

➤ Sélection variétale et microbiote : vers une approche holobionte de la santé des plantes

Christophe MOUGEL – DR INRAE-SPE – UMR IGEPP



➤ Immunité des plantes

Quelques bioagresseurs des Brassicea (*A. thaliana* et *B. napus*)

Bactéries, champignons, protistes



Plasmodiophora brassicae
Xanthomonas campestris pv. *campestris*
Leptosphaeria maculans

Insectes



Delia radicum
Pieris brassicae

Nématodes



Myzus persicae
Heterodera schachtii

PTI

Motifs moléculaires

'Pattern'

ETI

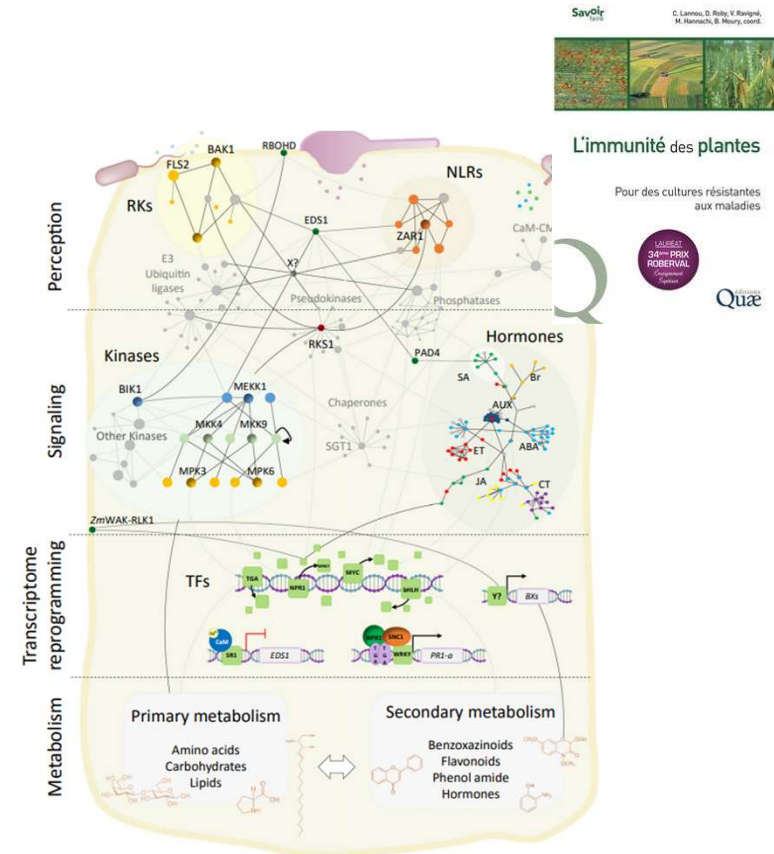
'Effectors'



Le système immunitaire des plantes : un réseau hautement interconnecté avec des typologies et propriétés spécifiques pour résister aux bioagresseurs



Phénotype de tolérance/résistance



F. Delplace et al., 2021

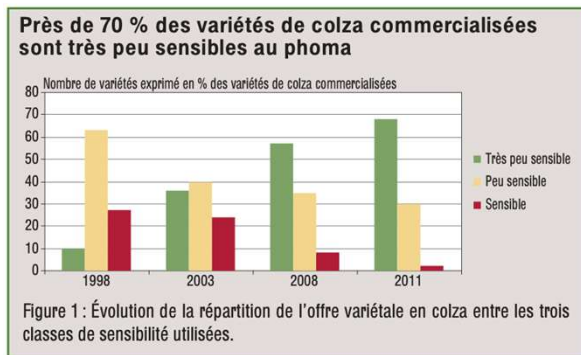
« A major challenge in plant pathology is now to address the full complexity of the immune response, **not to one pathogen effector or molecule, but to the entire microbe or microbial communities.** »

p. 57

➤ Sélection variétale : des niveaux de 'maturité' variable en fonction du bioagresseur (pathogènes vs phytophages)

