SEMINAIRE BIOSENS Les antifongiques, en agriculture, c'est pas automatique non plus!

Diversité des interactions pathogènes chez les plantes et liens avec la santé et l'immunité animales et humaines



Philippe REIGNAULT
UCEIV-EA 4492, ULCO





Université de Lille, Faculté de Médecine - 18.IV.18









OUI, LES PLANTES ONT LEURS MALADIES!



Un problème ancien :

Auteurs antiques : Homère, Ovide, Théophraste, Pline l'Ancien ...

Ancien Testament : Livre du Prophète Amos, Premier Livre des Rois

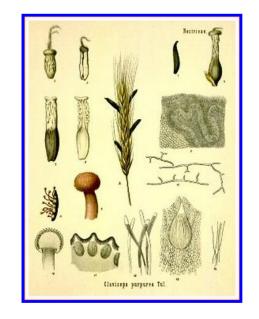








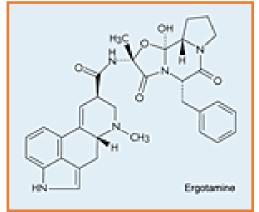
UNE EPIPHYTIE MEDIEVALE: L'ERGOT DU SEIGLE



Claviceps purpurea

Ergotine/ergotamine et ergotisme

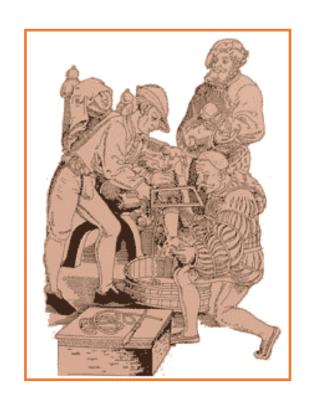








1096, 1565, 1690 ... Feu de Saint-Antoine -mal des ardents





UNE EPIPHYTIE A L'IMPACT QUALITATIF



UNE EPIPHYTIE MODERNE : LE MILDIOU DE LA POMME DE TERRE

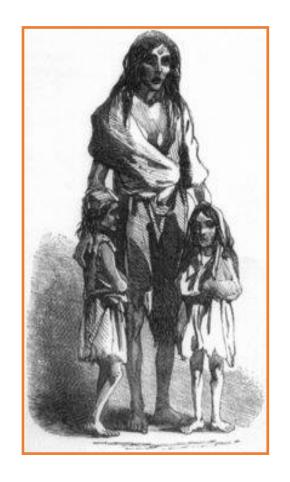




Phytophthora infestans







Irlande: 1845 et années suivantes

Un million de morts et un exode massif

UNE EPIPHYTIE A L'IMPACT QUANTITATIF



LES MALADIES DE CONSERVATION ou POST-RECOLTE

Botrytis cinerea



Penicillium expansum



Fusarium graminearum





IMPACT QUANTITATIF & QUALITATIF



Les principales maladies de la vigne : oïdium (1847), mildiou (1872) et Phylloxera (1882 et suivantes)

Erysiphe necator





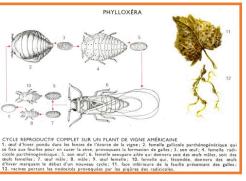
Plasmopara viticola





Phylloxera vastatrix





Apparition des luttes chimique (bouillie bordelaise) et génétique (portes-greffes américains)

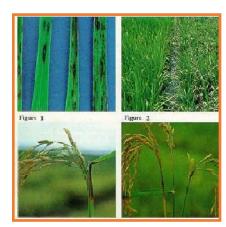


La rouille du caféier : Hemileia vastatrix à la fin du 19^{ème} siècle









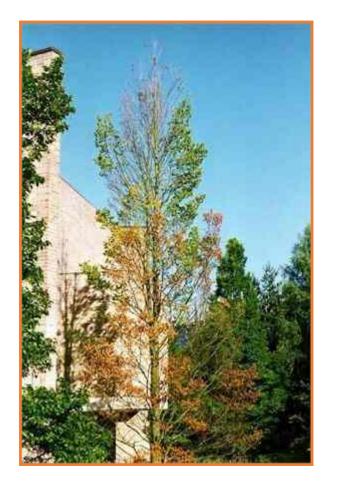


Et les Anglais burent du thé ...

