

Le cadre de Caspary: une structure clé pour la circulation de la sève Partie absorbante de la racine chez l'épicéa et sa mycorrhize



0

0

25

50

%

100

75

# 4. La racine: de la cellule aux interactions plante-sol







partie en croissance (division: 0.26-0.8 mm; différenciation: 0.58-2 mm)

partie assimilatrice (10-40 mm)

Flgure 21-2. Schéma tridimennsionnel d'une racine primaire (en bas, à droite) et coupes transversales à quatre niveaux de la racine (A-D). (A) Zone de croissance et de différenciation ; (B) Zone pilifère avec endoderme primaire; (C) Zone de l'endoderme secondaire; (D) Zone de ramification ou de formation des racines latérales, de l'hypoderme et de l'endoderme tertiaire. C, écorce (cortex); es, cadre de Caspary; En, endoderme (pEn, primaire ; sEn, secondaire; tEn. tertiaire); Ep, épiderme; Hy, hypoderme; LR, ébauche d'une racine latérale; Mx, métaxylème (xylème plus efficace qui se forme plus tard) ; P, péricycle; PC. cellule de passage; PX, protoxylème (xylème moins efficace qui se forme en premier); RC, coiffe; RH, poil absorbant; SL. Lamelle subérinique; XP. Parenchyme du xylème. {D'après U. LÜTTGE, EncycLopedia of Plant Physiology, vol. 15A, Springer, Heidelberg, 1983).

• partie conductrice (quelques cm à plusieurs m)

référence: Lüttge et al. (2005). Botanque. Tec&Doc-Lavoisier





3: xylème secondaire

la croissance, on observe de nombreux amyloplastes stockant des réserves d'amidon (Kiss et al. 1990). référence: Eschrich (1995). Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer Verlag, Berlin.

synthèse pariétale. Malgré l'emploi continu d'assimilats pour

6: phloème secondaire 9: cortex



#### 4. Absorption de l'eau et des sels minéraux (1): modifications structurales et fonctionnelles de l'endoderme



- Gunning et Steer (1995). Plant cell biology. Jones & Bartlett publ., London.



- Polomski et Kuhn (1998). Wurzelsysteme. Haupt Verlag, Bern.

#### 4. Absorption de l'eau et des sels minéraux (3): les mycorhizes



### 4. Encart no. 23: diversité morphologique et fonctionelle des ectomycorrhizes

Les partenaires fongiques des ectomycorrhizes font preuve d'une grande variabilité morphologique en relation probable avec leurs aptitudes variées d'absorption et d'exportation des nutriments



**Fig. 1** Schematic drawings of different exploration strategies, represented by cross-sections of ectomycorrhizae and the extramatrical mycelium. *1* Contact exploration, *2* short-distance exploration, *3a*, *b* medium-distance fringe exploration and medium-distance mat exploration, *3c* medium-distance smooth exploration, *4* long-distance exploration, *5* pick-a-back exploration, shown as mycorrhiza and as soil hyphae in contact and intruding into rhizomorphs and ectomycorrhizae of a long distance exploration type ectomycorrhiza. All figures are to scale (*Rh* rhizomorph, – rhizomorph lacking, A–F organization types of rhizomorphs according to Agerer 1987–1998, 1991a)

• La partie fongique distale de la mycorrhize est la plus fine, la plus hydrophile et en charge de l'absorption et de l'importation de l'eau et des nutriments. Les rhizomorphes des types morphologiques 3 et 4, sont de nature plus hydrophobe et en charge du transport. Le manteau fongique est spécialisé dans les échanges avec le symbionte.

- Certaines mycorrhizes colonisent et épi-parasitent d'autres mycorrhizes (type 5).
- Les types morphologiques 1 et 2 peuvent montrer des capacités lignolytiques supérieures.



**Fig. 2** Examples of exploration strategies. *1 Lactarius* sp.: contact exploration, *2* "*Quercirhiza squamosa*": short-distance exploration, *3a Dermocybe cinnamomeolutea*: medium distance fringe exploration, *3b Hysterangium stoloniferum*: medium-distance mat exploration, *3c Thelephora terrestris*:medium-distance smooth exploration, *4 Boletinus cavipes*: long-distance exploration, monopodial ectomycorrhizal system, *4' Suillus plorans*: long-distance exploration, tuberculate mycorrhizal system, *5 Chroogomphus helveticus* ssp. *tatrensis* primordium growing on a rhizomorph of *Rhizopogon* sp.: pick-a-back exploration, *5' Chroogomphus helveticus* ssp. *tatrensis* hyphae (stained blue with Melzer's reagent) in ectomycorrhiza of *Rhizopogon* sp.: pick-a-back exploration; *bars 1, 2, 3a, c, 4*: 1 mm, *3b*: 10 mm, *4*: 55 mm, *5'*: 30 μm

Cws

P. Vollenweider AEF-Cours 4, page 4/63

 Les types morphologiques 3 et 4 peuvent être plus efficaces concernant l'approvisionnement en phosphore de la plante hôte. référence: Agerer (2001). Exploration types of ectomycorrhizae. Mycorrhiza 11, 107-114.

