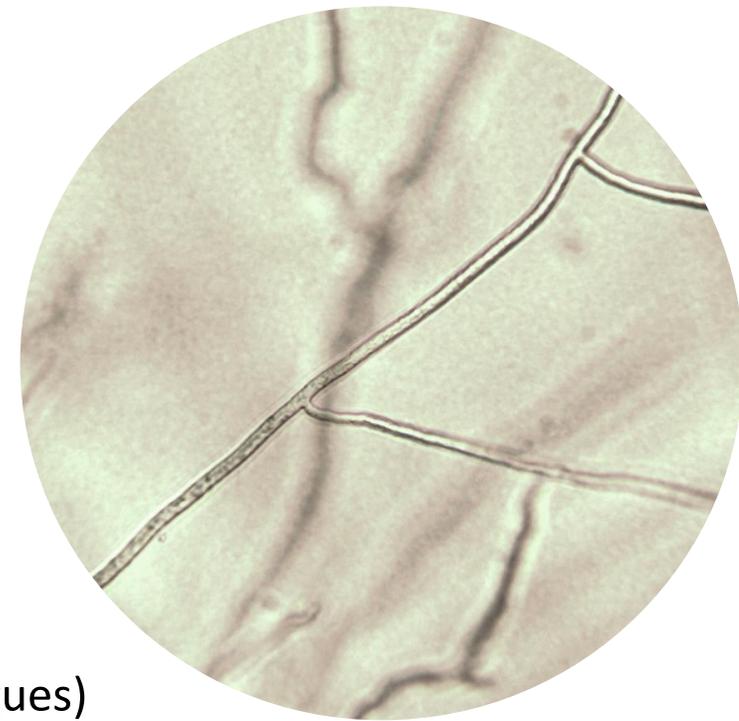
Phytopathologiste

Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection

MAPAQ

Oomycètes

- Pseudo-champignons ou pseudo-algues
 - Ressemblent à un champignon
 - Mycélium
 - Spores
 - Diffèrent aussi des champignons
 - Cellulose dans leurs parois cellulaires (comme les plantes et les algues)
- Quelques exemples :
 - *Pythium* sp.
 - *Phytophthora* sp.
 - *Albugo* sp. (rouille blanche)
 - Mildious (« downy mildew »)
 - Ex. : *Pseudoperonospora cubensis*
 - À ne pas confondre avec le blanc (« powdery mildew ») causé par des champignons



Oomycètes

Organismes « aquatiques »

(*Water mold*)

- Ils ont besoin d'eau pour se disperser
- Les conditions humides favorisent leur développement
- Leurs zoospores sont conçues pour « nager »
- On retrouve des spores dans l'eau (rivières, étangs, eau du sol)

Source : https://www.youtube.com/watch?v=PxF8OwDtJh0&ab_channel=PlantPathology

Petite histoire des *Phytophthora*

- 1845-1846 (Irlande)
 - Mildiou de la pomme de terre = origine de l'intérêt scientifique
 - 1843-1845 (est de l'Amérique du Nord)
- 1876 : *Phytophthora infestans*
- *Phytophthora* = destructeur (*phthorá*) de plante (*phytón*)
- 1892 : séparation des *Phytophthora* sp. et des *Pythium* sp.
- L'origine de la discipline de la phytopathologie est intimement liée à *P. infestans*
- *P. capsici* : 1922
- Aujourd'hui environ 200 espèces



Miles Joseph Berkeley



Heinrich Anton de Bary

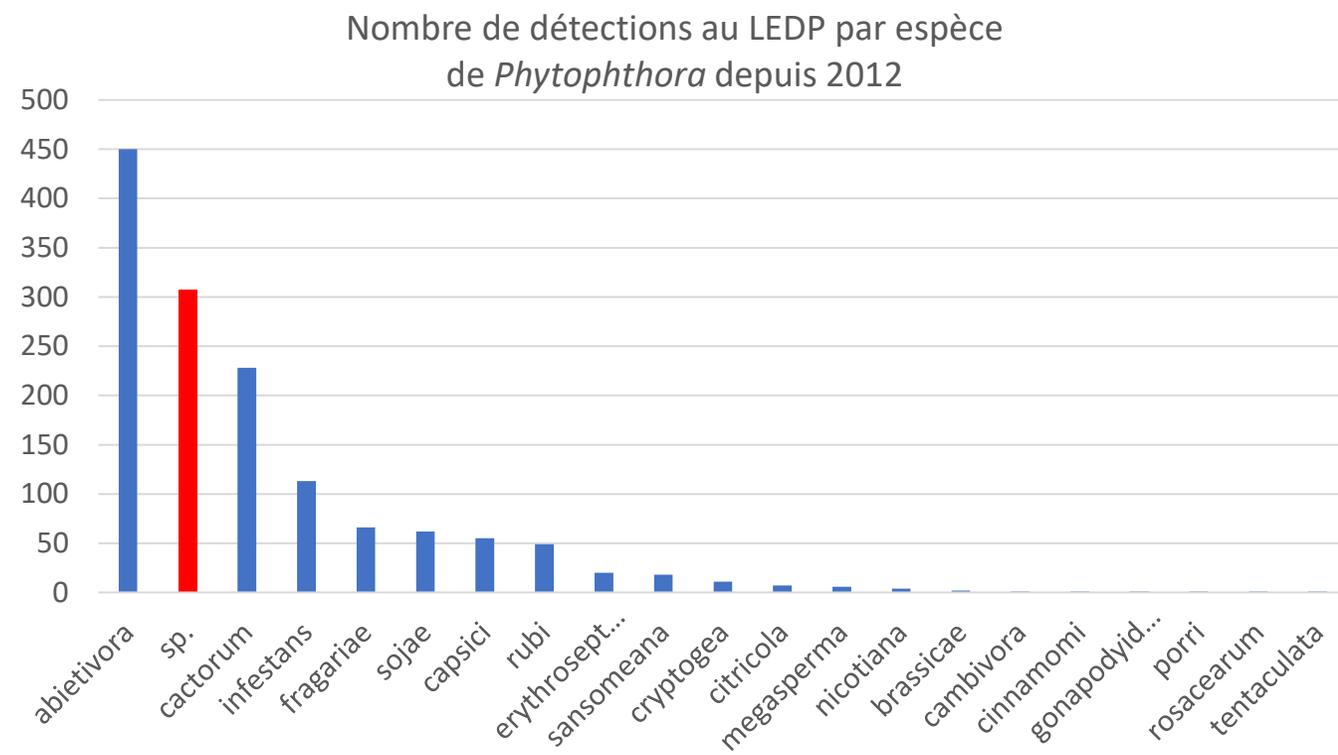
Impacts économiques des *Phytophthora*

- *Phytophthora* parmi les organismes causant le plus de dommages aux plantes
- *P. ramorum* : Encre des chênes rouges
 - Côte ouest américaine ([Kovacs et al., 2011](#)) :
 - 7,5 M\$ en remplacement d'arbres
 - 135 M\$ en perte de valeur de terrains
- *P. sojae* :
 - 1 milliard de pertes annuelles mondialement ([Chi et al., 2021](#))
- *P. capsici* :
 - 90 % de pertes dans un champ de 32 ha (Michigan) ([Granke et al., 2012](#))

