

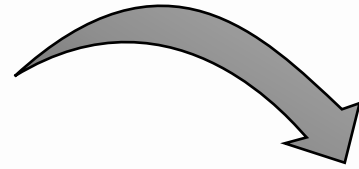
I.M.P.A.C.T !

Interactions Microbiennes pour
l'assimilation du Phosphore en
Agroforesterie de Climat Tempéré

Hypothèse du projet



EN SURFACE



Barrière au vent
Ombrage
Refuge pour la faune
Entrée de matière organique → Entrée de phosphore organique



Besoin en phosphore

DANS LE SOL



Peu de résultats
scientifiques

Entrée de matière organique → Entrée de phosphore organique
Stimulation de la qualité microbologique du sol → Meilleur fonctionnement
Activation de processus microbologique spécifique au cycle du phosphore

Les acteurs microbiens du cycle du phosphore



LES BACTERIES



LES CHAMPIGNONS

Type d'action			
Saprotrophes	Solubilisatrices	Saprotrophes	Mycorhizes
Mécanisme			
Minéralisation du phosphore organique en phosphore inorganique	Solubilisation des phosphates immobilisés dans le sol	Minéralisation du phosphore organique en phosphore inorganique	Capture du phosphore du sol pour la mise à disposition du végétal
Exemple de microorganismes			
Grande diversité : <i>Rhizobium, Enterobacter Serratia, Citrobacter Proteus, Klebsiella Pseudomonas, Bacillus</i>	Souches spécifiques : <i>Pseudomonas Burkholderia Bacillus Micrococcus Flavobactérium</i>	Grande diversité : <i>Basidiomycètes Ascomycètes Gloméromycètes</i>	<i>Gloméromycètes (Endomyc.) Ascomycètes (Ectomyc.)</i>
Méthode d'exploration dans le projet			
Abondance et diversité Activités enzymatiques	Séquençage ADN	Abondance et diversité Activités enzymatiques	Séquençage ADN

LES GRANDES QUESTIONS DU PROJET

1 - L'arbre a-t-il vraiment un effet sur le fonctionnement du sol ?

2 - Le fonctionnement du sol est-il influencé par l'essence de l'arbre ?

3 - observe-t-on les mêmes effets dans tous les systèmes agricoles (sols et pratiques différentes) ?

Déroulement du projet

Année 1

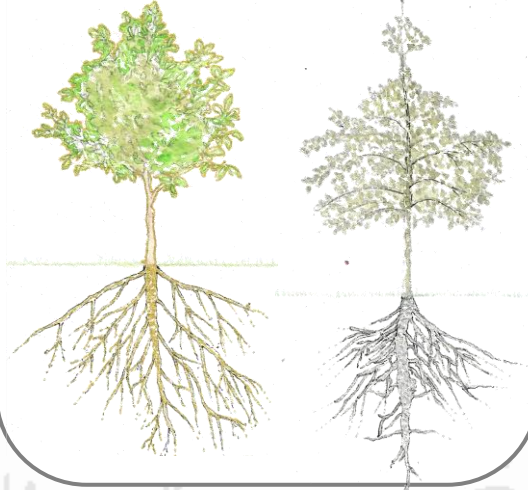
1 site : Lumigny



2 essences

Le Moyer

L'Aspre



Année 2

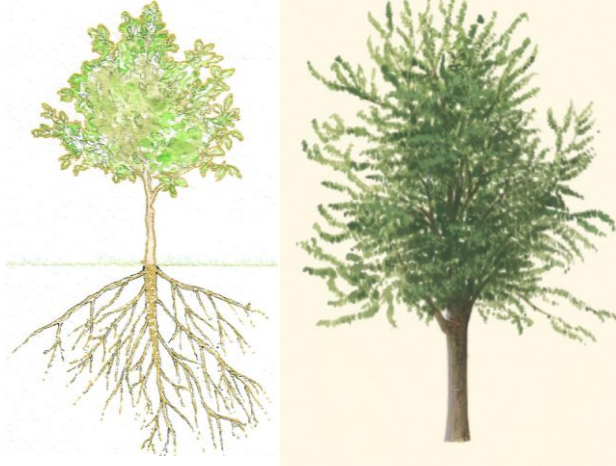
2 sites : Lumigny & Courances



2 essences

Le Moyer

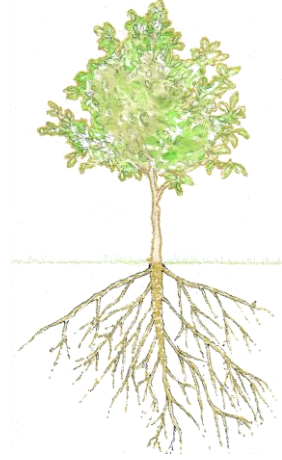
LE MERISIER



Année 3

1 essence

Le Moyer



5 sites



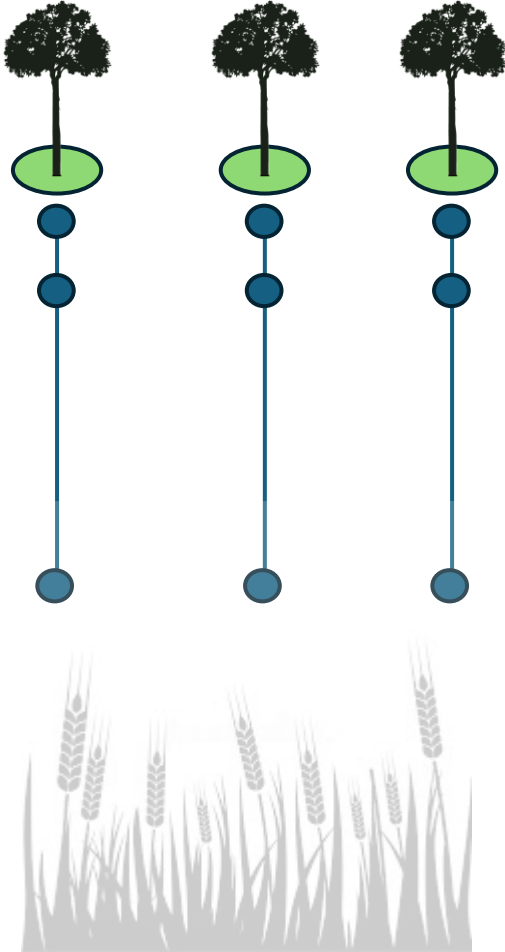
Dispositif de suivi des parcelles

3 arbres par essence par parcelle

Pied de l'arbre (0m)

Bord de culture
(1,5 à 2,5 m)

Milieu de culture
(13,5 ou 19 m)



6 sondages par point de prélèvement
= échantillon composite

D0



D1



D2



Horizon de surface
(0-20 cm)

Prélèvement à
l'automne
(octobre/novembre)

15 indicateurs mesurés par
échantillon

**Analyses physico-
chimiques
(7 indicateurs)**

**Analyses
microbiologiques
(6 indicateurs)**

**Analyses
enzymatiques
(2 indicateurs)**

→ **Année 1 = 21 échantillons**
→ **Année 2 = 27 échantillons**
→ **Année 3 = 20 échantillons**

Les indicateurs du fonctionnement du sol suivi dans le projet



Habitat



Texture

Indicateur du type d'habitat constitué par le sol



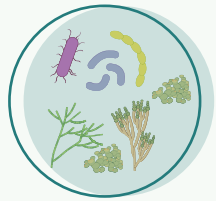
pH

Indicateur des conditions du milieu



Calcaire total

Indicateur de la capacité tampon du sol



Patrimoine microbien



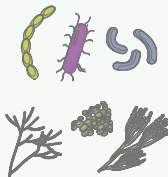
Biomasse microbienne (ADN)

Indicateur de l'abondance et de l'activité biologique



Equilibre microbien (F/B)

Indicateur des voies de décomposition de la MO



Diversité microbienne

Indicateur du patrimoine et de la durabilité des sols



Ressources



Quantité de carbone

Indicateur du niveau des ressources pour les organismes



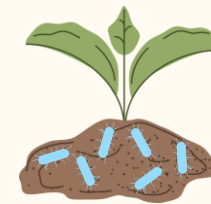
Rapport C/N

Indicateur de la disponibilité des ressources pour les organismes



Phosphore assimilable

Indicateur du niveau de phosphore organique disponible



Fonctionnement microbien

Traits fongiques

Indicateur des fonctions portées par les champignons

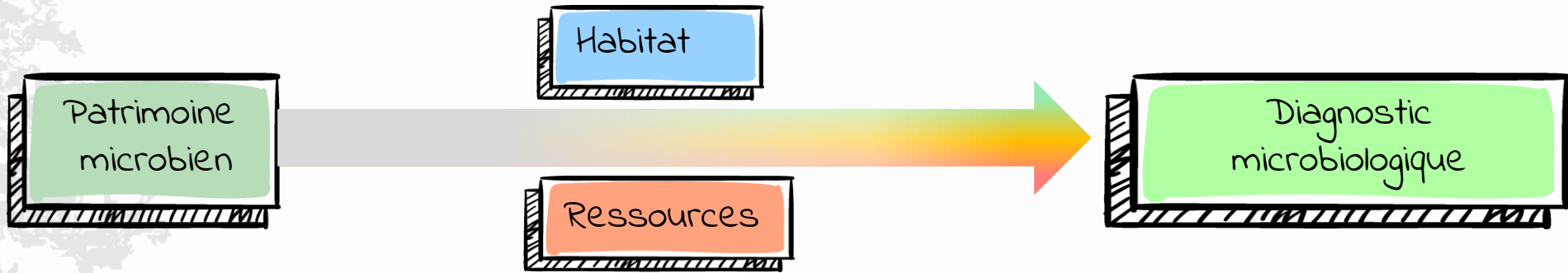
Vulnérabilité fonct. bactérienne

Indicateur du risque de perte de fonctions portées par les bactéries

Activités enzymatiques

Indicateurs des voies métaboliques activées

Les indicateurs du fonctionnement du sol suivi dans le projet



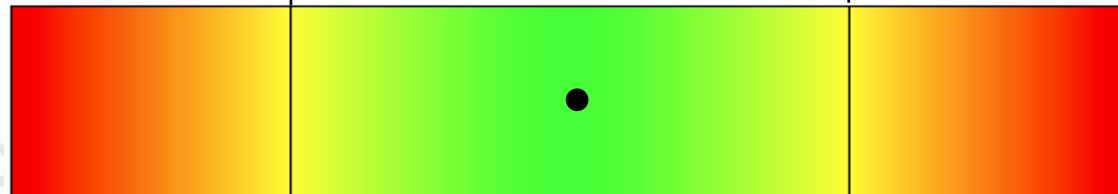
Carbone organique
Biomasse microbienne
Diversité bactérienne
Diversité fongique

Seuil critique (-30% VP) ← Valeur de potentiel



Déséquilibre : excès de bactéries ← 1% Optimum (valeur attendue) 5% → Déséquilibre : excès de champignons

Equilibre F/B





Question 1

L'arbre a-t-il vraiment un effet sur le fonctionnement du sol ?