### 4. Relations plantes – champignons mycorrhiziens

plantes sans mycorhizes

plantes à ectomycorhizes

plantes à endomycorhizes arbusculaires

plantes à mycorhizes érlcoïdes

plantes à la fois à endomycorhizes arbusculalres et à ectomycorhizes

Figure 19. Représentation schématique d'une succession primaire d'espèces végétales colonisant un sol nu, depuis l'installation des premières plantes pionnières sans mycorhizes (à gauche) jusqu'au stade stabilisé d'une forêt d'arbres à ectomycorhizes avec un sous-bois d'Ericacées (à droite).

le sol s'appauvrit en azote et en phosphore minéral

temps



#### OL:+0.5-0.25 cm. OFzo:+0.25-0 cm.

Aca de juxtaposition: 0 - 3 cm. Couleur: brun foncé. Structure: légèrement grumeleuse. Texture: limono argilo-sableux. Porosité: moyenne. Racines: 4/5, petites. Squelette: 10-30%, graviers et cailloux. pH 6, HCI 3/4.

Limite ondulée, transition nette,

JpZ: 3 - 20 cm. Couleur: jaune rouge. Structure: minérale sableuse. Texture: limono-sableux. Porosité: moyenne. Racines: 2/5. Squelette: 50-75%, graviers et cailloux. pH 7, HCI 4/4.

Limite ondulée, transition nette,

Ztc: 20 - 35+ cm. Couleur: rose. Structure: minérale sableuse. Texture: limono-argileux. Porosité: forte. Racines: 0/5. Squelette: 75%, graviers et cailloux. pH 7.5, HCl 4/4.

Racines myco-hétérotrophiques Réseaux mycorrhiziens complexes: le cas de la myco-Monotropa chez parasitant Russula braevipes. Source: https://en.wikipedia.org/wiki/Myc o-heterotrophy

2 cas aux extrêmes

*uniflora* hétérotrophie sur sol évolué en vieille futaie. Chez Monotropa hypopitys, la mycorrhization est entièrement au bénéfice de la plante vasculaire, avec acquisition du carbone en sus des éléments minéraux (parasitisme de l'hôte fongique). Cette stratégie peut être dictée par les conditions d'ombrage marqué et l'abondance du carbone disponible – dans le cas ici d'une hêtraie à sapin mésophile montagnarde (Abieti-Fagetum typicum) du Jura vaudois (Mutrux 1050 m, 09 juillet 2016)

Sols bruts et plantes non-mycorhyziennes: le cas de Biscutella laeviga, Brassicaceae, sur anthroposols bruts et contaminés. La contamination en métaux lourds (Zn<sub>tot</sub>: 55'000-104'000 ppm) inhibe fortement l'activité biologique et l'incorporation de la matière organique (pas d'horizon B), ce que tolèrent les espèces sans mycorhizes. Sol: rendosol à oligomull développé dans un anthroposol artificiel calcaire, sur terril dolomitique riche en Zn et Pb. (Site industriel d'Olkusz, Pologne, 325 m, 24 septembre 2013).

références:

- Garbaye (2013). La symbiose mycorrhizienne.
- Éd. Quae, Versailles
- Polek (2014) Site recovery in the Zn-Pb mine of Olkusz. Master thesis, BGS