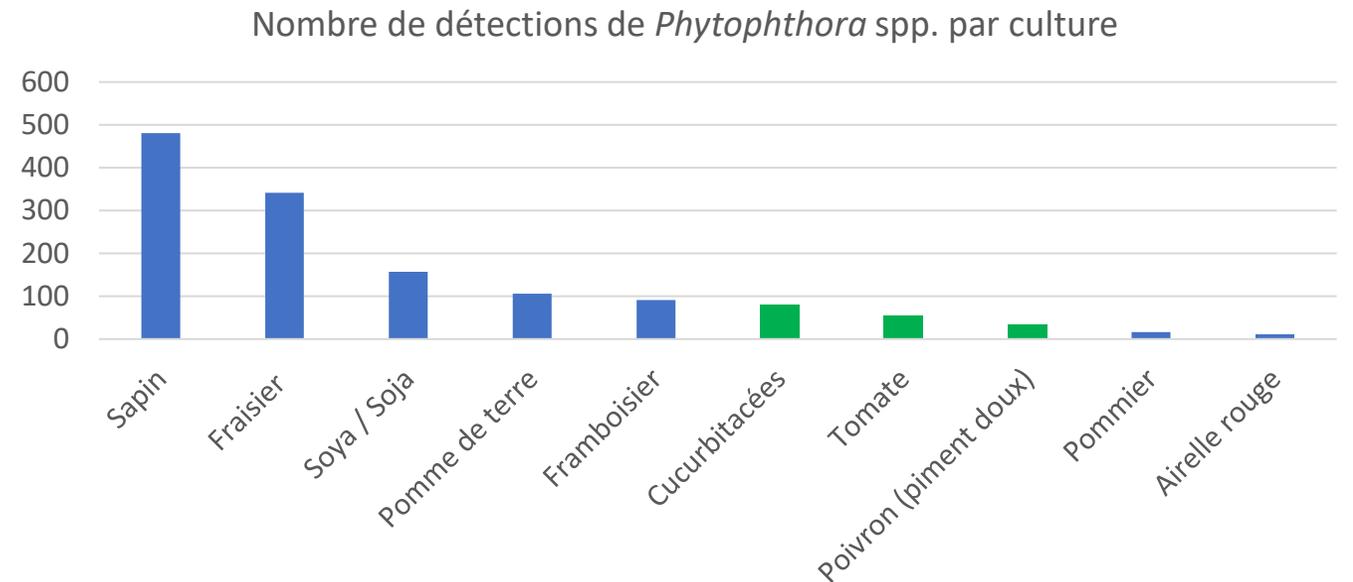


Les *Phytophthora* au Québec

- 20 espèces documentées au LEDP

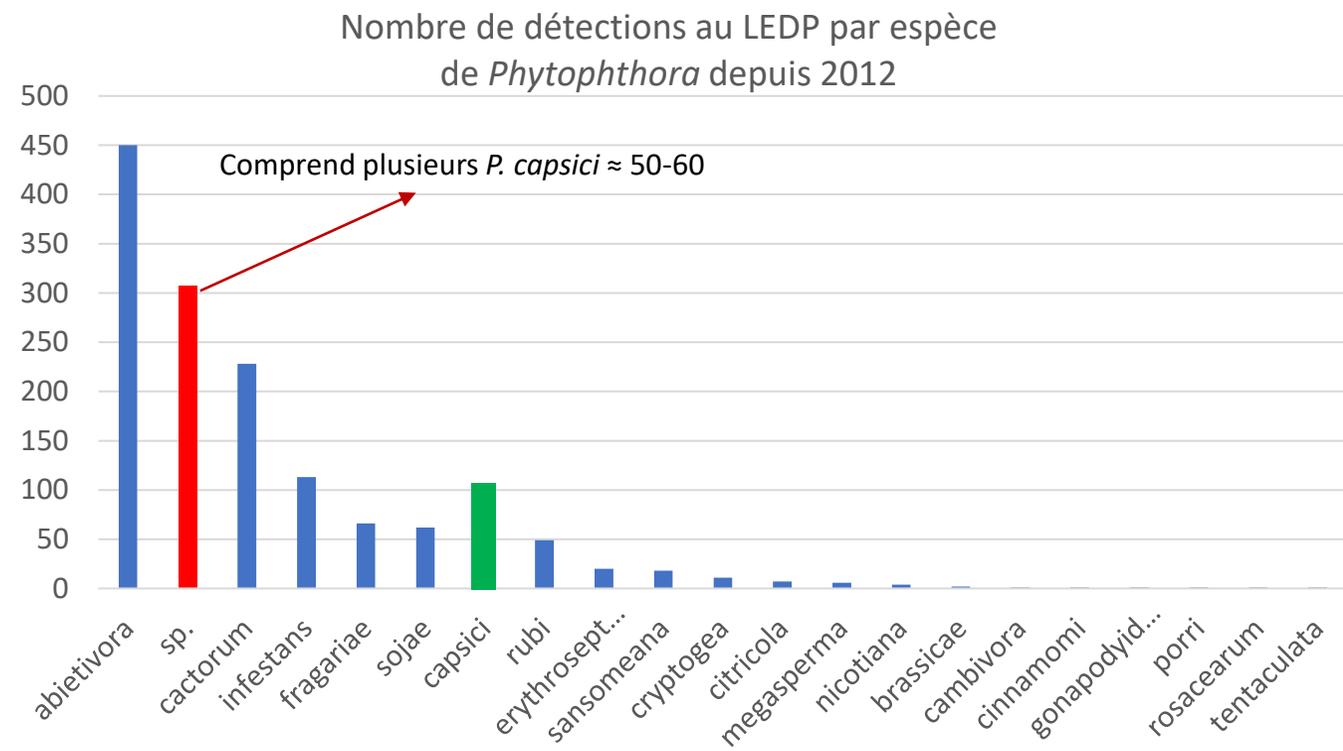


- Affectant de nombreuses cultures

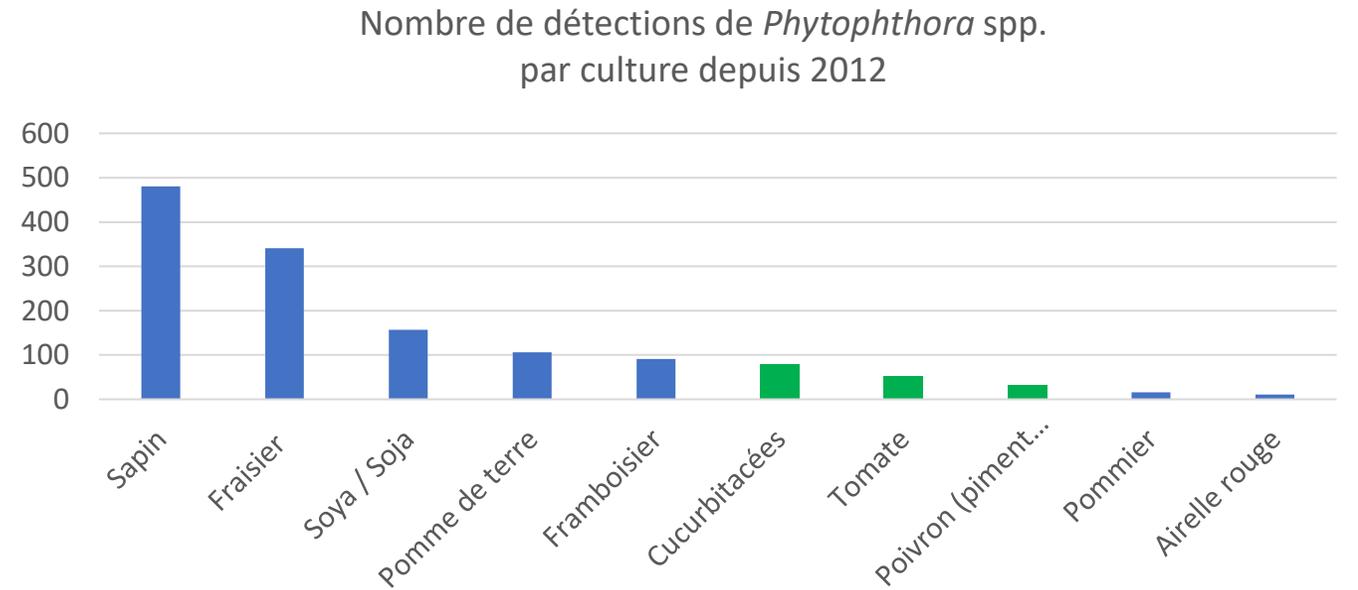


Les *Phytophthora* au Québec

- 20 espèces documentées au LEDP



- Affectant de nombreuses cultures



Phytophthora capsici