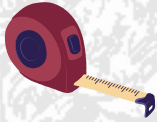
Méthodo



Parcelle : Lumigny et Courances



Essence choisie : Noyer, Merisier, Aulne



Distances étudiées : - D0 : pied d'arbre

- D1 : 1.5 ou 2.5 m

- D2 : milieu de l'inter-rang (13.5 ou 19.5 m)



Prélèvement : - Novembre 2023 et 2024

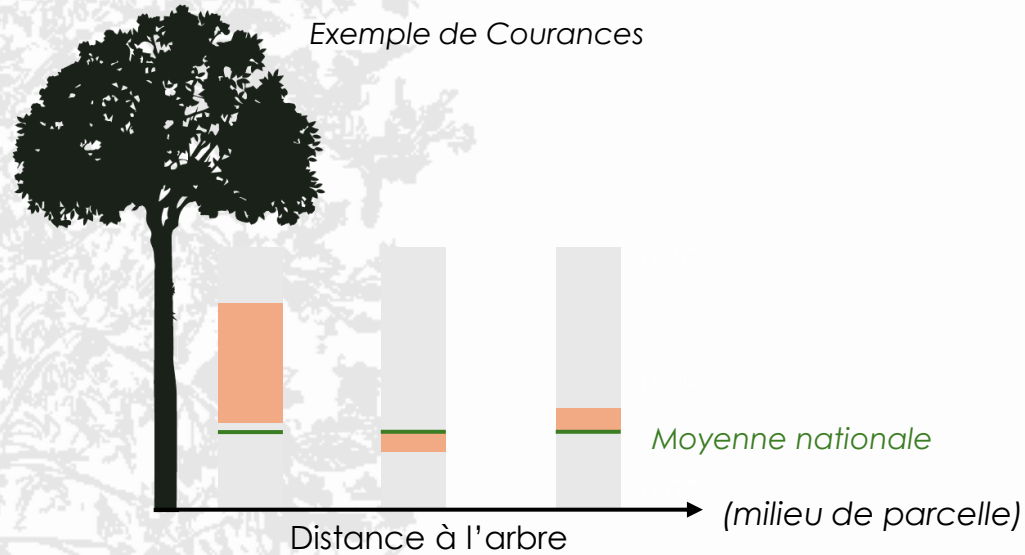
- Sur 20 cm de profondeur

- 3 arbres indépendants par essence et par parcelle
soit 15 arbres étudiés en tout

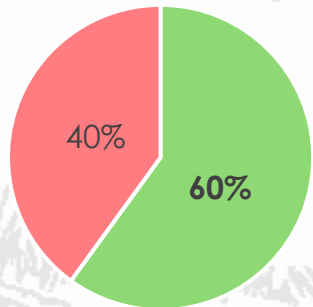
Résultats - Exemple du merisier



- Phosphore assimilable (g/kg)

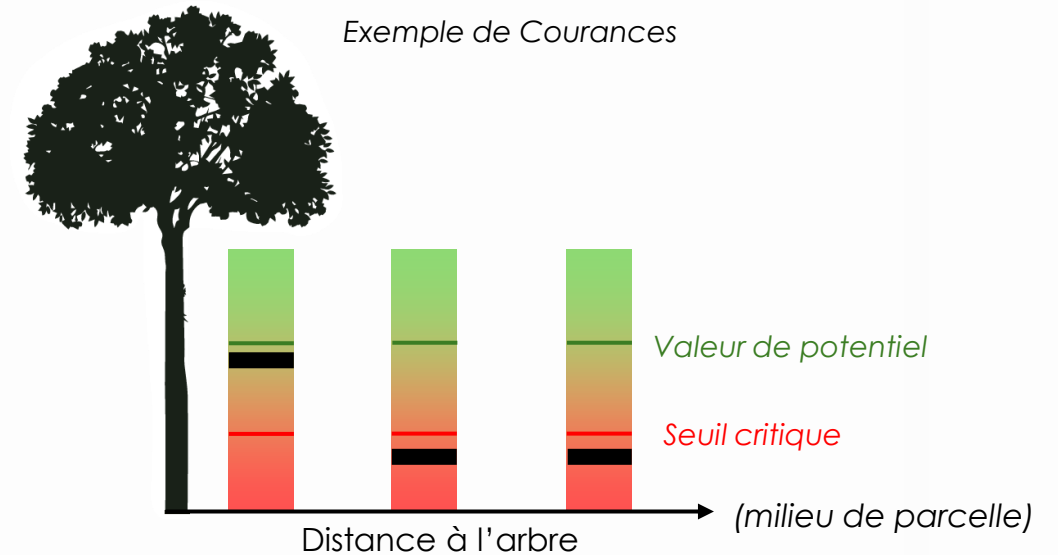


Généricité du résultat

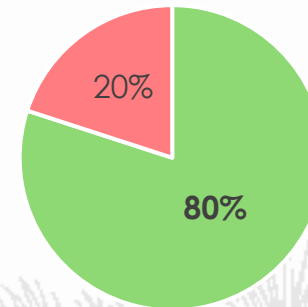


- Augmentation de la teneur en Phosphore assimilable au pied des arbres dans 60% des cas
- Mise à disposition de phosphore par l'action directe ou indirecte de l'arbre

- Carbone organique

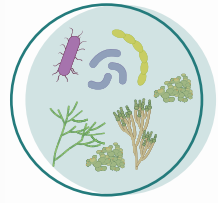


Généricité du résultat

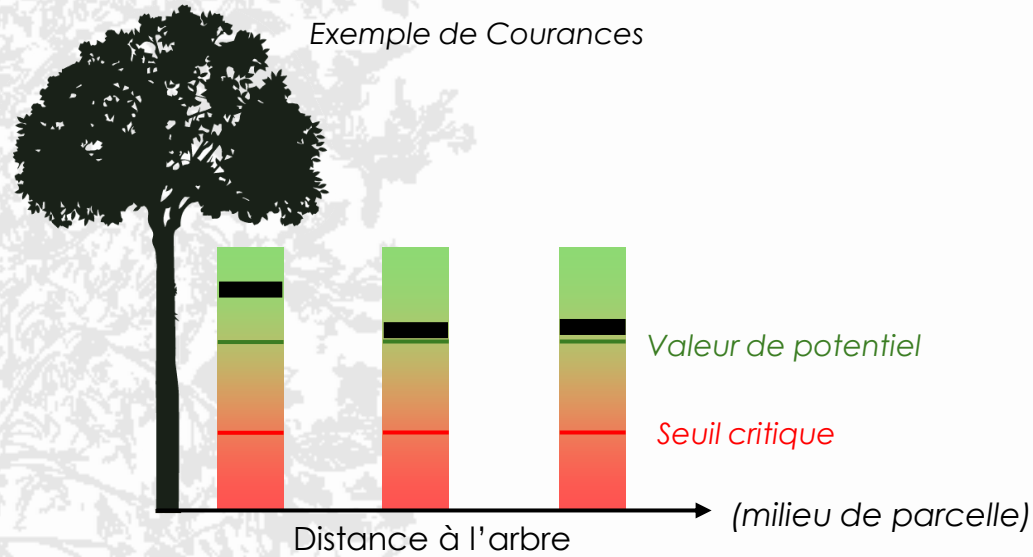


- Augmentation de la MO et amélioration du diagnostic C au pied des arbres dans 80% des cas
- Fourniture de MO au sol par l'arbre. La MO contient du Phosphore.

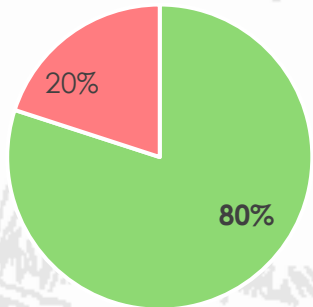
Résultats - Exemple du merisier



- Biomasse microbienne

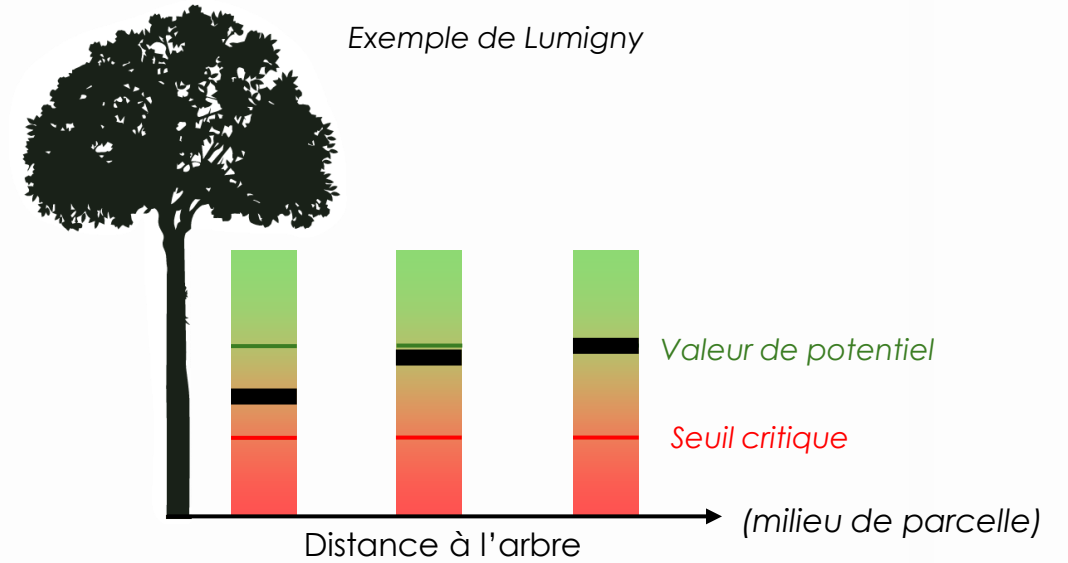


Généricité du résultat

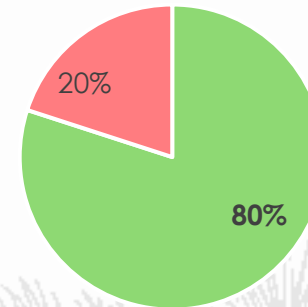


→ Amélioration du diagnostic de BMM au pied de l'arbre dans 80% des cas

- Diversité bactérienne



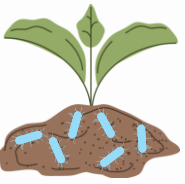
Généricité du résultat



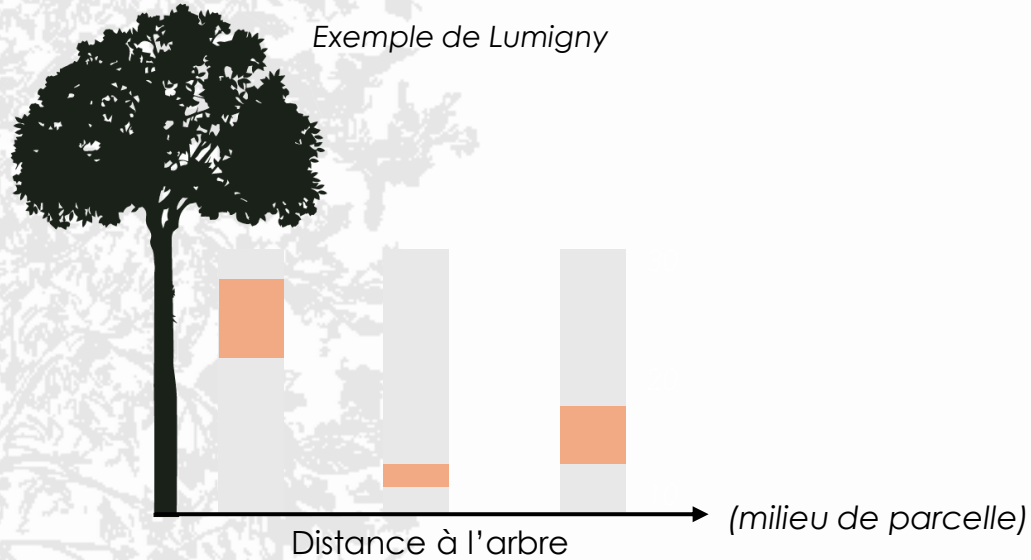
→ Diagnostic de diversité bactérienne plus faible au pied de l'arbre dans 80% des cas

