

# Diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires sous semis direct et sous labour

Claudia Maurer<sup>1</sup>, Murielle Rüdy<sup>1</sup>, Andreas Chervet<sup>1</sup>, Wolfgang G. Sturny<sup>1</sup>, René Flisch<sup>2</sup> et Fritz Oehl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Service de la protection des sols du canton de Berne, Rütli, 3052 Zollikofen, Suisse

<sup>2</sup>Agroscope, Institut des sciences en durabilité agronomique IDU, 8046 Zurich, Suisse

Renseignements: Claudia Maurer, e-mail: claudia.maurer@vol.be.ch



**Figure 1** | Vue aérienne du site de suivi à long terme «Oberacker» de l'Inforama Rütli à Zollikofen (BE), juin 2004.  
(Photo: Gabriela Brändle, Agroscope)

## Introduction

Depuis 1994, sur le site de suivi à long terme «Oberacker» de l'Inforama Rütli à Zollikofen (BE), l'objectif poursuivi est le développement d'une culture des champs économiquement, écologiquement et socialement compatible, dans les conditions de la pratique (Sturny *et al.* 2007). Les systèmes de semis direct et de labour doivent ainsi être optimisés en tenant compte du choix et de la rotation des cultures, du type et de la quantité d'engrais, du choix et de l'application des produits phytosanitaires ainsi que de la gestion des pailles et engrais verts.

Les organismes du sol jouent un rôle central, en particulier dans la réussite du système cultural sous semis direct. Tout comme les lombrics, qui participent de manière importante à la structuration du sol et à la décomposition des substances organiques (Maurer-Troxler *et al.* 2006), les bactéries et les champignons font office de «plaque tournante» pour la nutrition et la santé des plantes. Près de 80 % des plantes tirent profit de champignons vivant en symbiose avec leurs racines (Smith et Read 2008): ces champignons mycorhiziens facilitent pour les plantes l'accès aux substances nutritives, en particulier au phosphore, mais également à l'azote et à

l'eau en rendant accessibles – grâce à leurs hyphes – jusqu'aux plus petits pores du sol inatteignables pour les racines des plantes. En contrepartie, les plantes fournissent aux champignons une partie des hydrates de carbone qu'elles ont assimilés.

La plupart des plantes des cultures et des prairies vivent en symbiose peu spécifique avec des champignons mycorhiziens arbusculaires (champignons MA). Près de 270 espèces ont été décrites à l'échelle mondiale. Leur présence dépend principalement de la nature du sol et du mode d'exploitation. C'est pourquoi ils représentent de bons bioindicateurs des sols agricoles (Oehl *et al.* 2011a). Favoriser des communautés spécifiques de champignons mycorhiziens pourrait représenter une contribution importante en vue d'un système cultural garantissant une absorption efficiente de l'eau et des nutriments (Köhl *et al.* 2014).

L'objectif de ce travail était de comparer la diversité des champignons mycorhiziens sur des parcelles exploitées depuis plusieurs années sous semis direct avec celle de parcelles labourées, de déterminer l'effet des cultures, de désigner les espèces indicatrices et de confronter les résultats avec les connaissances actuellement disponibles.

## Matériel et méthodes

### Dispositif expérimental et collecte d'échantillons

Le site de suivi à long terme «Oberacker» se trouve sur un sol brun profond. Les six parcelles contiguës (fig. 1) y sont pour moitié ensemencées directement (système de semis direct), pour moitié labourées (système de labour). La rotation des cultures – pois protéagineux d'hiver, blé d'automne, féveroles, orge d'automne, betteraves sucrières et maïs d'ensilage – se déroule sur six ans. En février 2011, des échantillons de sol ont été prélevés sur une profondeur de 0–10 cm sur les douze sous-parcelles. Pour chaque sous-parcelle, un échantillon a été constitué à partir de 20 prélèvements ponctuels répartis sur l'ensemble de la surface (env. 1 kg). Les cultures principales échantillonnées étaient les suivantes: pois protéagineux d'hiver, blé d'automne et orge d'automne, deux parcelles d'un mélange d'engrais verts non hivernant composé de plusieurs espèces et succédant à des précédents culturaux de blé d'automne et orge d'automne (Chervet et Sturny 2013), et enfin une parcelle de pois protéagineux et féveroles résistant au gel et semés avant la récolte d'un précédent cultural de betteraves sucrières.