Hôtes

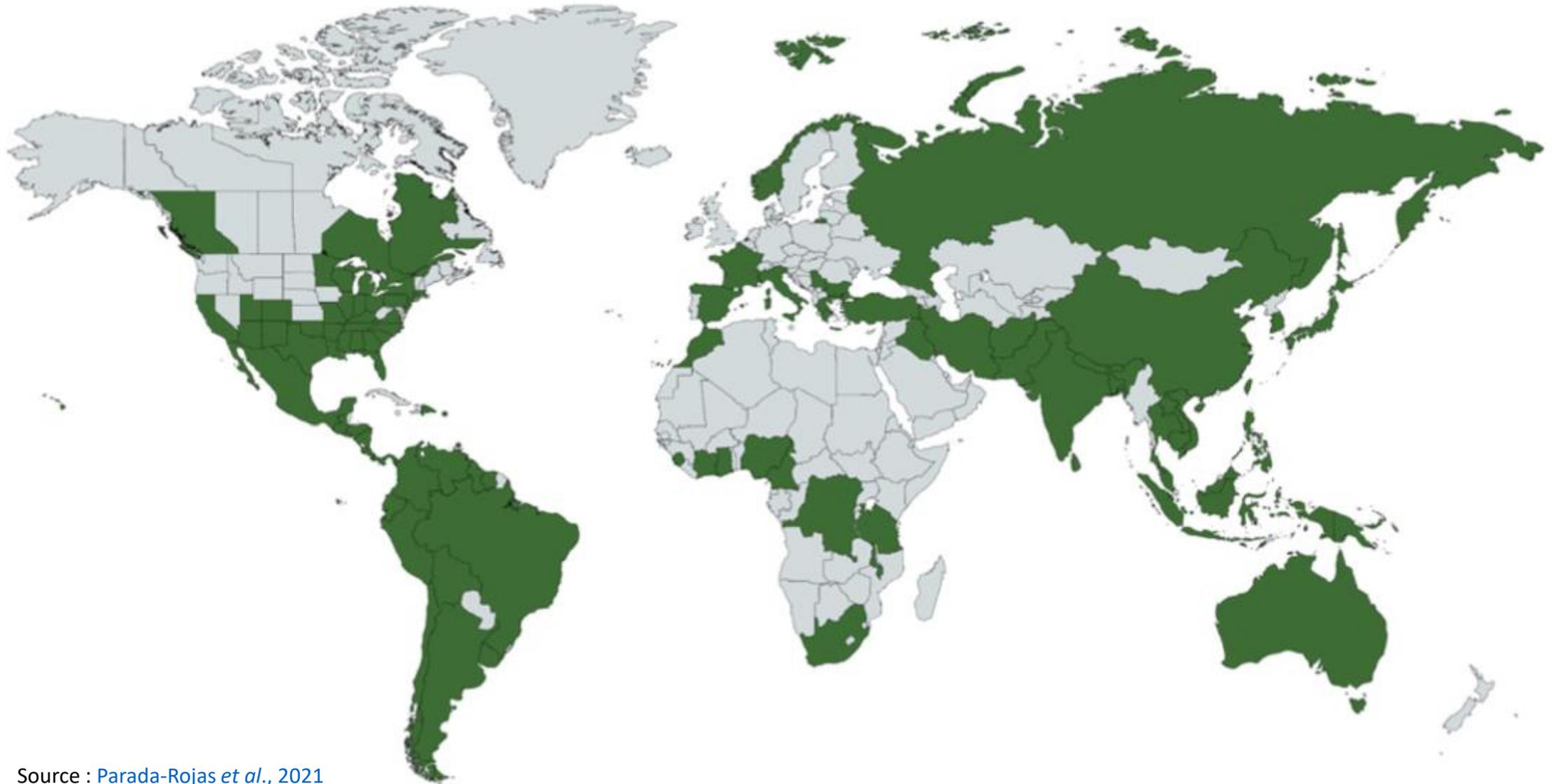
- Plus de 70 espèces de plantes hôtes connues
- Affecte surtout :
 - Solanacées
 - Cucurbitacées
 - Fabacées
- Autres
 - Certaines crucifères
 - Carotte
 - Betterave
 - Épinard
 - Oignon
 - Quelques cas documentés dans la fraise
- Grande diversité génétique
 - Différences de virulence entre les souches