→ Sélection des populations bactériennes par l'arbre

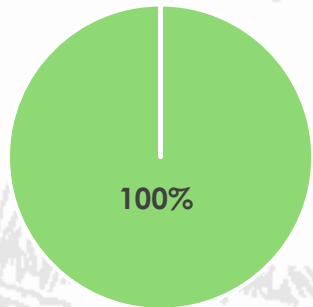
Résultats - Exemple du merisier



- Activité enzymatique Phosphatase

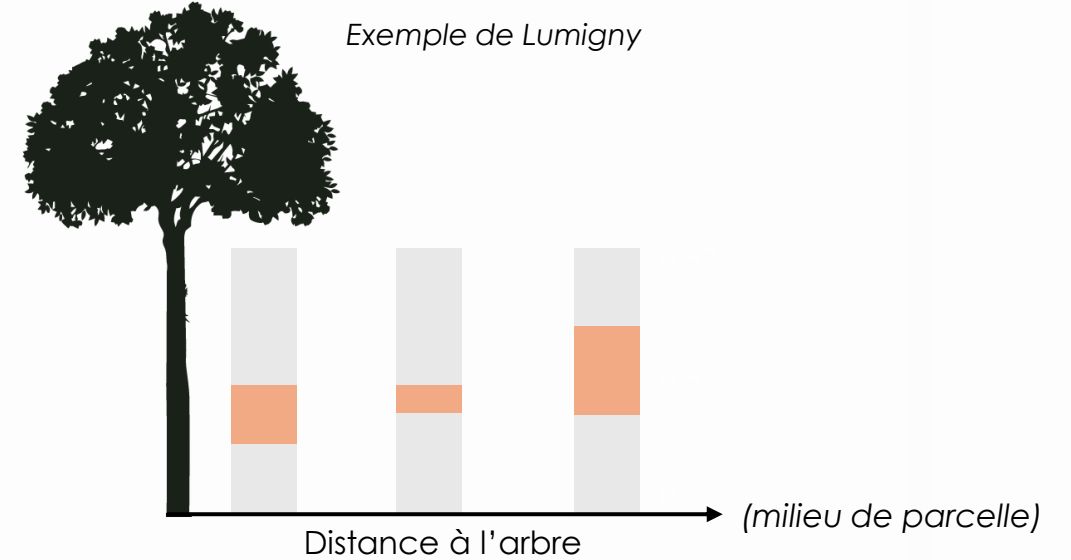


Généricité du résultat

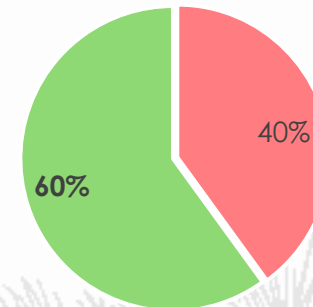


- Augmentation de l'activité phosphatase au pied des arbres dans 100% des cas
- Stimulation de la minéralisation du phosphore organique en phosphate

- Vulnérabilité fonctionnelle des bactéries



Généricité du résultat

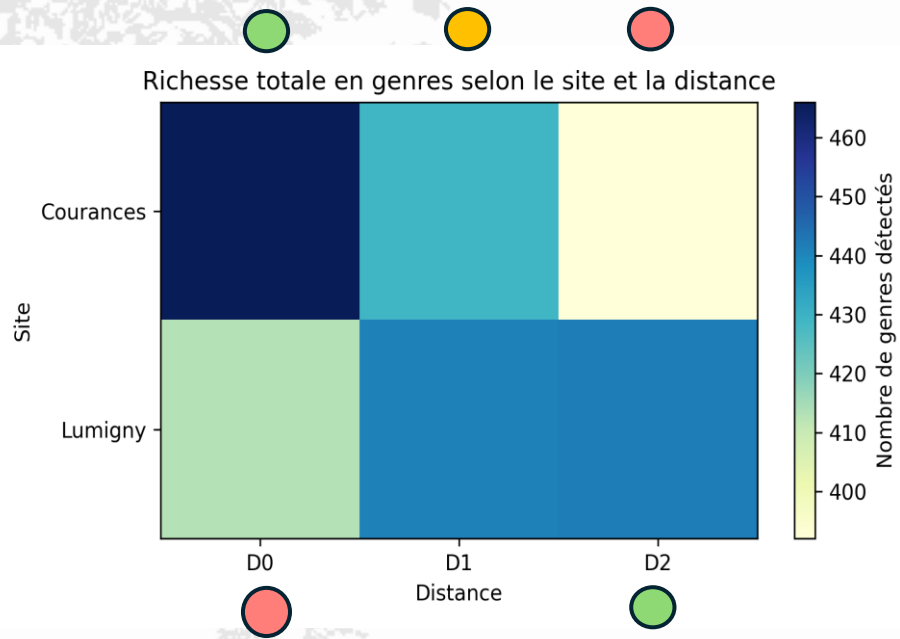


- Baisse de la vulnérabilité fonctionnelle au pied de l'arbre dans 60% des cas
- Les fonctions sont assurées par plusieurs espèces, moins de risque de perte de fonctions

Résultats - Exemple du merisier



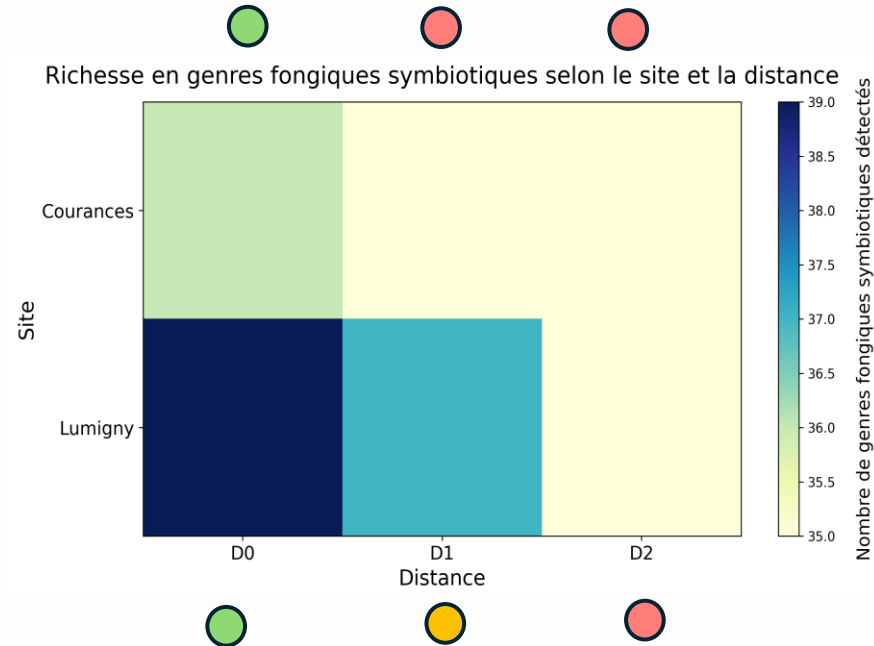
• Taxons fongiques



Nombre de genres totaux

D0: Courances > Lumigny

D2: Courances < Lumigny



Nombres de genres fongiques symbiotiques (connus)

D0: Courances < Lumigny

D2: Courances = Lumigny

Genres stimulés par l'arbre :

- *Glomus*
- *Rhizophagus*
- *Diversispora*
- *Claroideoglomus*
- *Paraglomus*
- *Funneliformis*

Lumigny : + de sélection au pied de l'arbre?