P. Vollenweider AEF-Cours 4, page 4/64

l'humus s'accumule



## 4. Colonisation du sol

		proportion cumulée d'esp	èces (%)	proportion d'e	spèces (%	(i) <b>Fig.4.7</b> (métadonnées).
Organisme	Diamètre (µm)		100		30	<ul> <li>a) Profondeur d'enracinement atteinte par les mono- et dicotylédones herbacées forestières et</li> </ul>
racines		20 - 40 -		20		prairiales en Europe centrale et du nord, en pourcentage cumulé d'espèces.
monocotylédones		(T 00-		60 -		<ul> <li>b) Comparaison de la profondeur d'enracinement d'espèces herbacées forestières () et</li> </ul>
racines adventives	110-4200	- 00 - 100 -		100		prairiales. (——)
ramification de premier ordre	230	20 - 120 - 140 -	\	120 - 140 -	épai	ssissement
dicotylédones		160 -		160 - / rac	cinaire p	ériphérique
racines principales	100-4000	200 -		200 - COI	nosum,	en réaction
racines latérales	35-1500	220 - 240 -		220 - 240 -	a la re colo	inisation du
arbres		260 - 280 -		260 -	sub	ostrat (TP1)
racines traçantes	2000-4000	300 -		300 -		
racines courtes	1000-2000	$\frac{320}{>320}$ <b>a</b>		$[320]{r}_{>320}$ <b>b</b>		
racines fines	300-1000			forêt	prairie	
poils absorbants	1-25	nombre d'espèces	575	290 407	243	
Hyphes fongiques		min (cm)	3	497	393 5	
ectomycorrhizes	3-12	max (cm)	615	500	400	80-
AM	2-20	médiane (cm)	50	50	60	
Glomus sp.	<u>&lt;</u> 5	moyenne (cm)	71	73	75	
non symbiotique	1-2					50- 50-
Porosité du sol						
larges pores grossiers	> 50	<b>Fig. 4.13.</b> Effets de compactions expérimentales, après 6				
petits pores grossiers	10-50	jours de traitement, sur l'accroissement racinaire relatif et 20- la morphologie racinaire chez l'orge, en relation avec la				
pores intermédiaires	0.2-10	taille des pores (moyenne <u>+</u> SD; d'après RUSSEL et GRASS 1974). Taille des pores: anneaux: 157 µm:				
pores fins	< 0.2	disques: 69 µm; triangles: 16 µm. 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0				



P. Vollenweider AEF-Cours 4, page 4/66

WSL

#### 4. Enracinement et contraintes environnementales





**Fig. 5.5.** (a) développement mensuel du poids sec de la biomasse racinaire mycorhizienne vivante et morte (0 < 1 mm de diamètre) en relation avec la variation saisonière des précipitations et de la température (b), dans une pessière montagnarde de 90 ans sur sol brun podsolique (Bohême, Tchéquie, 1300 m, d'après KOUCOUREK1992).

Fig. 7. 1. Représentation schématique des formes d'enracinement dans le sols zonaux européens.



référence: Polomski et Kuhn (1998). Wurzelsysteme. Haupt Verlag, Bern. enracinement d'un olivier sur sol méditerranéen profond. Leonidio, Grèce

#### Formes d'enracinement et écologie des espèces

Fig. 7.3. Profil racinaire d'une communauté végétale sur sol sableux dans la plaine du Rhin Supérieur. Les 5 premiers cm. où le sol se déssèche rapidement, ne contiennent pas de racines. Les espèces à enracinement plus ou moins superficiel font partie des espèces à floraison précoce. Les espèces estivales s'enracinent très profondément, là où l'eau disponible leur permet d'achever leur cycle végétatif. (légèrement adapté d'après VOLK 1931). De gauche à droite: Stachys recta (Sr), Erophila verna (Ev), Tortula ruralis (Tr), Corynephorus canescens (Cc), Holosteum umbellatum (Hu), Artemisia campestris (Ac), Erodium cicutarium (Ec), Koeleria glauca (Kg).



#### 4. Les racines des arbres (1): l'architecture racinaire



référence: Polomski et Kuhn (1998). Wurzelsysteme. Haupt Verlag, Bern. bavaroise (Allemagne) sur sols de type pseudogley à humidité partiellement changeante. Précipitations: 800 mm. A. conifères (25-50 ans). B. feuillus 35-38 ans).



### 4. Les racines des arbres (2): morphologie et contraintes environnementales

évolution de l'architecture racinaire de l'épicéa (Picea abies; système racinaire (cm)traçant no. 3) dans des conditions édaphiques toujours plus contraignantes 0 100 5 6 Fig. 10.3. Types de sol: 1) sablo-limoneux, bien drainé; 2) faiblement podsolisé, avec couverture avant tout herbacée (Grasböden); 3) sol sableux; 4) sol gris forestier; 5) sol brun montagnard; 6/7) sol organique (tourbe, marais). système racinaire exclusivement traçant sur sol 200 tourbeux et instabilité résultante des arbres, 3 2 dans une ancienne plantation d'épicéa. Région Bodenarten du Chatzensee, Affoltern/ZH, avril 2020

inhibition de la colonisation par les racines fines des sols hvdromorphes et tempérament des espèces arborescentes



**Fig. 11.3.** Profondeur d'enracinement des racines fines (diamètre: 0,5-2 rnm ) d'épicéas croissant sur sols bruns podsolisés, bien draînés et pauvres en squelette de la Forêt Noire.



proportion des racines fines (%) 0 25 50 75 100 20 -40 -60 -100 -100 -120

**Fig. 11.14.** Profondeur d'enracinement des racines fines (diamètre: 0,5-2 rnm ) d'essences feuillues croissant sur des sols hydromorphes à pseudo-gley,

en Bavière.