Family	Species	Common name
Aloaceae	<i>Aloe</i> sp.	Aloe
Apiaceae	<i>Daucus carota</i>	Carrot
Araceae	<i>Anthurium andraeanum</i>	Flamingo lily
Asteraceae	<i>Carthamus tinctorius</i>	Safflower
	<i>Cosmos</i> sp.	Cosmos
Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i>	Cauliflower
	<i>Brassica rapa</i>	Turnip
	<i>Raphanus sativus</i>	Radish
Caryophyllaceae	<i>Dianthus barbatus</i>	Carnation
Chenopodiaceae	<i>Beta vulgaris</i>	Sugarbeet, red beet, swiss chard
	<i>Spinacia oleracea</i>	Spinach
Cucurbitaceae	<i>Cucumis sativus</i>	Cucumber
	<i>Cucumis melo</i>	Melon
	<i>Cucurbita maxima</i>	Squash, pumpkin
	<i>Cucurbita moschata</i>	Squash, pumpkin
	<i>Cucurbita pepo</i>	Squash, pumpkin, zucchini
	<i>Citrullus lanatus</i>	Watermelon
Pinaceae	<i>Abies fraseri</i>	Fraser fir
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i>	Pepper
	<i>Calibrachoa × hybrida</i>	Million bells
	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomato
	<i>Solanum melongena</i>	Eggplant
	<i>Nicotiana</i> sp.	Tobacco
	<i>Petunia</i> sp.	Petunia
	<i>Nierembergia scoparia</i>	Cup flower
Fabaceae	<i>Lupinus polyphyllus</i>	Lupine
	<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa
	<i>Phaseolus</i> sp.	Bean, snap and lima
	<i>Pisum sativum</i>	Pea
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Avocado
Liliaceae	<i>Allium cepa</i>	Onion
Linaceae	<i>Linum</i> sp.	Flax
Malvaceae	<i>Gossypium hirsutum</i>	Cotton
	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Okra
	<i>Ficus carica</i>	Fig
Orchidaceae	<i>Vanilla planifolia</i>	Vanilla
Sterculiaceae	<i>Theobroma cacao</i>	Cocoa
Proteaceae	<i>Macadamia</i> sp.	Macadamia nut
Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	Peach
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	Papaya

Source : [Parada-Rojas et al., 2021](#)

^a Modified from Granke et al. (2012a).

Phytophthora capsici



Phytophthora capsici

Symptômes

- Affecte toutes les parties de la plante
- À tout moment si les conditions sont propices
 - Fonte des semis
 - Pourritures racinaires
 - Dépérissement des plants
 - Pourritures de fruits



Phytophthora capsici

Indices pour différencier les symptômes

- Dégradation des collets
 - Apparition assez rapide de mycélium blanc
 - Dégradation moins rapide des collets par *Fusarium* sp. ou *Rhizoctonia* sp.
- Noircissement du système vasculaire
- Les tissus atteints sont généralement spongieux, humides (aspect huileux), mais pas liquéfié (vs pourriture molle bactérienne)
- Odeur aigre caractéristique (pas toujours présente)
- La présence de plusieurs organismes phytopathogènes complexifie le diagnostic

Noircissement du système vasculaire



Dégradation du collet. Présence de mycélium blanc



Phytophthora capsici

Indices pour différencier les symptômes

- Dégradation des collets
 - Apparition assez rapide de mycélium blanc
 - Dégradation moins rapide des collets par *Fusarium* sp. ou *Rhizoctonia* sp.
- **Noircissement** du système vasculaire
- Les tissus atteints sont généralement **spongieux**, humides (**aspect huileux**), mais pas liquéfié (vs pourriture molle bactérienne)
- Odeur aigre caractéristique (pas toujours présente)
- La présence de plusieurs organismes phytopathogènes complexifie le diagnostic