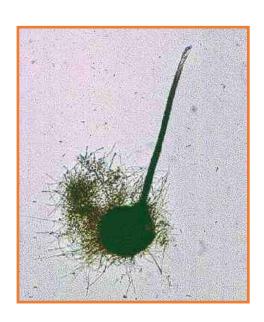
Plusieurs milliers de morts



La graphiose de l'orme







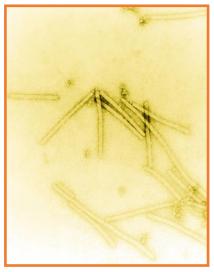
Ophiostoma ulmi, l'agent pathogène et Scolytus multistriotus, son vecteur Les épidémies de 1919 et de 1970 en Europe La quasi disparition des ormes du paysage

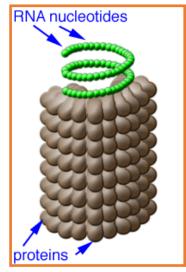
LES ENNEMIS DE LA SANTE DES PLANTES



LA DIVERSITE DES AGENTS PHYTOPATHOGENES : LES VIRUS





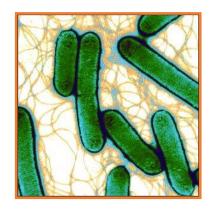


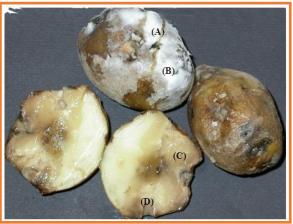
- La diversité des symptômes induits : mosaïques, nanification ...
- La mosaïque du tabac et le TMV : d'une maladie de plante aux débuts de la cristallographie et de la microscopie électronique (années 30)
- Des parasites intracellulaires stricts biotrophes obligatoires qui pénètrent par des blessures (vecteurs)

LA DIVERSITE DES AGENTS PHYTOPATHOGENES : LES BACTERIES



Pectobacterium carotovorum





La jambe noire de la pomme de terre

Pseudomonas syringae pv. tomato





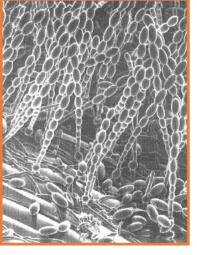
Les taches noires de la tomate

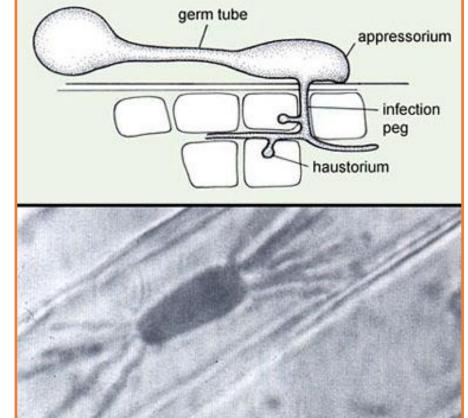
- Voies d'entrées : stomates et hydatodes, blessures
- Prolifération au sein de l'apoplaste végétal



LA DIVERSITE DES AGENTS PHYTOPATHOGENES : LES CHAMPIGNONS (1)







- Un exemple de biotrophe strict à triple niveau de spécificité : Blumeria graminis f.sp. tritici

L'oïdium du blé et les structures infectieuses : appressorium et haustorium



LA DIVERSITE DES AGENTS PHYTOPATHOGENES : LES CHAMPIGNONS (2)









- Un exemple de nécrotrophe à large spectre d'hôte : *Botrytis cinerea*
- Plus de 240 plantes hôtes

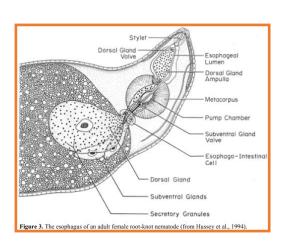




LA DIVERSITE DES AGENTS PHYTOPATHOGENES : LES NEMATODES





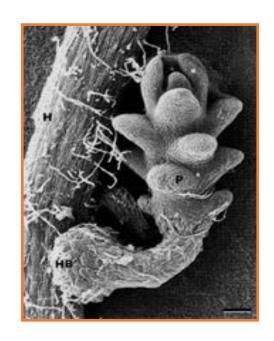


Heterodera schachtii
Gigantisme cellulaire et mort des racines, chevelu racinaire dense