### Détermination des champignons MA

Les spores des champignons MA ont été isolées au moyen d'un tamisage humide combiné à une technique de gradient de densité (Oehl *et al.* 2005) et déterminées

■ **Résumé** Les systèmes de culture sous semis direct et sous labour sont comparés depuis 1994 sur le site de suivi à long terme «Oberacker» de l'Inforama Rütli à Zollikofen (BE). Le présent rapport examine l'influence des deux systèmes culturaux sur la diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires (champignons MA), dans diverses cultures y compris les mélanges d'engrais verts. Dans ce but, les spores de champignons MA ont été isolées et déterminées morphologiquement. Près des deux tiers des 39 espèces identifiées étaient présentes dans les deux systèmes culturaux. Dans toutes les cultures sous semis direct, la richesse en espèces était supérieure (15–21 espèces) et la diversité selon Shannon-Weaver plus élevée ( $H = 2,12\text{--}2,86$ ) que sous labour (10–17 espèces;  $H = 1,77\text{--}2,56$ ). Dans les céréales d'automne, on a recensé en moyenne moins d'espèces que dans un mélange d'engrais verts. Pour les parcelles exploitées depuis longtemps sous semis direct, l'espèce caractéristique est *Septoglossum constrictum*, pour les parcelles labourées *Funneliformis caledonius*. Favoriser des communautés spécifiques de champignons mycorhiziens pourrait représenter une contribution importante en vue d'un système de semis direct performant.

**Tableau 1 | Paramètres de sol retenus, site de suivi à long terme «Oberacker», Rütli-Zollikofen**

Système cultural	Semis direct						Labour					
	PPH	BA	OA	EV après BA	EV après OA	SaR après BS	PPH	BA	OA	EV après BA	EV après OA	SaR après BS
<b>Paramètres chimiques du sol</b>												
Carbone organique C <sub>org</sub> (%)	1,46	1,40	1,56	1,48	1,61	1,73	1,37	1,33	1,48	1,38	1,58	1,30
pH (H <sub>2</sub> O)	6,0	6,4	6,3	5,9	6,1	6,6	6,4	6,2	6,4	6,4	6,5	6,1
Phosphore P <sup>1</sup>	164	165	177	153	195	195	177	177	225	182	212	78
Phosphore P <sup>2</sup>	31	30	25	26	30	25	30	29	23	28	19	11
Potassium K <sup>1</sup>	129	163	137	137	177	141	109	121	79	124	162	103
Magnésium Mg <sup>1</sup>	86	84	105	87	91	83	65	68	77	80	78	54
Calcium Ca <sup>1</sup>	1715	1959	2246	1782	1994	2492	1906	1802	2997	2279	2409	1113
<b>Paramètre physique du sol</b>												
Argile (%)	19	18	19	18	19	16	17	18	18	18	17	16
<b>Paramètres biologiques du sol</b>												
Biomasse de la population de lombrics (g m <sup>-2</sup> )												
Espèces épigées	8	8	20	11	23	7	8	8	16	6	15	5
Espèces endogées	66	86	84	80	111	109	71	89	110	72	29	131
<i>Lumbricus terrestris</i> anéciques	29	57	60	127	56	53	0	0	10	9	7	0
<i>Nicodrilus</i> spp anéciques	33	86	43	7	64	72	25	10	9	2	20	25
Biomasse microbienne (mg C kg <sup>-1</sup> ), respiration basale (mg CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )												
Biomasse SIR	633	665	521	454	622	1007	388	290	346	400	494	320
Biomasse FEM	537	502	505	510	463	795	335	260	380	432	402	346
Respiration basale	80	83	81	85	84	126	39	26	40	61	49	24

<sup>1</sup>Extraction à l'acétate d'ammonium (mg kg<sup>-1</sup>).

<sup>2</sup>Extraction au CO<sub>2</sub> test P.

Les valeurs ont été relevées – selon les paramètres – entre 2006 et 2010 (couche supérieure 0–20 cm, à l'exception de la population de lombrics).

PPH: pois protéagineux d'hiver, BA: blé d'automne, OA: orge d'automne, BS: betteraves sucrières, EV: mélange d'engrais verts, SaR: semis avant récolte

SIR: biomasse microbienne déterminée par la respiration induite par le substrat, FEM: biomasse microbienne déterminée par la méthode d'extraction par fumigation

au microscope optique avec un grossissement de 400 fois (Błaszowski 2012). La systématique selon Oehl *et al.* (2011b) a été retenue pour les champignons MA. *Glomus intraradices* et *Gl. irregulare* ont ainsi été réunis dans un même groupe d'espèces, leur distinction sur la base de spores plus anciennes n'étant pas toujours possible de manière indubitable. La densité des spores a été déterminée pour chaque espèce en nombre de spores par 100 g de sol séché à l'air.

### Statistiques

Afin de caractériser la diversité, l'indice de diversité a été calculé selon Shannon-Weaver pour chaque type de culture et sous-parcelle (culture x système cultural), au moyen de la formule  $H = -\sum (n_i / N) \ln (n_i / N)$  où  $n_i$  représente la densité des spores de l'espèce  $i$  et  $N$  la densité totale des spores de toutes les espèces d'un échantillon. La comparaison des moyennes (test  $t$ ) a permis d'examiner les différences qui pourraient être significatives entre les deux systèmes culturaux. L'analyse de redondance a permis de clarifier l'influence de paramètres annexes retenus (tabl. 1) – de type chimiques, physiques

ou biologiques – sur les communautés de champignons MA et, sur la base de ces résultats, de regrouper et de distinguer les parcelles et les systèmes culturaux.

