La diversité fongique, un trait d'union entre le sol, le climat et les populations

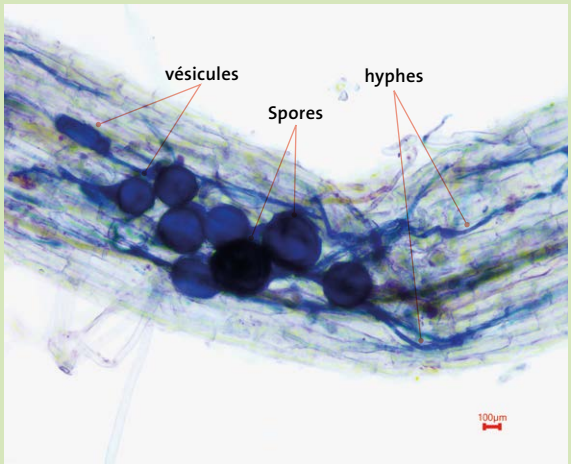
Adriana Morrell : Responsable scientifique du Laboratoire de recherche en mycologie, Centre for Business, Arts and Sciences, Lethbridge Polytechnic, Alberta, Canada
Dale Pulvermacher : Assistant de recherche / étudiant technicien au Laboratoire de recherche en mycologie, Centre for Business, Arts and Sciences, Lethbridge Polytechnic, Alberta, Canada

Les champignons sont des mets très appréciés des gourmets, mais aussi des acteurs essentiels de la biosphère. Comme le montrent les recherches, ils ne sont ni des plantes, ni des animaux, et ont évolué bien avant eux, il y a environ 950 millions d'années[1]. Avec les algues, les champignons ont été les premiers ingénieurs de l'écosystème : en recyclant les nutriments, en assurant le cycle du carbone et en décomposant la roche pour former les premiers sols, ils ont posé les bases permettant aux plantes et aux animaux de coloniser une Terre jusque-là stérile[2]. Ils jouent encore aujourd'hui un rôle majeur dans nos vies, fournissant des services essentiels à la société moderne et au bien-être humain.

Ils contribuent notamment à la production alimentaire. Dans un monde où vivent plus de 8,3 milliards de personnes, celle-ci occupe une part importante de la surface terrestre et met les systèmes agricoles sous pression. Pour garantir la sécurité alimentaire mondiale, les systèmes agricoles doivent être à la fois très productifs et respecter les principes du développement durable[3]. Or, les champignons présents dans le sol jouent un rôle central dans le fonctionnement des agroécosystèmes, car ils influencent le cycle des nutriments, la santé des plantes et la structure du sol elle-même. Il est aujourd'hui reconnu que la gestion de la diversité fongique du sol est une stratégie clé pour maintenir de bons rendements agricoles dans des conditions environnementales en pleine évolution.

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA), omniprésents dans les écosystèmes terrestres, forment des associations symbiotiques avec les racines de plus de 80 % des espèces végétales dans le monde ***(Figure 1)***[4]. Ces organismes dépendent des plantes vivantes pour leur apport en carbone et leur cycle de vie n'est pas possible sans hôte[4]. En contrepartie, ils aident les plantes à accéder aux nutriments et à l'eau contenus dans le sol, les rendent plus résistantes au stress environnemental et biologique, contribuent à la séquestration du carbone et réduisent l'érosion en consolidant les particules du sol.

Figure 1. **Structures fongiques mycorhiziennes arbusculaires (hyphes, vésicules et spores) observées dans les racines de l'agropyre à épis bleus (*Pseudoroegneria spicata*) à un grossissement de 400×**



Laboratoire de recherche en mycologie, Lethbridge Polytechnic.
© Dale Pulvermacher

1 Loron, C. C., François, C., Rainbird, R. H., Turner, E. C., Borensztajn, S., & Javaux, E. J. (2019). Early fungi from the Proterozoic era in Arctic Canada [Premiers champignons datant de l'ère protérozoïque dans l'Arctique canadien]. *Nature, 570*(7760), 232-2,235A-235D. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1217-0.

2 Szánthó, L.L., Merényi, Z., Donoghue, P. *et al.* A timetree of Fungi dated with fossils and horizontal gene transfers [Chronogramme évolutif des champignons daté à l'aide de fossiles et de transferts horizontaux de gènes]. Provide your feedback on BizChat Nat Ecol Evol **9**, 1989–2001 (2025). https://doi.org/10.1038/s41559-025-02851-z.