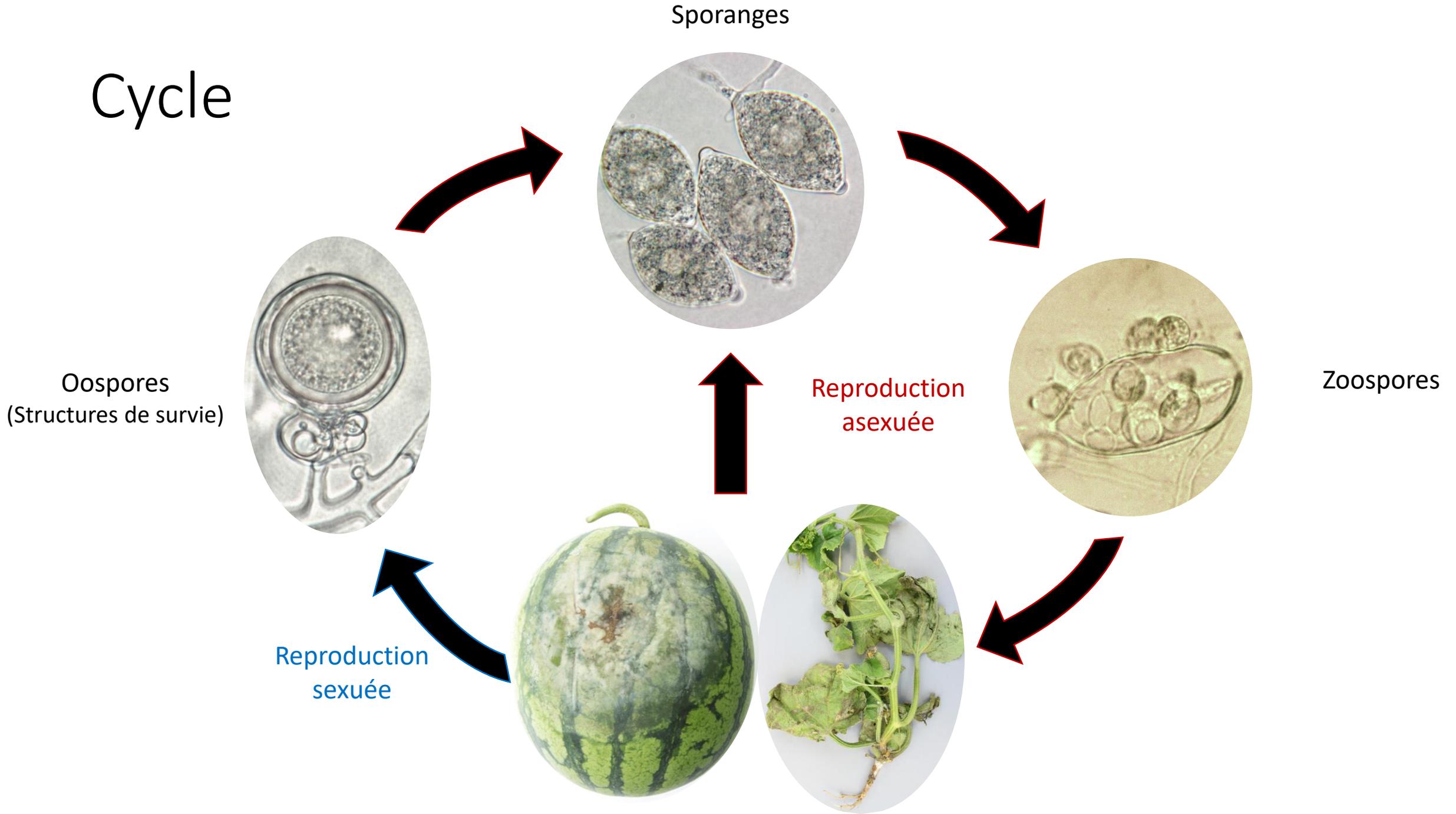
Noircissement du système vasculaire



Dégradation du collet. Présence de mycélium blanc



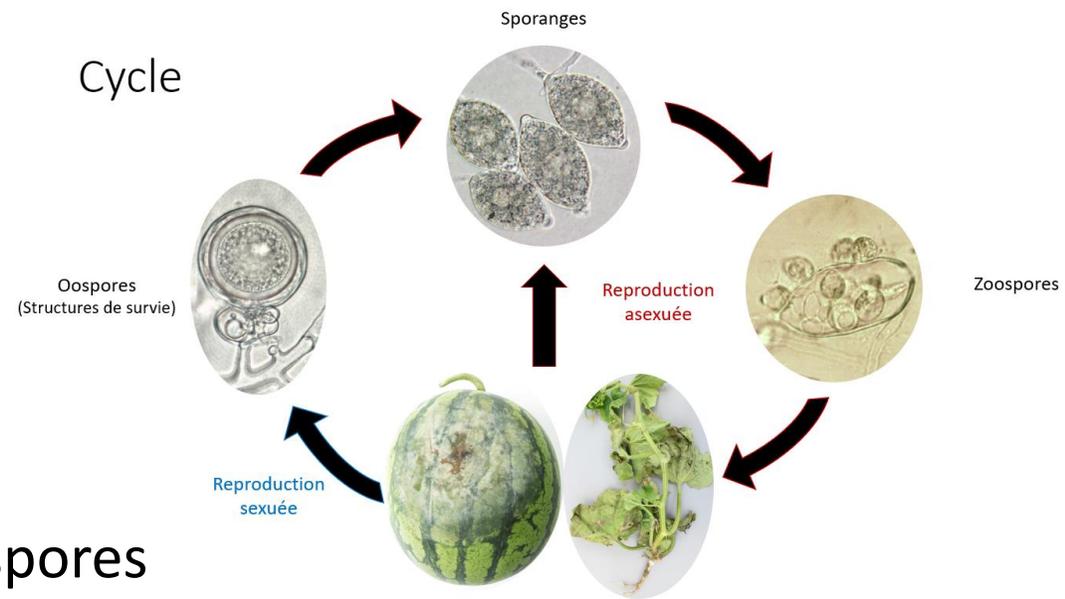
Cycle



Phytophthora capsici

Cycle

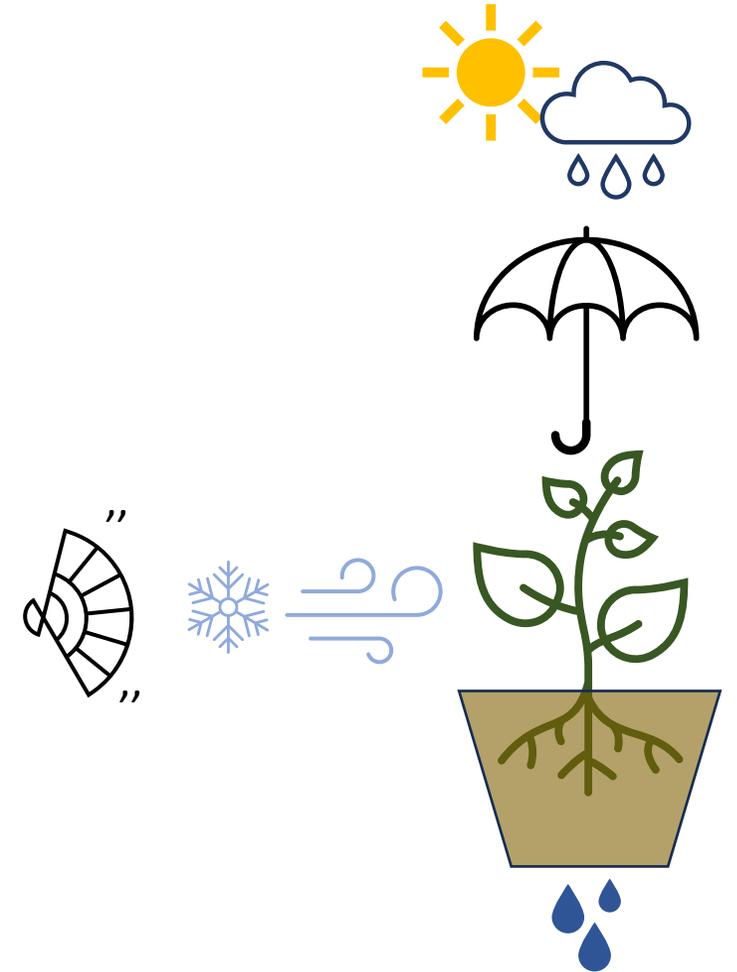
- Survie dans le sol et les débris sous forme d'oospores
 - Peuvent survivre plusieurs années
 - Oospores produisent des sporanges lors de conditions favorables
- Sporangies se développent ensuite sur les tissus affectés
 - Possibilité de production de centaines de milliers de sporanges sur un seul fruit de concombre
- Propagation par l'eau
 - Sporangies propagés par les éclaboussures
 - Les zoospores contenues dans les sporanges nagent dans l'eau libre vers d'éventuels hôtes



Phytophthora capsici

Conditions favorables pour son développement

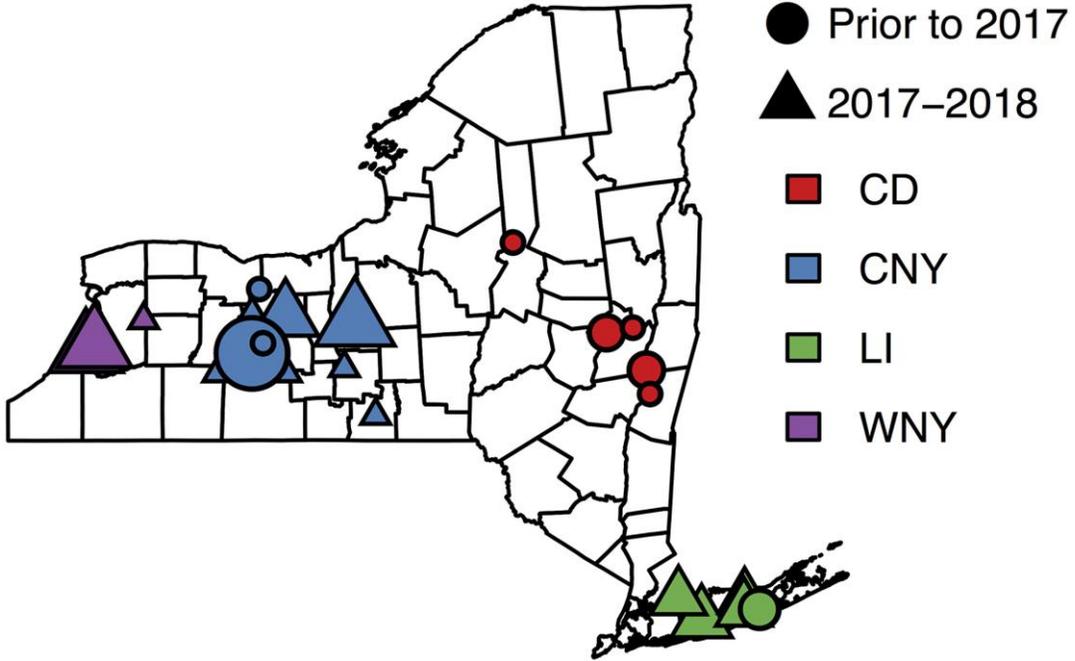
- Présence d'eau
 - Humidité élevée
 - Pluies : dispersion des spores
 - Contenu en eau du sol élevé
- Températures optimales 24-33 °C
 - Sol : au-dessus de 18 °C



