

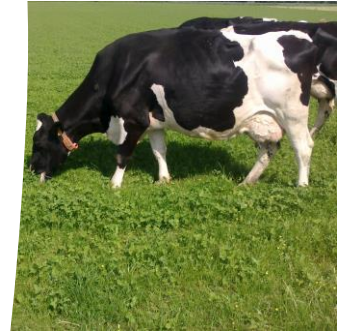
Mécanismes d'établissement des symbioses entre légumineuses et microorganismes: aspects fondamentaux et appliqués



Jean-Michel Ané,
Université du Wisconsin-Madison
États-Unis d'Amérique

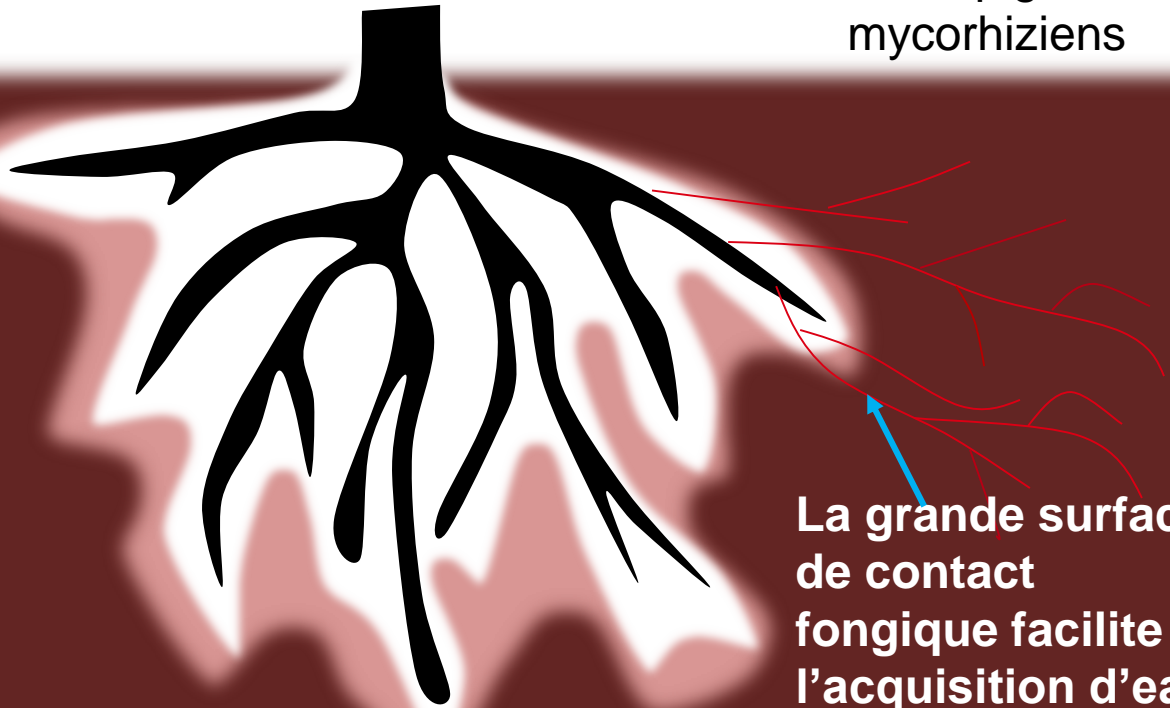


THE UNIVERSITY
of
WISCONSIN
MADISON



Mutualismes entre plantes et microorganismes

