



HAL
open science

Le microbiote des plantes - De son rôle dans la survie végétale à son ingénierie pour une agriculture durable

Anne-Sophie Masson, Marie Simonin

► To cite this version:

Anne-Sophie Masson, Marie Simonin. Le microbiote des plantes - De son rôle dans la survie végétale à son ingénierie pour une agriculture durable. École thématique. Lycée Adam de Craponne, Salon-de-provence, France. 2024. hal-04852994

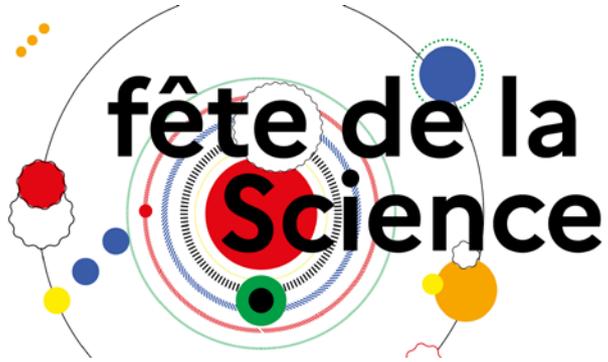
HAL Id: hal-04852994

<https://hal.inrae.fr/hal-04852994v1>

Submitted on 21 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



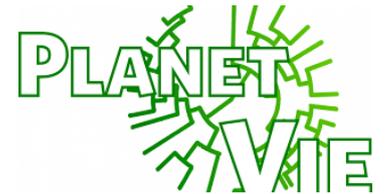
Le microbiote des plantes

De son rôle dans la survie végétale à son ingénierie pour une agriculture durable

Lycées Salon de Provence - 08/10/24

Anne-Sophie Masson & Marie Simonin

annesomasson@proton.me



Qui suis-je ?

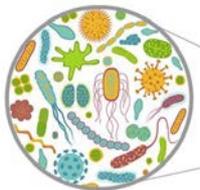


Doctorat → docteure en biologie des interactions

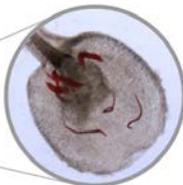


Post-doctorat

Microbiote
(bactéries,
champignons)



Riz



Nématodes
(parasites de
plantes)



Champ infesté



Agriculture de conservation du sol



Agroforesterie



*Robinier
pseudoacacia*



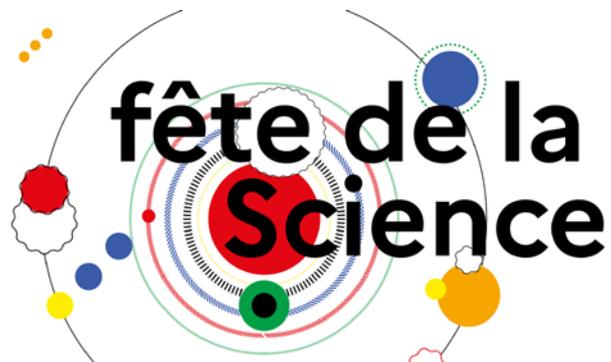
Invertébrés



Nématodes
(parasites de
plantes et libres)



Microbiote
(bactéries,
champignons,
protistes)



Le microbiote des plantes

De son rôle dans la survie végétale à son ingénierie pour une agriculture durable

Lycées Salon de Provence - 08/10/24

Anne-Sophie Masson & Marie Simonin

annesomasson@proton.me

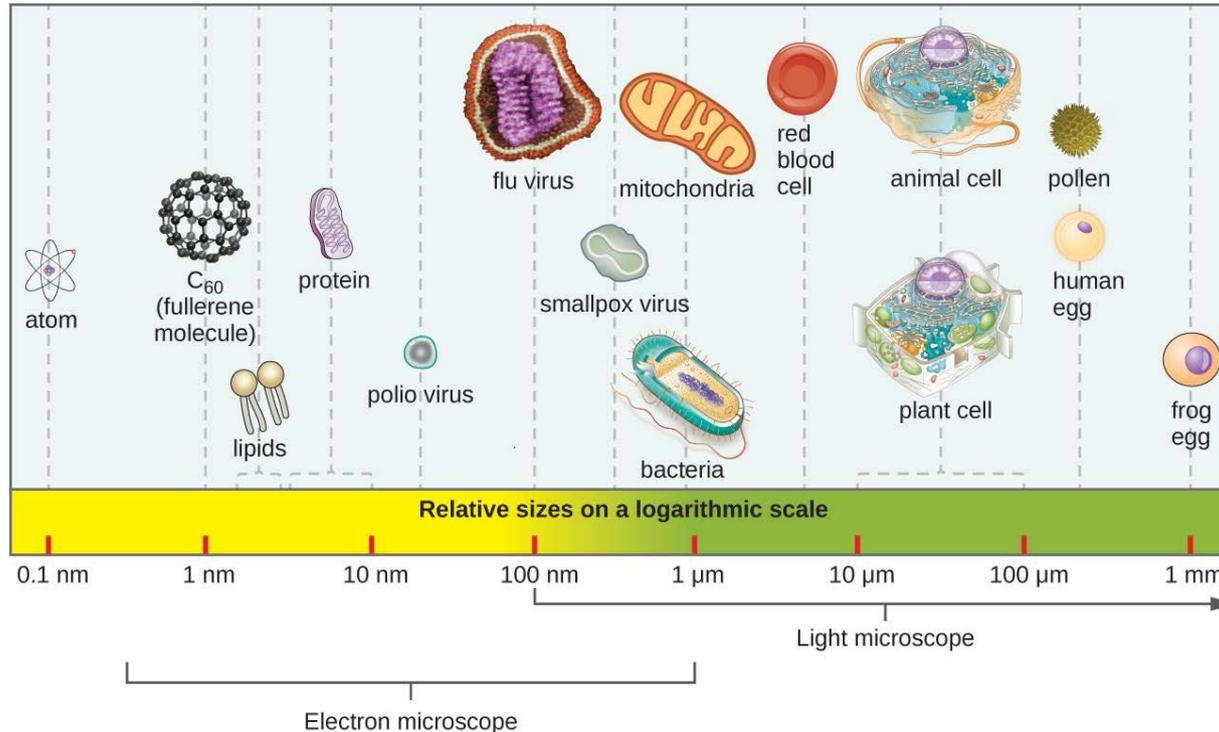


1. Histoire courte de la microbiologie

a. Qu'est-ce qu'un micro-organisme ?

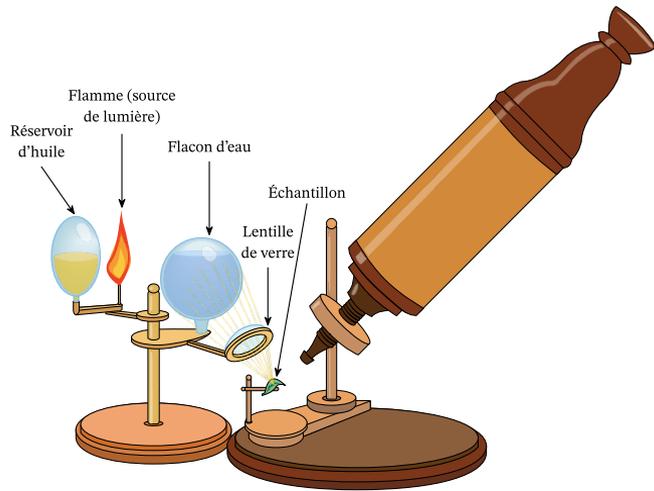
<https://learn.genetics.utah.edu/content/cells/scale/>

micro-organisme = organisme microscopique (généralement $\leq 1 \mu\text{m}$)

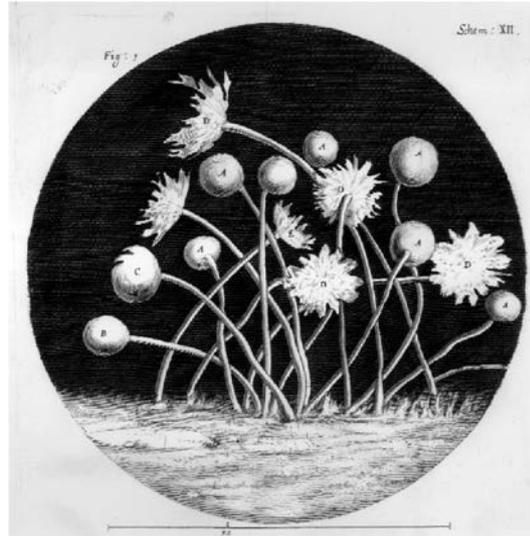


1. Histoire courte de la microbiologie

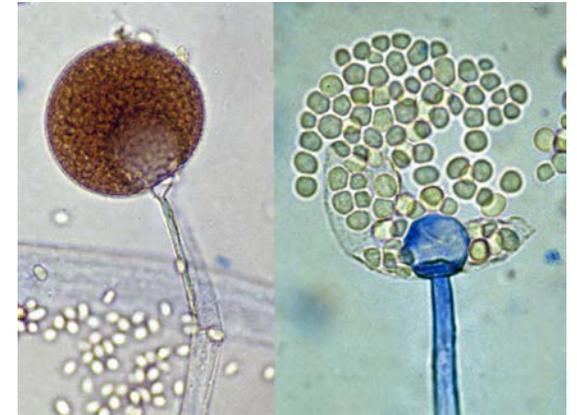
b. Premières inventions et découvertes



Microscope mis au point par Robert Hook (25-250X)