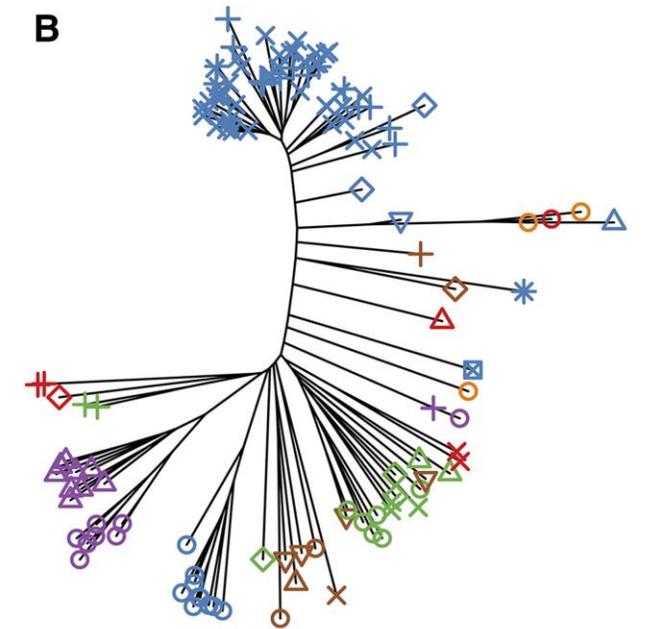
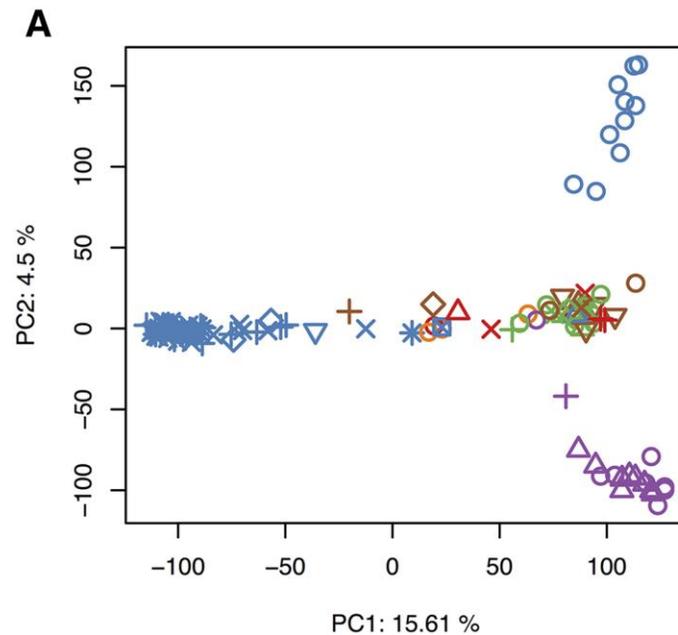
Variations génétiques et souches

- Beaucoup de variations génétiques
- Affecte :
 - la virulence
 - la gamme d'hôtes
 - La résistance aux fongicides





- État de NY
- Variabilité entre les populations selon la localisation



CD

- Columbia #1 (2014), $n=1$
- △ Herkimer #1 (2007), $n=1$
- + Rensselaer #1 (2007), $n=2$
- × Schenectady #1 (2007), $n=2$
- ◇ Schenectady #2 (2007), $n=1$

CNY

- Cayuga #1 (2017), $n=10$
- △ Monroe #1 (2006), $n=1$
- + Ontario #1 (2013), $n=17$
- × Ontario #1 (2017), $n=42$
- ◇ Ontario #2 (2018), $n=2$
- ▽ Ontario #3 (2006), $n=1$
- Tioga #1 (2018), $n=1$
- * Tompkins #1 (2018), $n=1$

LI

- Suffolk #1 (2018), $n=6$
- △ Suffolk #2 (2018), $n=2$
- + Suffolk #3 (2018), $n=2$
- × Suffolk #4 (2018), $n=3$
- ◇ Suffolk #5 (2007), $n=3$

WNY

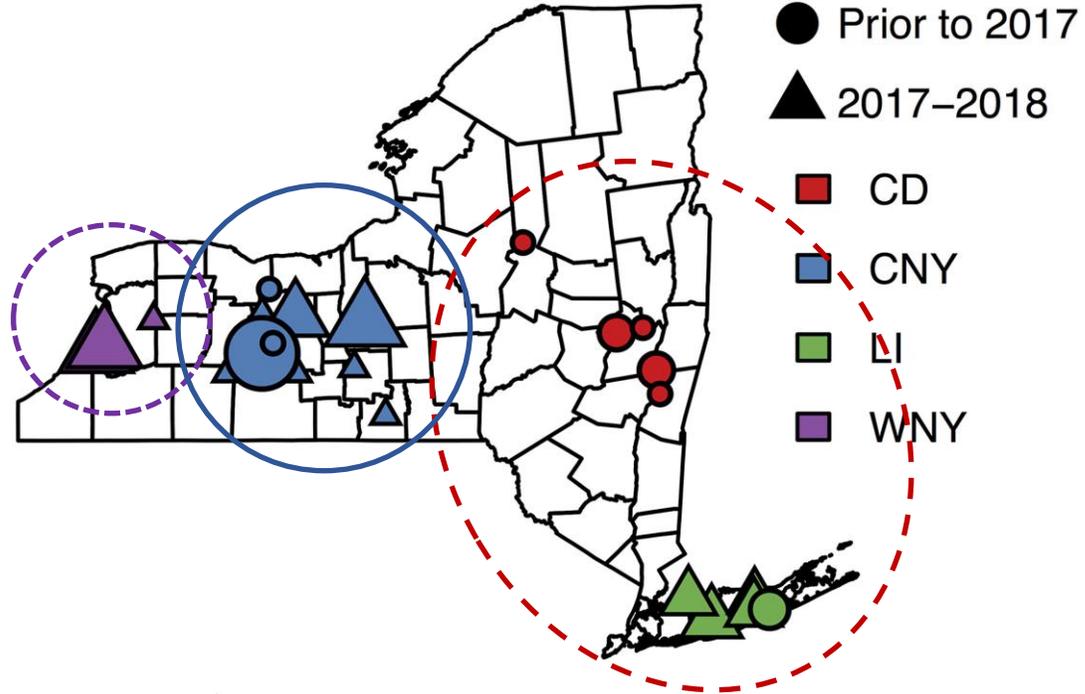
- Erie #1 (2017), $n=8$
- △ Erie #2 (2017), $n=9$
- + Erie #3 (2018), $n=1$