## Résultats et discussion

### Semis direct: nombre d'espèces stable et diversité élevée

Au total, 39 espèces de champignons MA ont été identifiées, dont 38 dans le système de semis direct et 25 dans le système de labour (tabl. 2 et 3). Le nombre d'espèces identifiées dans les diverses cultures (= sous-parcelles) oscillait entre 15 et 21 sous semis direct, entre 10 et 17 sous labour. La comparaison des moyennes a également montré que le nombre d'espèces MA est significativement plus élevé sous semis direct (en moyenne 18,5) que sous labour (en moyenne 13,2; test  $t$ :  $p < 0,01$ ). Dans les deux systèmes, un nombre plus élevé d'espèces (21/17) a été recensé dans les parcelles de pois protéagineux d'hiver que dans celles de blé d'automne (17/15), de mélanges d'engrais verts succédant au blé d'automne (17/14) et à l'orge d'automne (15/11). Dans les mélanges d'engrais verts succédant à l'orge d'automne et dans le

**Tableau 2 |** Nombre d'espèces de champignons MA identifiées et indice de diversité (H) selon Shannon-Weaver, site de suivi à long terme «Oberacker», Rütli-Zollkofen

Système cultural	Nombre d'espèces MA		Indice de diversité (H) Shannon-Weaver	
	Semis direct	Labour	Semis direct	Labour
<b>Culture (sous-parcelle)</b>				
Pois protéagineux d'hiver	21	17	2,86	2,56
Blé d'automne (BA)	17	15	2,46	2,51
Orge d'automne (OA)	15	11	2,12	2,05
Mélange d'engrais verts après BA	17	14	2,56	2,24
Mélange d'engrais verts après OA	21	12	2,45	1,91
Semis avant récolte après BS	20	10	2,49	1,77
Total pour toutes les cultures	37	25		
Moyenne pour toutes les cultures	18,5 a	13,2 b	2,49 a	2,17 b
P (test t)	0,005 <sup>1</sup>		0,080 <sup>2</sup>	

<sup>1</sup>niveau de signifiante p < 0,01<sup>2</sup>niveau de signifiante p < 0,1

BS: betteraves sucrières

semis avant récolte succédant aux betteraves sucrières, le nombre d'espèces identifiées dans le système de semis direct était aussi élevé que celui des parcelles de pois protéagineux d'hiver, avec respectivement 21 et 20 espèces, alors qu'il n'était que de 12, respectivement 10 espèces, dans le système de labour. Dans le cas du semis avant récolte succédant aux betteraves sucrières, l'explication pourrait résider dans le fait que la betterave sucrière est une espèce inapte à la mycorhization et que, lors de la récolte des betteraves, le sol est fortement remué dans ses 10 cm supérieurs. Cet effet ne paraît cependant s'exercer que dans les parcelles labourées régulièrement en vue du semis de la culture principale. Dans le cas du semis direct, le nombre d'espèces reste élevé et l'interaction entre plante et champignon semble être plus stable.

Non seulement le nombre d'espèces, mais également leur fréquence et la densité des spores sont des critères importants dans la description de la diversité (tabl. 3). La comparaison des valeurs moyennes de tous les types de cultures (six sous-parcelles) montre un indice de diversité plus élevé dans le système de semis direct (H = 2,49) que sous labour (H = 2,17; tabl. 2), bien que la différence soit peu significative (p < 0,10). Dans le système de semis direct, les valeurs spécifiques oscillent entre 2,12 et 2,86 selon les cultures, et entre 1,77 et 2,56 dans le système de labour. Les valeurs H calculées pour le semis direct sont comparables à celles d'études antérieures menées en Europe centrale sur les modes de culture biologique ou les herbages (Oehl *et al.* 2004, 2005, 2010b).

