

Vers une stratégie pour la qualité des semences biologiques

Ceci est un projet de texte au sujet d'une nouvelle stratégie pour la qualité des semences à être discutée avec les parties prenantes.

Résumé

La qualité des semences est importante pour la formation des plantules – une étape essentielle pour les cultures. Une levée réduite par des stressés biotiques ou abiotiques au champ peut affecter la densité de la culture, le rendement et le revenu des producteurs. La santé, ou qualité sanitaire, des semences et leur vigueur – c'est-à-dire leur capacité à tolérer de tels facteurs de stress – sont d'une importance croissante pour une agriculture durable, en particulier face au changement climatique. Bien que les connaissances actuelles à ce sujet restent limitées, il est clair à présent qu'il faut également prendre en compte le microbiome des semences lorsqu'on s'intéresse à la santé des semences. Jusqu'à récemment, la gestion de la qualité sanitaire des semences a été orientée presque exclusivement vers le contrôle d'agents pathogènes transmis par les semences, mais les semences peuvent également contenir des micro-organismes bénéfiques, qui aident les plantules à se défendre contre des pathogènes ou stressés abiotiques. Dans une stratégie actualisée pour la qualité semencière, le microbiome des semences doit être considéré comme faisant partie intégrante de la santé des semences. Davantage d'attention et de recherches à ce sujet sont nécessaires pour produire et maintenir des semences avec un microbiome optimal. Pour cela, la biodiversité du sol apparaît comme un moteur important, puisqu'il fournit une partie du microbiome des semences. Sachant que les sols en agriculture biologique ont une plus grande biodiversité, il faudrait explorer les bénéfices que cela engendre pour les semences biologiques. Les semences biologiques sont souvent traitées pour lutter contre des pathogènes transmis par les semences. Bien qu'il soit probable que ceci réduit aussi une partie considérable du microbiome des semences, on manque de connaissances quant aux effets sur la vigueur des semences et l'établissement des plantules. Lorsque de tels traitements sont indispensables, il peut être utile de rétablir le microbiome par un « bio-priming » ou par un enrobage avec des microorganismes issus de microbiomes semenciers. Une liste de littérature scientifique est fournie en annexe en tant que ressource, accompagnée des résumés respectifs pour faciliter la lecture [résumés en anglais, non traduits].



Introduction

La santé et la qualité des semences influencent l'installation et la réussite d'une culture, affectant le rendement, le revenu des producteurs et, au final, la sécurité alimentaire. Dans le cadre du projet LIVESEED, le livrable 2.5 présente deux cas d'études au sujet de problématiques de qualité sanitaire des semences biologiques – *Alternaria* spp. sur la carotte et la carie commune (*Tilletia* spp.) sur le blé tendre – et établit un inventaire de problématiques actuelles concernant la qualité des semences biologiques. Sur cette base et en nous appuyant sur une révision de la littérature scientifique, notre objectif est ici de concevoir une stratégie actualisée pour la santé et la qualité des semences biologiques.

Pour évaluer la qualité des semences, les analyses de routine évaluent les taux de germination et détectent d'éventuels pathogènes transmis par les semences, en fonction de l'espèce cultivée. Si la présence d'un pathogène dépasse un certain seuil, des traitements de semences peuvent être appliqués pour lutter contre les maladies respectives. En agriculture biologique, ces traitements impliquent des matières actives d'origine naturelle (p. ex., le vinaigre) ou des traitements physiques (p. ex, traitements à l'eau chaude ou broyage), ou encore l'application d'agents biologiques (par ex. micro-organismes antagonistes). Toutefois, tant l'expérience pratique que les récentes découvertes scientifiques tendent à indiquer que la prise en compte d'autres aspects de la qualité des semences serait bénéfique pour l'agriculture biologique et d'autres formes d'agriculture durable (qui renoncent à l'utilisation d'intrants chimiques de synthèse).