NY unknown

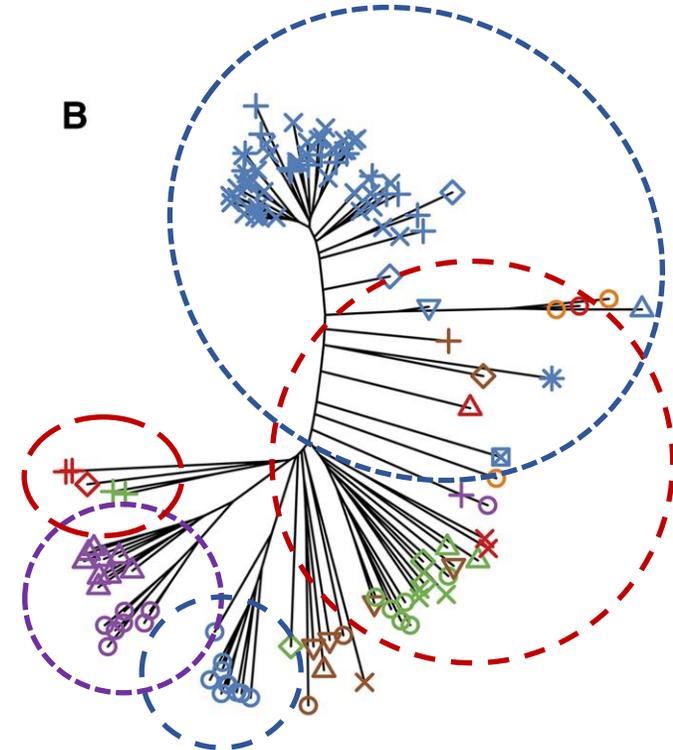
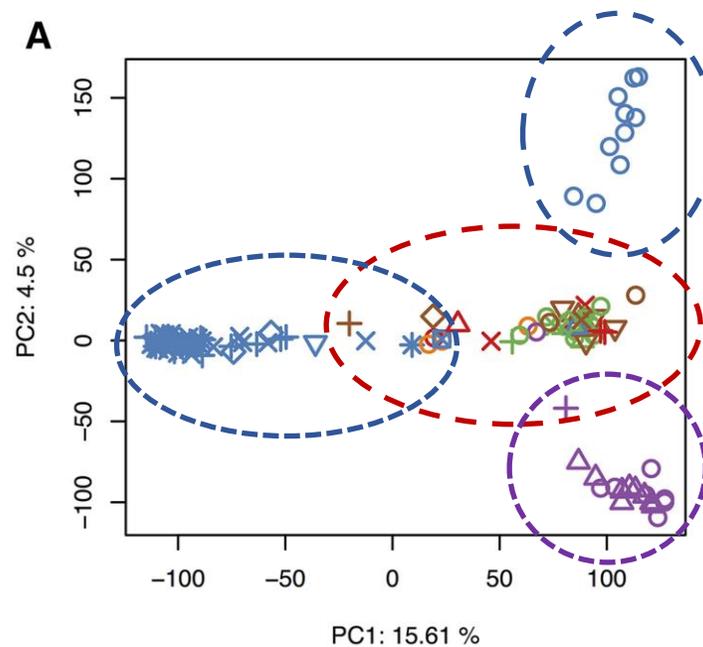
- NY unknown, $n=3$

Non NY

- CA, $n=2$
- △ FL, $n=1$
- + MI, $n=1$
- × NM, $n=1$
- ◇ OH, $n=1$
- ▽ SC, $n=4$



- État de NY
- Variabilité entre les populations selon la localisation



CD

- Columbia #1 (2014), $n=1$
- △ Herkimer #1 (2007), $n=1$
- + Rensselaer #1 (2007), $n=2$
- × Schenectady #1 (2007), $n=2$
- ◇ Schenectady #2 (2007), $n=1$

CNY

- Cayuga #1 (2017), $n=10$
- △ Monroe #1 (2006), $n=1$
- + Ontario #1 (2013), $n=17$
- × Ontario #1 (2017), $n=42$
- ◇ Ontario #2 (2018), $n=2$
- ▽ Ontario #3 (2006), $n=1$
- Tioga #1 (2018), $n=1$
- * Tompkins #1 (2018), $n=1$

LI

- Suffolk #1 (2018), $n=6$
- △ Suffolk #2 (2018), $n=2$
- + Suffolk #3 (2018), $n=2$
- × Suffolk #4 (2018), $n=3$
- ◇ Suffolk #5 (2007), $n=3$

WNY

- Erie #1 (2017), $n=8$
- △ Erie #2 (2017), $n=9$
- + Erie #3 (2018), $n=1$

NY unknown

- NY unknown, $n=3$

Non NY

- CA, $n=2$
- △ FL, $n=1$
- + MI, $n=1$
- × NM, $n=1$
- ◇ OH, $n=1$
- ▽ SC, $n=4$

Phytophthora capsici

Population Biology

Genome-Wide Association Study in New York *Phytophthora capsici* Isolates Reveals Loci Involved in Mating Type and Mefenoxam Sensitivity

Gregory Vogel, Michael A. Gore, and Christine D. Smart 

Conclusions de cette [étude](#)

- Dans la plupart des cas, peu d'échanges génétiques entre les sites
 - Déplacements restreints
 - Normalement limités aux éclaboussures
- Plusieurs sources d'introduction probables
 - Lien possible avec des inondations sur certains sites

Principales sources d'introduction

- Sol
 - Précédents cultureaux
 - Déplacements de sols contaminés (ex. : machinerie)
- Eau
 - Inondations (ex. : spores présentes dans certaines rivières)
 - Irrigation (ex. : étangs contaminés ponctuellement par l'arrivée de zoospores issus des champs ou l'inoculum est présent)
- Matériel végétal
 - Transplants
 - Semences
 - prélevées sur des fruits affectés ou présence de sol = risque faible



Méthodes de lutte

- Peu de fongicides homologués
 - En prévention = beaucoup de traitements = beaucoup de \$
- Peu de méthodes efficaces seules = combinaisons pour réduire les risques :
 - Limiter son introduction et sa propagation
 - Favoriser les conditions qui ne sont pas propices à son développement
 - Diminuer l'inoculum