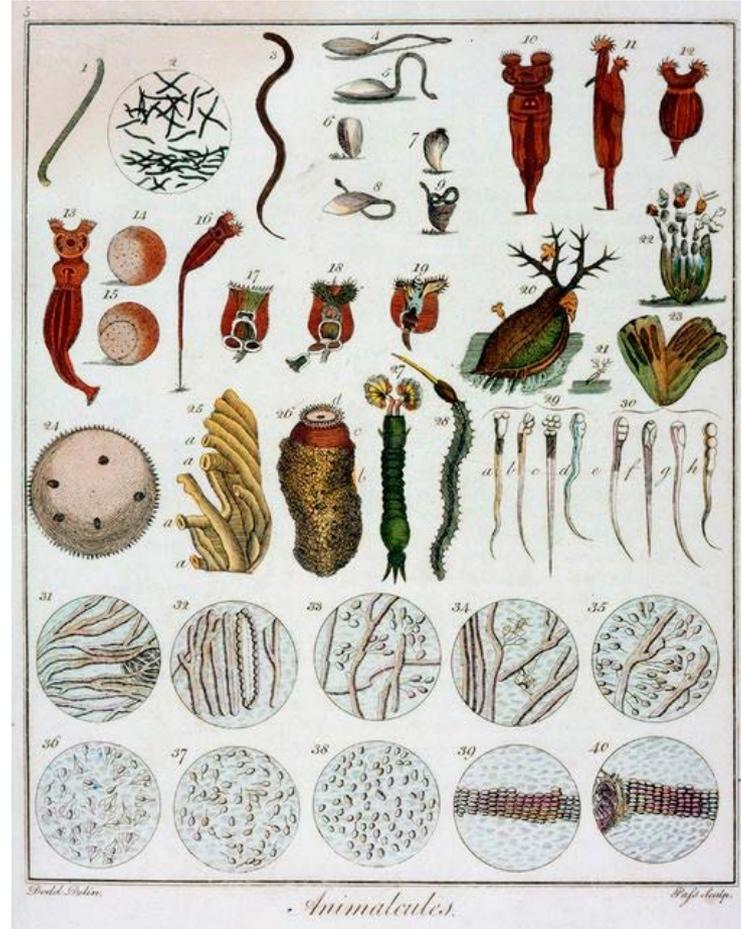
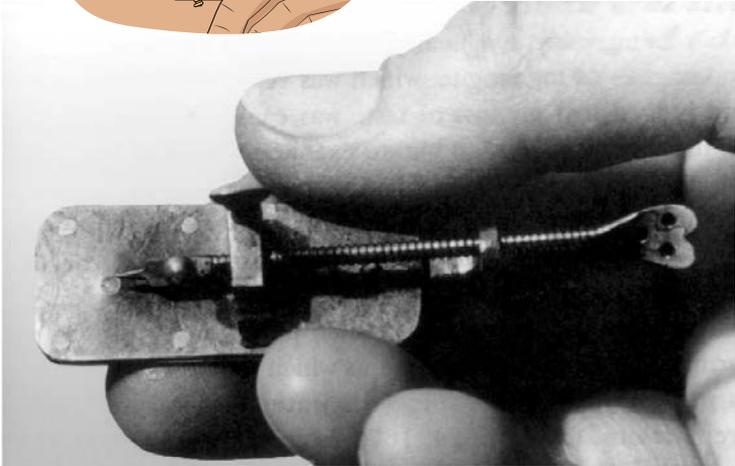
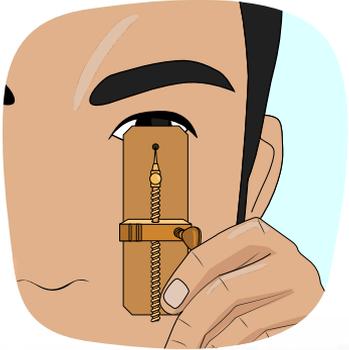
Première description d'un micro-organisme par R. Hook [Micrographia, 1665]



Sporanges (structures reproductives) du champignon *Mucor* sp.

1. Histoire courte de la microbiologie

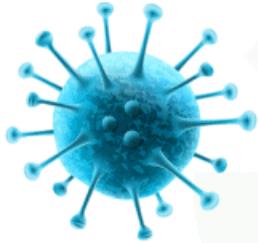
b. Premières inventions et découvertes



Microscope mis au point par
Antonie van Leeuwenhoek pour observer
les "animalcules" en 1673

1. Histoire courte de la microbiologie

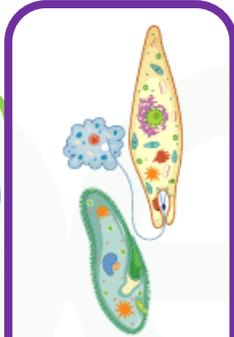
c. Une grande diversité



virus



bactéries



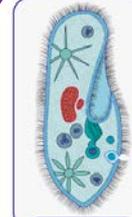
protistes



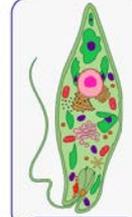
champignons



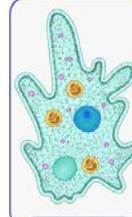
algues



Paramecium



Euglena



Amoeba



Giardia



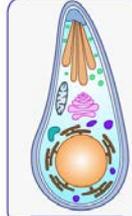
Trypanosoma



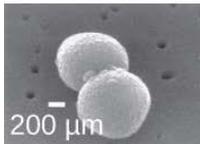
Plasmodium



Stentor



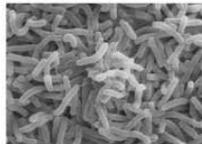
Toxoplasma



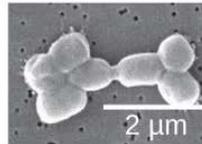
Coccus



Bacillus



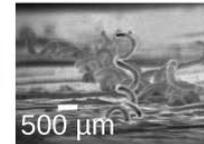
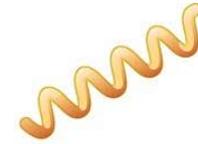
Vibrio



Coccobacillus



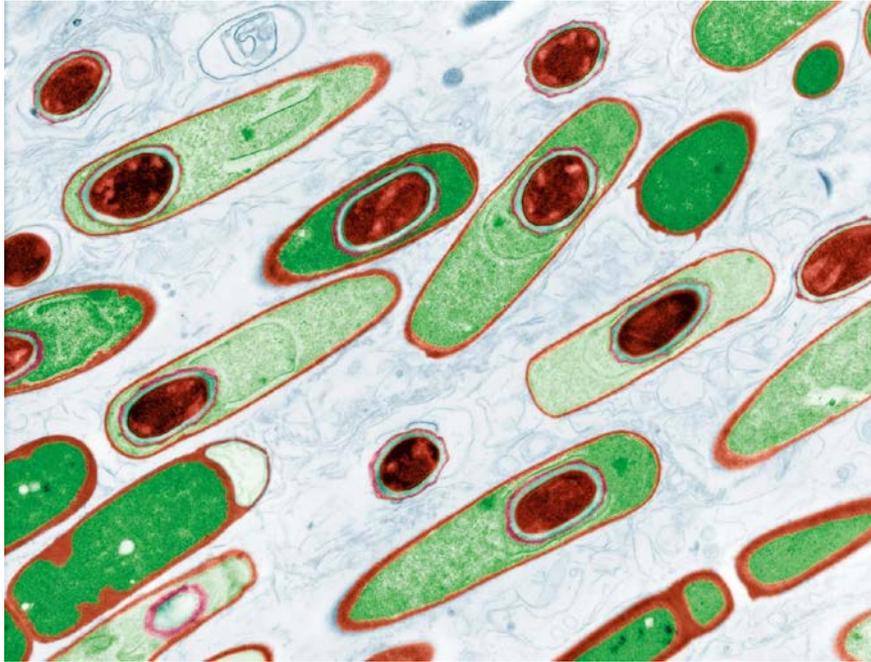
Spirillum



Spirochete

1. Histoire courte de la microbiologie

d. De la microbiologie médicale à l'écologie microbienne
et du microscope au séquenceur à ADN



Bacillus anthracis découvert par Robert Koch
comme l'agent responsable de la maladie du charbon

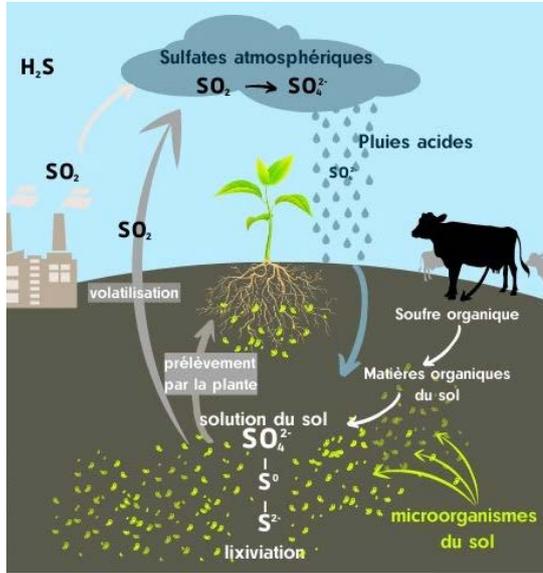
Microbiologie médicale



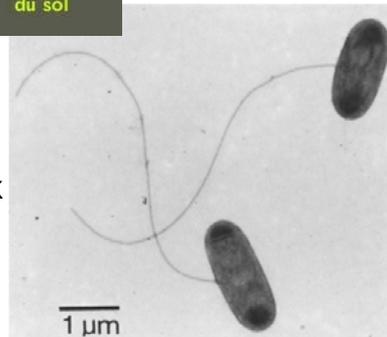
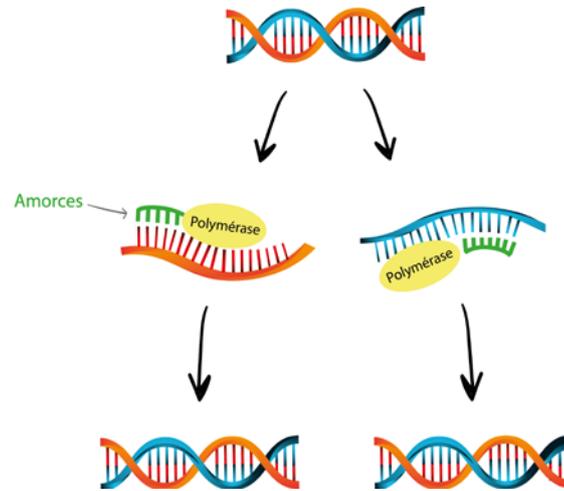
- **méthodes de culture**
basées sur les techniques de pasteurisation et de stérilisation

1. Histoire courte de la microbiologie

d. De la microbiologie médicale à l'écologie microbienne
et du microscope au séquenceur à ADN



Ecologie microbienne



Bactérie sulfato-réductrice
(*Desulfuromonas acetoxidans*)
étudiée par Martinus Beijerinck
et Sergei Winogradsky

- **méthodes génomiques**
basées sur les techniques de PCR et de séquençage

1. Histoire courte de la microbiologie

d. De la microbiologie médicale à l'écologie microbienne
et du microscope au séquenceur à ADN

Arbre phylogénétique du vivant
(version simplifiée)