La **vigueur des semences** correspond à la tolérance des semences et plantules aux contraintes du milieu. Malgré tous les efforts mis en œuvre et l'attention donnée pour les semis et leur préparation, la météo peut provoquer des conditions variables au champ, et induire de fortes contraintes sur la germination et la levée. On peut s'attendre à ce que les incertitudes et facteurs de stress imprévisibles s'intensifient avec le changement climatique mondial. Des recherches dans le cadre du projet européen LIVESEED ont montré qu'une bonne vigueur des semences augmente non seulement la tolérance aux stress abiotiques, tels que le stress hydrique et le froid, mais aussi la tolérance à des pathogènes.

Cependant, les agriculteurs ne sont pas toujours conscients de son importance ou n'ont pas accès à des semences vigoureuses. Par exemple, même lorsque la germination est globalement bonne, une levée plus lente provoque une compétition plus importante par les adventices, augmentant le temps de travail nécessaire au désherbage. Une prise de conscience de l'importance de la vigueur semencière est nécessaire de la part de producteurs de semences et d'agriculteurs, particulièrement dans le cas de semences fermières. Des formations pour reconnaître les caractéristiques d'une semence vigoureuse et des tests relativement simples peuvent y contribuer.

Une plus forte prise en compte de la vigueur en tant que levier pour une agriculture biologique résiliente engage la production, le nettoyage, l'analyse, le traitement et le stockage des semences. La vigueur semencière peut aussi avoir une base génétique, qui peut être intégrée à des programmes de sélection végétale pour la création de variétés rustiques. Pour la production de semences, les portegraines (les plus) sains devraient être sélectionnés, et les carences en éléments nutritifs évitées. Les semences doivent être récoltées à maturité complète autant que possible. Lors du stockage, un vieillissement précoce des semences est évité dans les conditions sèches appropriées et en protégeant des ravageurs.

Le **microbiome** des plantes désigne l'écosystème microbien associé aux plantes, composé de bactéries et champignons. Ces micro-organismes peuvent avoir un effet positif, neutre ou négatif sur la santé



des plantes. Dans le dernier cas, ils sont appelés pathogènes. Les plantes transmettent une partie de leur microbiome à la génération suivante via leurs graines. Jusqu'à présent, l'attention s'est portée presque exclusivement aux pathogènes parmi ce microbiome des semences, aussi nommés pathogènes transmis par les semences. Cependant, il se trouve que leur pathogénicité varie avec leur concentration et la présence d'autres micro-organismes dans le microbiome. Les semences peuvent aussi contenir des micro-organismes qui aident les plantules à lutter contre les agents pathogènes ou les stress abiotiques. La recherche scientifique à ce sujet n'a commencé que récemment, plusieurs effets importants du microbiome des semences sur l'établissement des plantules ayant déjà été découverts.

Approches et défis

En se basant sur les considérations ci-dessus, on s'attend à ce que la vigueur et le microbiome des semences jouent un rôle important en tant que leviers de la performance et de la résilience des systèmes culturaux biologiques. Ce sont des éléments importants dans la reconception de systèmes semenciers et culturaux pour les transitions agroécologiques. À présent, les connaissances au sujet de la vigueur et du microbiome des semences ont ouvert de nouvelles perspectives sur la complexité de la santé des semences et des plantes. Afin d'activer ces leviers au profit de la production de semences biologiques, une multitude de nouveaux domaines et sujets de recherche et de développement émergent pour l'avenir. Ceux-ci devront être abordés aux différentes échelles géographiques, allant de la production locale de semences fermières à des systèmes semenciers dans leur globalité.