### Espèces caractéristiques et systèmes culturaux

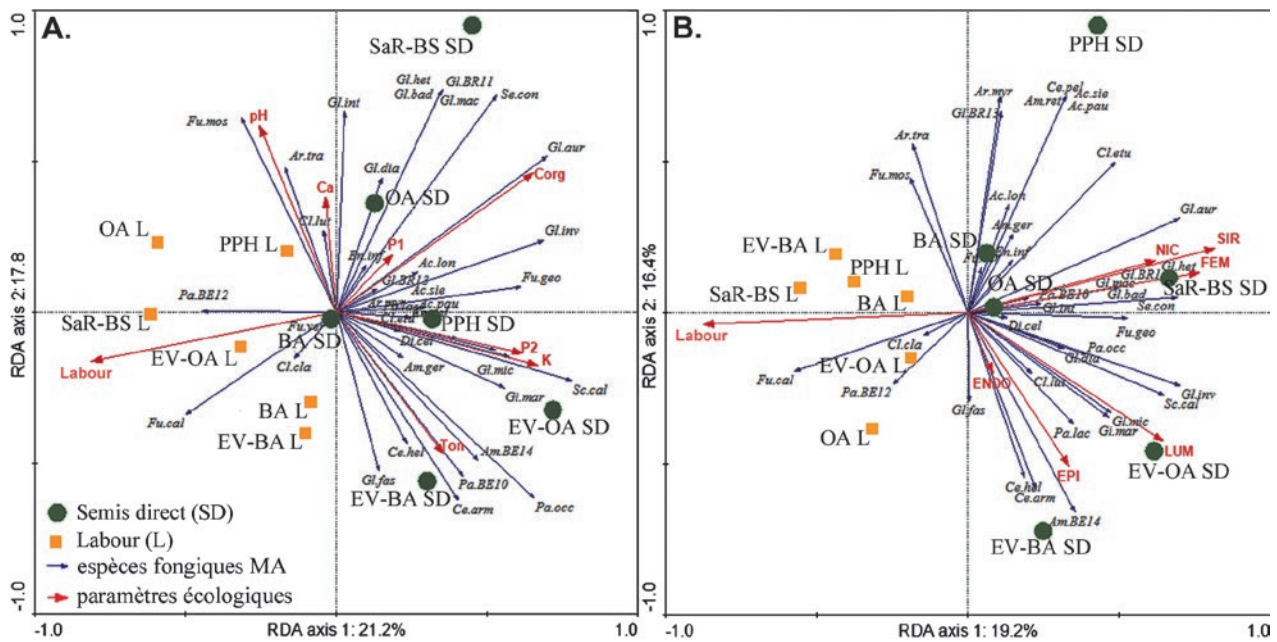
La liste d'espèces montre qu'environ un tiers des espèces peuvent être présentes régulièrement dans l'un et l'autre système de culture (tabl. 3, groupe A avec 13 espèces et 12 groupes d'espèces, arrière-fond gris). La majorité des espèces, soit 24, ont cependant été trouvées principalement, voire exclusivement, dans le système de semis direct. Parmi elles, 11 espèces présentaient une densité de spores relativement élevée (groupe B, arrière-fond bleu) et 13 espèces une densité de spores plutôt faible (groupe C, arrière-fond jaune). Dans ce dernier groupe, on recense en majorité des espèces typiques d'une exploitation extensive et d'un travail de conservation du sol, ou avant tout typiques des milieux herbagers (Jansa *et al.* 2002, 2003; Oehl *et al.* 2005, 2010a, 2010b, 2011a; Wetzel *et al.* 2014). Parmi les 39 espèces ou groupes d'espèces identifiés, seuls deux ont été trouvés principalement ou exclusivement dans les parcelles labourées (groupe D, arrière-fond rouge).

Les analyses multivariées ont clairement distingué les unes des autres les communautés de spores des deux systèmes – semis direct et labour (fig. 2). Le carbone organique dans le sol (C<sub>org</sub>), le système cultural (variable «travail du sol», fig. 2A) et la masse microbienne (déterminée au moyen de la respiration induite par le substrat [SIR] et de la méthode d'extraction par fumigation [FEM], fig. 2B) sont les variables qui, prises isolément, ont la plus grande influence sur la composition des communautés de champignons MA. Parmi les paramètres chimiques, le C<sub>org</sub> et le pH étaient significatifs (P = 0,016, resp. P = 0,034), tout comme l'était la biomasse détermi- ➤

**Tableau 3 |** Liste d'espèces et densité des spores des espèces MA identifiées (nombre de spores par 100 g de sol séché à l'air), site de suivi à long terme «Oberacker», Rütli-Zollikofen.