LA DIVERSITE DES AGENTS PHYTOPATHOGENES : LES PHANEROGAMES PARASITES



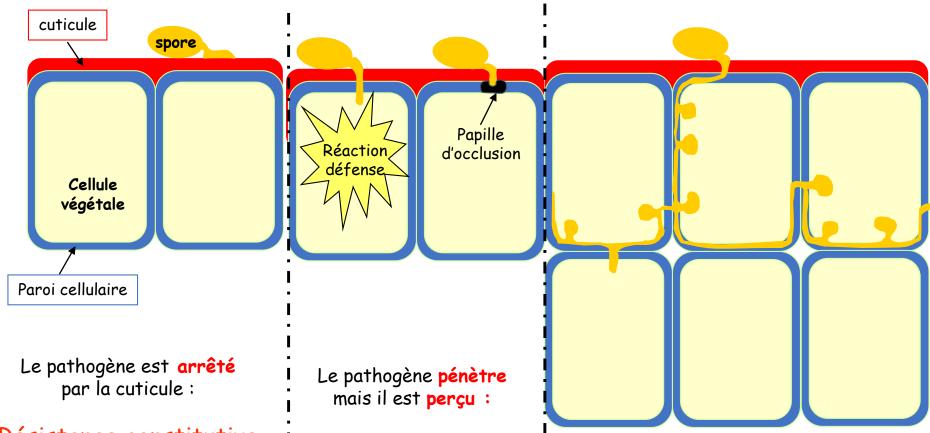


Striga hermontheca et S. asiatica
Hémiparasite et épirhizoïde
Différenciation d'haustorium et connection vasculaire
Plante hôte affaiblie puis fanée

L'IMMUNITE VEGETALE



Différents cas des relations/interactions plante - parasite



Résistance constitutive

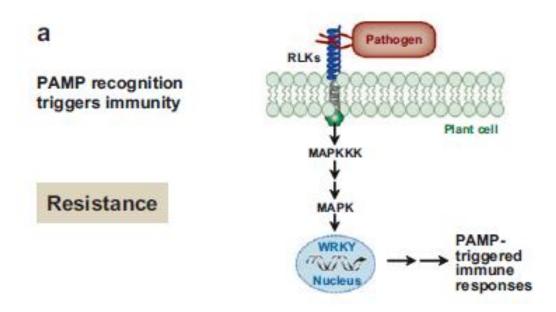
Réaction de défense (résistance induite)

Le pathogène pénètre et n'est pas perçu :

Maladie



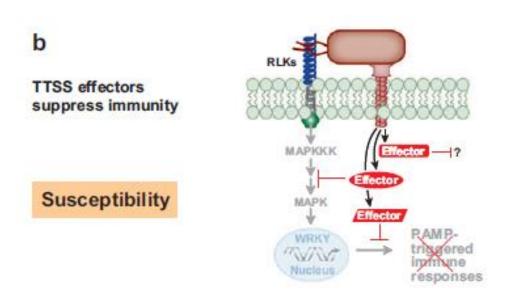
Pathogen-triggered immunity (PTI)



La résistance basale : la reconnaissance des MAMPs ou PAMPs (comme la chitine fongique) par un récepteur extracellulaire RLK déclenche l'immunité ou résistance basale (PTI).



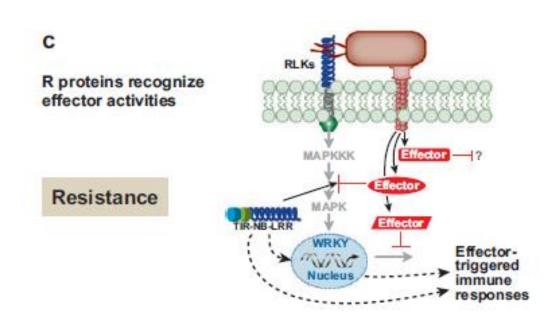
Effector-triggered susceptibility (ETS)



La susceptibilité : l'adaptation des agents pathogènes pour supprimer les réponses de défense basale se fait *via* la libération d'effecteurs pathogènes et aboutit à l'ETS.