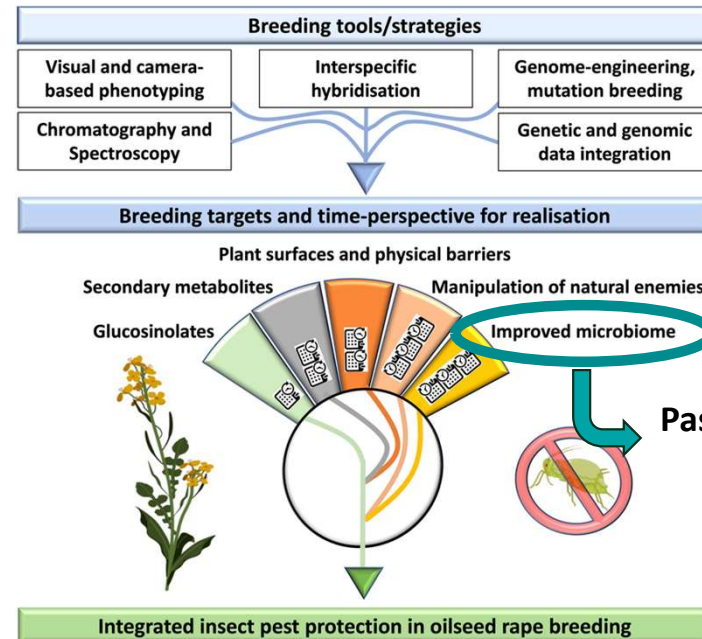


Colza Résistances variétales au phoma : une richesse à préserver



Pinochet, 2012

Les gènes de R = patrimoine à gérer durablement.
Rlm1 contourné en 3 ans !
Fort déploiement Rml7, durabilité ?
... vers des résistances quantitatives



Obermeier C. et al. 2022

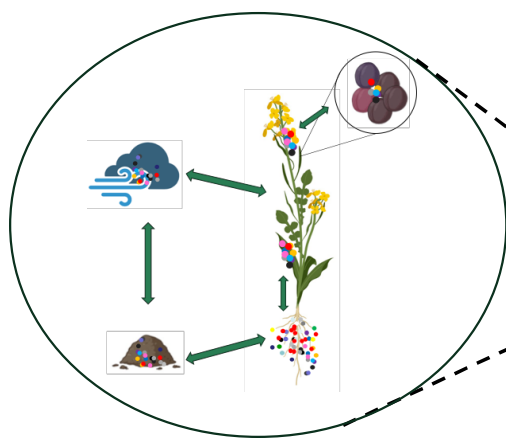
Pas de temps pour l'innovation
=>long terme (>25 ans)

- Long terme : manque de données de terrain, de compréhension fonctionnelle, d'études génétiques sur des populations végétales, et d'outils de phénotypage à haut débit

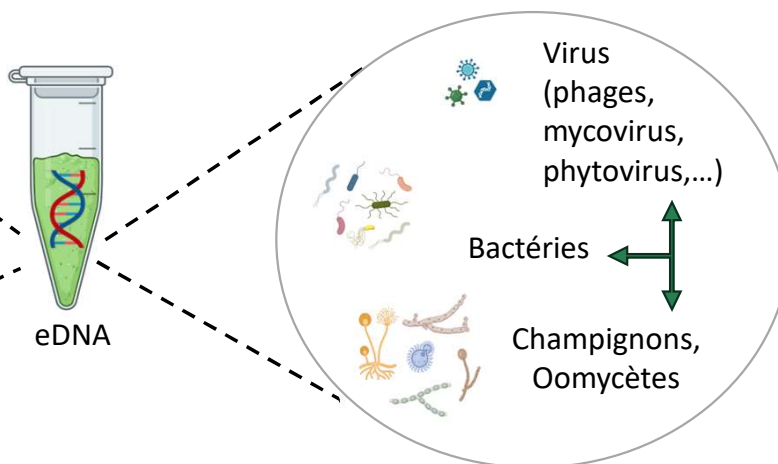
➤ Description des communautés microbiennes ou 'microbiotes' associées aux plantes (1/2)



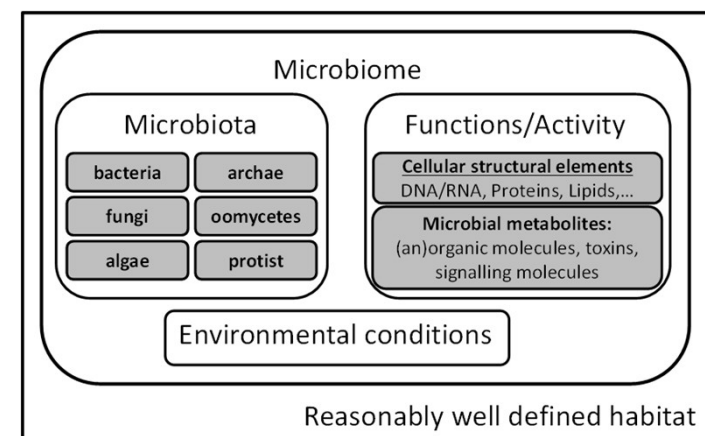
Une diversité d'environnement/habitat



... à une diversité biologique de 'micro'-organismes...