Interactions entre vigueur et microbiomes des semences

Il est clair désormais que la vigueur et le microbiome semenciers contribuent à la santé des semences, des plantules et, *in fine*, des cultures (Das Gupta and Austenson, 1973; Nelson et al., 2018). La façon dont ils s'affectent mutuellement n'est cependant toujours pas claire. Dans le cas d'étude LIVESEED au sujet de la carotte, citée ci-dessus, des semences vigoureuses et non-vieillies étaient plus tolérantes à la fonte des semis causée par *Alternaria radicina*, que des semences peu vigoureuses, artificiellement vieilles. Cela illustre que la vigueur semencière et l'activité microbienne interagissent, bien que ça ne permette pas d'identifier lequel des deux est le moteur (ou si on peut considérer qu'il y a un moteur parmi eux). Ces résultats amplifient l'image qu'on se fait de la santé des semences et plantes, au-delà de la simple détection de pathogènes. Ils indiquent que la santé et la qualité des semences sont intimement liées. L'infographie à suivre illustre une conception de la santé des semences et des plantes comme un continuum basé sur des interactions avec la vie microbienne.

Facteurs qui façonnent le microbiome

Davantage d'attention et de recherches sont nécessaires afin de produire et maintenir des semences avec un microbiome optimal. Un microbiome très diversifié semble être avantageux pour les plantules (Wassermann et al., 2019). Sachant qu'une partie du microbiome semencier provient du sol et que les sols en agriculture biologique ont un microbiome plus diversifié (Hartmann et al., 2015; Lupatini et al., 2017), on peut supposer que cela est avantageux pour les semences biologiques. Des recherches pour identifier les facteurs façonnant des microbiomes diversifiés ou même optimisés, couvrant tout le processus depuis la production jusqu'au stockage des semences, fourniraient une base pour élaborer des recommandations aux producteurs de semences et entreprises semencières pour bénéficier de la vie microbienne pour des cultures résilientes. L'intégration de ces facteurs dans la production de semences, plantules et cultures saines et vigoureuses nécessite également un changement de paradigme, partant d'un point de vue principalement focalisé sur l'évitement des maladies des végétaux pour aller vers une perspective visant les processus qui soutiennent la santé des plantes. Le processus dynamique par lequel les organismes vivants évoluent vers la santé a initialement été décrite comme salutogénèse dans le domaine de la santé humaine (Antonovsky,



1996) et repris par Döring et al. (2012) pour le domaine de la santé des plantes. Considérant cela, à long terme, les études scientifiques concernant la santé des plantes pourraient évoluer d'une posture de *pathologie des végétaux* – focalisée sur les maladies des plantes – à une posture de *salutologie des végétaux* – focalisée sur les processus soutenant la santé.



Implications pour l'assainissement de semences

Des traitements sont parfois nécessaires pour assainir des semences infectées par un pathogène. Les semences biologiques peuvent être traitées par des méthodes physiques (p. ex. thérapie thermique, broyage), des matières actives d'origine naturelle (p. ex. vinaigre, huiles essentielles) ou des agents biologiques (p. ex. souches de *Pseudomonas chlororaphis*). Il est probable que certains traitements physiques ou à base de composés naturels détruisent aussi une partie conséquente du microbiome des semences. De plus, les traitements physiques ont souvent aussi un effet délétère sur la vigueur des semences. A plus long terme, concernant les stratégies pour la santé des semences et des plantes, cela pose la question de comment articuler, d'une part, la substitution de traitements chimiques de synthèse en agriculture dite conventionnelle et, d'autre part, la transformation agroécologique de systèmes semenciers basée sur la vie microbienne. Ancrer pleinement les systèmes cultureux dans des interactions écosystémiques résilientes, en particulier une vie microbienne prospère, peut être en contradiction avec des traitements des semences visant à désinfecter la surface des semences. Nous soutenons cependant que les deux stratégies peuvent être complémentaires. Les systèmes de culture biologiquement diversifiés et résilients (en combinaison avec des bonnes pratiques culturales et de production de semences) peuvent significativement réduire le besoin de recourir à des traitements « correctifs » (ou curatifs) des semences. Néanmoins, ces derniers resteront sans doute nécessaires dans certains cas, au moins en soutien occasionnel ou en mesure de sécurité, p. ex. pour la gestion de

la carie commune du blé. Lorsque ces traitements ne peuvent être évités, il peut être utile de restaurer le microbiome, par du bio-priming ou par l'enrobage des semences avec des micro-organismes bénéfiques issus de microbiomes semenciers.