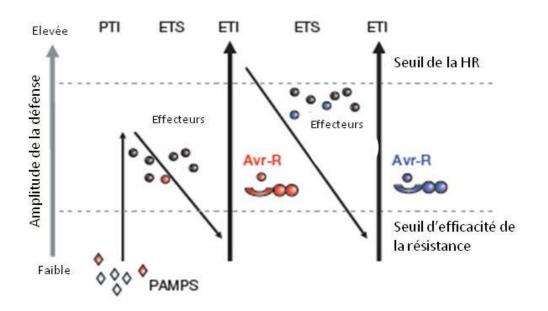
Effector-triggered immunity (ETI)

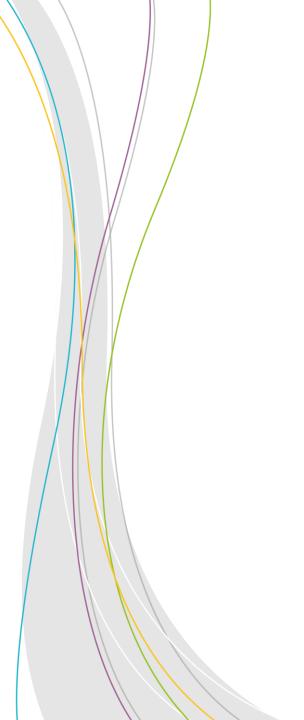


Résistance médiée par les gènes R: les produits de gènes de résistance de la plante reconnaissent les effecteurs et établissent l'ETI.



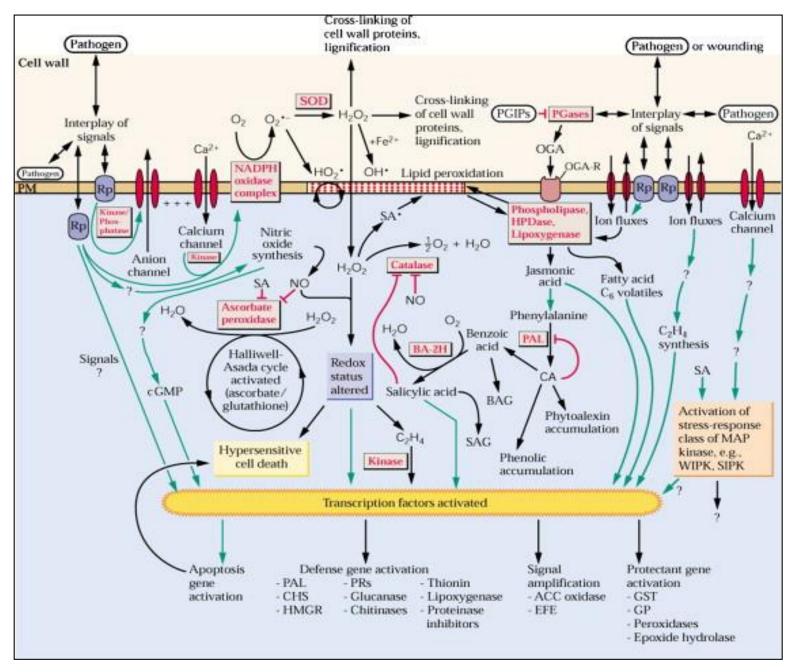
Modèle en « zigzag » (Jones et Dangl, 2006) selon lequel se réalise la coévolution de l'interaction plante-pathogène.







Une présentation non simplifiée de l'immunité végétale ...

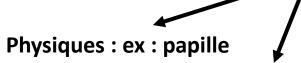




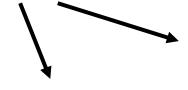


Une présentation TRES simplifiée de l'immunité végétale

Réactions de défense de la plante

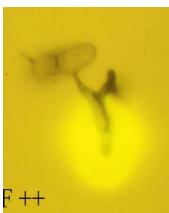


Synthèse de formes activées de l'oxygène



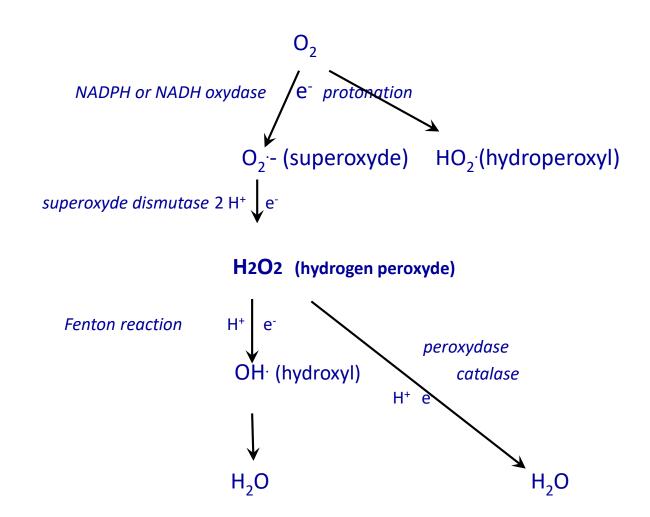
Protéines PR







La vague oxydative et les formes activées de l'oxygène (FAO ou ROS)