Plus de genres, mais moins d'abondance

Effet « gradient » visible à Lumigny

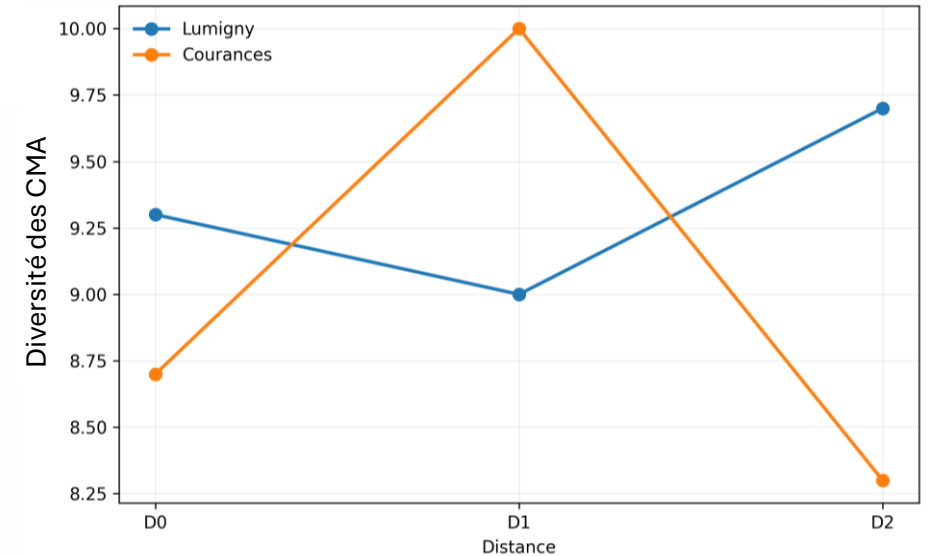
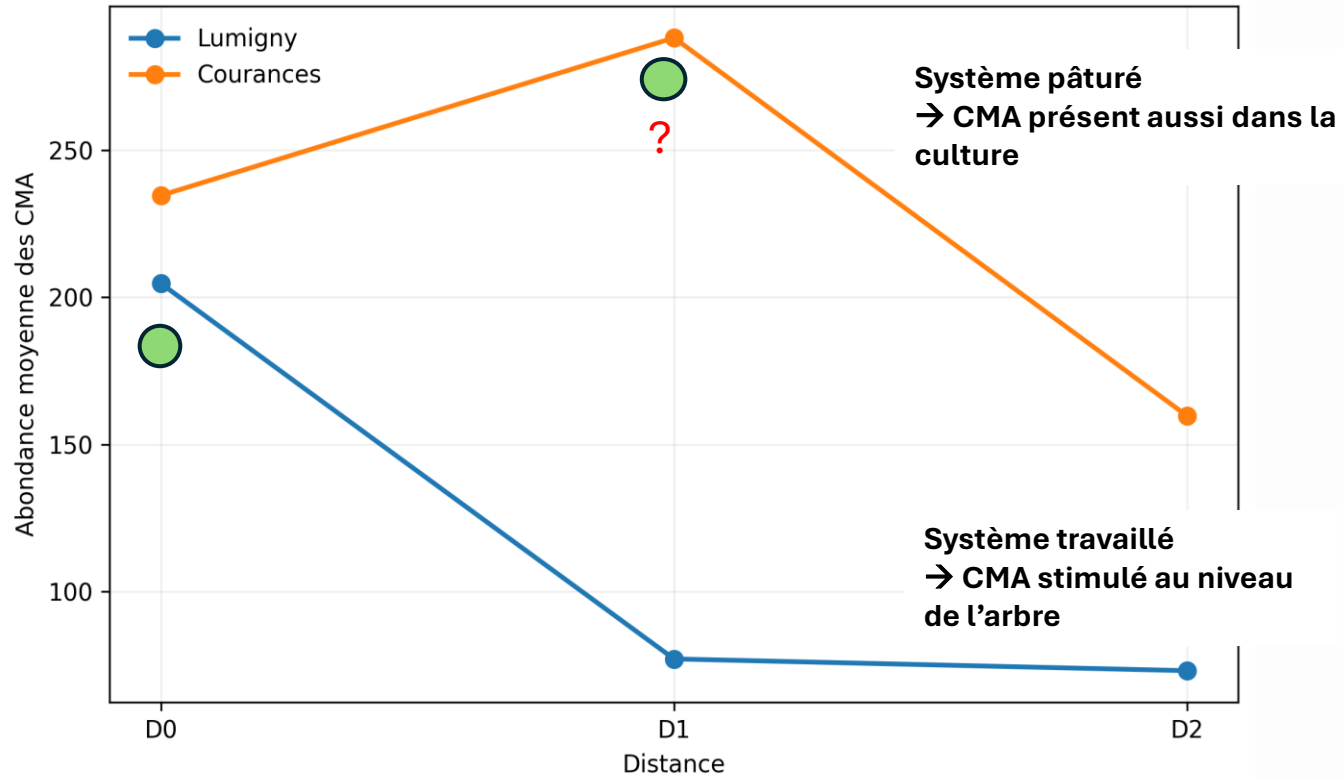


→ Pour les 2 sites: impact de l'arbre à D0
 → Lumigny: diversification du nombre de genres, encore présent à D2 : **indicateur à suivre?**

Résultats - Exemple du merisier



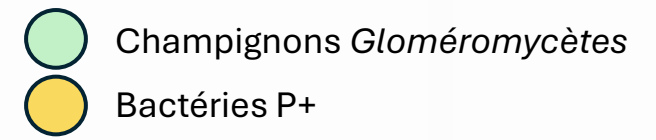
- Champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA)



Le merisier contribue à structurer une communauté de champignons mycorhiziens à arbuscules

- Impact important sur le fonctionnement biologique du sol
- Amélioration de la nutrition minérale
- Exploration du sol

Résultats - Exemple du merisier



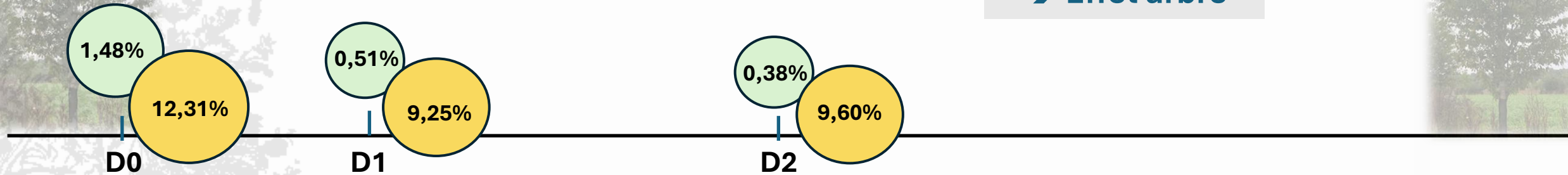
- Part de la communauté microbienne impliquée dans le cycle du phosphore (%)

Lumigny

Champignons : Impact à proximité de l'arbre

Bactéries : Plus diffuses dans le sol que les champignons

→ Effet arbre

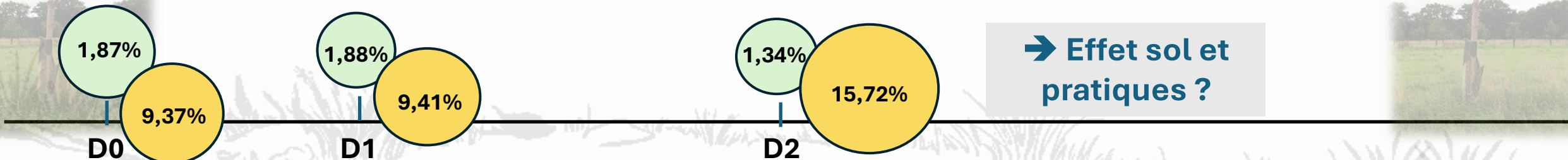


Courances

Champignons : D0 / D1 pas d'effet « bord de culture » et diminuent légèrement à D2

Bactéries : D0/D1 pas d'effet « bord de culture » et augmentation à D2

→ Effet sol et pratiques ?

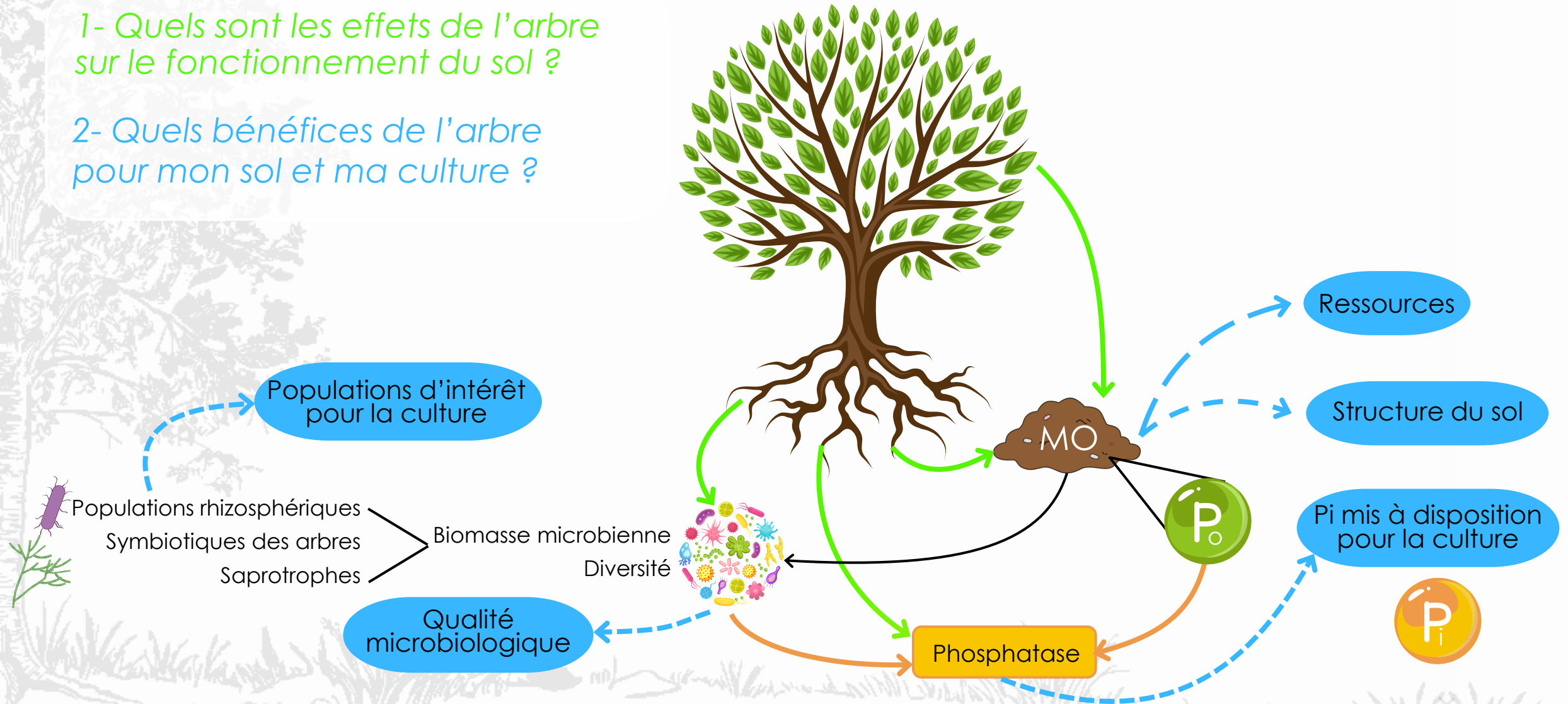


Résumé des résultats

Nannipieri et al. 2011

1- Quels sont les effets de l'arbre sur le fonctionnement du sol ?

2- Quels bénéfices de l'arbre pour mon sol et ma culture ?





Question 2

Le fonctionnement du sol est-il influencé par l'essence de l'arbre?