Implications pour la sélection végétale

A date, la prise en compte de la santé des semences et plantes dans la sélection végétale ont principalement mené à des programmes de sélection basés sur des résistances génétiques, fournissant des cultivars génétiquement résistants pour faciliter la lutte contre des maladies (aussi appelé « lutte génétique »). De récentes recherches sur le riz ont montré que certains microbiomes transmis par les semences sont en mesure de conférer une tolérance, et même une résistance, à une maladie (Matsumoto et al., 2021). Intégrer le rôle de microbiomes transmis par les semences, ainsi que les bases génétiques de la vigueur des semences, dans des programmes de sélection pourrait être un moyen de maintenir la santé des semences et plantes à l'avenir, en complément de la lutte génétique.

L'échelle géographique de la production de semences

A long terme, intégrer pleinement les microbiomes des semences et plantes dans la façon dont nous multiplions les semences peut influencer sur les recommandations à donner concernant l'échelle géographique de cette production. Des recherches sur le haricot ont montré que des facteurs environnementaux locaux décrits comme le « terroir » façonnent la composition de microbiomes semenciers (Klaedtke et al., 2016). On en sait encore très peu sur la manière dont la structure des communautés microbiennes associées aux plantes varie à différentes échelles géographiques, et si des semences d'origine locale procurent un quelconque bénéfice par l'adaptation microbienne aux conditions locales. Cependant, une telle compréhension des microbiomes des semences demandera encore des recherches considérables concernant à la fois les facteurs qui façonnent les communautés microbiennes et leurs caractéristiques fonctionnelles.

Conclusion

Nous recommandons la stratégie suivante pour favoriser la santé et la qualité des semences biologiques :

- Intégrer le rôle du microbiome dans les aspects de la qualité des semences.
- Exploiter le potentiel de microbiomes semenciers optimisés pour aider à la protection des plantules contre les stressés biotiques (pathogènes) et abiotiques (p. ex. dûs au climat), allant vers des systèmes de culture plus résilients.
- Conduire des recherches sur des microbiomes semenciers optimisés et leurs effets, en prenant en compte la biodiversité et les adaptations locales.
- Étudier l'effet des conditions dans lesquelles les semences sont produites, récoltées, traitées et stockées.
- Mettre l'accent sur la production et le maintien d'une bonne vigueur des semences pour améliorer encore davantage la résilience des plantules.
- Étudier les interactions entre génétique des plantes, le microbiome et la vigueur des semences, en particulier le rôle de la diversité cultivée et de l'ensemble de la biodiversité dans les systèmes de culture, pour les intégrer dans les programmes de sélection.
- Former les multiplicateurs de semences, entreprises semencières et agriculteurs au sujet des microbiomes semenciers et de la vigueur des semences.



Annexe

Références et résumés pour information supplémentaire [non traduits de l'anglais]

Antonovsky, A. (1996) The salutogenic model as a theory to guide health promotion. *Health promotion international*. 11, 11-18. <https://doi.org/10.1093/heapro/11.1.11>

This paper provides a critical look at the challenges facing the field of health promotion. Pointing to the persistence of the disease orientation and the limits of risk factor approaches for conceptualizing and conducting research on health, the salutogenic orientation is presented as a more viable paradigm for health promotion research and practice. The Sense of Coherence framework is offered as a useful theory for taking a salutogenic approach to health research.

Das Gupta, P.R. and Austenson, H.M. (1973) Analysis of Interrelationships among Seedling Vigor, Field Emergence, and Yield in Wheat. *Agron. J.* 65, 417-422.