(D'après Hammond-Kosack and Jones, 1996)



La vague oxydative et les formes activées de l'oxygène (FAO ou ROS)



No H₂O₂ accumulation: Staining intensity level 0



Medium H₂O₂ accumulation : Staining intensity level 2



Faint H₂O₂ accumulation : Staining intensity level 1



Localized and strong H₂O₂ accumulation : Staining intensity level 3



L'acide salicylique (SA) et la voie des phénylpropanoïdes

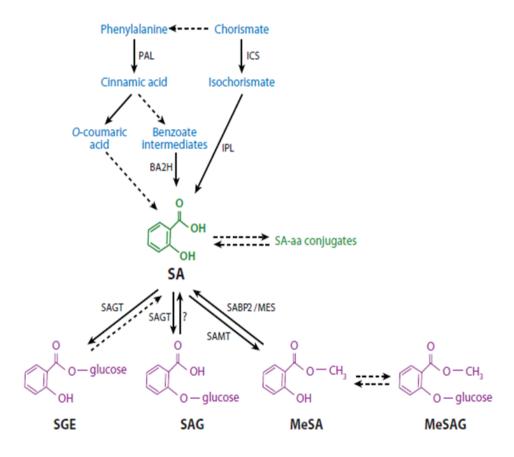


Schéma simplifié de la voie de biosynthèse et du métabolisme de l'acide salicylique. Rôle principal : signal endogène pour la mise en place de réponses de défense locales (LAR) et systémiques (SAR)



Pas de cellules circulantes chez les plantes, mais ...

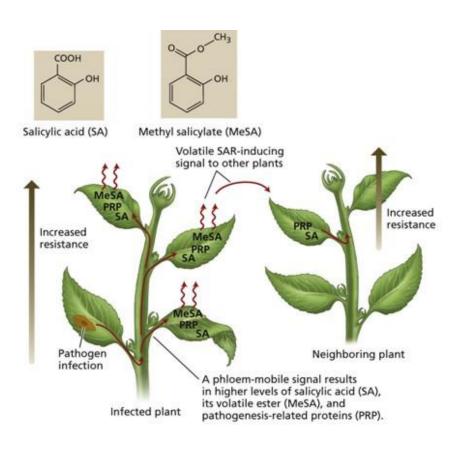


Schéma simplifié expliquant la Résistance Systémique Acquise (SAR) (Erika Keshishian)

DES RACINES AUX FEUILLES : DE NOMBREUSES COMMUNAUTES IMPLIQUI



De l'intestin au monde végétal : l'omniprésence du microbiote

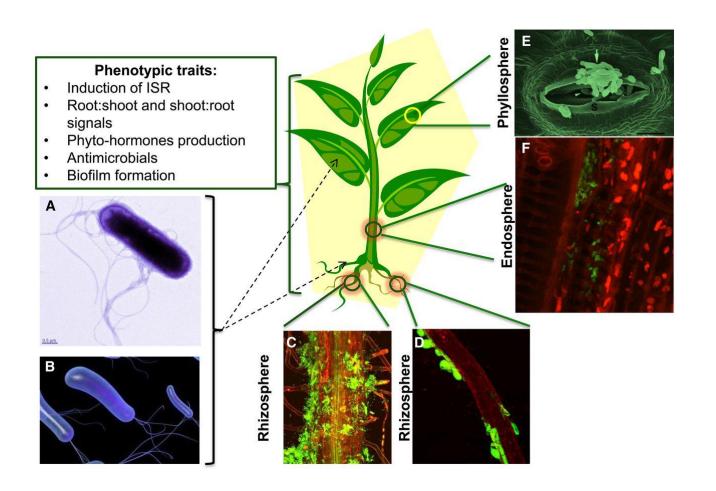








Les 3 composantes du microbiote végétal



Lakshmanan et al., 2014



Un charme discutable : La fusariose de l'épi, une maladie du blé provoquée par un complexe d'espèces

- Infectent également le maïs :

Fusarium graminearum

Fusarium culmorum

- Microdochium nivale









Les mycotoxines : des métabolites secondaires fongiques toxiques pour les animaux et les humains