Procaryotes

- espèces unicellulaires
- les cellules ne possèdent pas de noyau

Eucaryotes

- espèces pluricellulaires
- les cellules possèdent un noyau



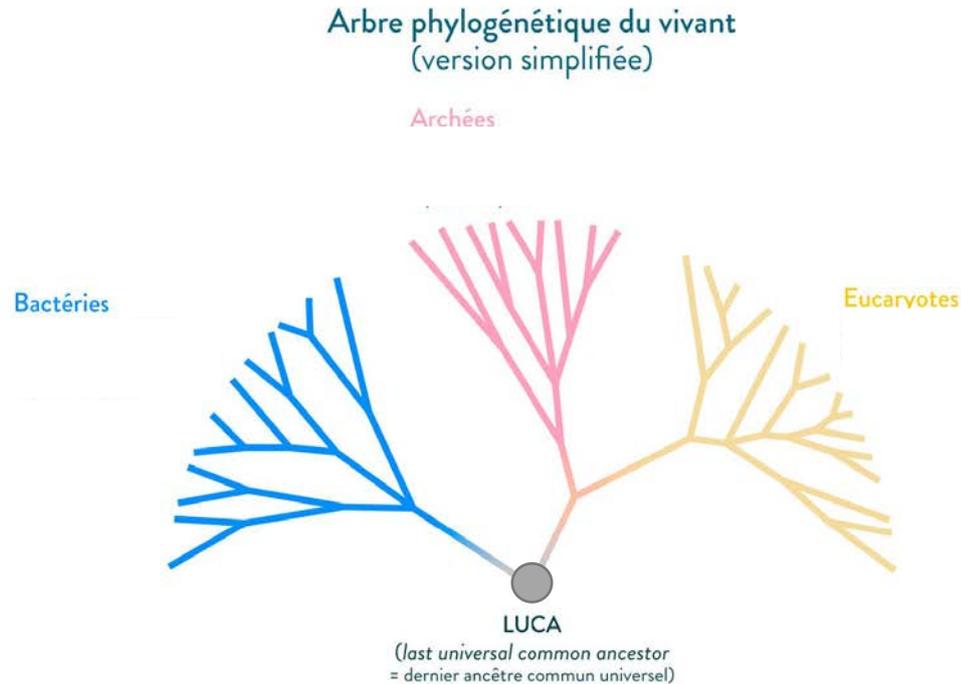
LUCA

(*last universal common ancestor*
= dernier ancêtre commun universel)

1. Histoire courte de la microbiologie

d. De la microbiologie médicale à l'écologie microbienne
et du microscope au séquenceur à ADN

Classification par Carl Woese et George Fox



1. Histoire courte de la microbiologie

d. De la microbiologie médicale à l'écologie microbienne
et du microscope au séquenceur à ADN



Archéobactéries extrêmophiles
dans un milieu chaud et acide

Arbre phylogénétique du vivant
(version simplifiée)

Archées

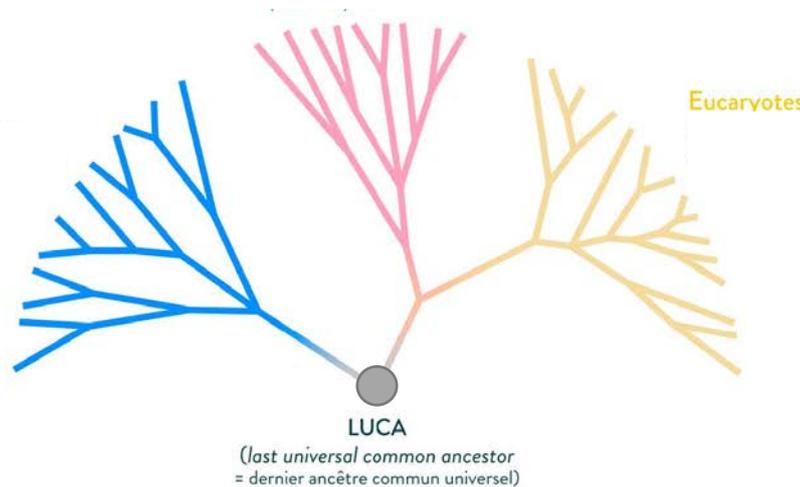


Oidium sur feuille de sauge

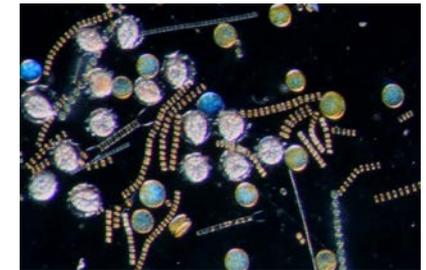


Bactérie phyto-bénéfique
(*Bacillus megaterium*)

Bactéries



Eucaryotes

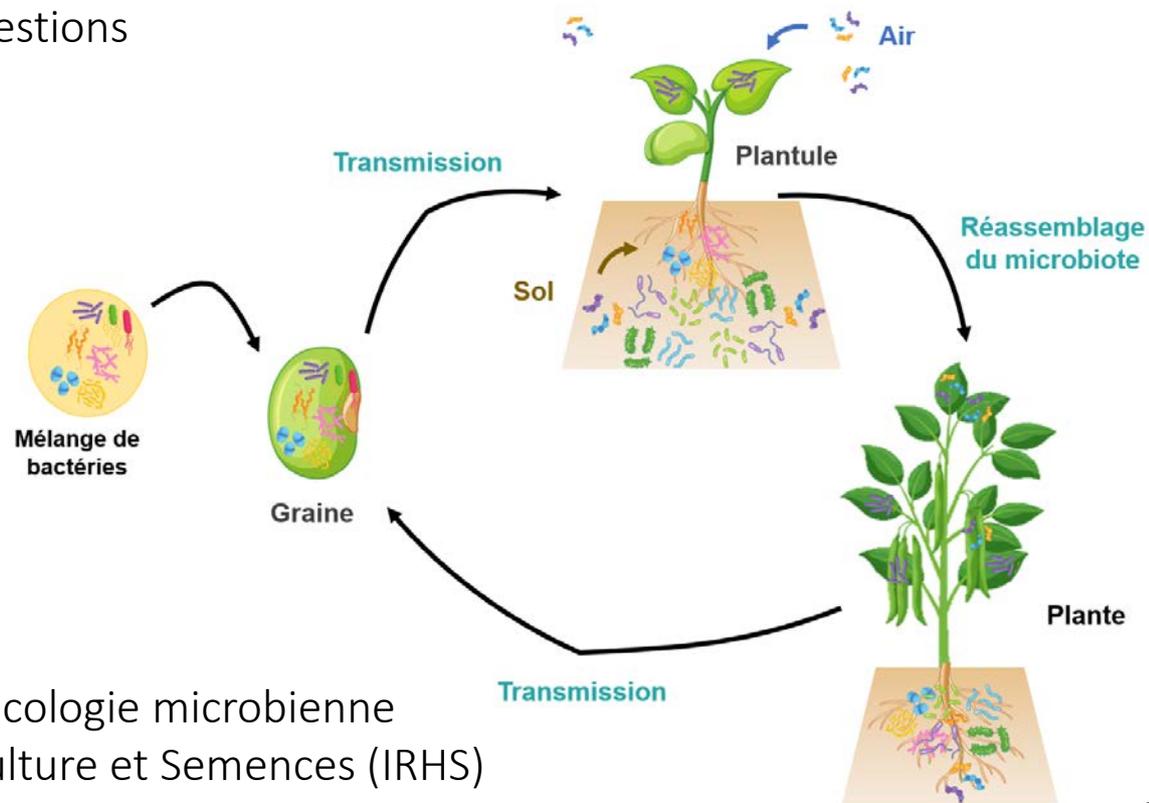
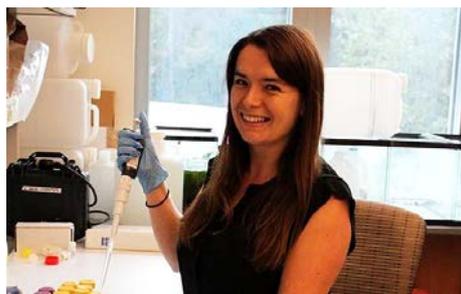


Diatomées
(phytoplancton)

1. Histoire courte de la microbiologie

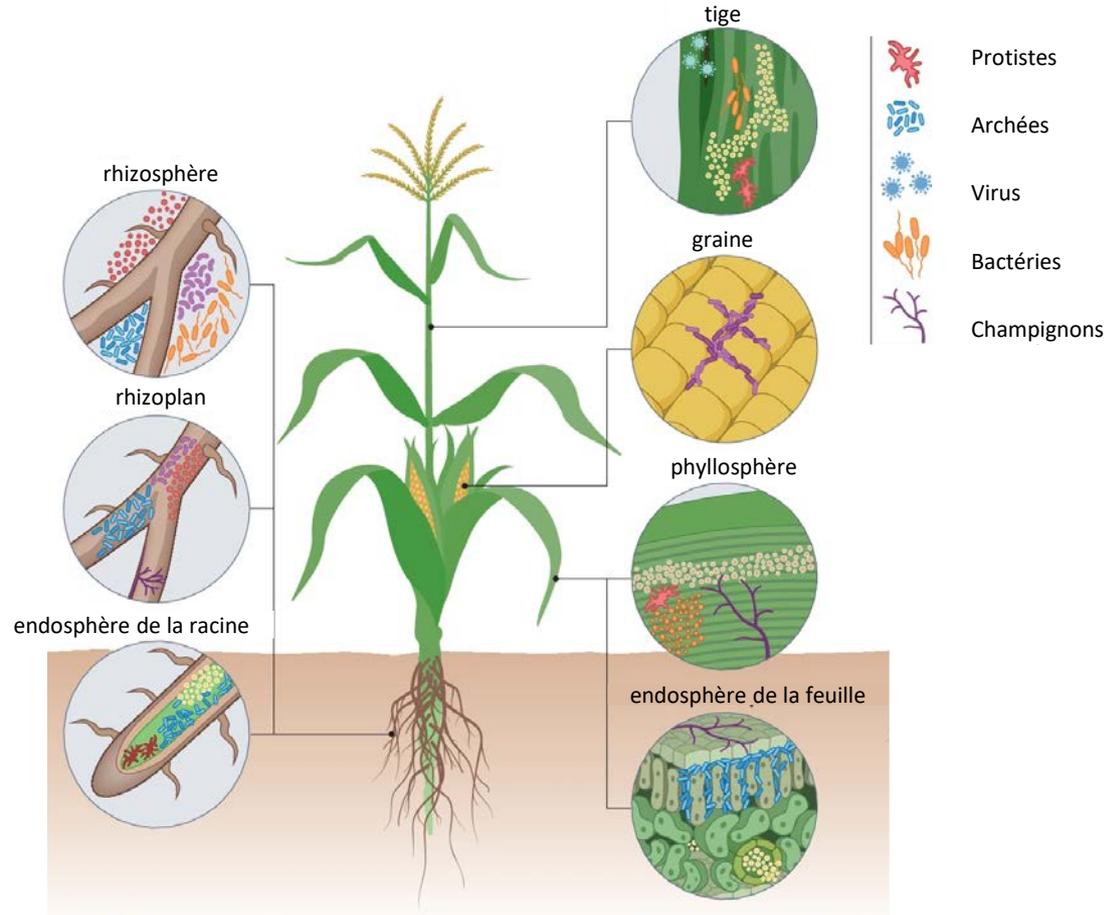
e. L'étude du microbiote

- **Microbiote** = ensemble des micro-organismes dans un environnement
- Étudier un microbiote = répondre aux questions
 - Qui est là ?
 - D'où viennent-ils ?
 - Que font-ils ?
 - Qu'est-ce qui les perturbe ?