Système cultural	Semis direct						Labour						
	Culture (sous-parcelle)	PPH	BA	OA	EV après BA	EV après OA	SaR après BS	PPH	BA	OA	EV après BA	EV après OA	SaR après BS
<b>Groupe A: espèces de champignons MA fréquemment identifiées dans les deux systèmes culturaux</b>													
<i>Archaeospora myriocarpa</i>	14	14	4		2	4	6	6		18			
<i>Archaeospora trapei</i>	6	10	2			20	14	10	6	14	2	2	
<i>Claroideoglossum claroideum</i>	12	8	16	10	18	14	6	10	14	32	34	18	
<i>Claroideoglossum luteum</i>	2	4		8		6	2		4		2	2	
<i>Funnelformis geosporus</i>	22	34	38	16	74	36	22	16	12	30	40	16	
<i>Funnelformis mosseae</i>	22	6	28	4	4	40	14	14	24	14	4	54	
<i>Glomus aureum</i>	4	6	4		8	26	2	4		2			
<i>Glomus diaphanum</i>	10	6	64	6	16	28	2	12	30	10	16	6	
<i>Glomus intraradices &amp; Gl. irregulare</i>	4	4	10	4	2	10	6	6	4		6	4	
<i>Paraglomus lacteum</i>				6	2	8		2		4	4		
<i>Paraglomus occultum</i>	8	10	6	18	32	4	6	10		10	6	6	
<i>Paraglomus</i> sp BE10	14	30	4	26	12	4	4	16	4	54	2		
<b>Groupe B: espèces de champignons MA identifiées principalement ou exclusivement sous semis direct et présentant une densité relativement élevée de spores</b>													
<i>Acaulospora longula</i>	4		2		2		8						
<i>Acaulospora paulinae</i>	14												
<i>Acaulospora sieverdingii</i>	12												
<i>Ambispora gerdemanii</i>	10			6			8						
<i>Ambispora reticulata</i>	22												
<i>Ambispora</i> sp BE14			6	20	24			4			2	2	
<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	16	4	2		8		2	2					
<i>Glomus invermaium</i>					22	10							
<i>Glomus microcarpum</i>			2		12								
<i>Scutellospora calospora</i>	6			24	30	8	4			4			
<i>Septoglossum constrictum</i>	4	2	22	4	2	80			2				
<b>Groupe C: espèces de champignons MA identifiées principalement ou exclusivement sous semis direct et présentant une faible densité de spores</b>													
<i>Cetranspora armeniaca</i>				8	2					2			
<i>Cetranspora helvetica</i>				2									
<i>Cetranspora pellucida</i>	2												
<i>Diversispora celata</i>		4			2		2						
<i>Entrophospora infrequens</i>		4				2		4					
<i>Funnelformis verruculosus</i>		4											
<i>Gigaspora margarita</i>					2								
<i>Glomus badium</i>						4							
<i>Glomus fasciculatum</i>		2		4						2			
<i>Glomus heterosporum</i>						4							
<i>Glomus macrocarpum</i>						6							
<i>Glomus</i> sp BR11						2							
<i>Glomus</i> sp BE13	8						4						
<b>Groupe D: espèces de champignons MA identifiées principalement ou exclusivement sous labour</b>													
<i>Funnelformis caledonius</i>				2	2			2	8	16		18	
<i>Paraglomus</i> sp BE12									2		6		

PPH: pois protéagineux d'hiver, BA: blé d'automne, OA: orge d'automne, BS: betteraves sucrières, EV: mélange d'engrais verts, SaR: semis avant récolte.



**Figure 2** | Analyse de redondance de la densité des spores des 39 espèces de champignons MA identifiées en tenant compte des paramètres chimiques et physiques du sol (A), resp. des paramètres biologiques (B) sur le site de suivi à long terme «Oberacker», Rütli-Zollkofen (paramètres de sol, voir tabl. 1).

**Abbréviations des espèces de champignons MA:** *Ac.lon* = *Acaulospora longula*, *Ac.pau* = *Ac. paulinae*, *Ac.sie* = *Ac. sieverdingii*, *Am.ger* = *Ambispora gerdemannii*, *Am.ret* = *Am. reticulata*, *Am.BE14* = *Am. sp. BE14*, *Ar.myr* = *Archaeospora myriocarpa*, *Ar.tra* = *Ar. trappei*, *Ce.arm* = *Cetraspora armeniaca*, *Ce.hel* = *Ce. helvetica*, *Ce.pel* = *Ce. pellucida*, *Cl.cla* = *Claroideoglossus claroideum*, *Cl.etu* = *Cl. etunicatum*, *Cl.lut* = *Cl. luteum*, *Di.cel* = *Diversispora celata*, *En.inf* = *Entrophospora infrequens*, *Fu.cal* = *Funnelformis caledonius*, *Fu.geo* = *Fu. geosporus*, *Fu.mos* = *Fu. mosseae*, *Fu.ver* = *Fu. verruculosus*, *Gi.mar* = *Gigaspora margarita*, *Gi.aur* = *Glomus aureum*, *Gi.bad* = *Gl. badium*, *Gi.dia* = *Gl. diaphanum*, *Gi.fas* = *Gl. fasciculatum*, *Gi.het* = *Gl. heterosporum*, *Gi.int* = *Gl. intraradices & Gl. irregulare*, *Gi.inv* = *Gl. invermaium*, *Gi.mac* = *Gl. macrocarpum*, *Gi.mic* = *Gl. microcarpum*, *Gi.BR11* = *Glomus sp. BR11*, *Gi.BE13* = *Glomus sp. BE13*, *Pa.lac* = *Paraglomus lacteum*, *Pa.occ* = *Pa. occultum*, *Pa.BE12* = *Paraglomus sp. BE12*, *Pa.BE10* = *Paraglomus sp. BE10*, *Sc.cal* = *Scutellospora calospora*, *Se.con* = *Septoglossus constrictum*.