Nivalenol

Deoxynivalelol

Moniliformin

Zearalenon

Fusarochromanone

T-2 toxin

Fusarin C

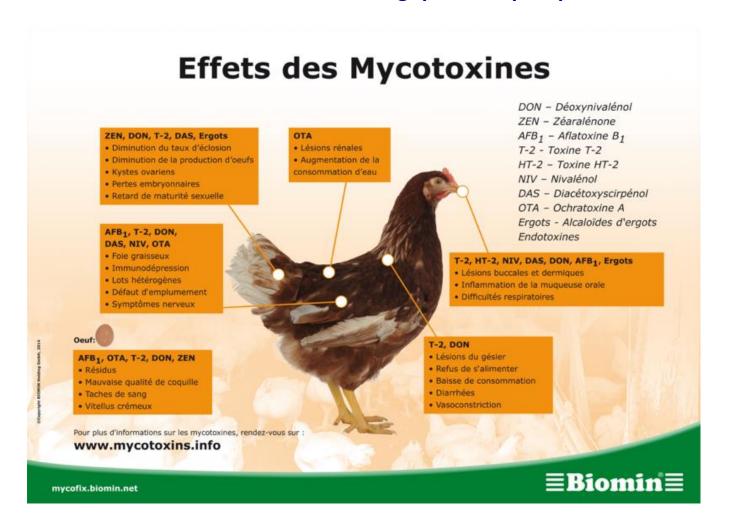
Fusarubin

Sambutoxin

Vomissements
Reprotoxicité
Immunodepression
Néphrotoxicité
Carcinogénicité

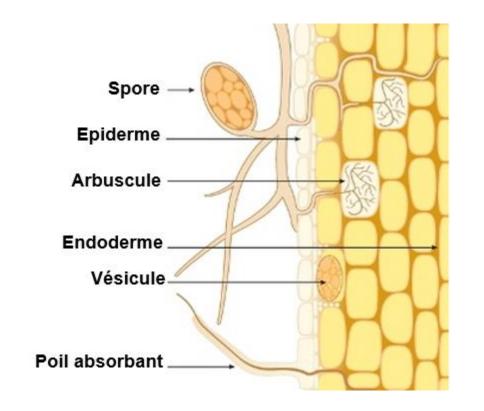


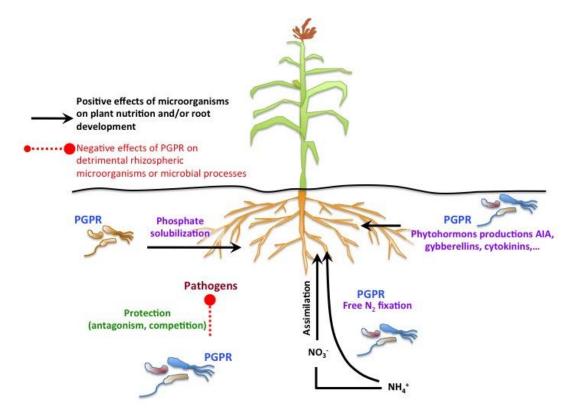
Les mycotoxines : des métabolites secondaires fongiques toxiques pour les animaux et les humains





Un charme plus explicite : Les mycorhizes et les bactéries bénéfiques du sol





Tolérance aux stress biotiques et abiotiques Amélioration de nutrition et de la croissance