... et une diversité de fonctions



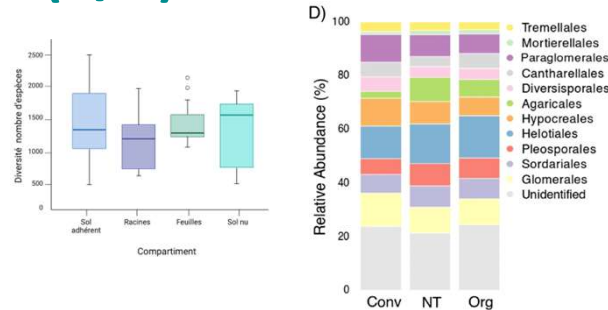
- Un espace défini (le sol, les racines, les feuilles, les graines,...)
- Assemblage dynamique d'individus/populations de microorganismes en communautés
- Sous l'influence de facteurs/filtres environnementaux (type de sol/climat) et anthropiques (pratiques agricoles / choix de la variété)

d'après Berg et al., 2020

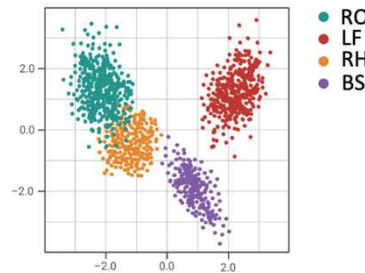
➤ Description des communautés microbiennes ou ‘microbiotes’ associées aux plantes (2/2)



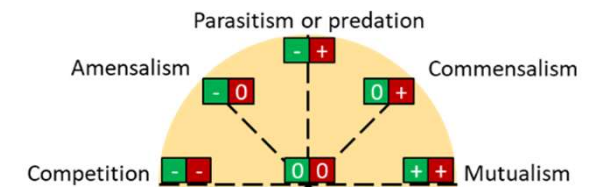
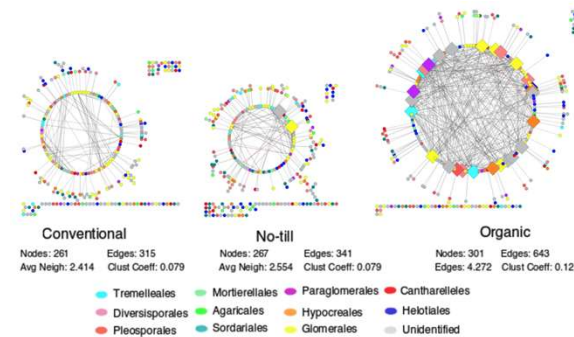
1- Estimation de nombre d'espèces et de leur abondance relative
=> α -diversité



2- Différentiation entre composition des communautés
=> β -diversité

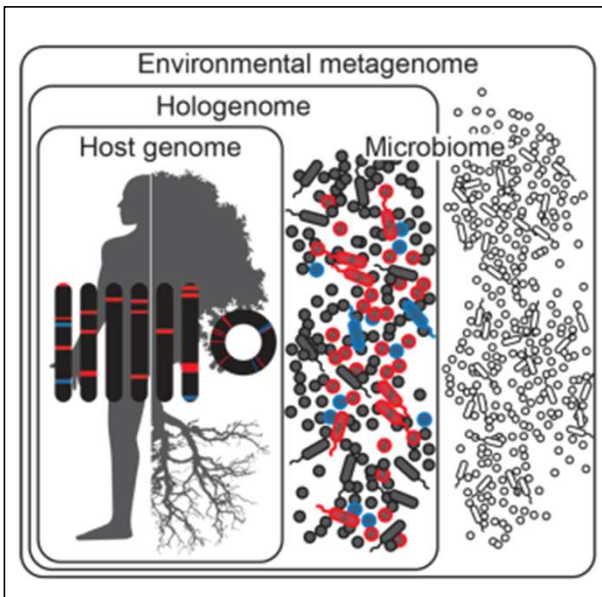


3- Relations entre espèces
=> réseaux de co-occurrence



‘Proxy’ des interactions
(ex. une bactérie et un phage)