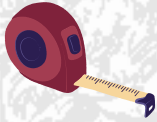
Méthodo



Parcelle : Lumigny



Essence choisie : Noyer, Merisier, Aulne



Distances étudiées : - D0 : pied d'arbre

- D1 : 1.5 ou 2.5 m

- D2 : milieu de l'inter-rang (13.5 m)



Prélèvement : - Novembre 2023 et 2024

- Sur 20 cm de profondeur

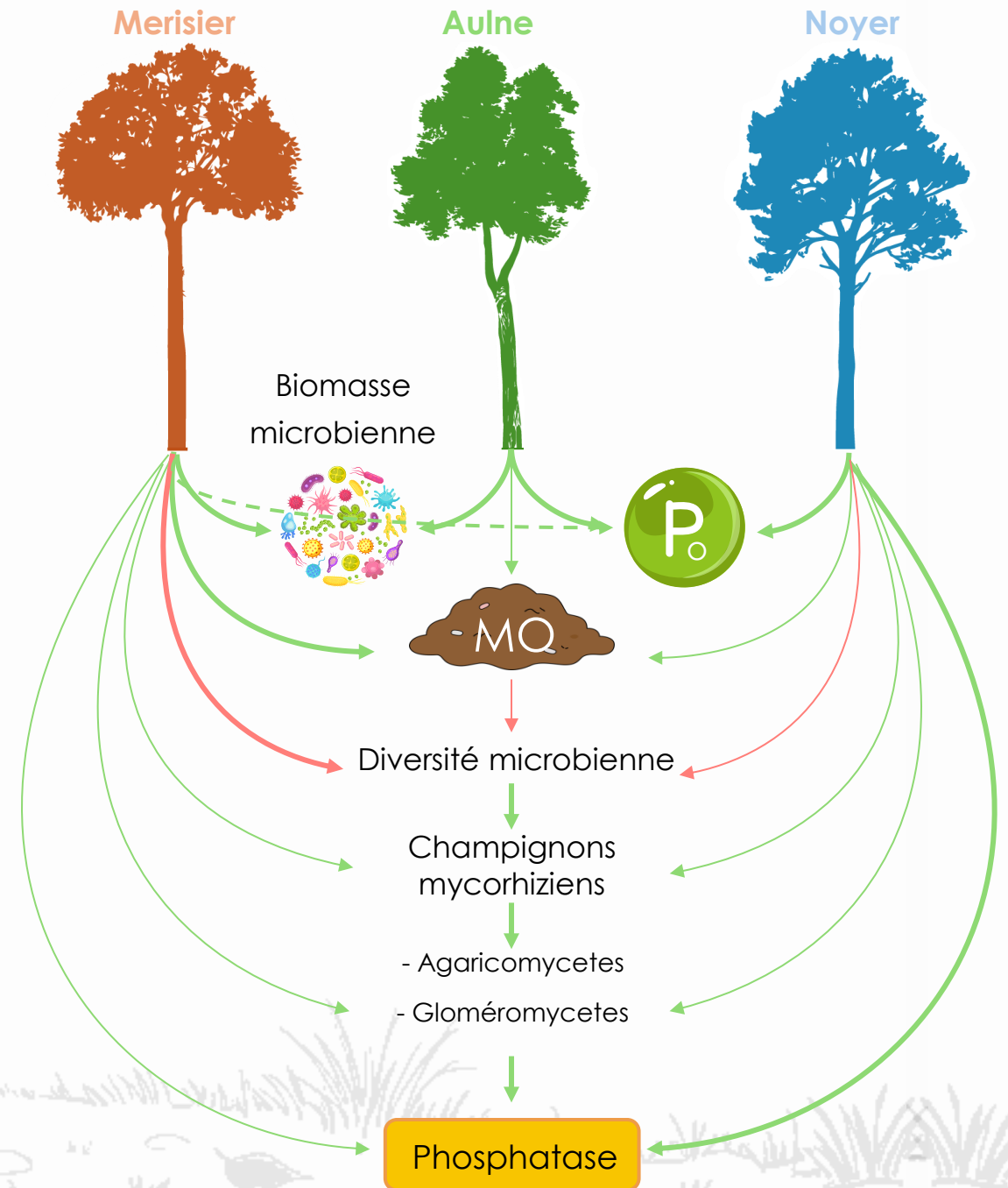
- 3 arbres indépendants par essence

Résumé des résultats

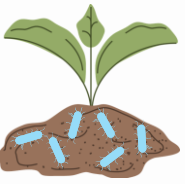
1- Le fonctionnement du sol est-il influencé par l'essence d'arbre ?

2- Quelle essence choisir pour ma parcelle ?

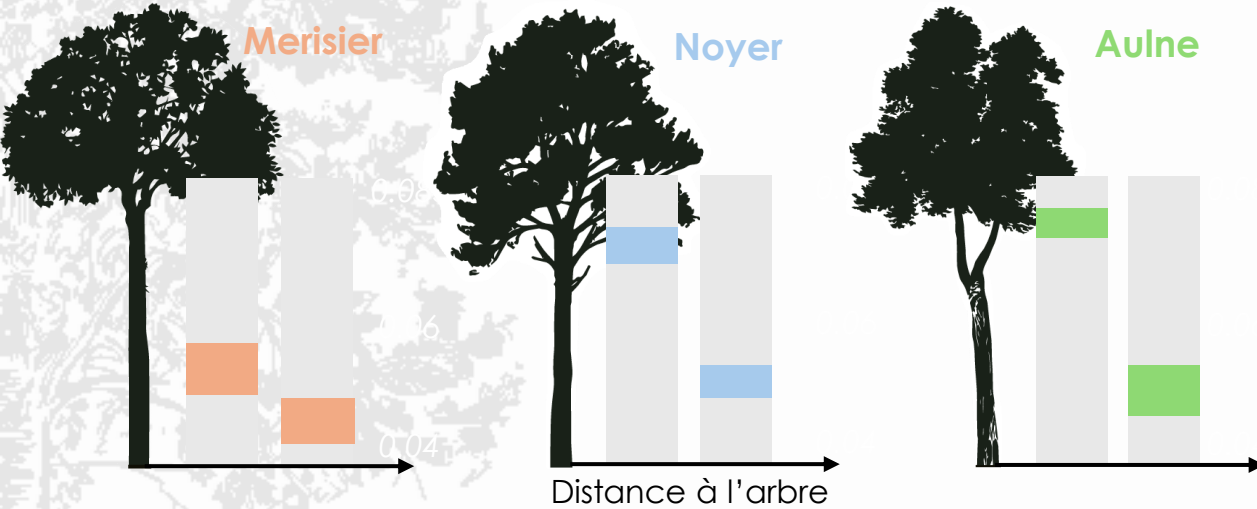
- Selon les spécificités des bénéfiques
- Multi-espèces : combinaison des bénéfiques sur la parcelle



Résultats - Exemple de Lumigny

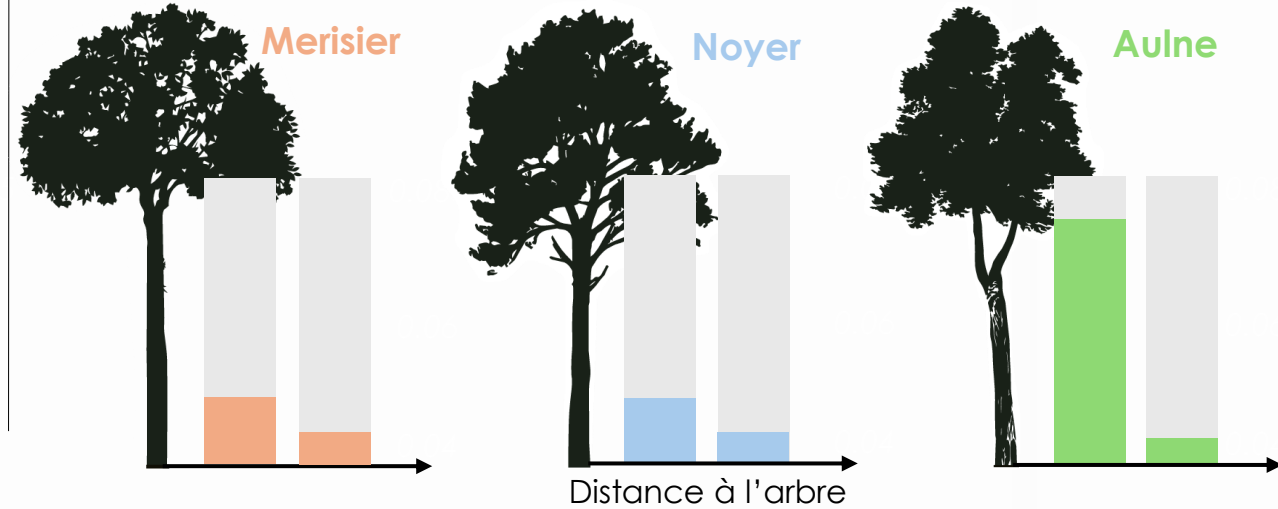


- Phosphatase alcaline



→ L'enzyme microbienne de minéralisation du phosphore est stimulée pour toutes les essences mais dans une moindre mesure dans le cas du merisier.

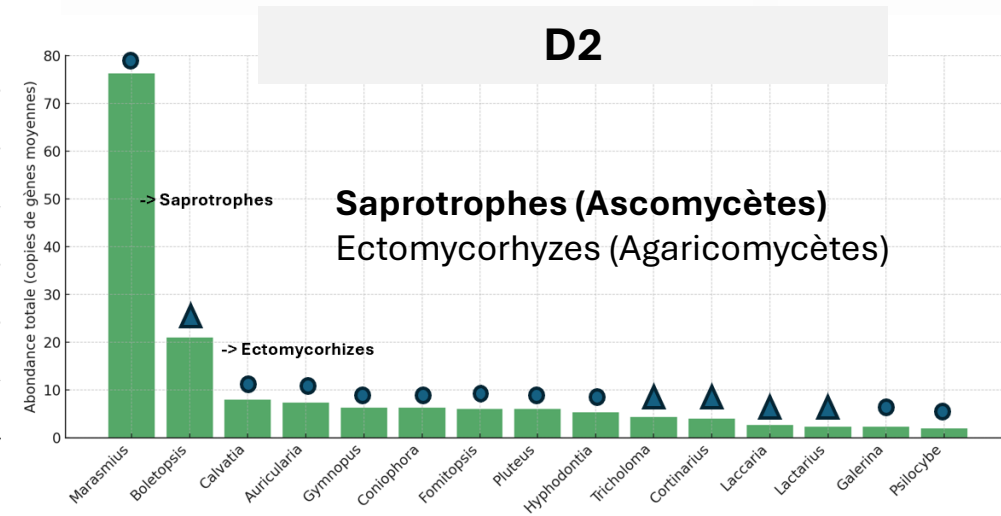
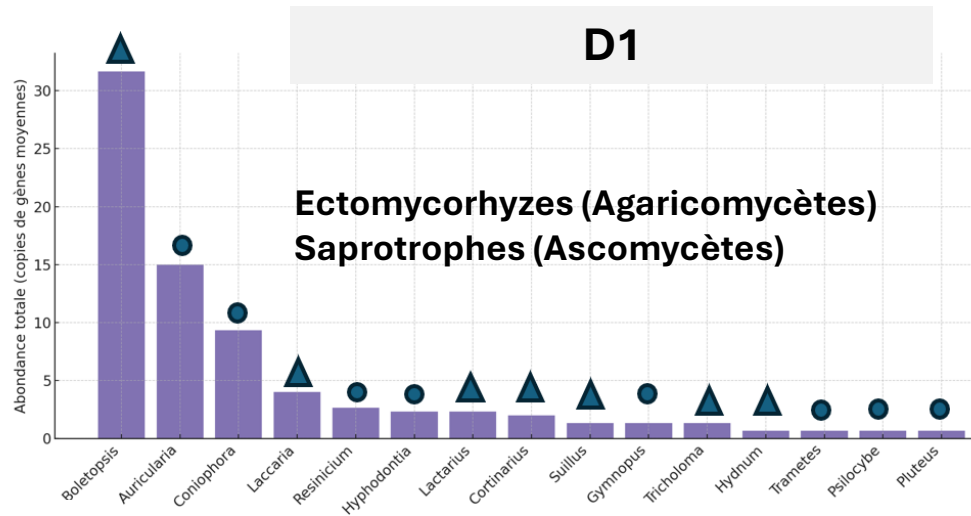
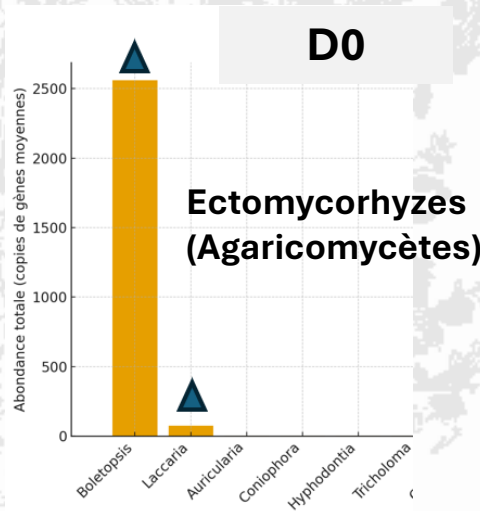
- Champignons symbiotiques



→ Toutes les essences stimulent les champignons mycorhiziens mais l'aulne plus particulièrement.