3 Ellouze, W., Taheri, A. E., Bainard, L. D., Yang, C., et al. (2014). Soil fungal resources in annual cropping systems and their potential for management [Ressources fongiques du sol dans les systèmes de cultures annuelles et leur potentiel de gestion]. *BioMed Research International, 2014*, Article 531824. https://doi.org/10.1155/2014/531824.

4 Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). DOI: 10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6. Mycorrhizal symbiosis [Symbiose mycorhizienne]. (3rd ed.). Academic Press.

Malgré leur importance pour les humains, les communautés fongiques du sol sont de plus en plus affectées par les pressions anthropiques. L'agriculture intensive – notamment le labour, la monoculture et l'utilisation massive d'engrais et de pesticides – « simplifie » les communautés végétales et perturbe les réseaux fongiques, réduisant la diversité et la complexité fonctionnelle par rapport aux écosystèmes pérennes[5]. En revanche, les sols riches en CMA permettent d'économiser de 10 à 30 % d'engrais synthétiques, et donc de diminuer les coûts de production, tout en réduisant le ruissellement des nutriments vers les réseaux hydrographiques[5]. Ils limitent aussi la prolifération d'algues nuisibles, qui entraînent chaque année des pertes économiques de plusieurs milliards de dollars dans les secteurs de la pêche, des loisirs et du traitement de l'eau potable. Des études comparatives montrent en outre que la richesse et la diversité fongiques sont plus faibles dans les sols cultivés que dans les systèmes non cultivés ou naturels[6], ce qui montre la sensibilité des CMA aux changements d'usage des terres.

La gestion de la diversité fongique du sol est une stratégie clé pour maintenir de bons rendements agricoles dans des conditions environnementales en pleine évolution

Quand nous défrichons des forêts ou convertissons des terres pour l'agriculture ou d'autres activités économiques, nous transformons le monde invisible des micro-organismes du sol[5]. Et les champignons bénéfiques qui forment des symbioses avec les racines des plantes voient souvent leurs populations diminuer. À l'inverse, des espèces opportunistes à croissance rapide, telles que le pathogène *Fusarium graminearum*[6], se multiplient. L'urbanisation fragmente les habitats naturels, réduisant ainsi le rôle essentiel de ces champignons dans le cycle des nutriments et la filtration de l'eau. L'exploitation minière et d'autres activités industrielles introduisent des métaux lourds et des polluants qui perturbent les relations entre les racines et les champignons[5]. À cela s'ajoute le changement climatique qui, par le réchauffement, la sécheresse et la modification des précipitations, exerce des pressions supplémentaires. Tous ces facteurs remodèlent les communautés microbiennes du sol et affectent les interactions vitales entre les plantes et la vie du sol.

La perte de biodiversité fongique a des répercussions en cascade, au-delà de la santé des sols et de la productivité des cultures. Sans elle, les sols sont moins résilients et dépendent davantage des intrants externes, tandis que les écosystèmes sont plus vulnérables aux espèces nuisibles et aux maladies[5]. Sur le plan de la santé humaine, les sols dégradés produisent des aliments de moindre qualité nutritionnelle, accentuent la pollution environnementale (par le ruissellement des nutriments) et diminuent la capacité des terres à stocker le carbone et à réguler le climat. En fin de compte, cela affecte l'air que nous respirons, l'eau que nous buvons et la nourriture dont nous dépendons. Les champignons peuvent atténuer ces risques : les champignons mycorhiziens peuvent améliorer l'absorption des nutriments par les plantes, et donc la valeur nutritionnelle des cultures[7]. Ils soutiennent directement la santé humaine via la médecine et la détoxification de l'environnement.

5 Bach, E. M., Ramirez, K. S., Fraser, T. D., & Wall, D. H. (2020). Soil biodiversity integrates solutions for a sustainable future [La biodiversité des sols intègre des solutions pour un avenir durable]. *Sustainability, 12*(7), Article 2662. https://doi.org/10.3390/su12072662.

6 Umer, M., Anwar, N., Mubeen, M., Li, Y., Ali, A., Alshaharni, M. O., & Liu, P. (2025). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth and disease management for sustainable agriculture [Rôles des champignons mycorhiziens à arbuscules dans la croissance des plantes et la gestion des maladies pour une agriculture durable]. *Frontiers in Microbiology, 16*, Article 1616273. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1616273.