**Abbréviations des paramètres annexes: fig. A:** Corg = carbone organique, K = potassium, pH = pH H<sub>2</sub>O, Ca = calcium, P1 = phosphore par extraction à l'acétate d'ammonium, P2 = phosphore par extraction CO<sub>2</sub>, argile = teneur en argile. Le diagramme explique 82,2 % de la variance des données (axe des x: 21,2 %; axe des y: 17,8 %). **Fig B:** Epi = biomasse des espèces épigées de lombrics, Endo = biomasse des espèces endogées de lombrics, LUM = biomasse des *Nicotrylites* spp anéciques, SIR = biomasse microbienne déterminée par la respiration induite par le substrat, FEM = biomasse microbienne déterminée par la méthode d'extraction par fumigation. Le diagramme explique 70,9 % de la variance des données (axe des x: 19,2 %; axe des y: 16,4 %).

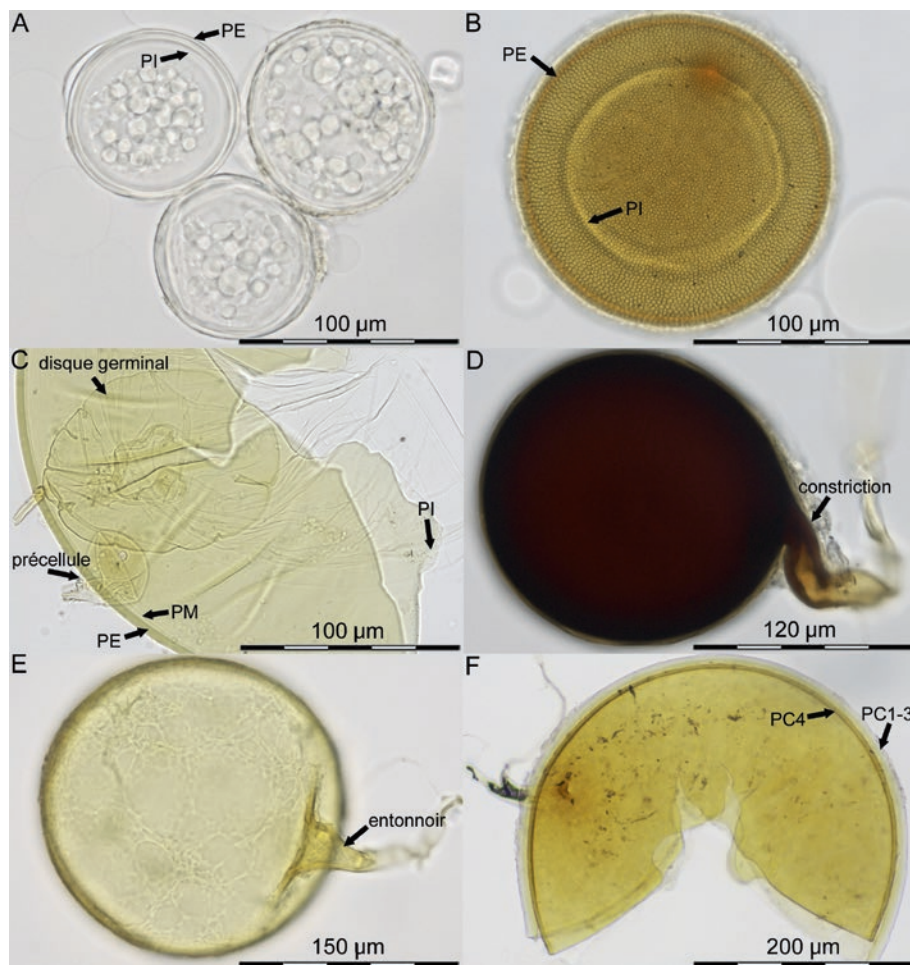
née par SIR ( $P = 0,026$ ) parmi les paramètres biologiques. L'influence du système cultural sur la communauté de champignons MA se manifeste ainsi de manière indirecte à travers ces paramètres, en particulier à travers la plus haute teneur en carbone organique de la couche supérieure du sol (0–10 cm) dans le système de semis direct (Müller *et al.* 2008). Une diversité élevée de champignons MA sous semis direct peut avoir des répercussions positives sur l'absorption des nutriments par les plantes, en particulier du phosphore (Köhl *et al.* 2014). Quelques-unes des observations présentées dans le tableau 3 ont été confirmées par l'analyse de redondance: *Funnelformis caledonius* et *Paraglomus sp. BE12* sont regroupés à proximité des parcelles labourées, alors que la majorité des espèces de champignons MA se trouvaient nettement plus près des parcelles sous semis direct. D'autres espèces qui étaient présentes partout (tabl. 3) montraient une relation plus ou moins étroite

avec le système de semis direct (p. ex. *Fu. geosporus* ou *Glomus aureum*), resp. avec le système de labour (p. ex. *Fu. mosseae* et *Claroideoglossus claroideum*). Ces observations recourent celles d'autres études menées en Europe centrale (Jansa *et al.* 2003; Oehl *et al.* 2005; Wetzel *et al.* 2014).