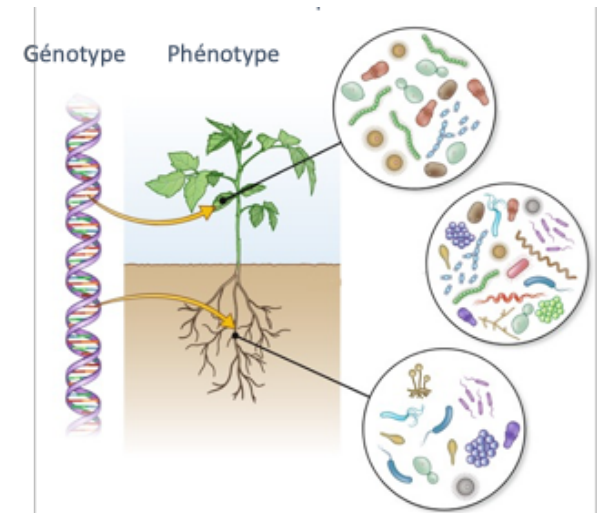
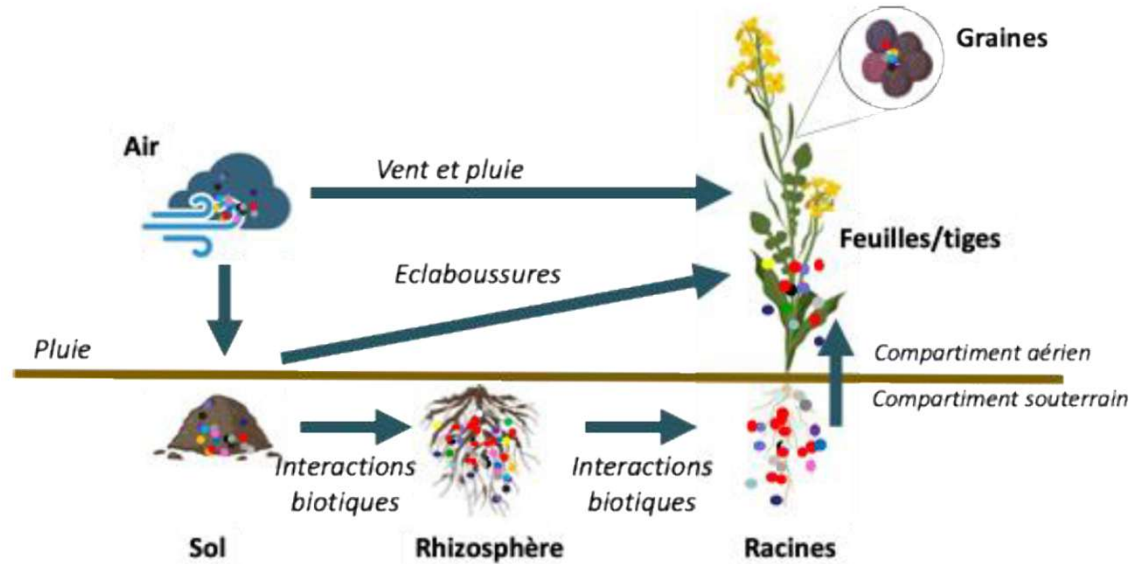
➤ Le concept d'holobionte



Theis et al. 2016

- **Une unité biologique/évolutive** qui permet d'intégrer toute la diversité des interactions hôte- communautés de microorganismes
- Ils combinent **transmission** verticale (endosymbiose) et assemblage à partir de l'environnement (pseudo transmission verticale et transmission horizontale)
- Un holobionte = un hôte et ses microorganismes associés
Un hologénome = le génome/épigénomes de l'hôte et les génomes/épigénomes des microorganismes associés
- Il étend le registre fonctionnelle du macroorganismes : sous-traiter des fonctions ('outsourcing') ou les partager ('partitionning') pour améliorer la performance... réponse aux stress abiotiques et biotiques.
- Les interactions hôte et microorganismes associés contribuent au phénotype étendu de l'hôte

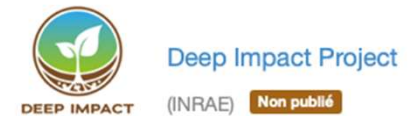
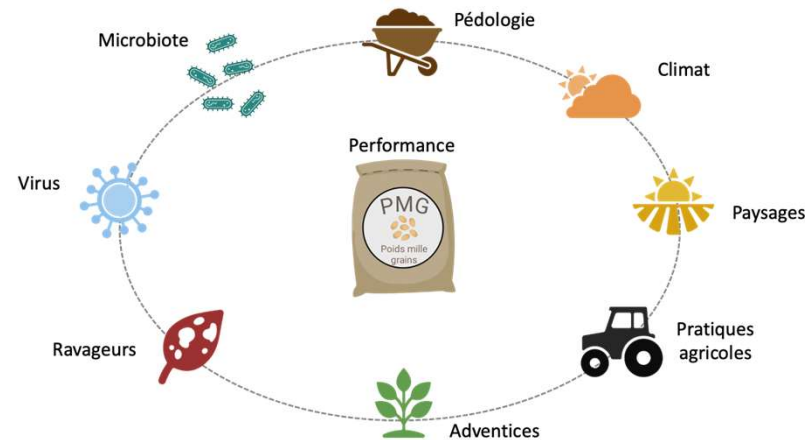
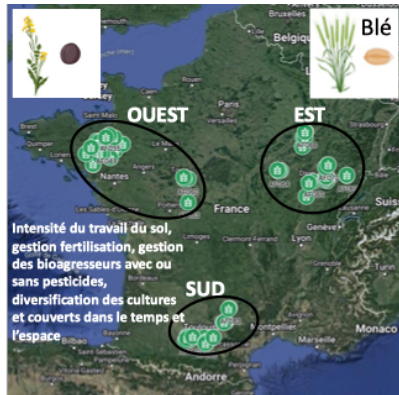
➤ Quels facteurs de structuration des microbiotes ?