To evaluate various seed quality criteria, 86 samples of spring wheat (*Triticum aestivum* L. 'Manitou'), obtained from farmers in 1969, were grown in the same year with and without Panogen 15 seed treatment in replicated field trials at three locations in Saskatchewan. Untreated seed samples were grown again in 1970 at one of the locations. Determinations were made in the laboratory of various seed and seedling characteristics supposedly related to seedling vigor. Grain yield was increased significantly due to Panogen 15 treatment by 2.5 and 4.9% at two of the three locations. Seed samples high in 'unaided' vigor as reflected particularly by a modified germination test of untreated seeds, showed little response to the fungicidal treatment. Yield variations between samples were most consistently dependent on standard germination, O₂ uptake, and field emergence. It was concluded that the standard germination test could be supplemented with other tests to more reliably assess expected crop performance. The rate of O₂ uptake by seed during the 8th and 9th hours of imbibition was found satisfactory. Further research to develop a rapid and efficient method of determining early seedling growth in darkness is recommended.

Döring, T.F., Pautasso, M., Finckh, M.R. and Wolfe, M.S. (2012) Concepts of plant health – reviewing and challenging the foundations of plant protection. *Plant Pathology*. 61, 1-15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02501.x>

Plant health is a frequently used but ill-defined term. However, there is an extensive literature on general health definitions and health criteria in human medicine. Taking up ideas from these philosophical debates, concepts of plant health are reviewed and a framework developed to locate these concepts according to their position in several philosophical controversies. In particular, (i) the role of values in defining plant health in a naturalist versus a normativist approach; (ii) negative and positive definitions of plant health; (iii) reductionist versus holistic perspectives; (iv) the focus on functionality versus resilience, i.e. the ability of the plant to perform under stress with or without human interference; (v) materialist versus vitalist approaches; and (vi) biocentric versus anthropocentric views, are surveyed. The ways in which these perspectives relate to mainstream and alternative approaches to plant protection are explored and we suggest how the contradicting views might be reconciled. It is argued that none of these perspectives is without inherent contradictions, but that by combining contrasting approaches it is possible to provide a comprehensive though fuzzy concept. Rather than giving a new definition of plant health, a conceptual framework is developed that suggests what questions may be answered in debates on plant health issues



and how such debates could be organized.

Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P. and Widmer, F. (2015) Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME journal*. 9, 1177-1194. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.210>

Low-input agricultural systems aim at reducing the use of synthetic fertilizers and pesticides in order to improve sustainable production and ecosystem health. Despite the integral role of the soil microbiome in agricultural production, we still have a limited understanding of the complex response of microbial diversity to organic and conventional farming. Here we report on the structural response of the soil microbiome to more than two decades of different agricultural management in a long-term field experiment using a high-throughput pyrosequencing approach of bacterial and fungal ribosomal markers. Organic farming increased richness, decreased evenness, reduced dispersion and shifted the structure of the soil microbiota when compared with conventionally managed soils under exclusively mineral fertilization. This effect was largely attributed to the use and quality of organic fertilizers, as differences became smaller when conventionally managed soils under an integrated fertilization scheme were examined. The impact of the plant protection regime, characterized by moderate and targeted application of pesticides, was of subordinate importance. Systems not receiving manure harboured a dispersed and functionally versatile community characterized by presumably oligotrophic organisms adapted to nutrient-limited environments. Systems receiving organic fertilizer were characterized by specific microbial guilds known to be involved in degradation of complex organic compounds such as manure and compost. The throughput and resolution of the sequencing approach permitted to detect specific structural shifts at the level of individual microbial taxa that harbours a novel potential for managing the soil environment by means of promoting beneficial and suppressing detrimental organisms.