Les espèces caractéristiques que l'on a pu mettre en évidence pour le site de suivi à long terme «Oberacker» sont *Septoglossus constrictum* pour les parcelles exploitées depuis longtemps sous semis direct et *Funnelformis caledonius* pour les parcelles labourées (fig. 3).

## Conclusions

Le type d'utilisation et l'intensité d'exploitation ont une grande influence sur les communautés de champignons MA dans les sols agricoles: les prairies présentent généralement une diversité plus élevée que les cultures, une



**Figure 3 | Spores de champignons MA retenues.** (Photos: Fritz Oehl, Agroscope)

**A:** *Archaeospora trapei* se trouve dans tous les sols agricoles de Suisse. Ses spores sont petites, blanches et possèdent une double paroi (paroi externe PW, paroi interne PI). **B:** *Entrophospora infrequens* est présente dans presque tous les sols travaillés de manière plutôt extensive. Les spores possèdent une double paroi et d'innombrables petits anneaux sur sa surface brune. **C:** comme *Entrophospora infrequens*, *Scutellospora calospora* réagit de manière sensible à un travail du sol intensif. Elle forme des spores à triple parois (avec paroi intermédiaire PM) à précélules et présente des disques germinaux clairs et ovales. **D:** *Septogloium constrictum* est l'espèce caractéristique des parcelles de semis direct du site «Oberacker». Les spores foncées sont reconnaissables à l'attache étranglée de l'hyphe (constriction). **E:** *Funneliformis mosseae* (avec attache de l'hyphe en entonnoir) est plus fréquente dans les parcelles travaillées. **F:** *Funneliformis caledonius* présente de grosses spores avec des parois en plusieurs couches bien marquées (PC1–4) et est l'espèce caractéristique des parcelles labourées.

exploitation extensive entraîne une augmentation du nombre d'espèces, une exploitation intensive la réduit, et l'on trouve plus d'espèces de champignons MA dans les sols cultivés pas ou peu travaillés que dans ceux qui le sont fréquemment (Oehl et al. 2011a). Cette dernière constatation confirme les résultats d'études antérieures sur le site de suivi à long terme «Oberacker»: on constate un accroissement de la richesse en espèces et de la diversité des champignons MA dans les parcelles sous semis direct depuis que l'on a renoncé au labour en 1994. Plusieurs espèces sont caractéristiques d'une culture sans labour et certaines sont aussi typiques des milieux prairiaux. On peut désigner *Septogloium constrictum*

comme espèce indicatrice du semis direct de longue durée sur le site «Oberacker». Pour les parcelles labourées, l'espèce caractéristique est *Funneliformis caledonius*. Parmi les diverses cultures, on constate que le nombre d'espèces de champignons MA est tendanciellement plus faible dans les parcelles de céréales d'automne (orge et blé d'automne) que dans celles de cultures intermédiaires (mélanges d'engrais verts, semis avant récolte). Un système de semis direct performant dépend d'un sol fertile et vivant. Favoriser des champignons MA, respectivement des espèces et des groupes de champignons MA spécifiques, pourrait apporter une contribution importante en ce sens. ■

## Riassunto

### Diversità delle micorrize arbuscolari nelle colture campicole: semina diretta e aratro a confronto

Dal 1994 sulla superficie di osservazione sul lungo periodo «Oberacker», presso il centro Inforama Rütli a Zollikofen (BE), vengono confrontate una tecnica di semina diretta e una tecnica di lavorazione convenzionale con aratro. Nel presente lavoro è stata studiata l'influenza di entrambi i sistemi di coltivazione e di diverse colture campicole, incluse le miscele da sovescio, sulla diversità delle micorrize arbuscolari (funghi AM). A questo scopo sono state isolate e determinate morfologicamente le spore dei funghi. Approssimativamente due terzi delle 39 specie identificate in totale erano presenti in entrambi i sistemi di coltivazione. In tutte le colture, nel caso della semina diretta sono state rilevate una maggiore ricchezza di specie (15–21 specie) e una maggiore diversità secondo Shannon-Weaver ( $H = 2,12-2,86$ ) rispetto al sistema convenzionale (10–17 specie e  $H = 1,77-2,56$ ). Per i cereali invernali sono state individuate tendenzialmente quantità inferiori di specie rispetto alla coltivazione di una miscela da sovescio. La specie caratteristica del sistema di semina diretta pluriennale è il *Septoglo-mus constrictum*, mentre quella dei lotti lavorati con aratro è il *Funneliformis caledonius*. La promozione di specifiche comunità di micorrize potrebbe apportare un contributo fondamentale a un sistema di semina diretta efficiente.