Mougel et al., 2016; Furtak & Gaida, 2019; Karimi et al., 2019; Drautz-Moses et al., 2020; Gusavera et al., 2020; Trivedi et al., 2020; Simonin et al., 2022; Labouvie et al., 2023; Compant et al., 2024; Zancarini et al., 2025.

Une combinaison de facteurs écologique mais aussi anthropiques comme les pratiques agronomiques qui vont jouer sur les facteurs abiotiques (structure du sol, pH, amendement) et biotiques (produits phytosanitaires, variétés).

Données de terrain : contribution du microbiote à la variation de la performance des cultures.



Recherche Data Gouv > Data INRAE >

Carpentier et al. (a) data paper en préparation



Chiffres à retenir

1	200	24 000
	Parcelles étudiées (100 de blé, 100 de colza)	Plantes phénotypées (16 000 au champ, 8000 au laboratoire)
	200	12 800
	Enquêtes agricoles pour construire la typologie des pratiques	Microbiotes (bactéries et champignons)
	3160	4800
	Relevés de biomasse (adventices et cultures)	Viromes



8 blocs de data et 460 variables calculées pour les modèles prédictifs avec une approche de machine learning

CULTIVER
PROTÉGER
autrement



Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche

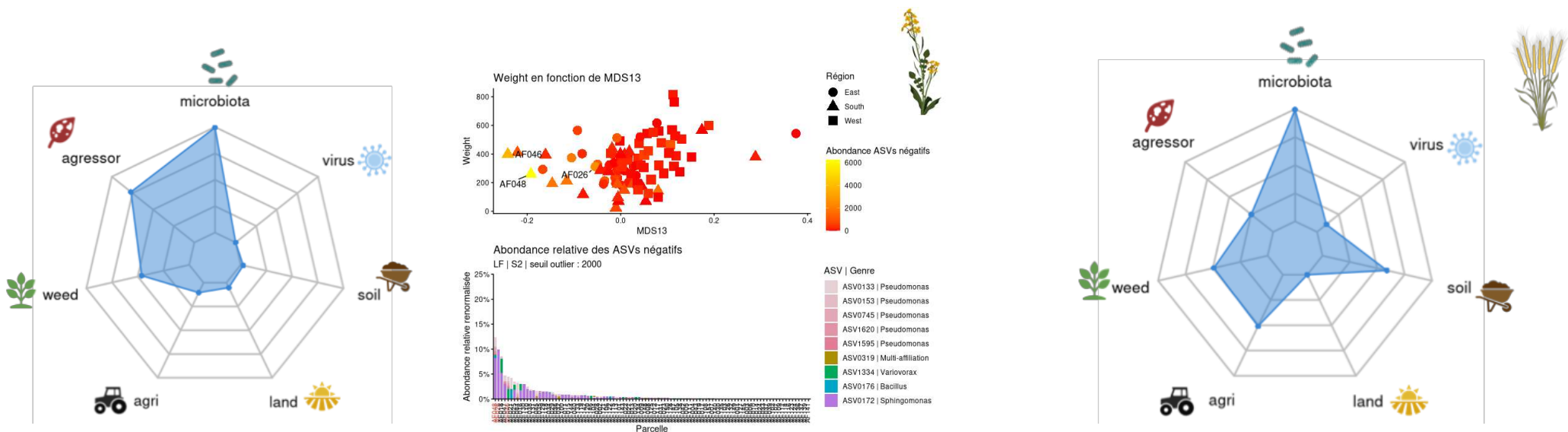


bfp
BIOLOGIE
DU FRUIT
ET PATHOLOGIE

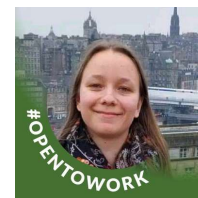


MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE APPLIQUÉES
MaïAGE
DU GÉNOME À L'ENVIRONNEMENT

➤ Contribution du microbiote à la performance.



- Les 460 variables calculées prédisent 27% de la performance pour le colza et 47% pour le blé
- Prédiction importante de variables associées aux microbiote (issus de $2^8 - 1 = 255$ modèles calculés)
- Identification de marqueurs microbiens qui prédisent la performance.