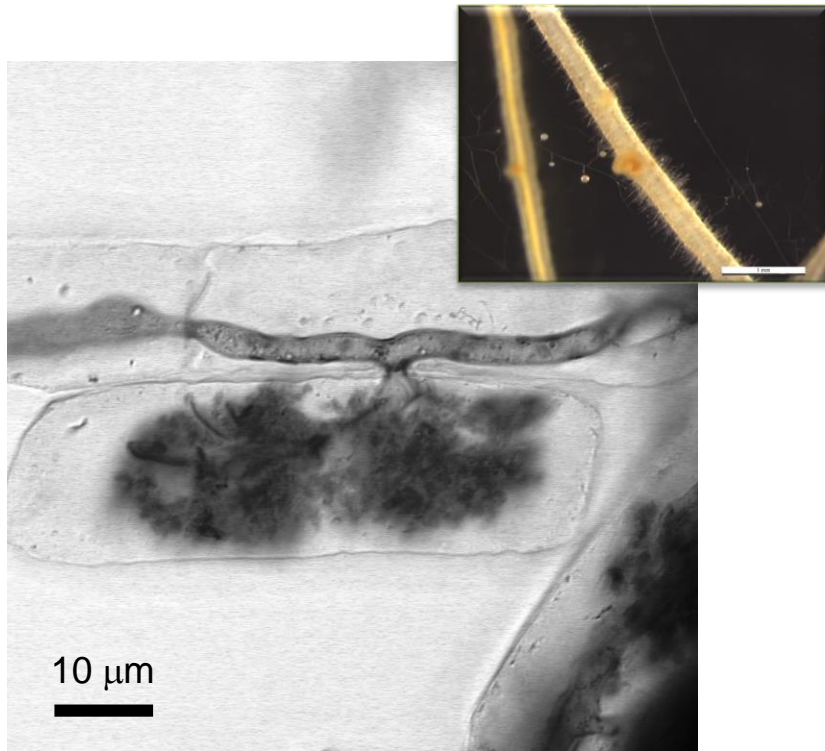
La plupart des
plantes terrestres
Champignons
mycorhiziens



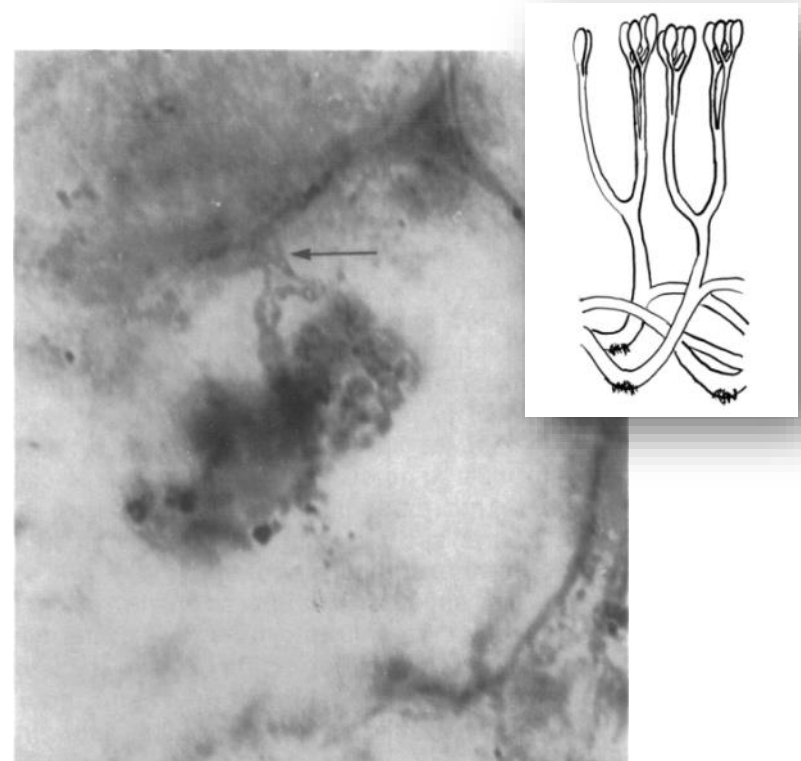
La grande surface
de contact
fongique facilite
l'acquisition d'eau
et de nutriments

La symbiose mycorhizienne à arbuscules est ancienne et très répandue

Arbuscule dans une cellule racinaire de carotte (endosymbiose)