2. Le microbiote des plantes

a. Une compartimentation spécifique

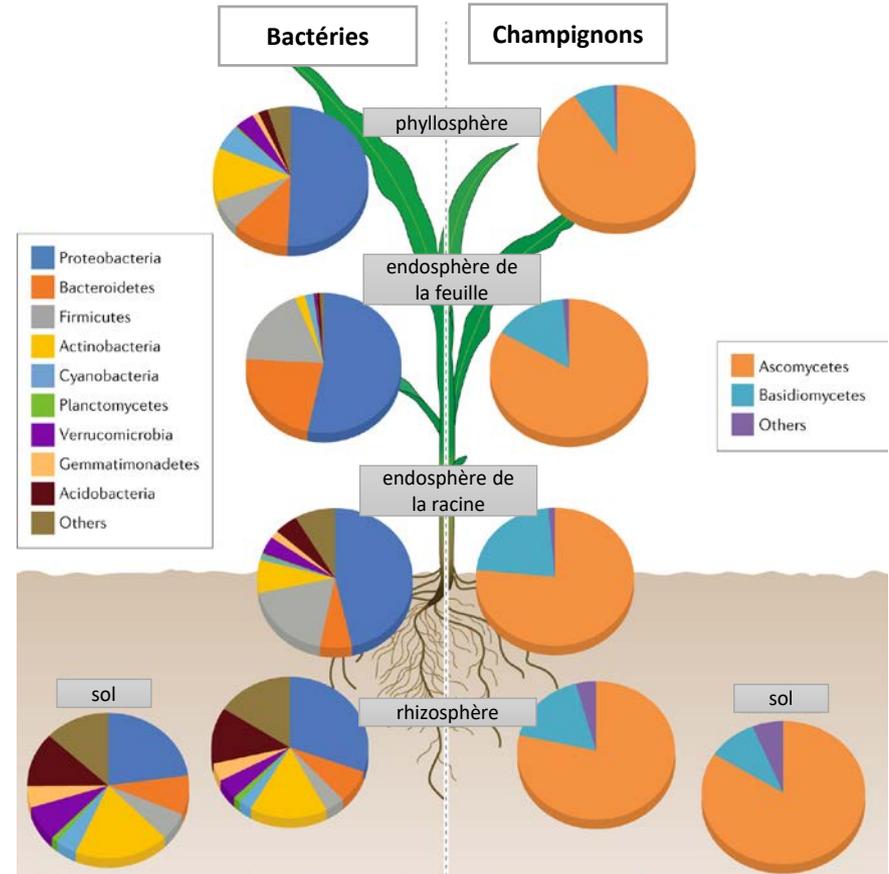


[Compant et collègues, 2024, Nature Reviews Microbiology]

2. Le microbiote des plantes

a. Une compartimentation spécifique

- Toute plante abrite naturellement un microbiote.
- Le microbiote de chaque compartiment d'une plante est spécifique.

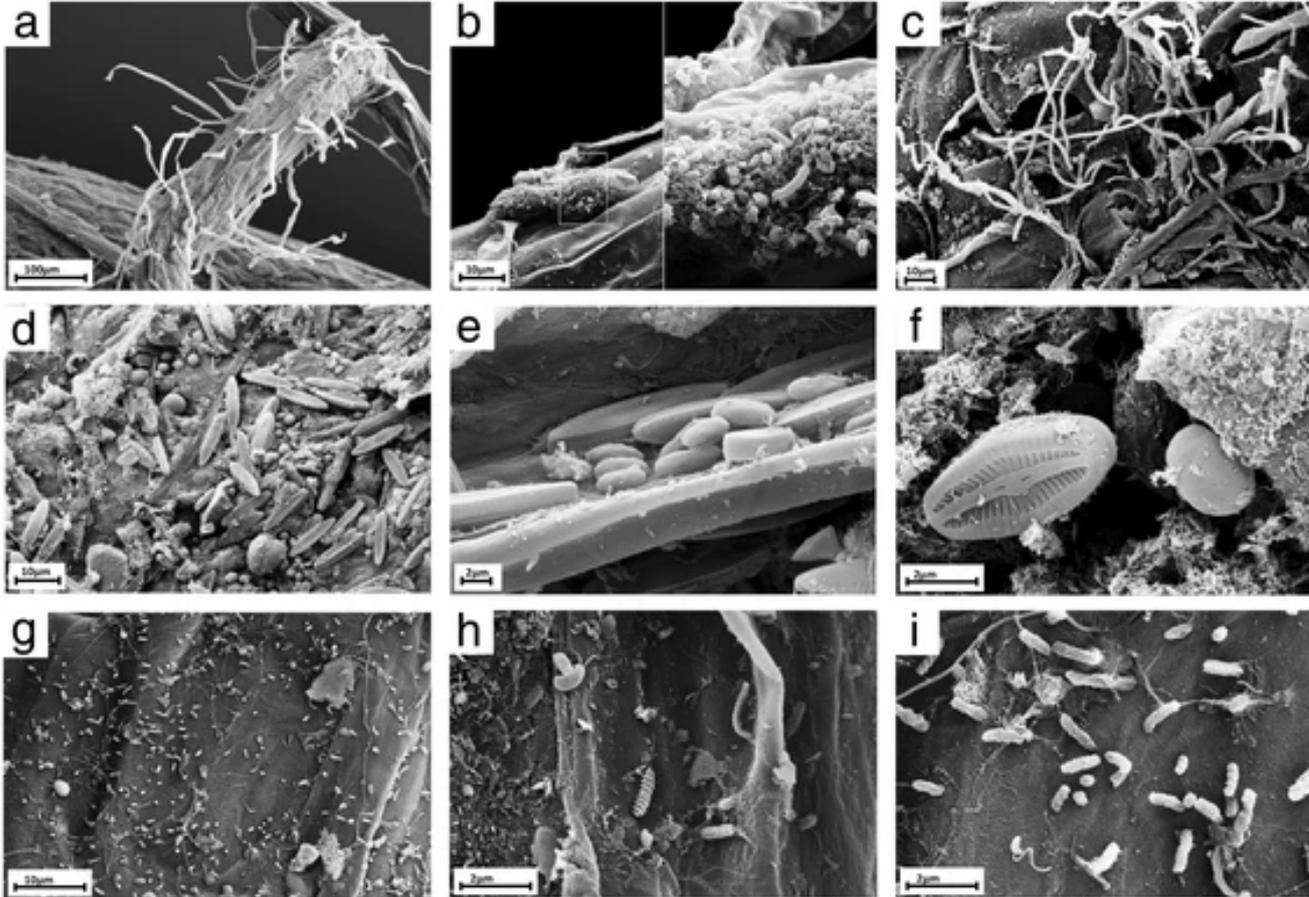


2. Le microbiote des plantes

a. Une compartimentation spécifique



Exemple du microbiote de surface des racines de la plante modèle de laboratoire, *Arabidopsis thaliana*. Images obtenues par microscopie électronique à balayage.



a Vue d'une racine d'*A. thaliana* (racine primaire) avec de nombreux poils racinaires

b Bactéries formant un biofilm

c Hyphes fongiques ou oomycètes entourant la surface de la racine

d Racine primaire densément couverte de spores et de protistes

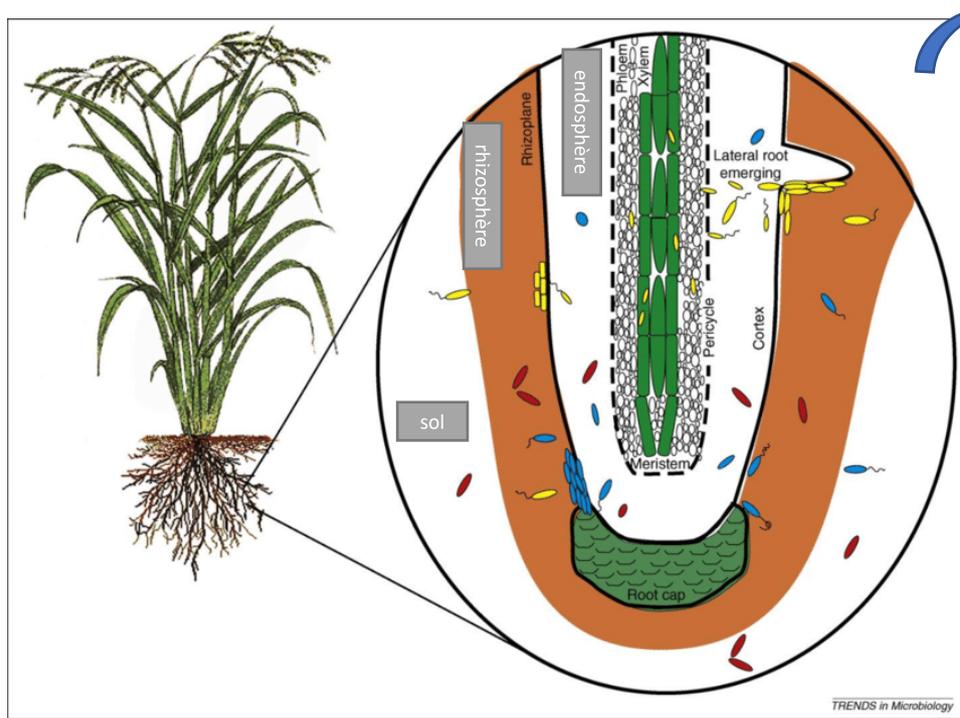
e et f Protistes, appartenant probablement à la classe des *Bacillariophyceae*