Carpentier et al. (b) en préparation

juliette.carpentier@inrae.fr

CULTIVER
PROTÉGER
autrement



MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION



Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche

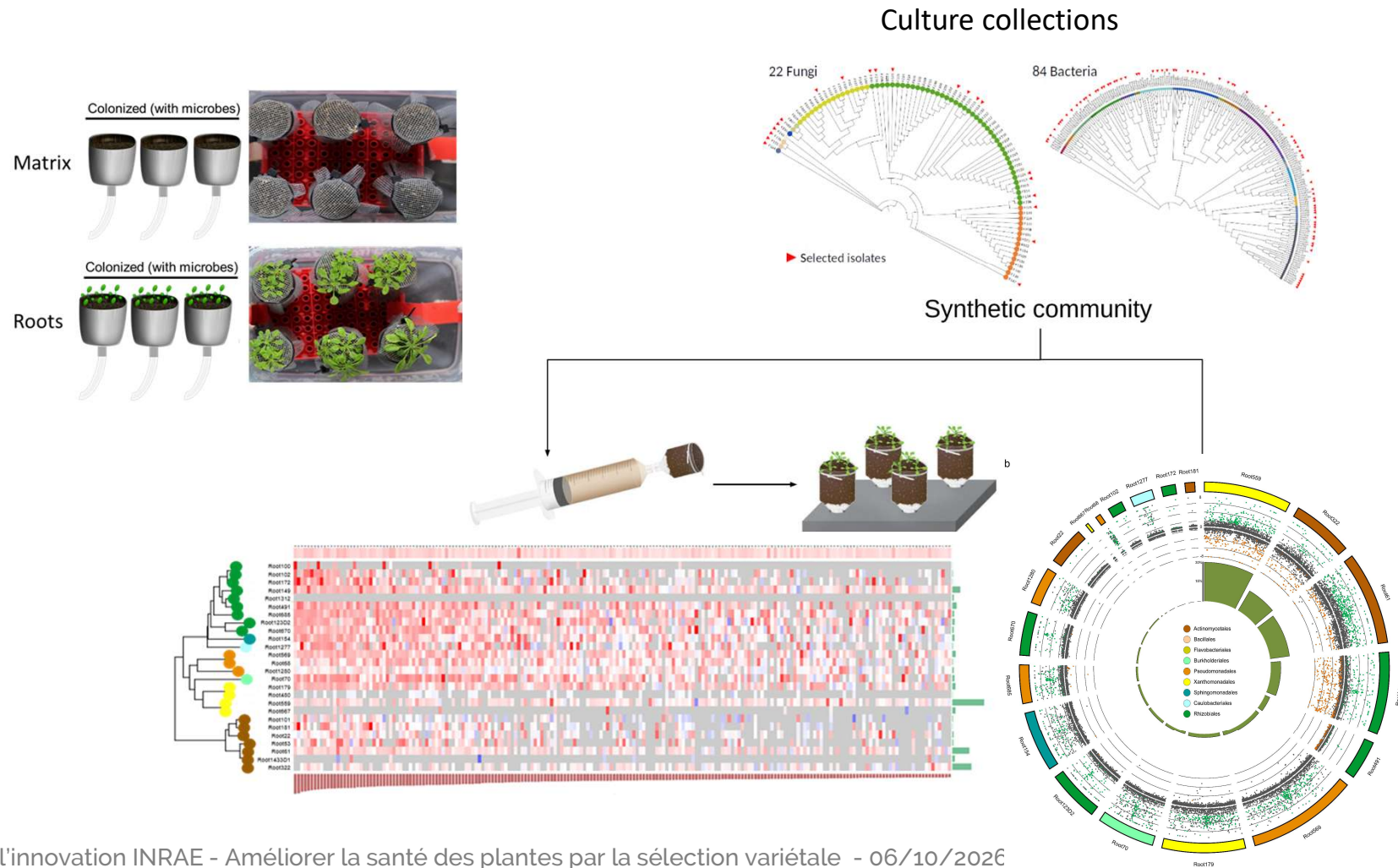


bfp
BIOLOGIE
DU FRUIT
ET PATHOLOGIE

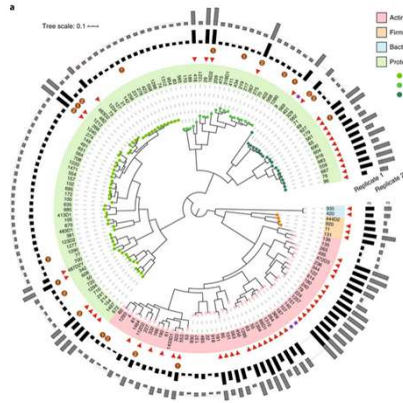


MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE APPLIQUÉES
MaiAGE
DU GÉNOME À L'ENVIRONNEMENT

➤ Compréhension fonctionnelle : communautés assemblées (SynCom) et intégration multi'omiques