Champignon mycorhizien de 400 million d'années dans un fossile de plante du Dévonien, *Aglaophyton major*



Remy et al., 1994

Mutualismes entre plantes et microorganismes

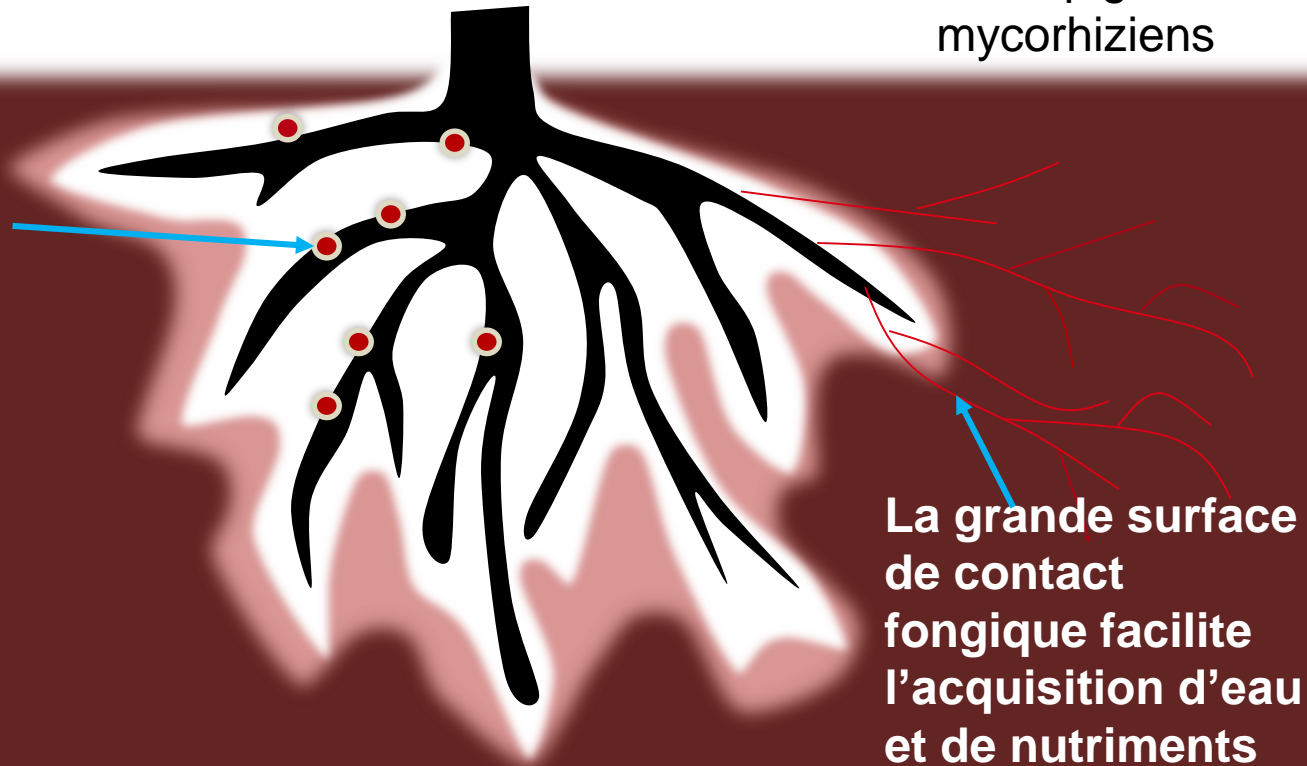
Quelques plantes

Bactéries fixatrices d'azote

La plupart des plantes terrestres

Champignons mycorhiziens

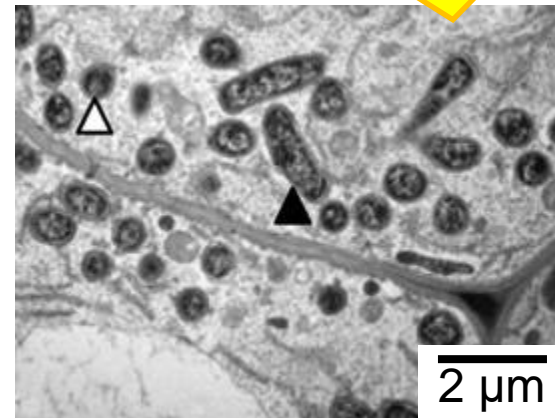
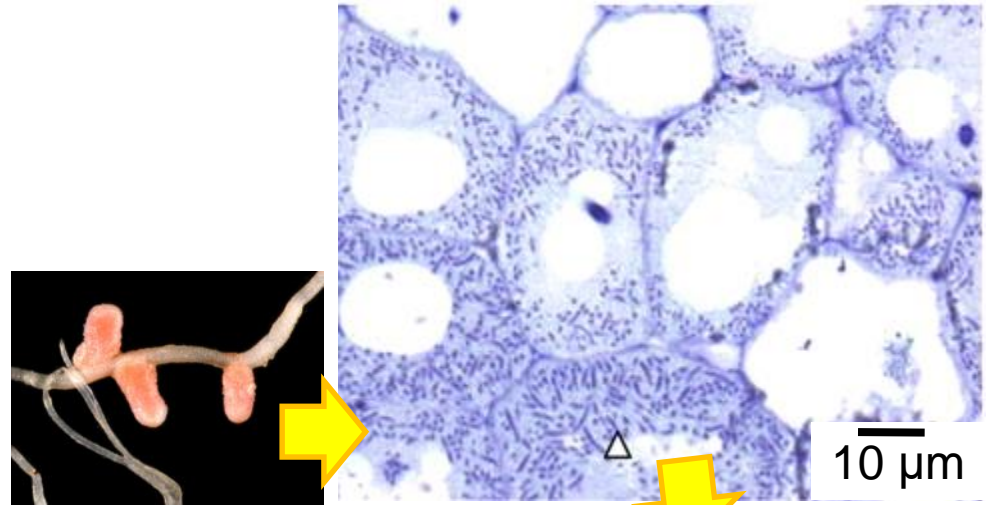
Les nodosités contenant les bactéries facilitent la fixation d'azote



La grande surface de contact fongique facilite l'acquisition d'eau et de nutriments

Nodosités racinaires

- Les bactéries dans les cellules de la nodosité bénéficient de:
 - Une grande surface de contact avec la plante qui facilite les échanges
 - Une source abondante de carbone
 - Des taux d'oxygène faibles qui permettent à la fois la respiration et l'activité de la nitrogénase
- Organogénèse du nodosité
- Deux types de bactéries
 - Rhizobiums (proteobactéries) principalement avec des légumineuses (Fabales)
 - Frankia (actinobactéries) avec des Fagales, Cucurbitales et Rosales