Champignons AM

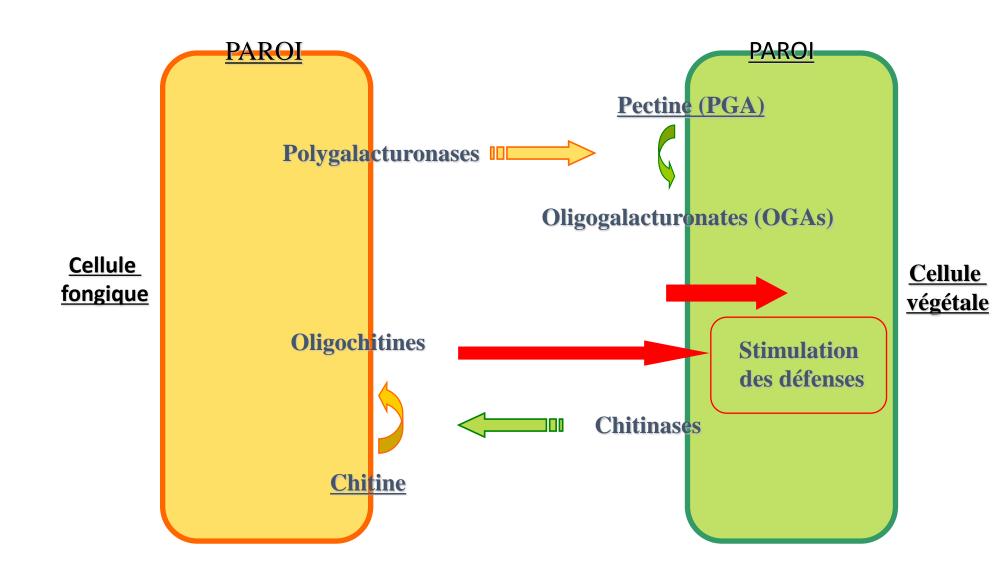
Bactéries PGPR

POUR LA SANTE VEGETALE, PASSER DE LA LUTTE A LA GESTION



Un concept fondamental à l'origine d'un outil de biocontrôle :

Des oligosaccharides pariétaux possèdent des activités régulatrices des défenses (Albersheim, 1983)



Une mise en pratique :



Les Stimulateurs de Défense des Plantes (SDP), les PGPF et les PGPR sur le blé

(Projets FUI, IRIS +; INTERREG, SMARTBIOCONTROL; ARIMNET BACPLANT

Evaluation de la PROTECTION

Observation des symptômes causés par

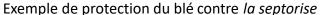
Molécules: SDP et BS

Extraits de paroi végétale Métabolites bactériens

Induction les champignons pathogènes in planta Résistance Agent - OÏDIUM : Blumeria graminis f.sp. tritici Agent - SEPTORIOSE: Zymoseptoria tritici Exemple de protection du blé contre l'oïdium blé témoin

Organismes vivants

Champignons AM Bactéries PGPR



blé témoin blé + SDP s

Mustafa et al. 2016 ; Fourquez et al., 2017



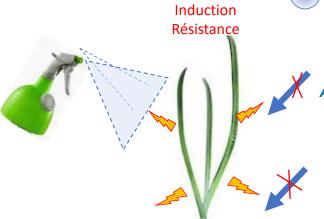
Stimulation des défenses naturelles du blé



(Projets FUI, IRIS +; INTERREG, SMARTBIOCONTROL; ARIMNET BACPLANT)

Molécules : SDP et BS

Extraits de paroi végétale Métabolites bactériens



Evaluation de la PROTECTION

Observation des symptômes causés par les champignons pathogènes *in planta*

Agent - OÏDIUM : Blumeria graminis f.sp. tritici

Agent – SEPTORIOSE : Zymoseptoria tritici

Organismes vivants

Champignons AM Bactéries PGPR

Exemple de réactions de défense chez le blé en réponse à l'infection de *B. graminis* f.sp. *tritici*





Accumulation de phénols (fluorescence) Accumulation d'H₂O₂ (coloration brune)

Etude des mécanismes de défense par la plante

→ menant à la PROTECTION

GENES
CIBLES

Activité enzymatique
PROTEINES

METABOLITES

_ 3 approches complémentaires

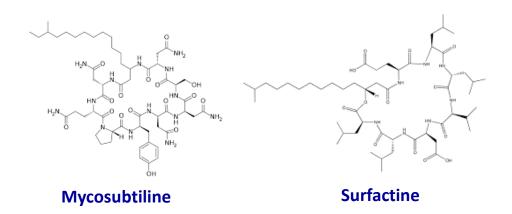
Pôle EMLM

Une autre mise en pratique :

Les Lipopeptides non-ribosomiques bactériens

SMARTBIOCONTROL: BIOPROTECT et BIOSCREEN



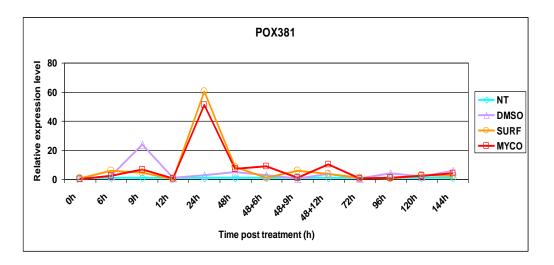




Bacillus subtilis

Deux mode d'action : biofongicide + SDP





7 jours de culture in vitro de *Mycosphaerella graminicola*

Mesure de l'induction du gène POX381 du blé après traitement foliaire Khong et al., 2014

Remerciements