Résultats - Exemple de l'aune à Lumigny

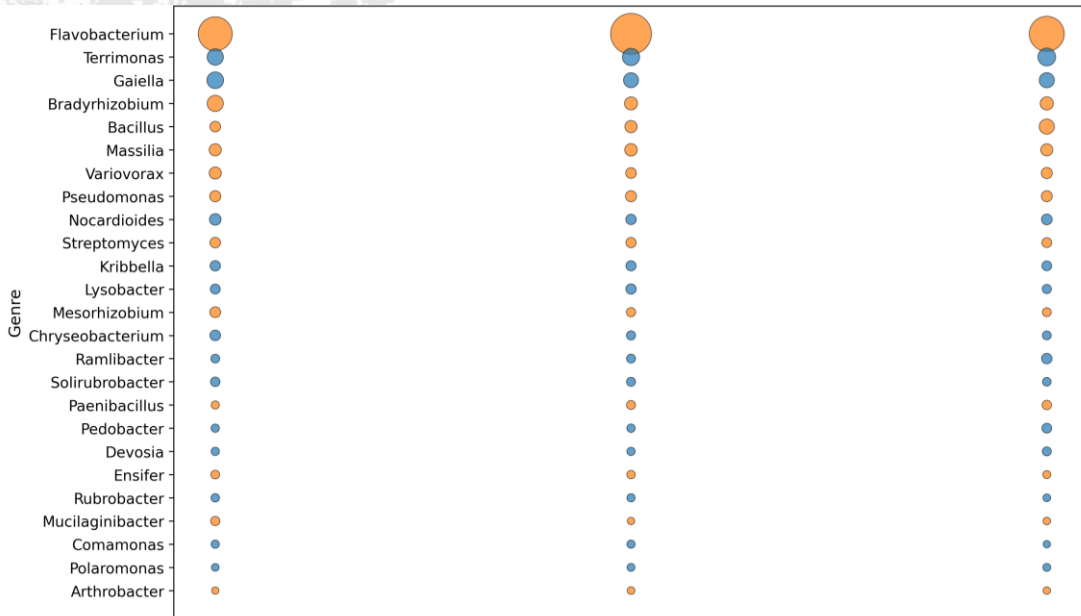
- Taxons fongiques associés à l'aune




Résultats - Exemple de l'aune à Lumigny

Taxons bactériens associés à l'aune

- P+
- Lié au phosphore




D0	D1	D2
Burkholderia Pseudomonas Bradyrhizobium Mesorhizobium Ensifer Variovorax Massilia	Flavobacterium → Dégradation de la MO → Interactions avec champignons saprotrophes → Corrobore les Ascomycètes à D1	Bacillus Paenibacillus Terrimonas Pedobacter → Dégradation de la MO



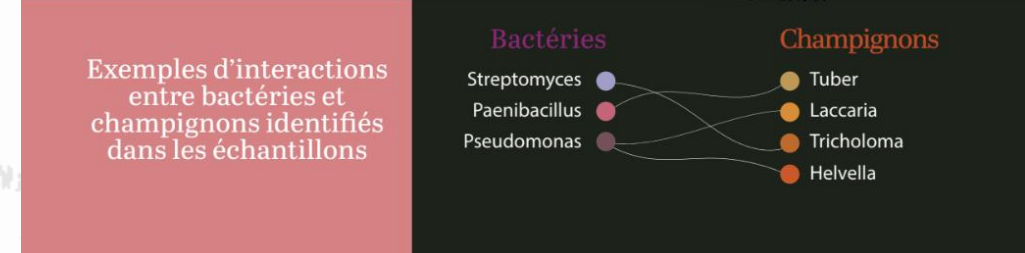
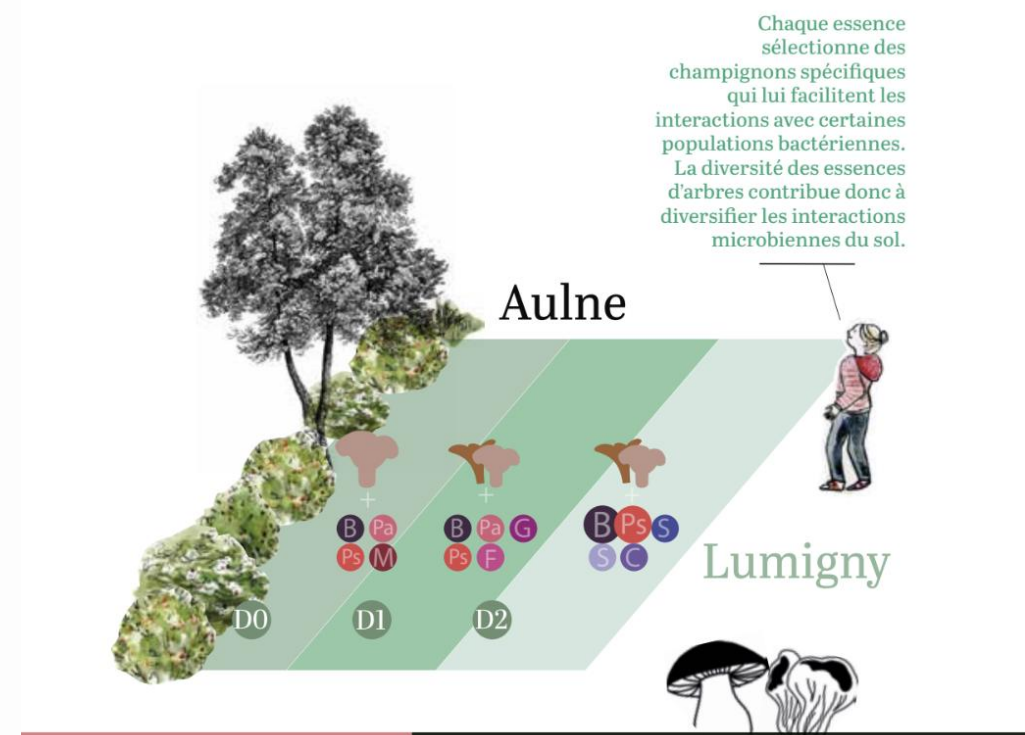
Champignons

- Gloméromycète
- Ascomycètes
- Agaricomycètes



Bactéries

- B Bacillus
- G Gemmatimonas
- S Streptacidiphilus
- C Candidatus-Koribact
- S Streptomyces
- Ps Pseudomonas
- Pa Paenibacillus
- M Microbacterium
- F Flavobacterium



Résultats - Exemple de Lumigny

- Comparaison des taxons impliqués pour les 3 essences

	Aulne	Noyer	Merisier
D0 Pied de l'arbre	Agaricomycètes (Ectomycorhiziens)	Gloméromycètes (CMA)	Gloméromycètes (CMA) + petite part ECM <i>Effet diversité associée aux arbustes entre les arbres?</i>
D1 1,5 - 2,5 m	Ascomycètes Saprotrophes + décomposeurs <i>Entre deux zones</i>	Ascomycètes Saprotrophes + décomposeurs <i>Entre deux zones</i>	Ascomycètes ECM <i>Peziza, Tuber, Otidea, Geopora</i> <i>+ abondance de mycorhiziens</i>
D2 Milieu de culture	Ascomycètes ECM + Saprotrophes <i>Tuber, Peziza</i>	Ascomycètes Saprotrophes + décomposeurs <i>Mobilisation de la MO</i>	Ascomycètes Saprotrophes + décomposeurs <i>Mobilisation de la MO</i>

L'essence d'arbre modifie l'installation des communautés fongiques

Symbioses autour des racines → minéralisation du phosphore et décomposition de la MO selon l'essence et la distance

→ **La sélection fongique induite par l'arbre suggère aussi une sélection bactérienne associée.**



Question 3

Observe-t-on les mêmes effets dans tous les systèmes agricoles (sols et pratiques différents)?

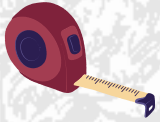
Méthodo



Parcelle : Lumigny et Courances



Essence choisie : Merisier et noyer



Distances étudiées : - D0 : pied d'arbre

- D1 : 1.5 ou 2.5 m

- D2 : milieu de l'inter-rang (13.5 ou 19.5 m)