7 Wu, Y., Chen, C., & Wang, G. (2024). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves plant biomass and nitrogen and phosphorus nutrients: A meta-analysis [L'inoculation avec des champignons mycorhiziens à arbuscules améliore la biomasse végétale ainsi que les teneurs en azote et en phosphore : une méta-analyse]. *BMC Plant Biology*, 24, Article 960. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05638-9.

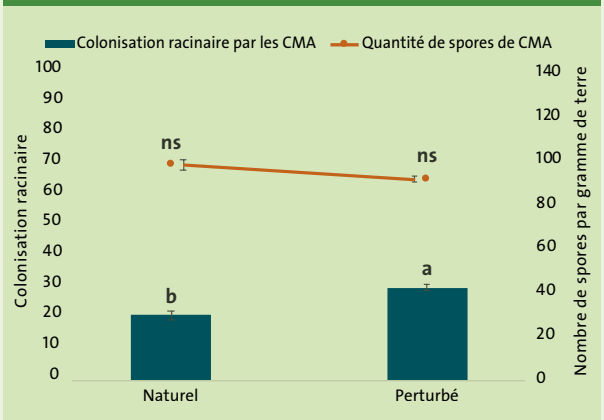
Ils ont permis de mettre au point des médicaments vitaux tels que les antibiotiques (ex. la pénicilline), les immunosuppresseurs (ex. la cyclosporine) et les composés hypocholestérolémiants (ex. les statines)[8]. En outre, de nombreuses espèces peuvent dégrader des polluants persistants (ex. pesticides, hydrocarbures et produits chimiques industriels[9]) et limiter leur accumulation dans les sols, les réseaux hydrographiques et la chaîne alimentaire humaine.

La richesse et la diversité fongiques sont plus faibles dans les sols cultivés que dans les systèmes non cultivés ou naturels, ce qui montre la sensibilité des CMA aux changements d'usage des terres

Les efforts de restauration qui rétablissent les communautés végétales indigènes et favorisent les champignons bénéfiques permettent de renforcer rapidement la quantité et la diversité des CMA, ce qui consolide certains services écosystémiques tels que la disponibilité des nutriments, la production fourragère et le stockage à long terme du carbone. Ces gains se traduisent par des bénéfices pour la société. Par exemple, dans les Grandes Plaines nord-américaines, le simple fait d'éviter la conversion de 10 % des prairies indigènes restantes en terres agricoles permet d'éviter des émissions de CO_2 représentant des coûts sociétaux d'environ 430 millions de dollars sur 20 ans[5]. Ainsi, une protection de l'environnement ciblée peut simultanément favoriser la biodiversité, l'atténuation du changement climatique et la durabilité économique.

Dans le cadre de nos recherches sur la restauration des prairies, nous nous intéressons à la gestion des champignons bénéfiques du sol, qui sont des éléments essentiels à la régénération des écosystèmes. En partenariat avec *Nature Conservancy of Canada* et en nous appuyant sur des études sur le terrain et des approches expérimentales, nous avons constaté qu'après une perturbation (ex. l'exploitation minière du charbon), les plantes s'établissent plus facilement quand des CMA sont présents. La ***figure 2*** montre que les graminées indigènes des sites perturbés présentent une colonisation racinaire par les CMA significativement plus élevée que les graminées des prairies adjacentes non perturbées, même si la densité des spores de CMA est la même. Cela suggère qu'après une perturbation, les graminées indigènes sont plus dépendantes des symbioses avec les CMA pour se nourrir et s'établir. Cela souligne l'importance des partenariats entre champignons et plantes pour une restauration réussie. En cartographiant la diversité fongique et en intégrant l'inoculation microbienne à des assemblages de plantes indigènes, nos travaux visent à restaurer la fonction et la résilience des sols dans les paysages dégradés. Les résultats sont des pratiques agricoles plus durables, une biodiversité mieux protégée et une santé humaine améliorée dans un monde en mutation.