Bacteroides
dans une
cellule de
nodosité

Mutualismes entre plantes et microorganismes

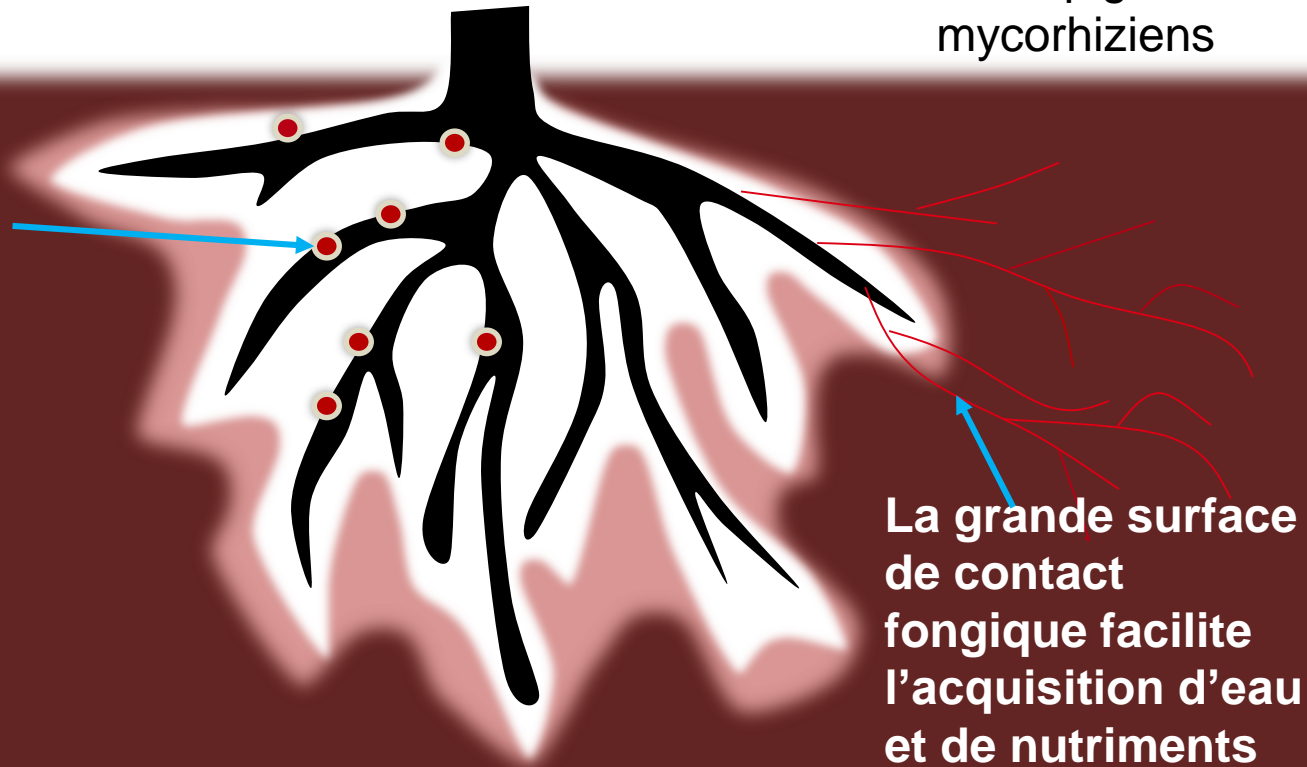
Quelques plantes

Bactéries fixatrices d'azote

La plupart des plantes terrestres

Champignons mycorhiziens

Les nodosités contenant les bactéries facilitent la fixation d'azote



La grande surface de contact fongique facilite l'acquisition d'eau et de nutriments

