



An integrated plant-microbe mechanistic model based on *Populus-Laccaria bicolor* interaction. (1) Transcriptional mechanisms leading to MiSSP synthesis and secretion in *L. bicolor*, (2) Early partner recognition steps involving a mannose-lectin receptor kinase and yet unknown ligands, (3) Secretion and cellular uptake of MiSSPs, such as MiSSP7, (4) In planta interactions between MiSSPs and hormone receptors and transcriptional activators, followed by activation/repression of signaling pathways and alterations in host transcriptome. This finely tuned crosstalk leads to symbiosis development

## Elucidating the Role(s) of Effector-like proteins in the ectomycorrhizal Symbiosis

Responsable scientifique : Claire VENAULT-FOURREY, 1136 Interactions Arbres-Microorganismes

Collaborations : OakRidge National Laboratory (*Plant Microbe Interfaces project*)

**Contexte** — Les symbioses ectomycorhiziennes s'établissent entre les racines des arbres et les hyphes du sol. Elles sont essentielles pour la santé des arbres et par conséquent pour la durabilité des écosystèmes forestiers. En échange de carbone, les champignons ectomycorhiziens améliorent la nutrition minérale de l'arbre. Pour faciliter les échanges nutritifs, la morphologie racinaire est modifiée pour former un organe mixte, l'ectomycorhize. Les signaux échangés par les deux partenaires (arbres et champignons) pour promouvoir et établir la symbiose sont encore largement méconnus. Néanmoins, il a été montré récemment que des petites protéines fongiques sécrétées (MiSSPs) sont au cœur de ce dialogue moléculaire. Ces protéines ont aussi été appelées effecteurs par analogie avec les effecteurs d'agents phytopathogènes, capables de moduler le métabolisme et/ou la l'immunité de la plante hôte.

**Objectifs** — Etudier le(s) rôle(s) des petites protéines effecteurs et des voies de signalisation hormonales ciblées par ces molécules pour modifier le métabolisme/l'immunité de la plante hôte

**Démarche** — Nous proposons (i) d'appréhender la diversité des secrétome à l'échelle génomique de différent champignons (ii) d'élucider les processus cellulaires ciblés par des effecteurs fongiques utilisant une approche multidisciplinaire et (iii) d'identifier des effecteurs fongiques capables de cibler les récepteurs d'hormone ou la voie de signalisation hormonale médiée par l'acide salicylique (AS) et l'acide gibberelique (AG).

**Résultats marquants** — (présentés sous forme de puces séparées)

- Les secrétomes des champignons ectomycorhiziens sont caractérisés par un nombre restreint de CAZymes sécrétés, mais le nombre de gènes codant les lipases et protéases sécrétées est similaire à celui de champignons saprotrophes.
- Les secrétomes des champignons ectomycorhiziens sont enrichis en gènes codant des SSPs (Petites Protéines Sécrétées) en comparaison avec les autres espèces. La plupart de ces gènes sont des gènes orphelins et les protéines ne contiennent pas de domaine PFAM connus ou de similarités avec des protéines connues.

- Des SSPs spécifiques et des SSPs spécifiques de chaque mode de vie (ECM, saprotrophes) ont été identifiées.
- L'interaction entre l'effecteur de *Laccaria bicolor* MiSSP7 avec la protéine de Peuplier PtJAZ6 stabilise cette dernière.
- La protéine PtJAZ6 interagit avec plusieurs facteurs de transcription, activateurs ou répresseurs (PtMYC2.1, PtMYC2.2 and PtJAM1), et la protéine TOPLESS.
- La protéine PtJAZ6 interagit en double hybride avec la protéine DELLA, un récepteur de la voie de signalisation dépendante de l'acide gibbéréllique.

#### **Principales conclusions incluant des points-clés de discussion —**

(i) Nos résultats démontrent que la présence de SSPs n'est pas limitée aux champignons interagissant avec des plantes vivantes. En effet, les génomes de champignons saprotrophes contiennent également de nombreux gènes codant des SSP. Ces résultats supportent le concept de continuum entre les champignons saprophytes et les champignons ECM. Le fait que les génomes des champignons ECM soient enrichies en SSP par rapport aux génomes de champignons avec d'autres modes de vie, pourrait refléter la conservation de SSP à partir d'ancêtre saprotrophes et l'expansion de SSPs spécifiques à la symbiose et requises l'établissement et le fonctionnement de la symbiose.

(ii) Le complexe protéique incluant PtJAZ6 est très similaire à celui identifié chez la plante modèle *Arabidopsis thaliana*, suggérant des voies de régulation conservées au cours de l'évolution.

#### **Perspectives —**

(i) Les génomes de champignon ECM partagent des Les SSPs spécifiques au mode vie ectomycorhizien et partagés par les champignons ECMs constituent de bons candidats pour de nouvelles analyses fonctionnelles.

(ii) Il reste à identifier les gènes cibles des régulateurs transcriptionnels interagissant avec PtJAZ6. Il reste aussi à déterminer sur l'inhibition de la voie de signalisation médiée par l'AJ a un effet de longue durée et si une réponse systémique est aussi perçue dans les feuilles par exemple.

#### **Valorisation —**

##### *Publications :*

Clement Pellegrin, Emmanuelle Morin, Francis Martin and Claire Veneault-Fourrey (2015). Comparative Analysis of Secretomes from Ectomycorrhizal Fungi with an Emphasis on Small-Secreted Proteins. *Frontiers in Microbiology* (section Plant-Microbe Interactions) 6: 1278.

##### *Chapitre d'ouvrage :*

Yohann Daguerre, Jonathan Plett and Claire Veneault-Fourrey. (2016, in press) Signalling pathways driving the development of ectomycorrhizal symbiosis. Section Cellular, genetic and molecular mechanisms in the establishment of mycorrhizal symbioses. *The Molecular Mycorrhizal Symbiosis*. Wiley-Blackwell; John Wiley & Sons, Inc

##### *Présentation lors de conférences :*

Veneault-Fourrey C, Daguerre Y, Pellegrin C, Zhang F, Schellenberger R, Kohler A, Martin F. Mutualistic ectomycorrhizal fungus: a delicate edge between saprotrophic and biotrophic plant-pathogenic fungi ? (3-6 Avril 2016) 13th European Conference of Fungal Genetics, Paris

Jonathan M. Plett, Yohann Daguerre, Sebastian Wittulsky, Romain Schellenberger, Annegret Kohler, Claire Veneault-Fourrey\* and Francis Martin. 36th New Phytologist Symposium. Cell biology at the plant-microbe interface (29 nov-01 Dec 2015, Munich) How mutualistic fungi are taking the control over jasmonic-acid signaling ?

Claire Veneault-Fourrey, Yohann Daguerre, Romain Schellenberger, Sebastian Wittulky, Jonathan Plett, Francis Martin INRA/UPSC/CRAG meeting on Plant Integrative Biology (6-8 oct 2015 ; INRA-Nancy, France) JAZ proteins in poplar roots: a checkpoint for establishment of mutualistic interactions?

#### **Effet levier du projet —**

Ce projet a permis de soutenir l'avancement du projet international dont nous sommes partenaires (Plant-Microbes Interfaces) et a posé les bases d'une thèse financée par le projet LABEX COHABIT de 2016 à 2019.