Figure 2. **Pourcentage de colonisation racinaire par les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) et nombre de spores fongiques dans la rhizosphère de graminées indigènes provenant de prairies intactes (naturelles) et perturbées (exploitation minière du charbon de 1907 à 1919) à Cervo 2 (propriété de Conservation de la nature Canada), Crowsnest Pass, Alberta, Canada. Les lettres indiquent des différences significatives selon le test t de Student (α = 0,05). « ns » signifiant « non significatif »**



8 Wadhwa, K., Kapoor, N., Kaur, H., Abu-Seer, E. A., *et al.* (2024). A comprehensive review of the diversity of fungal secondary metabolites and their emerging applications in healthcare and environment [Revue exhaustive de la diversité des métabolites secondaires fongiques et de leurs applications émergentes dans les domaines de la santé et de l'environnement]. *Mycobiology, 52*(6), 335–387. https://doi.org/10.1080/12298093.2024.2416736.

9 Liu, X. (2025). Fungi used with mycoremediation as a sustainable solution for environmental pollution [Champignons utilisés en mycoremédiation comme solution durable à la pollution environnementale]. *Microbial Bioactives, 8*(1), 1–11. https://doi.org/10.25163/microbbioacts.8110463.

Secteur	Défis courants	Contributions de la biodiversité fongique
Santé humaine	**Bien-être humain**	Fournir des aliments riches en nutriments et des médicaments (p. ex. antibiotiques et composés immunostimulants). En construisant des sols sains et des écosystèmes résilients, les champignons soutiennent la santé physique et mentale.
	Qualité alimentaire	Améliorer la disponibilité et l'absorption de nutriments grâce aux partenariats plantes-champignons (p. ex. mycorhizes), renforçant la qualité nutritive et la qualité globale des aliments
	Approvisionnement alimentaire	Augmenter la productivité et la résilience des cultures par symbiose (p. ex. mycorhizes) et fournir des champignons comestibles nutritifs et d'autres aliments fongiques
	Contrôle de la pollution	Filtrer, décomposer et détoxifier les polluants, améliorant la qualité des sols, de l'eau et de l'air, et contribuant à protéger la santé humaine et à atténuer le changement climatique
Agriculture	**Perte de nutriments et pollution** (lessivage, ruissellement, prolifération d'algues)	Les partenariats plantes-champignons améliorent la capture et la rétention des nutriments, réduisant les pertes d'engrais, le ruissellement et le recours aux intrants synthétiques
	Mauvais recyclage des nutriments et structure du sol	Accélérer la décomposition et le recyclage des nutriments tout en améliorant la structure du sol et sa capacité de rétention d'eau
	Stress climatique (sécheresse, appauvrissement en nutriments)	Augmenter la résiliation des cultures face aux facteurs de stress climatique tels que la sécheresse, les températures extrêmes et l'appauvrissement en nutriments
Environnement	**Changement climatique** (équilibre du carbone)	Améliorer la séquestration du carbone en stimulant la croissance des plantes et le stockage du carbone dans les sols, en surface et en profondeur
	Ecosystèmes pollués ou dégradés	Décomposer les contaminants (p. ex. hydrocarbures, métaux lourds) et soutenir la récupération des écosystèmes et leur résistance aux perturbations
	Dégradation du sol (érosion, faible fertilité, sols nus)	Construire des sols sains en améliorant la structure, le recyclage des nutriments et la diversité microbienne. Les partenariats plantes-champignons augmentent la couverture végétale, réduisant l'érosion, l'accumulation de chaleur et la dégradation des terres

© Adriana Morrell and Dale Pulvermacher

Remerciements :
Nous remercions Alberta Innovates et le Fonds interne de recherche appliquée du Lethbridge Polytechnic pour leur financement, ainsi que nos partenaires – Nature Conservancy of Canada, Université de l'Athabasca, Université de Calgary, Grumpy's Greenhouses, Parks Canada, Grassland Restoration Forum, Teck Ltd., TC Energy, Enviroscapes et Marilyn Neville – qui ont rendu ce travail possible.

À propos des auteurs

Adriana Morrell *est fondatrice et responsable scientifique du Laboratoire de recherche en mycologie au Lethbridge Polytechnic. Ses recherches portent sur la santé des sols, l'écologie microbienne et la restauration des prairies, et notamment sur les interactions entre les champignons et les plantes qui contribuent à la résilience des écosystèmes et à la gestion durable des terres.*

Dale Pulvermacher *est étudiant en licence de gestion des écosystèmes au Lethbridge Polytechnic et assistant de recherche au Laboratoire de recherche en mycologie. Il travaille sur la restauration des prairies et s'intéresse particulièrement au rôle de la mycologie dans les écosystèmes et leur restauration.*