Klaedtke, S., Jacques, M.-A., Raggi, L., Préveaux, A., Bonneau, S., Negri, V., Chable, V. and Barret, M. (2016) Terroir is a key driver of seed-associated microbial assemblages. *Environmental Microbiology*. 18, 1792-1804. 10.1111/1462-2920.12977

Seeds have evolved in association with diverse microbial assemblages that may influence plant growth and health. However, little is known about the composition of seed-associated microbial assemblages and the ecological processes shaping their structures. In this work, we monitored the relative influence of the host genotypes and terroir on the structure of the seed microbiota through metabarcoding analysis of different microbial assemblages associated to five different bean cultivars harvested in two distinct farms. Overall, few bacterial and fungal operational taxonomic units (OTUs) were conserved across all seed samples. The lack of shared OTUs between samples is explained by a significant effect of the farm site on the structure of microbial assemblage, which explained 12.2% and 39.7% of variance in bacterial and fungal diversity across samples. This site-specific effect is reflected by the significant enrichment of 70 OTUs in Brittany and 88 OTUs in Luxembourg that lead to differences in co-occurrence patterns. In contrast, variance in microbial assemblage structure was not explained by host genotype. Altogether, these results suggest that seed-associated microbial assemblage is determined by niche-based processes and that the terroir is a key driver of these selective forces.

Lupatini, M., Korthals, G.W., de Hollander, M., Janssens, T.K.S. and Kuramae, E.E. (2017) Soil Microbiome Is More Heterogeneous in Organic Than in Conventional Farming System.



Frontiers in Microbiology. 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02064>

Organic farming system and sustainable management of soil pathogens aim at reducing the use of agricultural chemicals in order to improve ecosystem health. Despite the essential role of microbial communities in agro-ecosystems, we still have limited understanding of the complex response of microbial diversity and composition to organic and conventional farming systems and to alternative methods for controlling plant pathogens. In this study we assessed the microbial community structure, diversity and richness using 16S rRNA gene next generation sequences and report that conventional and organic farming systems had major influence on soil microbial diversity and community composition while the effects of the soil health treatments (sustainable alternatives for chemical control) in both farming systems were of smaller magnitude. Organically managed system increased taxonomic and phylogenetic richness, diversity and heterogeneity of the soil microbiota when compared with conventional farming system. The composition of microbial communities, but not the diversity nor heterogeneity, were altered by soil health treatments. Soil health treatments exhibited an overrepresentation of specific microbial taxa which are known to be involved in soil suppressiveness to pathogens (plant-parasitic nematodes and soil-borne fungi). Our results provide a comprehensive survey on the response of microbial communities to different agricultural systems and to soil treatments for controlling plant pathogens and give novel insights to improve the sustainability of agro-ecosystems by means of beneficial microorganisms.

Matsumoto, H., Fan, X., Wang, Y., Kusstatscher, P., Duan, J., Wu, S., Chen, S., Qiao, K., Wang, Y., Ma, B., Zhu, G., Hashidoko, Y., Berg, G., Cernava, T. and Wang, M. (2021) Bacterial seed endophyte shapes disease resistance in rice. *Nature Plants*. 7, 60-72. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00826-5>

Cereal crop production is severely affected by seed-borne bacterial diseases across the world. Locally occurring disease resistance in various crops remains elusive. Here, we have observed that rice plants of the same cultivar can be differentiated into disease-resistant and susceptible phenotypes under the same pathogen pressure. Following the identification of a seed-endophytic bacterium as the resistance-conferring agent, integration of high-throughput data, gene mutagenesis and molecular interaction assays facilitated the discovery of the underlying mode of action. *Sphingomonas melonis* that is accumulated and transmitted across generations in disease-resistant rice seeds confers resistance to disease-susceptible phenotypes by producing anthranilic acid. Without affecting cell growth, anthranilic acid interferes with the sigma factor RpoS of the seed-borne pathogen *Burkholderia plantarii*, probably leading to impairment of upstream cascades that are required for virulence factor biosynthesis. The overall findings highlight the hidden role of seed endophytes in the phytopathology paradigm of 'disease triangles', which encompass the plant, pathogens and environmental conditions. These insights are potentially exploitable for modern crop cultivation threatened by globally widespread bacterial diseases.