g Bactéries et filaments bactériens

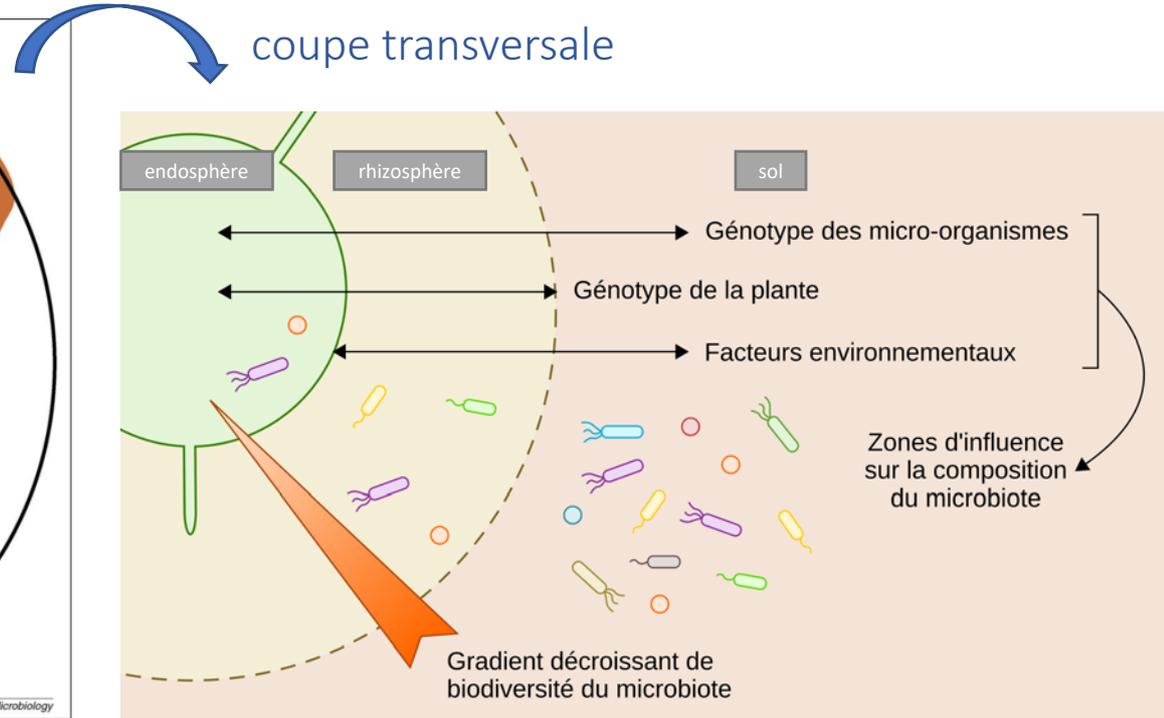
h et i Différents individus bactériens montrant une grande variété de formes et de caractéristiques morphologiques

2. Le microbiote des plantes

a. Une compartimentation spécifique



[Hardoim et collègues, 2008, Trends in Microbiology]



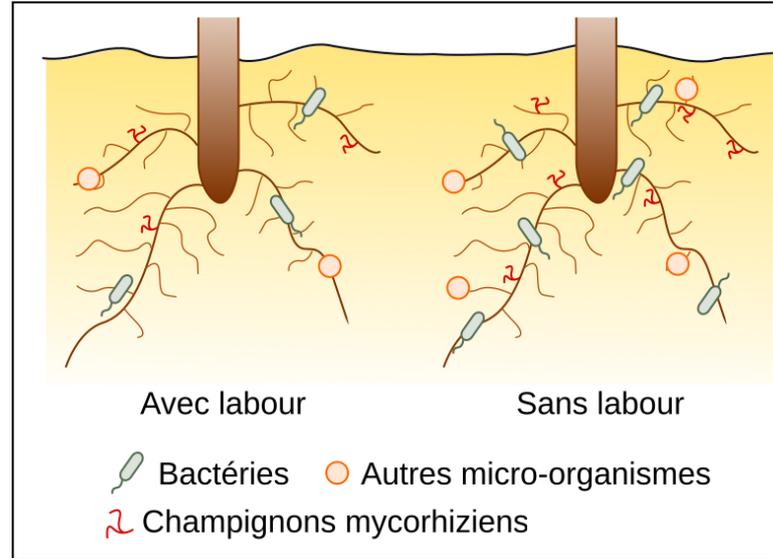
[Combemorel d'après Masson et Simonin, 2022, Planet-Vie]

- ➔ Il y a un **gradient décroissant de diversité** du microbiote de l'extérieur vers l'intérieur de la racine.
- ➔ Plusieurs **facteurs influencent la composition** du microbiote dans chaque compartiment.

2. Le microbiote des plantes

b. Une composition variable

Exemple de facteur environnemental : **une pratique agricole**

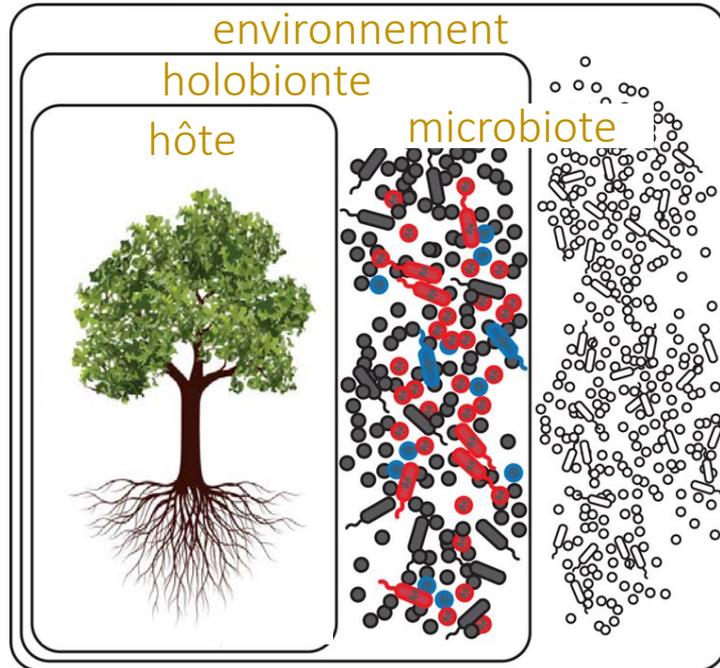


[Combemorel d'après Masson et Simonin, 2022, Planet-Vie]

2. Le microbiote des plantes

c. Une association durable ?

Hypothèse : Chaque plante sélectionne un microbiote spécifique lors d'une co-évolution de la plante et de son microbiote.



Micro-organismes qui **affectent** le phénotype de l'holobionte



Micro-organismes qui **affectent** le phénotype de l'holobionte **suite à une co-évolution**



Micro-organismes qui **n'affectent pas** le phénotype de l'holobionte



Micro-organismes de l'environnement qui **ne font pas partie** de l'holobionte

→ La plante et son microbiote associé pourraient former **un holobionte = une entité évolutive.**

2. Le microbiote des plantes

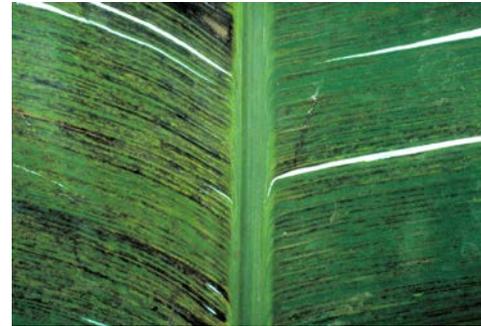
c. Une association durable ?



Nodules de bactéries fixatrices d'azote sur une plante légumineuse



Galles de nématodes sur un plant de riz



Stries sur une feuille de bananier (virus)



espèce A

+



espèce B

+

mutualisme

-

-

compétition/
parasitisme



Hyphe (h), spores (s) et arbuscules (a) de champignons mycorhizien colonisant un jeune pin

➔ Le microbiote d'une plante a des **effets plus ou moins bénéfiques** pour la plante.

3. Le microbiote de la rhizosphère des plantes

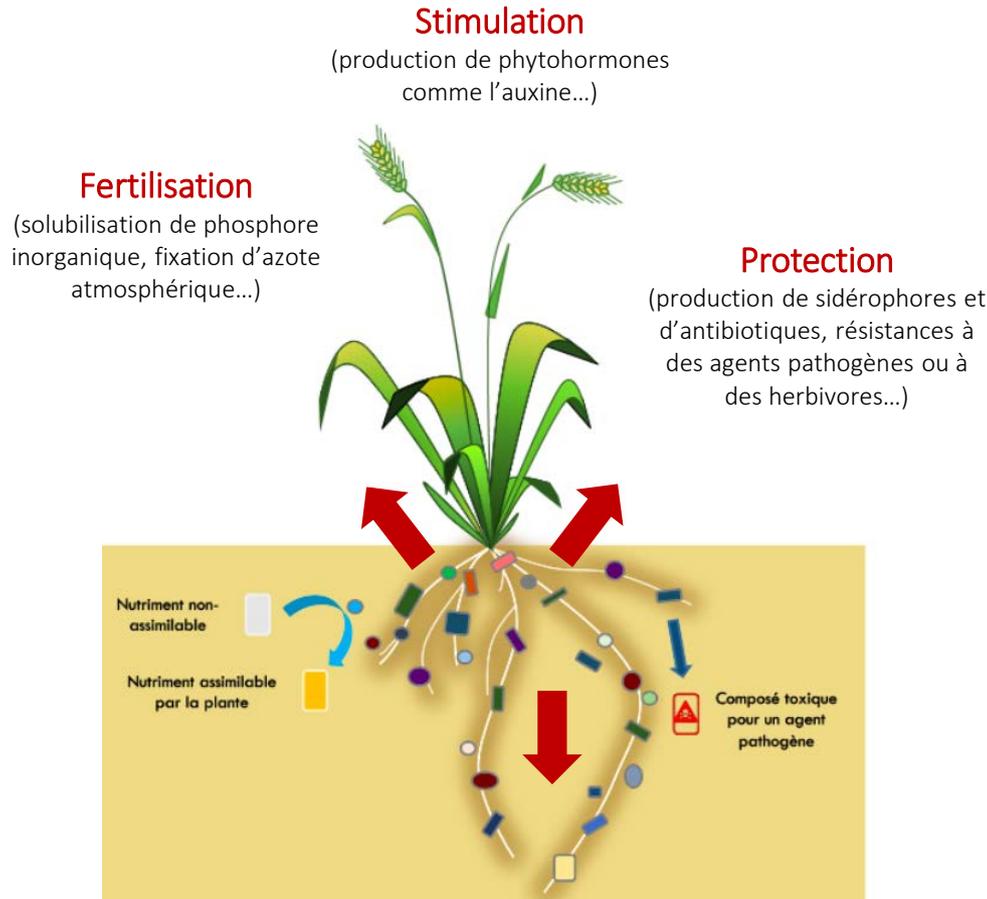
a. Des fonctions essentielles à la survie



[adaptation de De la Fuente Canto et collègues, 2020, The Plant Journal]

3. Le microbiote de la rhizosphère des plantes

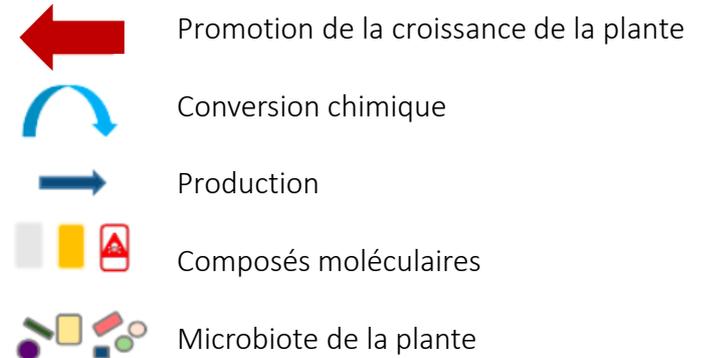
a. Des fonctions essentielles à la survie



→ Le microbiote de la rhizosphère

- participe aux **fonctions essentielles** à la survie de la plante.
- apporte un **phénotype étendu** à la plante.