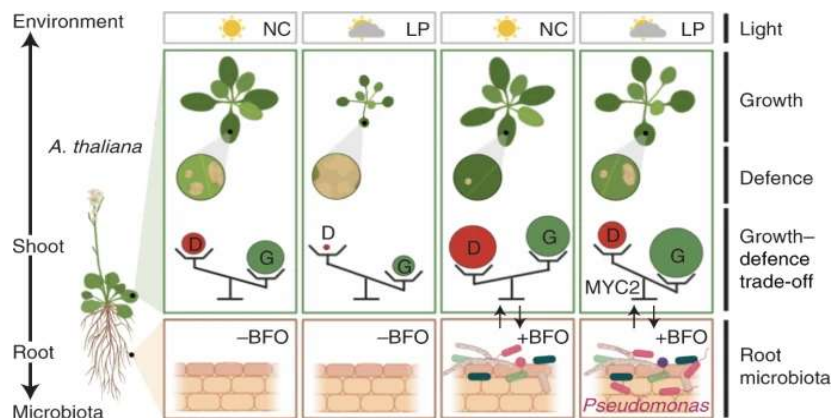
➤ Modulation de l'immunité d'*A. thaliana* par son microbiote racinaire



Ma et al., 2021

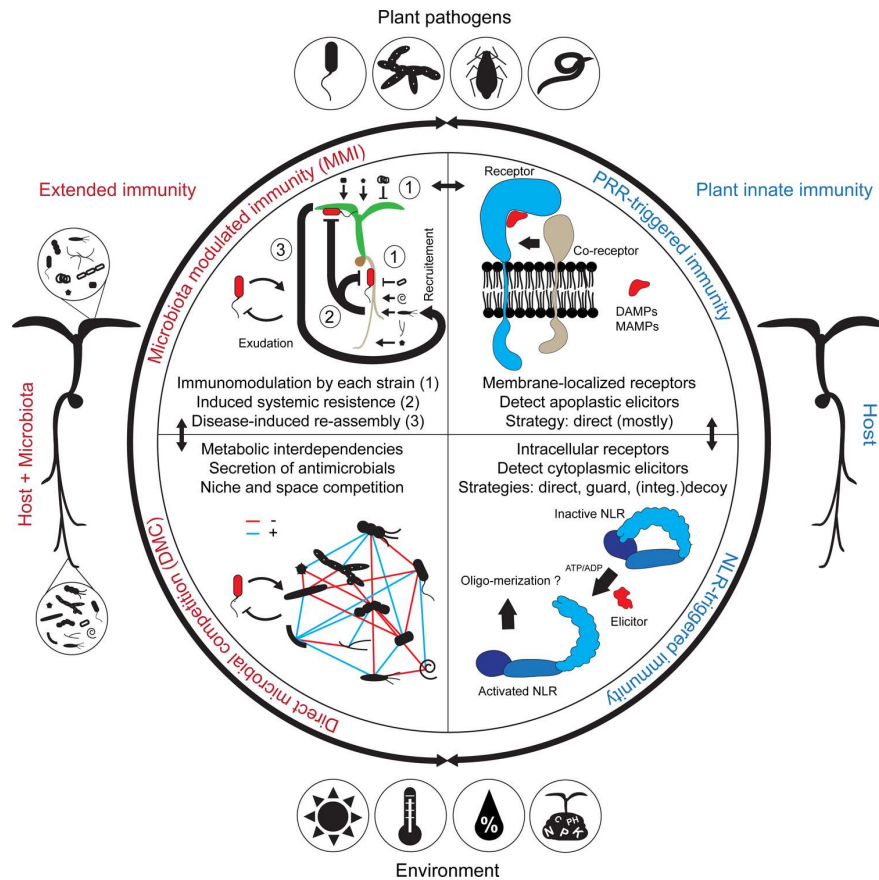
- L'immunité de la plante est un facteur de structuration du microbiote
- Le microbiote racinaire module l'immunité végétale
- Les bactéries suppressives reprogramment la plante
- Compromis défense-croissance : suppression de l'immunité (allocation vers la croissance) MAIS elle rend aussi la plante plus sensible à certains pathogènes/opportunistes.

=> concept d'homéostasie plante-microbiote = eubiose versus dysbiose



Hou et al., 2021

➤ Résistance aux maladies : potentiel du microbiote



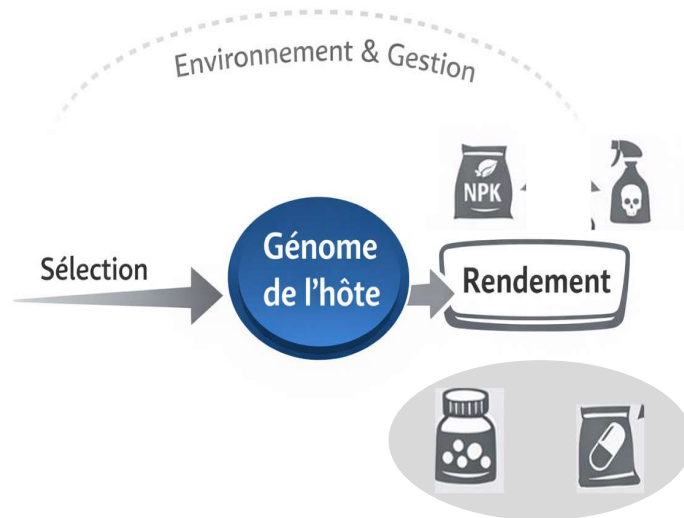
Vannier et al., 2019

1. Structuration communautés, interactions métaboliques à l'échelle de l'holobionte
2. Antagonisme direct microbiote/pathogène
3. Modulation de l'immunité par le microbiote