Importance agronomique des symbioses microbiennes

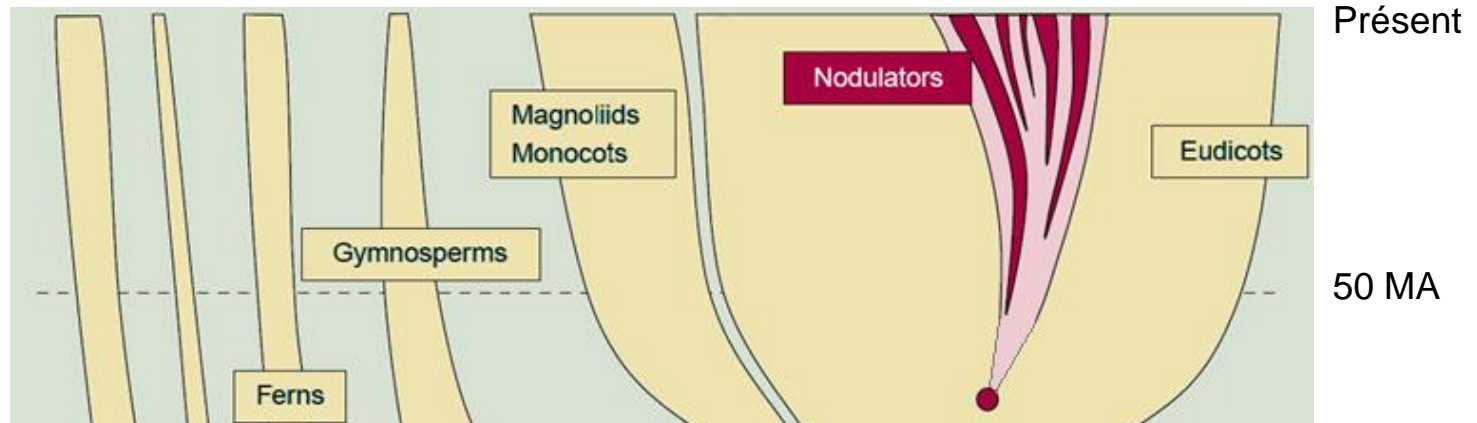


Department of
Agronomy

COLLEGE OF AGRICULTURAL & LIFE SCIENCES - UNIVERSITY OF WISCONSIN



Une histoire évolutive commune



Proc. Natl. Acad. Sci. USA
Vol. 92, pp. 2647–2651, March 1995
Evolution

Chloroplast gene sequence data suggest a single origin of the predisposition for symbiotic nitrogen fixation in angiosperms

DOUGLAS E. SOLTIS*, PAMELA S. SOLTIS*, DAVID R. MORGAN†, SUSAN M. SWENSEN‡, BETH C. MULLIN§, JULIE M. DOWD¶, AND PETER G. MARTIN¶||

*Department of Botany, Washington State University, Pullman, WA 99164-4238; †Department of Biology, Western Washington University, Bellingham, WA 98225; ‡Department of Biology, Indiana University, Bloomington, IN 47405; §Department of Botany, Center for Legume Research, University of Tennessee, Knoxville, TN 37996; and ¶Department of Botany, University of Adelaide, Adelaide, South Australia 5005, Australia

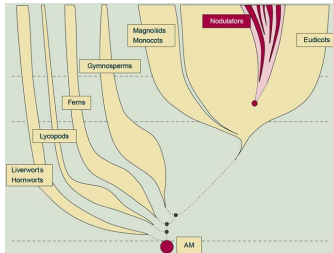
Communicated by Michael T. Clegg, University of California, Riverside, CA, November 14, 1994



Adapté de Kistner et Parniske, 2002



Mécanismes d'établissement des symbioses



Evolution de la symbiose rhizobium-légumineuses



Développement de nouvelles symbioses



Mécanismes d'établissement des symbioses

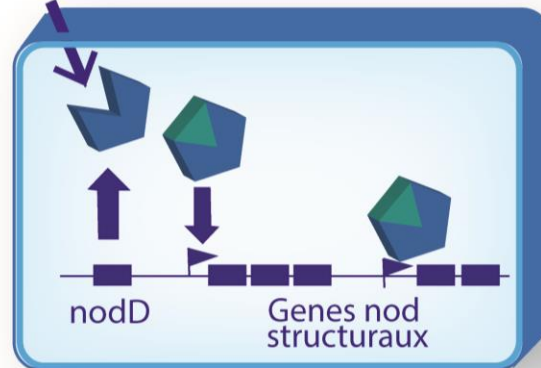
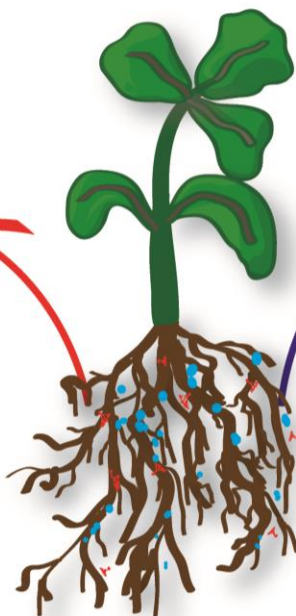
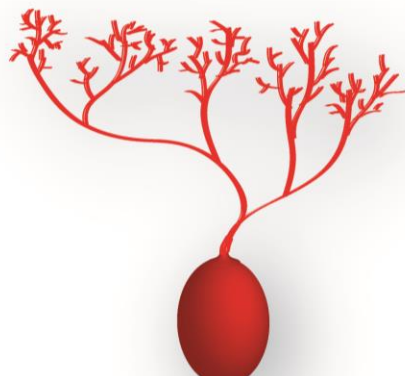
CHAMPIGNONS MYCORHIZENS A ARBUSCULES