Légende



3. Le microbiote de la rhizosphère des plantes

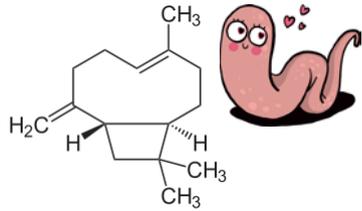
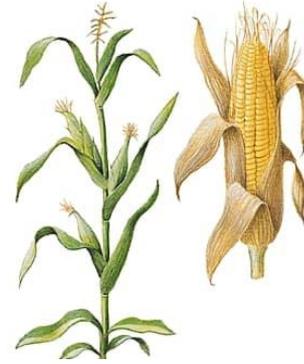
b. Des mécanismes d'interactions mis en jeu



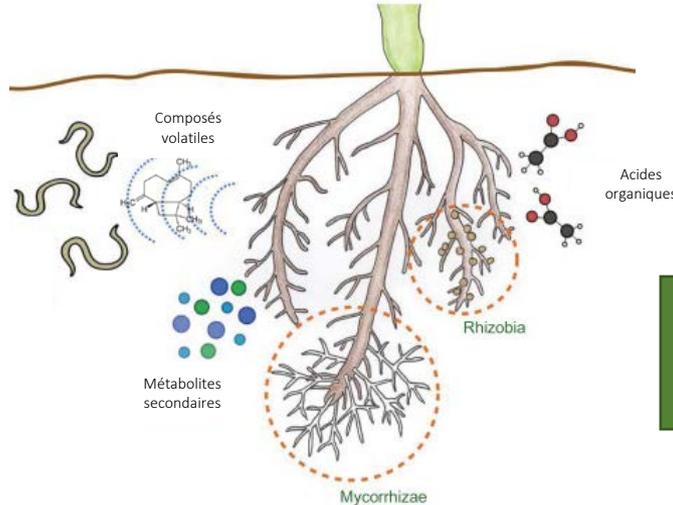
chrysomèles du maïs (*Diabrotica virgifera*)



larves de chrysomèle infectées par un nématode entomopathogène (*Heterorhabditis megidis*)



molécule de β -caryophyllène



Réduction de l'utilisation des pesticides

Réduction de la dépendance aux fertilisants synthétiques

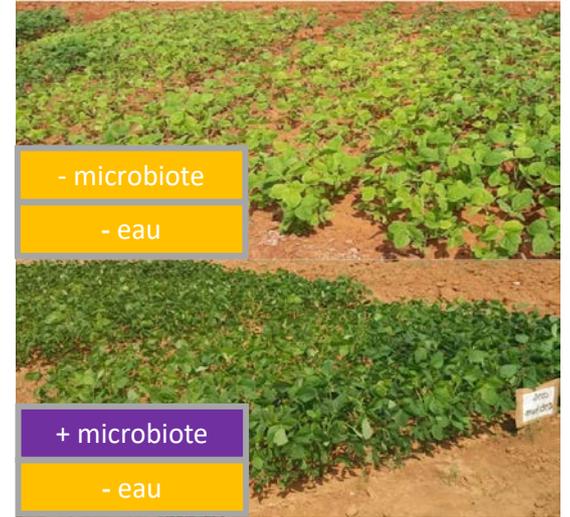
- La plante « appelle à l'aide » en exsudant une large gamme de molécules.
- L'exsudation racinaire participe à une communication vitale entre la plante et son microbiote.

4. L'ingénierie du microbiote des plantes

b. Par l'inoculation d'un microbiote fonctionnel



Une association très spécifique entre le soja et la bactérie fixatrice d'azote *Bradyrhizobium japonica*
[Ong et O'Brian, 2024, Trends in Microbiology]



Réponse d'un cultivar de soja inoculé ou non avec une bactérie fixatrice d'azote et un champignon mycorhizien en situation de stress hydrique [Ashwin et collègues, 2023, Fungal Biology and Biotechnology]



➔ Méthodes qui s'apparentent à l'utilisation de **probiotiques** et aux **transplantations fécales** en médecine humaine

4. L'ingénierie du microbiote des plantes

c. Par l'adaptation des pratiques agricoles

« Révolution verte »



4. L'ingénierie du microbiote des plantes

c. Par l'adaptation des pratiques agricoles

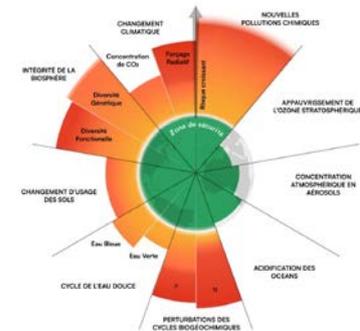


« Révolution verte »

- mécanisation → remembrement
- semences hybrides
- engrais et pesticides de synthèse
- irrigation

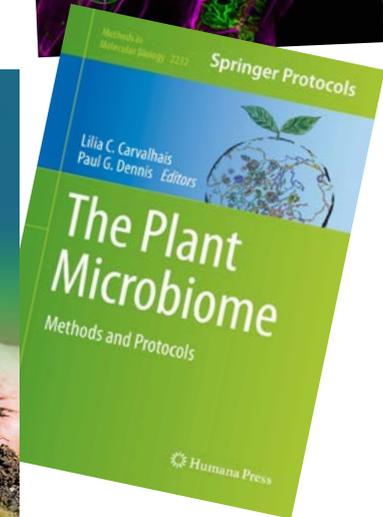
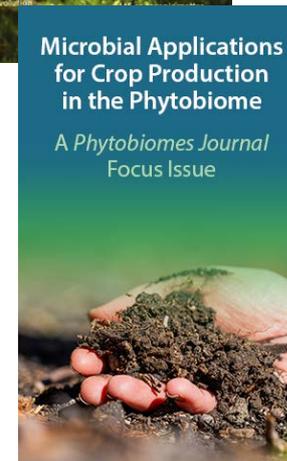
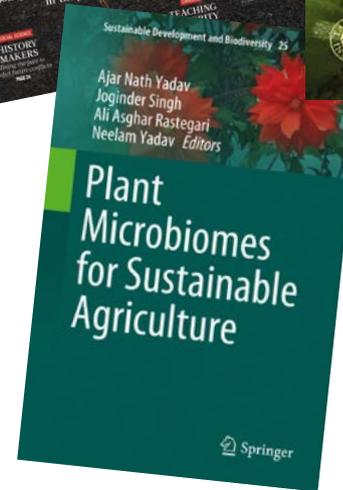
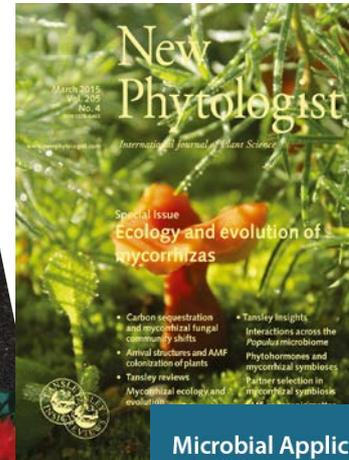
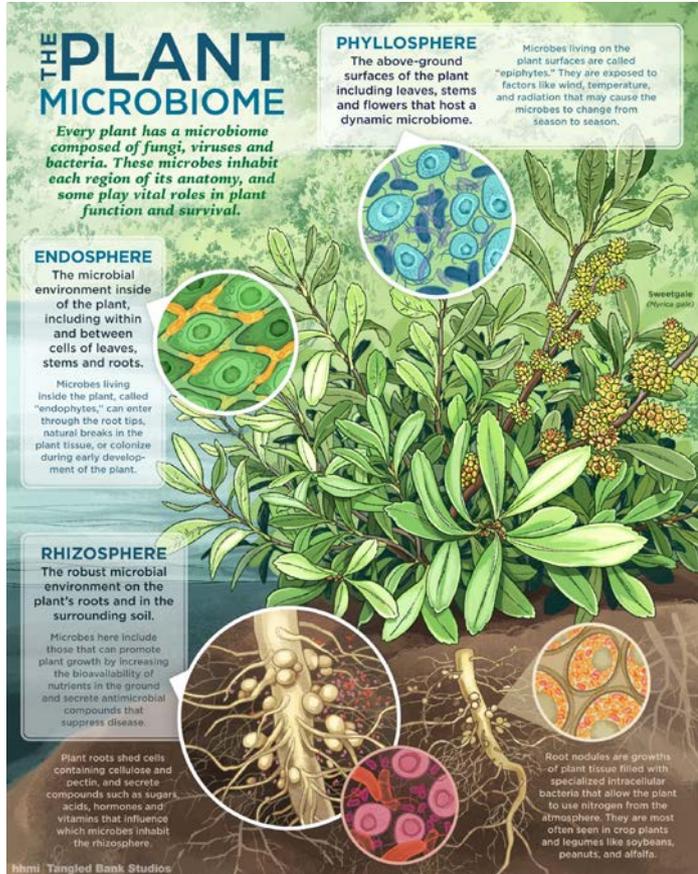
➔ rendements augmentés mais...

- pollutions multiples
- perte de biodiversité
- érosion des sols
- dépendance aux énergies fossiles
- ...