Nelson, E.B., Simoneau, P., Barret, M., Mitter, B. and Compant, S. (2018) Editorial special issue: the soil, the seed, the microbes and the plant. *Plant and Soil*. 422, 1-5. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3576-y>

Despite many decades of little interest and research attention, the microbiota of seeds is now developing into a major focus area for the exploration and understanding of plant microbiomes and beneficial plant-microbial interactions. Seeds, like no other plant organ,



provide insights into the origin of plant microbiota, but also how the interactions of seed-associated microbes may be utilized to improve plant growth. This Special Issue focusing on soil, seeds, plant and microorganisms has highlighted important advances in understanding the complex plant-seed-soil-microbe interface. While important foundational data on microbial taxa, their putative functions and interactions with other plant parts and the soil are discussed. This Special Issue also points the way for additional studies to gain a more comprehensive knowledge and understanding of the ecology of seed microbiota. Presently, our knowledge of the ecology of seed microbiota lacks far behind our understanding of the rhizosphere and phyllosphere microbiota. And while the work highlighted in this Special Issue represents only the beginning of what may be a fruitful path forward in understanding the origin of seed microbiota, the routes and modes of seed colonizing, the sites of establishment within seeds, and the function of these microbes in plant and soil habitats, we can expect great advances in coming years. Many questions remain. For example, what factors determine efficient seed colonization by microorganisms and the successful establishment of populations in and on seeds? As with the rhizosphere and phyllosphere, does the plant phenotype shape the composition of microbial seed assemblages? Are seed microbiota different between plant families? What are the factors that allow microbes to persist in dormant seeds? What are the functional traits necessary for microbes to be able to invade and establish in plant seeds? Very often dormancy in seeds is concomitant with extreme drying begging the question of whether microbes require some level of desiccation tolerance to survive during seed dormancy. Some pioneer studies are indeed pointing to the capacity of some microorganisms to cope with stress conditions likely accompanying the seed maturation process as an essential component of efficient seed colonization (Pochon et al. 2012, 2013). What role do seed microbiota play in the assembly of the plant microbiota? Because the seed microbiota represent the initial microbial colonizers of emerging seedlings before they recruit microbes from the surrounding environment (rhizosphere or phyllosphere), the seed microbiota might play important roles in the assembly and function of the plant microbiome. While these and many other questions remain to be answered, the research highlighted in this Special Issue suggests that the future is bright for this emerging and productive area of inquiry.

Wassermann, B., Cernava, T., Müller, H., Berg, C. and Berg, G. (2019) Seeds of native alpine plants host unique microbial communities embedded in cross-kingdom networks. *Microbiome*. 7. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0723-5>

Background: The plant microbiota is crucial for plant health and growth. Recently, vertical transmission of a beneficial core microbiota was identified for crop seeds, but for native plants, complementary mechanisms are almost completely unknown. Methods: We studied the seeds of eight native plant species growing together for centuries under the same environmental conditions in Alpine meadows (Austria) by qPCR, FISH-CLSM, and amplicon sequencing targeting bacteria, archaea, and fungi. Results: Bacteria and fungi were determined with approx. 1010 gene copy numbers g⁻¹ seed as abundant inhabitants. Archaea, which were newly discovered as seed endophytes, are less and represent only 1.1% of the signatures. The seed microbiome was highly diversified, and all seeds showed a species-specific, highly unique microbial signature, sharing an exceptionally small core microbiome. The plant genotype (species) was clearly identified as the main driver, while different life cycles (annual/perennial) had less impact on the microbiota composition, and fruit morphology (capsule/achene) had no significant impact. A network analysis revealed significant co-occurrence patterns for bacteria and archaea, contrasting with an independent fungal network that was dominated by mutual exclusions. Conclusions: These novel insights



into the native seed microbiome contribute to a deeper understanding of seed microbial diversity and phytopathological processes for plant health, and beyond that for ecosystem plasticity and diversification within plant-specific microbiota.