➤ L'holobionte : un nouveau paradigme pour les ressources génétiques

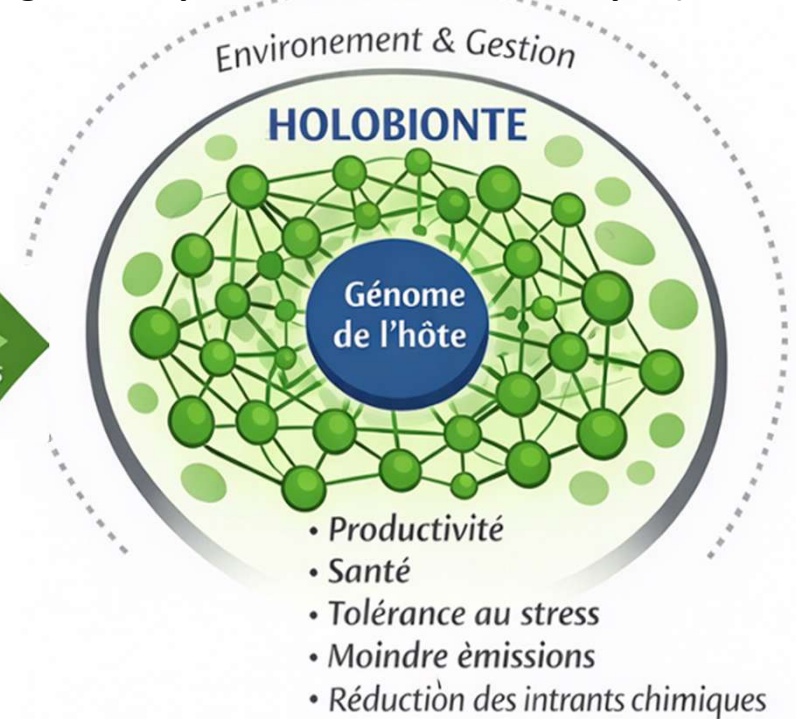


Sélection centrée sur l'hôte



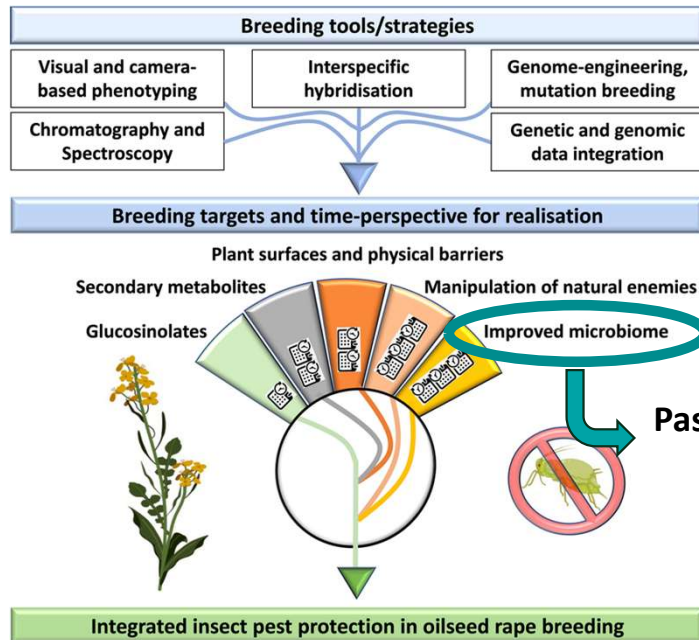
Sélection des génomes
➡
Ingénierie des interactions
biologiques

Sélection et gestion des interactions
(des espèces modèles vers les espèces d'intérêt
agronomique *A. thaliana* vers *B. napus*)



=> **Phénotype étendue = Régulation écologique intégrée**

➤ En route vers l'innovation



Obermeier C. et al. 2022

- Long terme : manque de données de terrain, de compréhension fonctionnelle, d'études génétiques sur des populations végétales, et d'outils de phénotypage à haut débit

- Des études de terrains document l'importance du microbiote sur la performance des cultures
- Le curseur évolue vers la compréhension fonctionnelle des interactions microbe—microbes et microbes-plant, notamment autour de l'immunité et des compromis croissance-défense.
- Les études de génétiques se développent sur des espèces modèles/cultivée

=> Equilibre entre front de sciences et transfert/innovation (ex. RMT HOLOPILOT piloté par ARVALIS 2026)