## Bibliographie

- Błaszkowski J., 2012. Glomeromycota. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków. 303 p.
- Chervet A. & Sturny W. G., 2013. Neue Strategien erprobt. *LOP Landwirtschaft ohne Pflug* 1/2, 23–25.
- Jansa J., Mozafar A., Anken T., Ruh R., Sanders I. R. & Frossard E., 2002. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza* 12, 225–234.
- Jansa J., Mozafar A., Kuhn G., Anken T., Ruh R., Sanders I. R. & Frossard E., 2003. Soil tillage affects the community structures of mycorrhizal fungi in maize roots. *Ecological Applications* 13, 1164–1176.
- Köhl L., Oehl F. & van der Heijden M. G. A., 2014. Using tillage practices to regulate plant growth responses by altering the soil microbial community. *Ecological Applications*, <http://dx.doi.org/10.1890/13-1821.1>.
- Maurer-Troxler C., Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G. & Oberholzer H.-R., 2006. Biologie du sol après dix ans de semis direct ou de labour. *Revue suisse d'Agriculture* 38 (2), 89–94.
- Müller M., Schafflützel R., Chervet A., Sturny W. G., Zihlmann U. & Weisskopf P., 2008. Teneurs en humus après 11 ans de semis direct ou de labour. *Revue suisse d'Agriculture* 40 (1), 5–10.
- Oehl F., Jansa J., de Souza F. A. & Silva G. A., 2010a. *Cetraspora helvetica*, a new ornamented species in the Glomeromycetes from Swiss agricultural fields. *Mycotaxon* 114, 71–84.
- Oehl F., Jansa J., Ineichen K., Mäder P. & van der Heijden M., 2011a. Champignons mycorrhiziens arbusculaires, bioindicateurs dans les sols agricoles suisses. *Recherche Agronomique Suisse* 2 (7–8), 304–311.

## Summary

### Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in field crops using no-till and conventional tillage practices

Since 1994, a comparison of no-till and conventional tillage systems has been underway on the Oberacker long-term field trial site at the Inforama Rütli education and extension centre in Zollikofen, Berne canton. The present paper investigates the influence of the two cropping systems and various field crops, including catch crop mixtures, on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AM fungi). For this, fungal spores were isolated and morphologically classified. Around two-thirds of the 39 species identified were present in both cropping systems. All crops were found to have greater biodiversity and greater diversity according to the Shannon-Weaver index in the no-till system (15–21 species and  $H = 2.12-2.86$ , respectively) than in the conventional tillage system (10–17 species and  $H = 1.77-2.56$ , respectively). Winter cereals tended to harbour a lower number of species than did a catch crop mixture which was grown. The characteristic species for the long-term no-till system is *Septoglo-mus constrictum*, whilst *Funneliformis caledonius* is the characteristic species for the plots under conventional tillage. Encouraging specific mycorrhizal fungal communities could make a substantial contribution towards an efficient and effective no-till system.

**Key words:** arbuscular mycorrhiza diversity, no-till-age, plough, cropping system, long-term field trial.

- Oehl F., Laczko E., Bogenrieder A., Stahr K., Bösch R., van der Heijden M. & Sieverding E., 2010b. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 724–738.
- Oehl F., Sieverding E., Ineichen K., Ris E.A., Boller T. & Wiemken A., 2005. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytologist* 165, 273–283.
- Oehl F., Sieverding E., Mäder P., Dubois D., Ineichen K., Boller T. & Wiemken A., 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138, 574–583.
- Oehl F., Sieverding E., Palenzuela J., Ineichen K. & Silva G.A., 2011b. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* 2, 191–199.
- Smith S. & Read D., 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd edition. San Diego, CA, USA. Academic Press. 800 p.
- Sturny W. G., Chervet A., Maurer-Troxler C., Ramseier L., Müller M., Schafflützel R., Richner W., Streit B., Weisskopf P. & Zihlmann U., 2007. Comparaison du semis direct et du labour: une synthèse. *Revue suisse d'Agriculture* 39 (5), 249–254.
- Wetzel K., Silva G. A., Matczinski U., Oehl F. & Fester T., 2014. Superior differentiation of arbuscular mycorrhizal fungal communities from till and no-till plots by morphological spore identification when compared to T-RFLP. *Soil Biology & Biochemistry*, 72, 88–96.