Prélèvement : - Novembre 2023 et 2024

- Sur 20 cm de profondeur

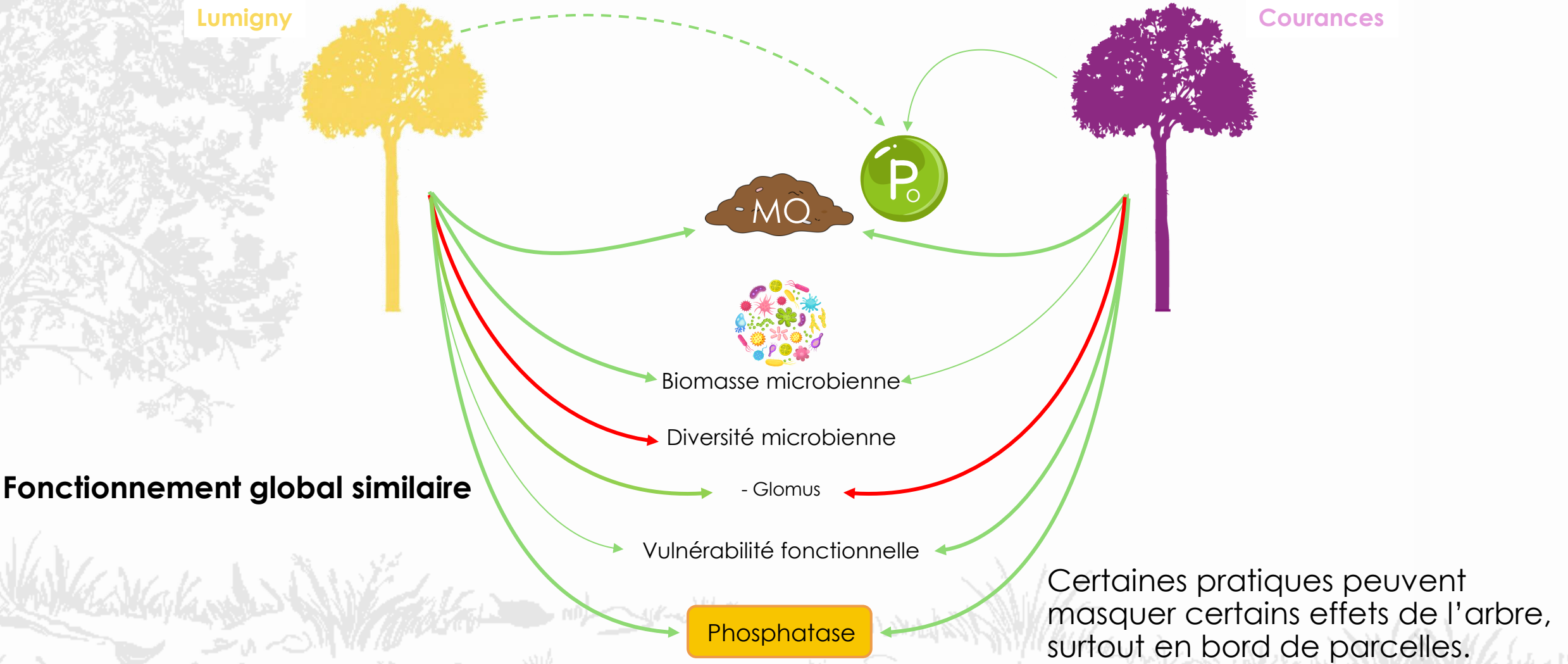
- 3 arbres indépendants par parcelle

Résumé des résultats

- Est-ce que l'agroforesterie a un effet dans tous les types de sol ou systèmes de culture ?

Lumigny

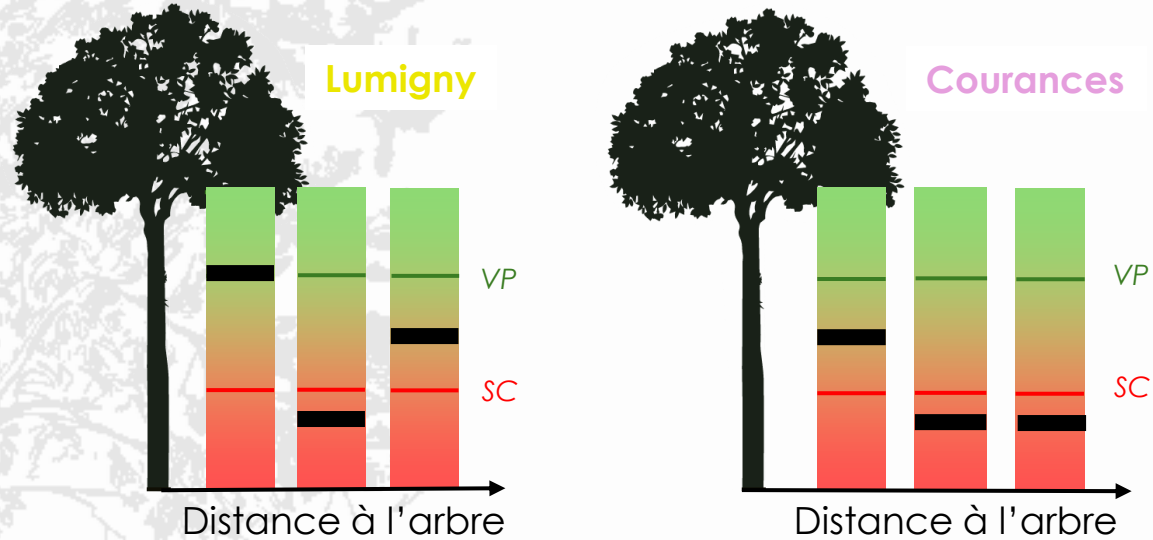
Courances



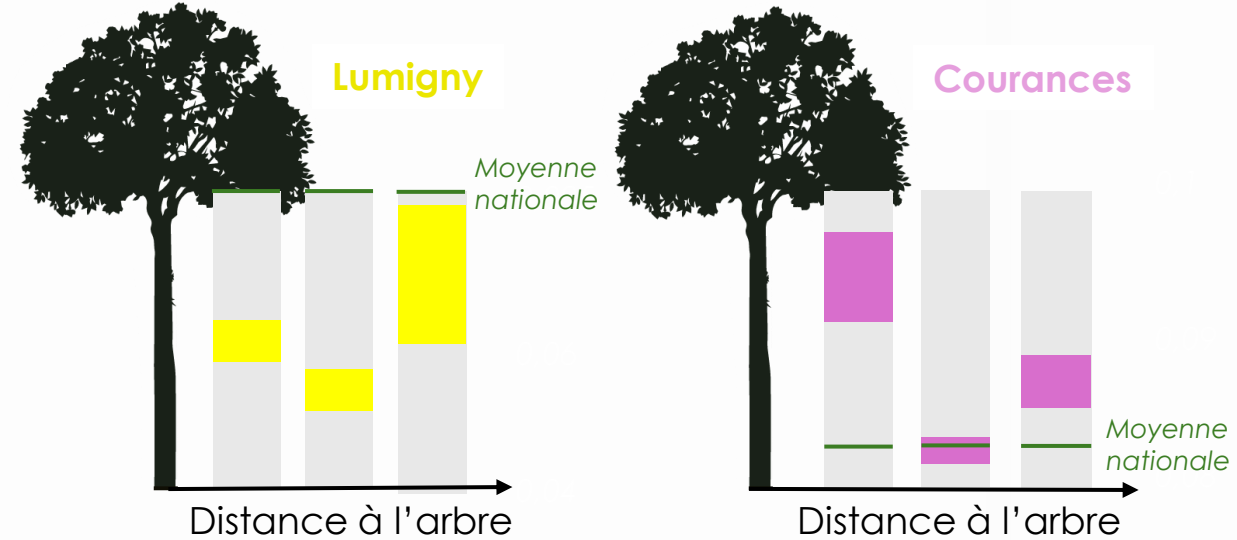
Résultats - Exemple du merisier



- Carbone organique



- Phosphore assimilable



→ Sur le bord de la parcelle :

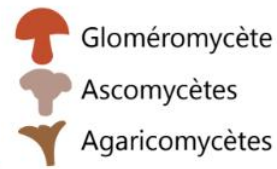
- Effet du travail du sol ?
- Restitution des pailles ?
- Déchaumage ?
- Autre pratique ?

→ Sur la culture :

- Effet de la fertilisation organo-minérale ?
- Restitution des pailles ?

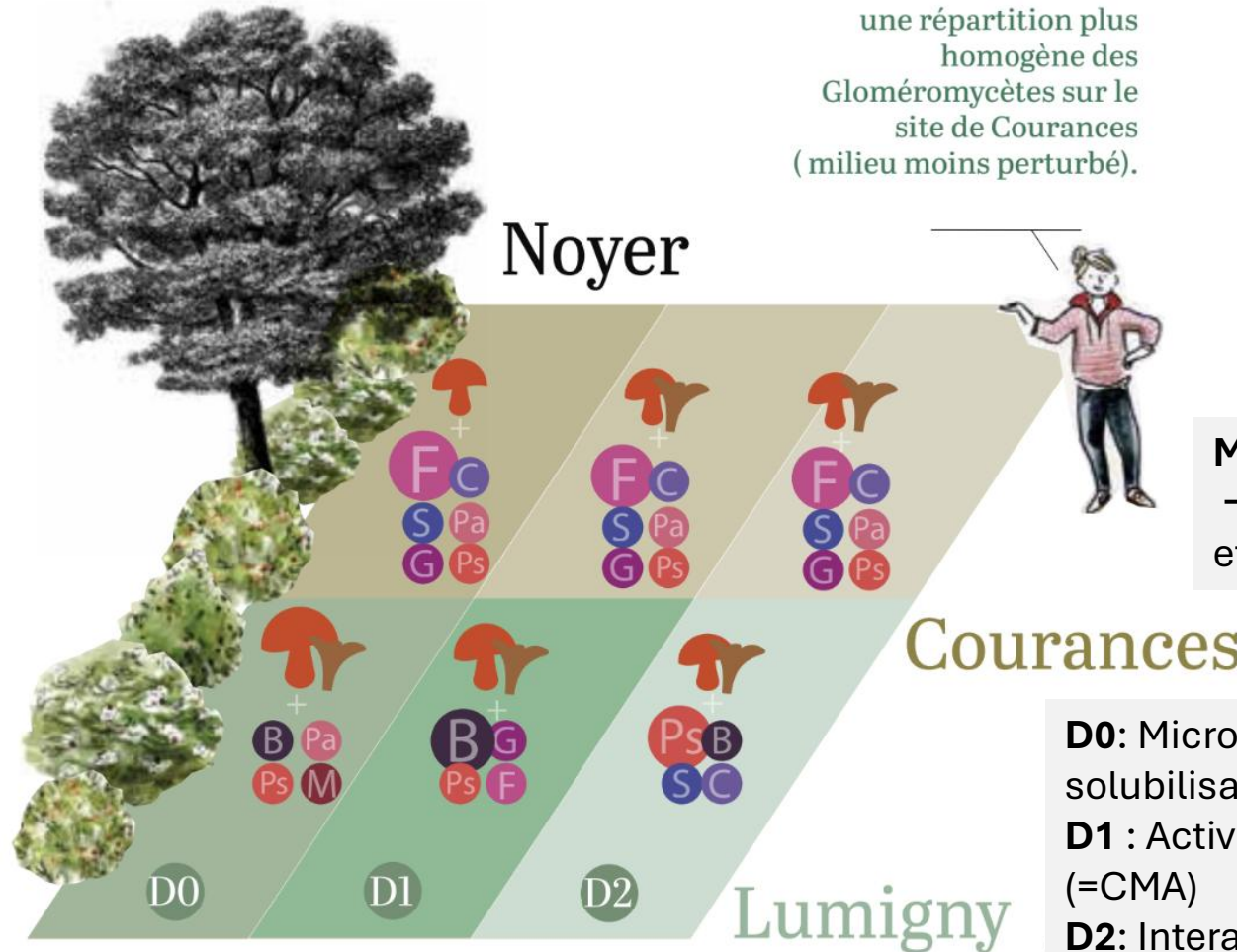
Résultats - Exemple du noyer

- Taxons bactériens et fongiques



On observe une répartition plus homogène des Glomérormycètes sur le site de Courances (milieu moins perturbé).