P. Vollenweider AEF-Cours 4, page 4/69

 épicéa âgé de 25 ans sur pseudogley, densité 1.7-1.9 gcm-<sup>3</sup>
 Fig. 11.11. Profondeur d'enracinement des racines fines (diamètre: 0,5-2 rnm) d'épicéas croissant sur sols partiellement hydromorphes.
 référence: Polomski et Kuhn (1998). Wurzelsysteme. Haupt Verlag, Bern.

#### 4. Encart no. 24: les anastomoses racinaires: de l'arbre sujet à l'arbre forêt



Groupe de hêtres avec anastomose de leurs systèmes racinaires (Plateau suisse)



Anastomoses inter-spécifiques (flèches) entre un érable plane et un érable sycomore dans une hêtraie du Plateau suisse.

Les arbres d'un peuplement tendent à former un collectif par la formation d'anastomoses reliant les systèmes racinaires d'individus appartenant à une ou plusieurs espèces. Ces fusions de racines permettent des échanges de nutriments et d'assimilats entre les arbres, indépendamment de l'espèce. Cette collectivisation végétale assure un meilleur partage des ressources édaphiques et restreint la concurrence intra- et interspécifique. Elle a un effet bénéfique à l'échelle du peuplement, en augmentant la stabilité globale de la strate arborée, particulièrement dans le cas de conditions stationnelles limitantes et de sols superficiels.

Quelques faits caractéristiques des anastomoses racinaires:

- interconnexion typiquement de 2-11 arbres
- plus grande fréquence chez les arbres à enracinement traçant
- fréquence variable d'une espèce d'arbre à l'autre; les anastomoses sont particulièrement fréquentes chez le sapin blanc

• augmentation de la fréquence des anastomoses avec l'âge du peuplement

• plus grande fréquence sur les sols superficiels.

Souche de sapin blanc alimentée, après abattage, par ses anastomoses racinaires avec les arbres avoisinants (Plateau suisse)

référence: Polomski et Kuhn (1998). Wurzelsysteme. Haupt Verlag, Bern.





Distribution et fréquence des anastomoses racinaires (flèches) dans une pinède du sud de la Russie.



### 4. Références

**Remarque :** les micrographies non référencées proviennent des activités de recherche passées et en cours de notre laboratoire de microscopie au WSL.

#### Principaux ouvrages et articles de référence utilisés:

Agerer, R., 2001. Exploration types of ectomycorrhizae. A proposal to classify ectomycorrhizal mycelial systems according to their patterns of differentiation and putative ecological importance. Mycorrhiza 11, 107-114.

Deysson, G., 1978. Organisation et classification des plantes vasculaires. Sedes, Paris.

Egli, S., Brunner, I., 2002. Les mycorhizes. Notice pour le praticien ISSN 1012-6554. WSL, CH8903 Birmensdorf.

Eschrich, W., 1995. Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer, Berlin.

Garbaye, J., 2013. La symbiose mycorhizienne. Une symbiose entre les plantes et les chambpignons. Éditions Quae, Versailles

Gunning, B.E.S., Steer, M.W., 1996. Plant cell biology. Jones & Bartlett Publishers, Sundbury Massachusetts.

Lüttge, U., Kluge, M., Bauer, G., 2002. Botanique 3. édition. Éditions Tec et Doc / Lavoisier.

Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press. Harcourt Brace & Company, Publishers, London.

Polek, M., 2014. Site recovery in the Zn-Pb mine of Olkusz, Poland, as shown by changes in the soil properties, nematode communities and plant tolerance. Maîtrise universitaire ès Sciences en biogéosciences, Université de Lausanne.

Polomski, J., Kuhn, N., 1998. Wurzelsysteme. Paul Haupt Verlag, Bern.

Whiteside, M.D., Treseder, K.K., Atsatt, P.R., 2009. The brighter side of soils: quantum dots track organic nitrogen through fungi and plants. Ecology 90, 100-108.