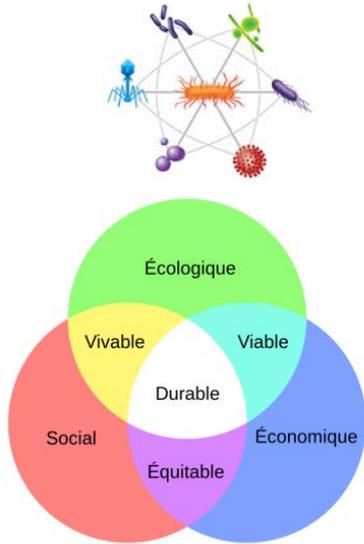
4. L'ingénierie du microbiote des plantes

c. Par l'adaptation des pratiques agricoles



4. L'ingénierie du microbiote des plantes

c. Par l'adaptation des pratiques agricoles



AGRICULTEUR·ICES

- Diversité et choix des espèces cultivées
Qualité de la production alimentaire
- Qualité de l'organisation de l'exploitation
(répartition des parcelles...)
- Efficacité de la protection sanitaire
- Favoriser la fertilité des sols,
réduire l'usage des phytosanitaires
et des intrants
- Sobriété dans l'usage et la consommation d'énergie
et de ressources (électricité, gasoil, eau, phosphore)
- Gestion et valorisation des déchets, collectif et particuliers

ÉCONOMIE

- Diversification productive (gamme de vente)
BLÉ | LÉGUMES | ŒUFS | VIANDE
- Pouvoir financer les matériels de production (tracteurs...)
Réseaux d'innovation et mutualisation du matériel et du travail
- Pérenité globale :
 - sécuriser la filière et les ressources locales au juste prix
 - poids de la dette, dépendance aux aides
 - diversification des partenaires économiques
 - nouvelles installations, reprises de fermes
- Autonomie en énergie, matériaux, plantes
ÉOLIEN | SOLAIRE | CÉRÉALES

SOCIO-TERRITORIAL

- Favorisation des produits locaux et des filières courtes
- Contribution à l'emploi et au salariat
Implication sociale et solidarité
Gestion de l'isolement
- Formation, éducation, et prise de conscience collective
- Garder les terrains agricoles, ne pas artificialiser l'espace
SUPER MARCHÉ
- Traitement des affluents, démarche de transparence
Développement de trames vertes et bleues par les collectivités pour favoriser la biodiversité

Image: Margrèta Puié

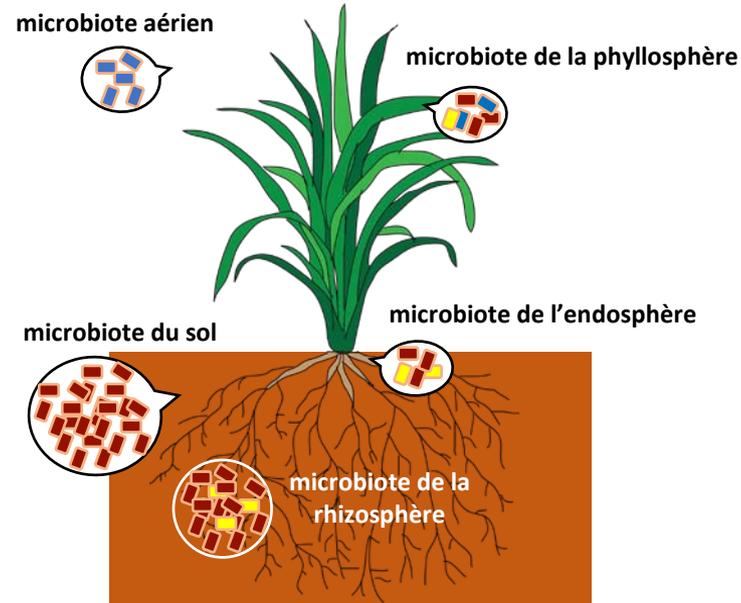
→ ingénierie du microbiote et des écosystèmes vers des solutions de remplacement aux pesticides et engrais de synthèse

4. L'ingénierie du microbiote des plantes

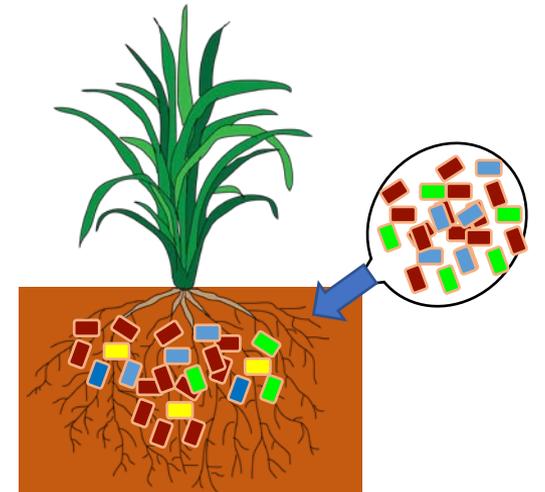
c. Par l'adaptation des pratiques agricoles

Sélection de plantes ayant la capacité génétique pour **interagir** avec un microbiote phytobénéfique

Utilisation de graines avec un microbiote phytobénéfique



Inoculation d'un microbiote phytobénéfique (probiotiques, composte, etc)



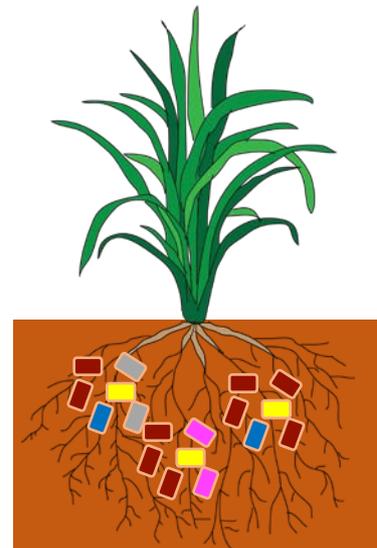
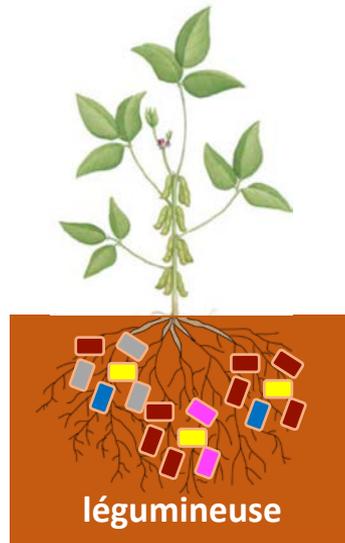
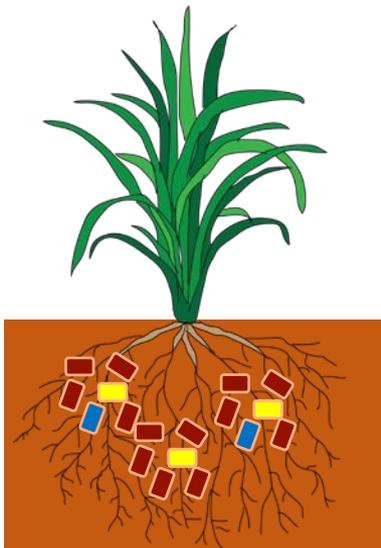
Diminution du labour pour conserver un microbiote phytobénéfique

4. L'ingénierie du microbiote des plantes

c. Par l'adaptation des pratiques agricoles

Rotation culturale avec des plantes ayant un microbiote phytobénéfique

Culture de « plantes de couverture » pour maintenir un microbiote phytobénéfique

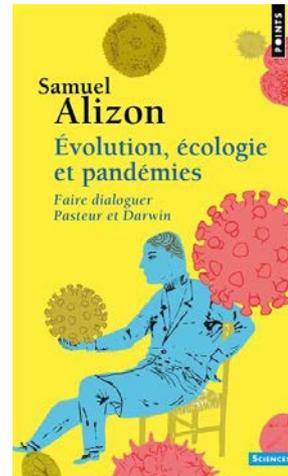
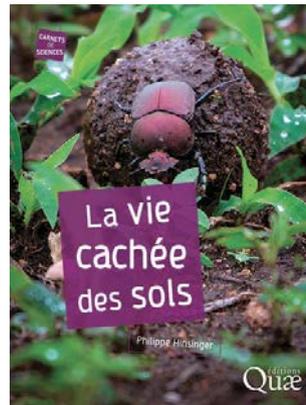


- compréhension du microbiote + adaptation des pratiques agricoles = réduction de l'utilisation des engrais et pesticides de synthèse
- Ces pratiques ont de nombreux **co-bénéfices** pour les systèmes agricoles.

Pour conclure...

- ❖ conservation de la **biodiversité** = amélioration de la **santé** des agroécosystèmes
- ❖ prendre en compte le **microbiote de la plante** = conserver ou retrouver des **fonctions essentielles** à la survie des plantes pour la transition vers des **alternatives** à l'utilisation d'engrais et de pesticides de synthèse
- ❖ importance de la **biodiversité des autres organismes du sol** + importance de notre **capacité à concevoir et mettre en place des systèmes de production agricoles plus durables**

Pour continuer...



MERCI



Références

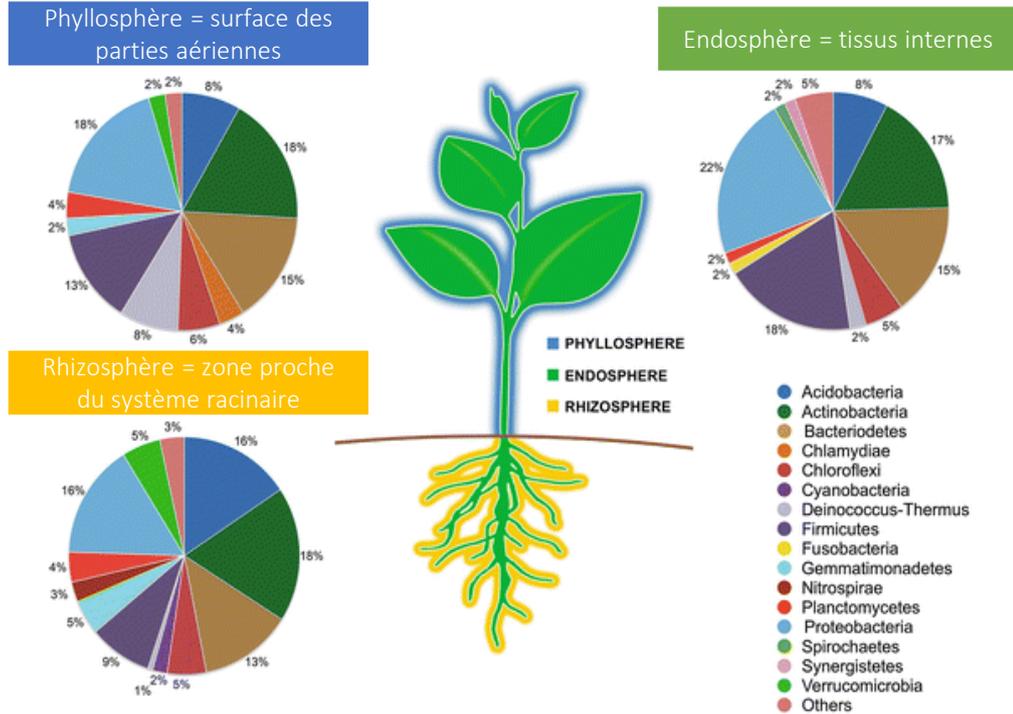
- Ashwin, R., Bagyaraj, D. J., & Mohan Raju, B. (2023). Ameliorating the drought stress tolerance of a susceptible soybean cultivar, MAUS 2 through dual inoculation with selected rhizobia and AM fungus. *Fungal Biology and Biotechnology*, 10(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40694-023-00157-y>
- de la Fuente Cantó, C., Simonin, M., King, E., Moulin, L., Bennett, M. J., Castrillo, G., & Laplaze, L. (2020). An extended root phenotype : The rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness. *The Plant Journal*, 103(3), 951-964. <https://doi.org/10.1111/tbj.14781>
- Gest, H. (2004). The discovery of microorganisms by Robert Hooke and Antoni Van Leeuwenhoek, fellows of the Royal Society. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 58(2), 187-201. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2004.0055>
- Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., & Elsas, J. D. van. (2008). Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends in Microbiology*, 16(10), 463-471. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2008.07.008>
- Hassani, M. A., Durán, P., & Hacquard, S. (2018). Microbial interactions within the plant holobiont. *Microbiome*, 6(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0445-0>
- Liu, H., Brettell, L. E., Qiu, Z., & Singh, B. K. (2020). Microbiome-Mediated Stress Resistance in Plants. *Trends in Plant Science*, 25(8), 733-743. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.03.014>
- Mesny, F., Hacquard, S., & Thomma, B. P. (2023). Co-evolution within the plant holobiont drives host performance. *EMBO reports*, 24(9), e57455. <https://doi.org/10.15252/embr.202357455>
- Nerva, L., Sandrini, M., Moffa, L., Velasco, R., Balestrini, R., & Chitarra, W. (2022). Breeding toward improved ecological plant–microbiome interactions. *Trends in Plant Science*, 27(11), 1134-1143. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.06.004>
- Preece, C., & Peñuelas, J. (2020). A Return to the Wild : Root Exudates and Food Security. *Trends in Plant Science*, 25(1), 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.09.010>
- Rasmann, S., Köllner, T. G., Degenhardt, J., Hiltbold, I., Toepfer, S., Kuhlmann, U., Gershenson, J., & Turlings, T. C. J. (2005). Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. *Nature*, 434(7034), 732-737. <https://doi.org/10.1038/nature03451>
- Rossmann, M., Sarango Flores, S., Chiaramonte, J., Kmit, M., & Mendes, R. (2017). Plant Microbiome : Composition and Functions in Plant Compartments. In *The Brazilian Microbiome : Current Status and Perspectives* (p. 7-20). https://doi.org/10.1007/978-3-319-59997-7_2
- Theis, K. R., Dheilly, N. M., Klassen, J. L., Brucker, R. M., Baines, J. F., Bosch, T. C. G., Cryan, J. F., Gilbert, S. F., Goodnight, C. J., Lloyd, E. A., Sapp, J., Vandenkoornhuyse, P., Zilber-Rosenberg, I., Rosenberg, E., & Bordenstein, S. R. (2016). Getting the Hologenome Concept Right : An Eco-Evolutionary Framework for Hosts and Their Microbiomes. *mSystems*, 1(2), e00028-16. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00028-16>