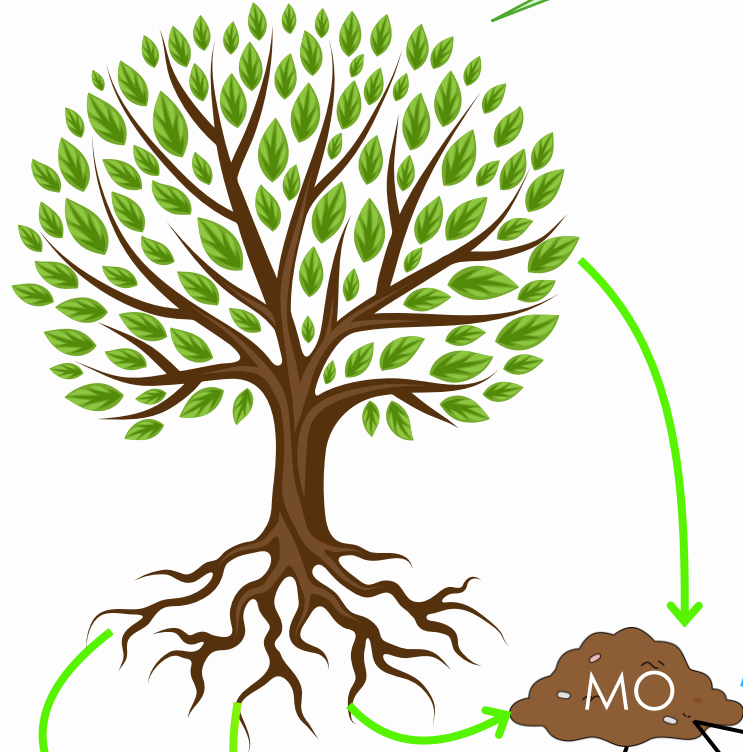
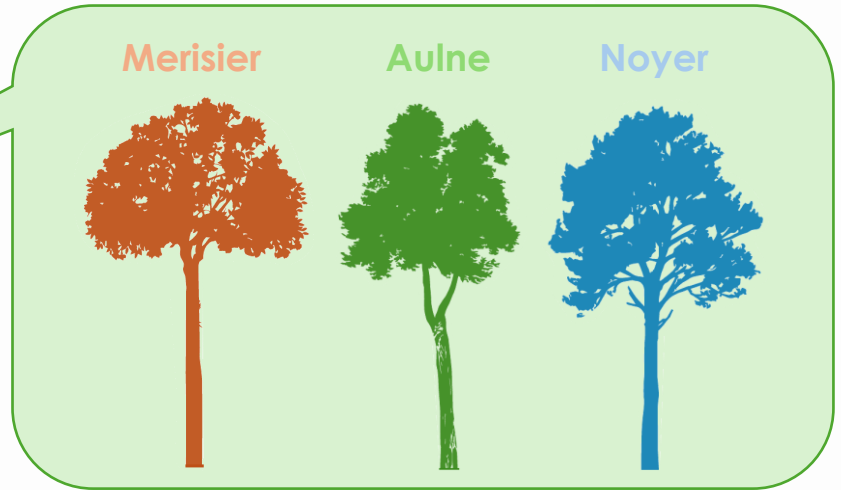
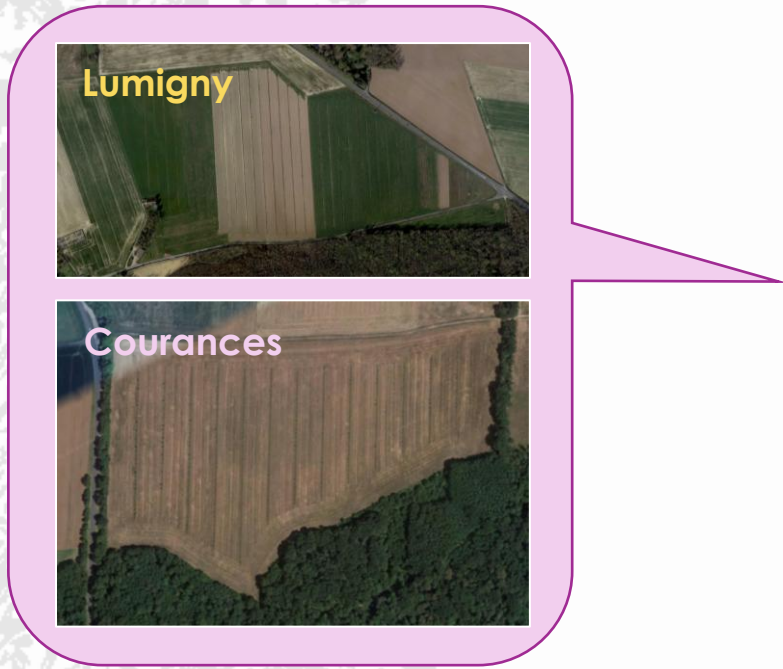
Différences de pratiques entre les 2 parcelles :



Même répartition des *Glomérormycètes* entre D0, D1, D2
→ Contexte de l'historique en pratiques culturales simplifiées et du pâturage?

D0: Microorganismes rhizosphériques → dégradation de la MO, solubilisation du phosphore (***Glomus***+++)
D1 : Activité de décomposition, interaction+ ***Bacillus* / *Rhizopagus*** (=CMA)
D2: Interaction + ***Helvella*/Pseudomonas**, mobilisation de la MO -> bagage potentiellement ACTIF pour le phosphore

Synthèse des résultats



Populations rhizosphériques
Symbiotiques des arbres
Saprotrophes

Biomasse microbienne
Diversité

Qualité
microbiologique

Phosphatase

Ressources

Structure du sol

Pi mis à disposition
pour la culture

P_i

En résumé

LES RÉPONSES AUX GRANDES QUESTIONS DU PROJET

1 - L'arbre a-t-il vraiment un effet sur le fonctionnement du sol ?

Oui dans une grande partie des cas (entre 60 et 100% des situations).

2 - Le fonctionnement du sol est-il influencé par l'essence de l'arbre ?

Oui les processus sont activés mais ils ne s'expriment pas avec la même intensité et au travers des mêmes consortiums microbiens selon l'essence.

3 - Observe-t-on les mêmes effets dans tous les systèmes agricoles (sols et pratiques différentes) ?

Oui mais certaines pratiques et certains sols peuvent atténuer ou masquer les effets de l'arbre.

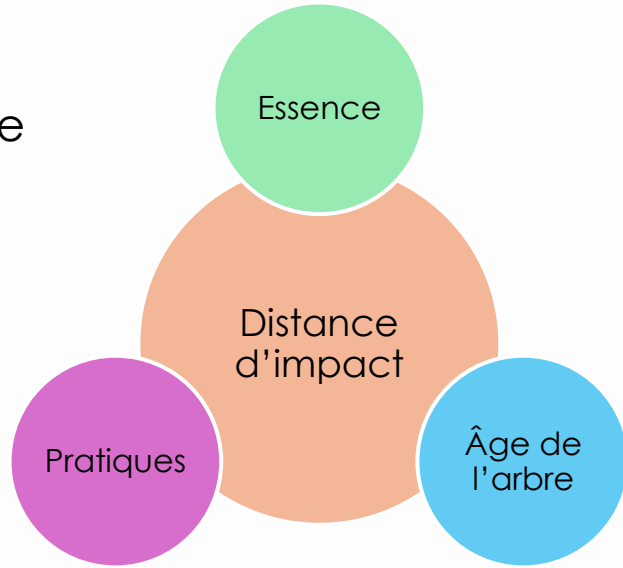


Compléments

Quelques enseignements collatéraux du
projet IMPACT

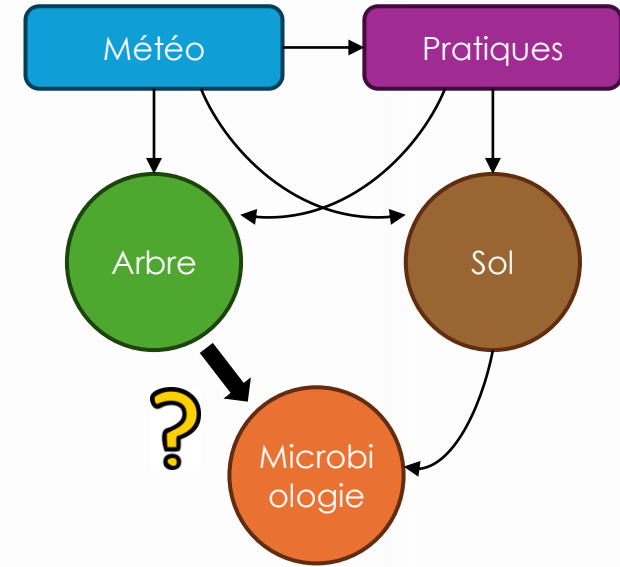
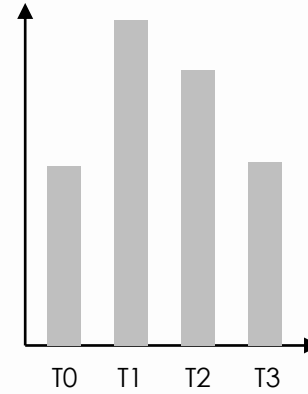
1^{er} enseignement

Ce qui influence la distance d'impact de l'arbre



2^e enseignement

L'effet millésime : variation inter-annuelle

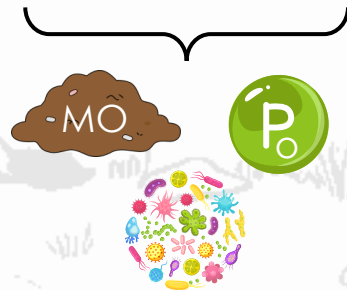


3^e enseignement

Double effet agroforestier



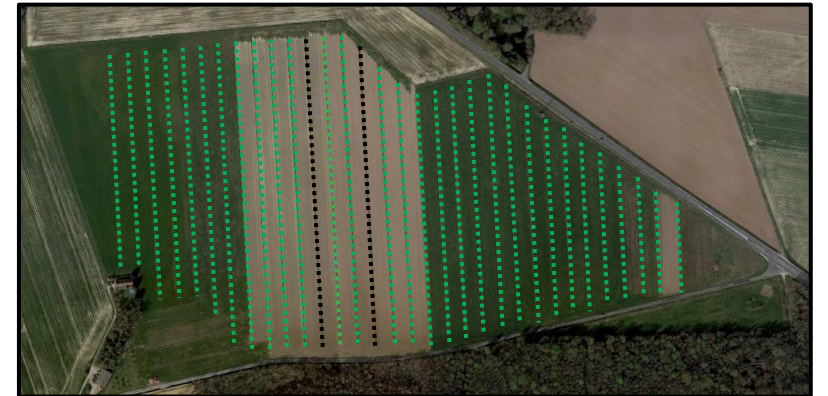
Arbres intraparcéllaires + Forêt



4^e enseignement

Pas de zone témoin dans un système agroforestier intraparcéllaire

Exemple de Lumigny :



Merci pour votre attention !

Des questions ?