Méthodes de lutte

Limiter son introduction et sa propagation

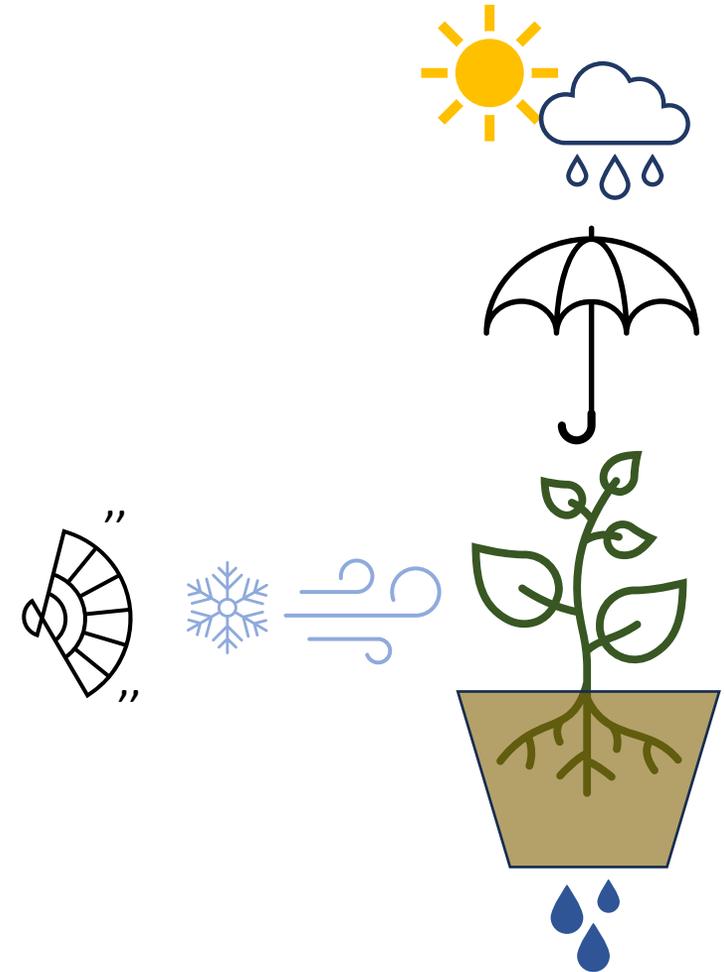
- Implanter des mesures de biosécurité
 - Objectif : prévenir, minimiser et gérer la transmission (introduction et propagation) des organismes nuisibles
 - Comment : cibler des pratiques à implanter visant à diminuer les risques
 - Ça peut être simple : ne pas circuler en camion dans les champs, utilisation de couvre-chaussures pour les visiteurs, etc.
 - Y aller un pas à la fois
 - [Trousses disponibles](#) pour d'autres cultures
- Nettoyage d'équipements entre les parcelles
 - Terminer les opérations dans les parcelles problématiques



Méthodes de lutte

Favoriser les conditions qui ne sont pas propices à son développement

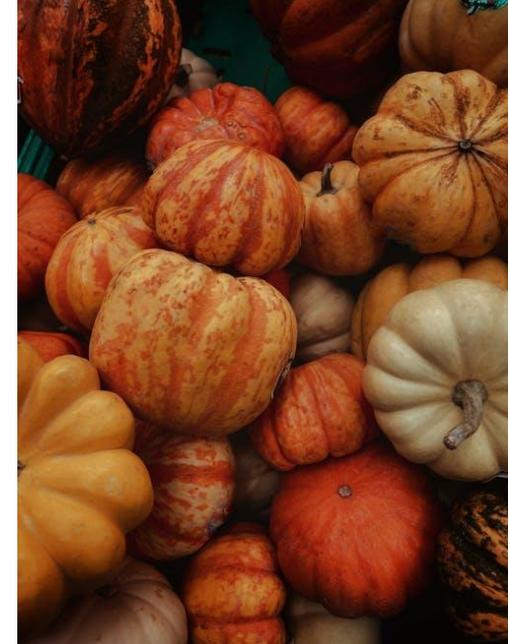
- Plantation :
 - Éviter les baissières, parcelles moins bien drainées
 - Sur buttes
 - Le paillis permet de diminuer les éclaboussures
 - Favoriser l'aération des plants
- Irrigation :
 - Éviter d'irriguer à partir d'étangs en aval des parcelles affectées (source d'inoculum)
 - Éviter l'irrigation par aspersion
 - Éviter de surirriguer



Méthodes de lutte

Diminuer l'inoculum

- Rotations
 - Beaucoup de plantes hôtes
 - Céréales-maïs = bonnes rotations
 - Survit dans le sol plusieurs années
 - Rotation les plus longues possibles dans les champs avec historique
- Certaines variétés sont plus tolérantes
 - Surtout pour les piments et poivrons
 - Moins vrai pour les cucurbitacées



Méthodes de lutte

Diminuer l'inoculum

- Nettoyage des parcelles infectées
 - Si possible retirer les plants et fruits atteints → site d'enfouissement
 - Broyer et enterrer les déchets pour favoriser leur dégradation (peu d'effet sur les oospores)
 - Compostage :
 - Pas une méthode efficace pour détruire *P. capsici*
 - Peu réduire l'inoculum, mais demande des températures élevées durant une longue période (ex. : > 65 °C pendant 21 jours pour *P. infestans* ([Bollen et al. \(1989\)](#)))
 - Ne pas utiliser ce compost sur des cultures sensibles

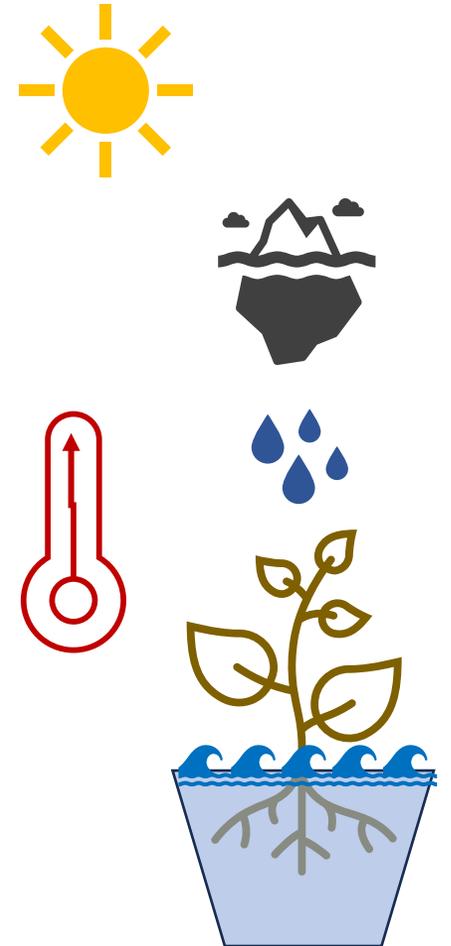


Changements climatiques

Augmentation des températures

Températures plus chaudes augmentent les risques

- Organisme qui aime la chaleur
 - T° optimales de 24-33 °C
- Augmentation du nombre de jours atteignant ces températures
- Une saison de production plus longue
 - Dommages plus hâtifs et plus tardifs
 - Plus de cycles de reproduction
 - Augmentation de l'inoculum



Changements climatiques

Pluies abondantes plus fréquentes

- Les oomycètes se développent en conditions d'humidité élevée
- Souvent retrouvés dans les baissières, champs mal drainés
- Pluies intenses favorisent leur développement
- Exemple de 2023 : pluies abondantes en été



Conclusions

- Oomycètes
 - Pseudo-algues, pseudo-champignons
 - L'eau est au centre de leur développement (*water molds*)
- *Phytophthora* sp.
 - « Destructeurs de plantes »
 - Affectent de nombreux écosystèmes et productions agricoles
 - Engendrent des pertes économiques majeures
- *Phytophthora capsici*
 - Principal *Phytophthora* affectant les cultures maraîchères
 - Une lutte complexe
- Changements climatiques et déplacements anthropiques
 - Augmentation probable des impacts
 - Migration d'espèces