Références

- <https://courses.lumenlearning.com/suny-microbiology/chapter/types-of-microorganisms/>
- <https://www.uib.no/en/geobio/56846/what-are-microorganisms>
- <https://www.sutori.com/en/story/the-discovery-of-microorganisms--Xak2j37oPAoVThLR5owk6Gwi>
- <https://www.nationalgeographic.fr/sciences/2021/08/robert-koch-chasseur-de-bacteries-et-pionnier-dans-la-recherche-contre-la-tuberculose>
- <https://www.futura-sciences.com/sante/dossiers/medecine-bacteries-uranium-font-bon-menage-706/page/2/>
- <https://eternalmicrobe.com/2020/05/06/the-plant-microbiome/>
- <https://books.openedition.org/mnhn/3345?lang=fr>
- <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1363-soja-glycine-max-legumineuse.html>
- https://entnemdept.ufl.edu/Creatures/NEMATODE/rice_root_knot_nematode_Meloidogyne_graminicola.htm
- <https://plantae.org/review-an-extended-root-phenotype-the-rhizosphere-its-formation-and-impacts-on-plant-fitness-plant-j/>
- <https://www.uu.nl/en/news/plants-modify-microbial-communities-on-their-roots-to-warn-their-offspring-of-attack>
- <https://impellobio.com/blogs/inoculants/rootexudates>
- <https://kcenter.lallemantplantcare.com/fr/france/post-a-la-une-fr/le-soufre/>
- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/extremophiles.xml>
- <https://bonpote.com/la-6eme-limite-planetaire-est-officiellement-depassee/>
- <https://www.nagwa.com/fr/explainers/754176579570/>
- <https://bonpote.com/les-mega-bassines-sont-elles-des-solutions-viables-face-aux-secheresses/>
- <https://ngsf.in/2021/11/02/are-we-what-we-eat-or-who-we-are/>
- <https://asm.org/magazine/2023/spring/friends-foes-microbial-interactions-infections>
- <https://agrosmartcampus.fr/videos/idea-pour-le-grand-public/>
- <https://www.terreazur.fr/terreazur-et-vous/nos-partenariats/terreazur-s-engage-en-faveur-pratiques-agroecologiques>
- <https://osez-agroecologie.org/l-agroecologie>
- <https://agriculture.gouv.fr/la-haie-levier-de-la-planification-ecologique>

2. Le microbiote des plantes

a. Une compartimentation spécifique

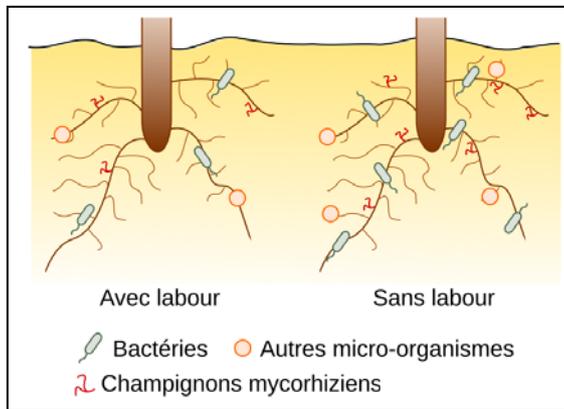


[Rossmann et collègues, 2017, The Brasilian Microbiome]

2. Le microbiote des plantes

b. Une composition variable

Exemple selon les pratiques agricoles

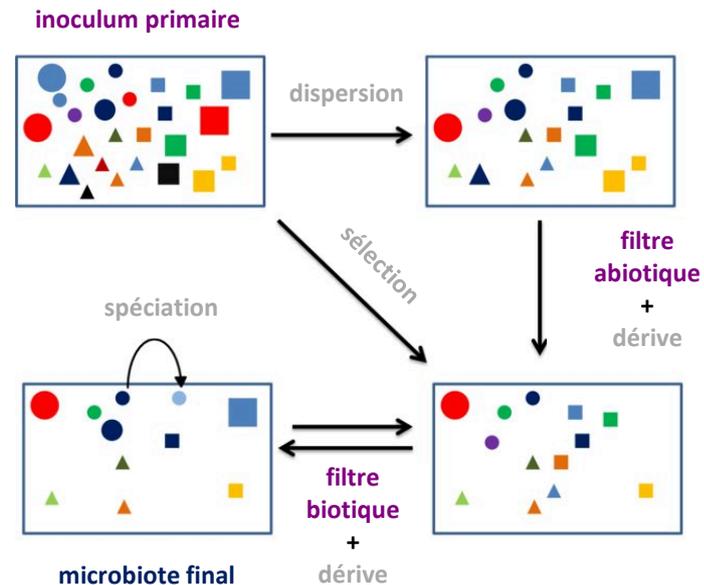


[Combemorel d'après Masson et Simonin, 2022, Planet-Vie]

Liste des facteurs influençant la composition du microbiote :

- **inocula primaires**
(le sol, la graine, les insectes pollinisateurs, etc)
- **facteurs abiotiques**
(les pratiques agricoles, la météo, etc)
- **facteurs biotiques**
 - capacité de la plante et du micro-organisme à entrer en **interaction**
 - **interactions** avec les autres organismes

Règles d'assemblage des communautés

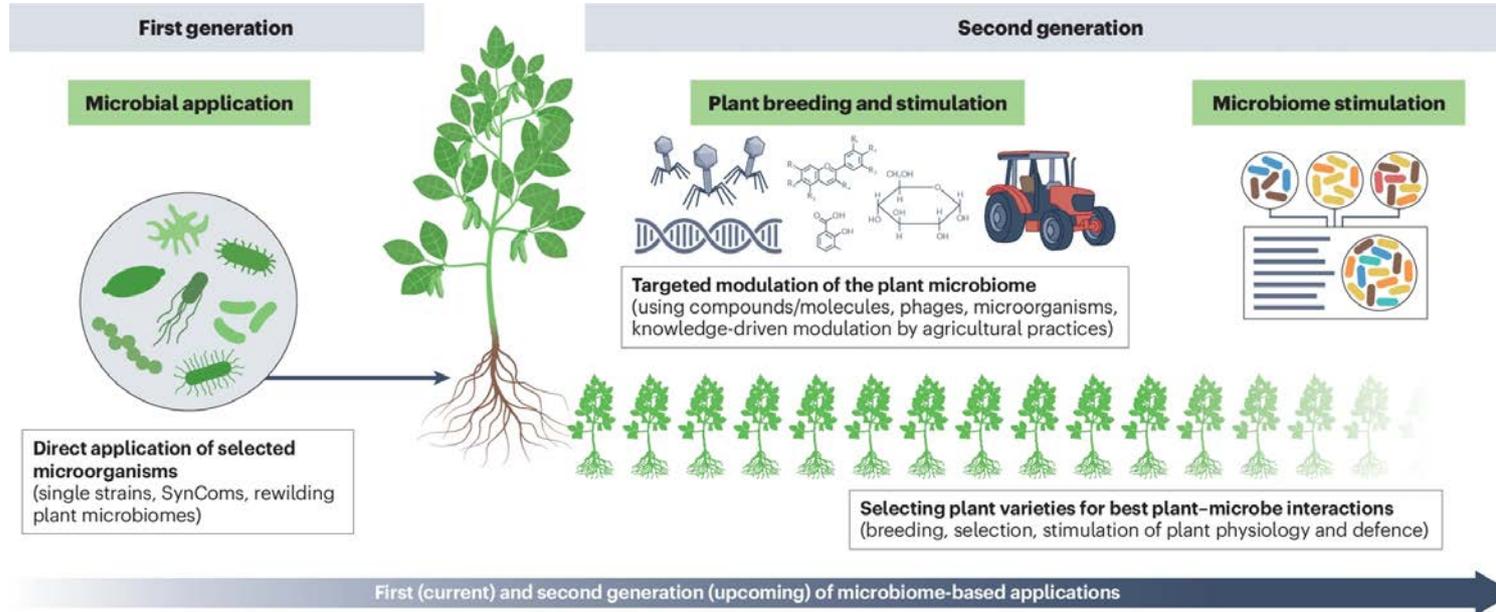


[Delhaye, 2018, thesis]

➔ Le microbiote des plantes est soumis aux forces évolutives.

4. L'ingénierie du microbiote des plantes

c. Par l'adaptation des pratiques agricoles



[Compant et collègues, 2024, Nature Reviews Microbiology]