PLANTE HOTE

RHIZOBIUMS

Strigolactones

Flavonoïdes
Isoflavonoïdes

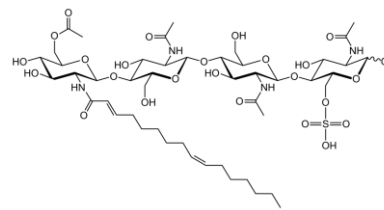
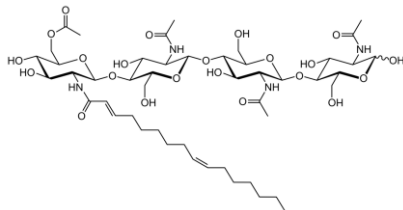


Colonisation

Colonisation
Développement nodulaire

Facteurs Myc

Facteurs Nod



Symbiose mycorhizienne à arbuscules

Symbiose rhizobium - légumineuses

Reconnaissance

Colonisation

Organogénèse

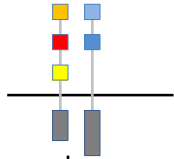


Facteurs Myc
(LCOs et COs)

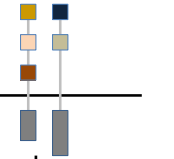


Facteurs Nod
(LCOs)

Récepteurs
facteurs Myc



Récepteurs
facteurs Nod



Voie
Symbiotique
Commune

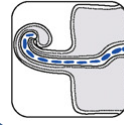


Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de
transcription

Voie
Symbiotique
Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques

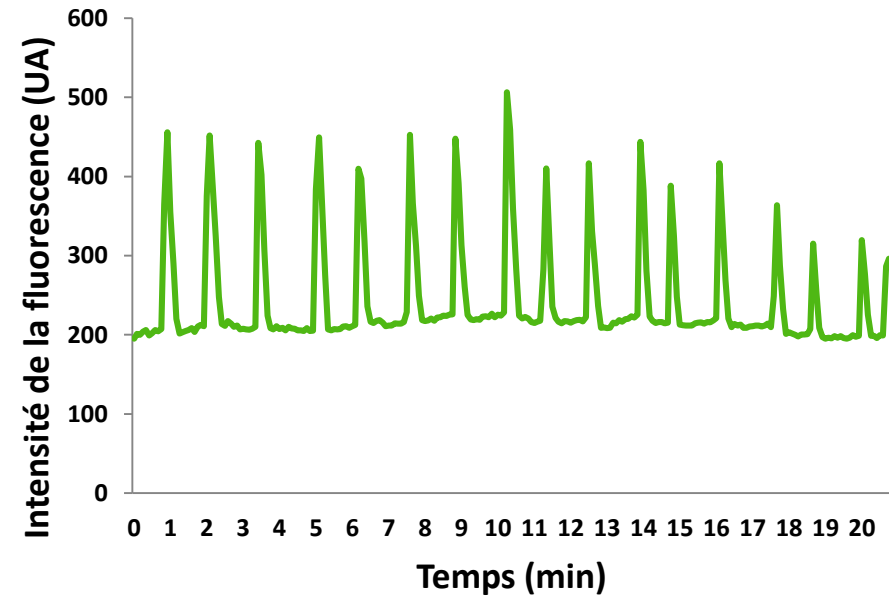
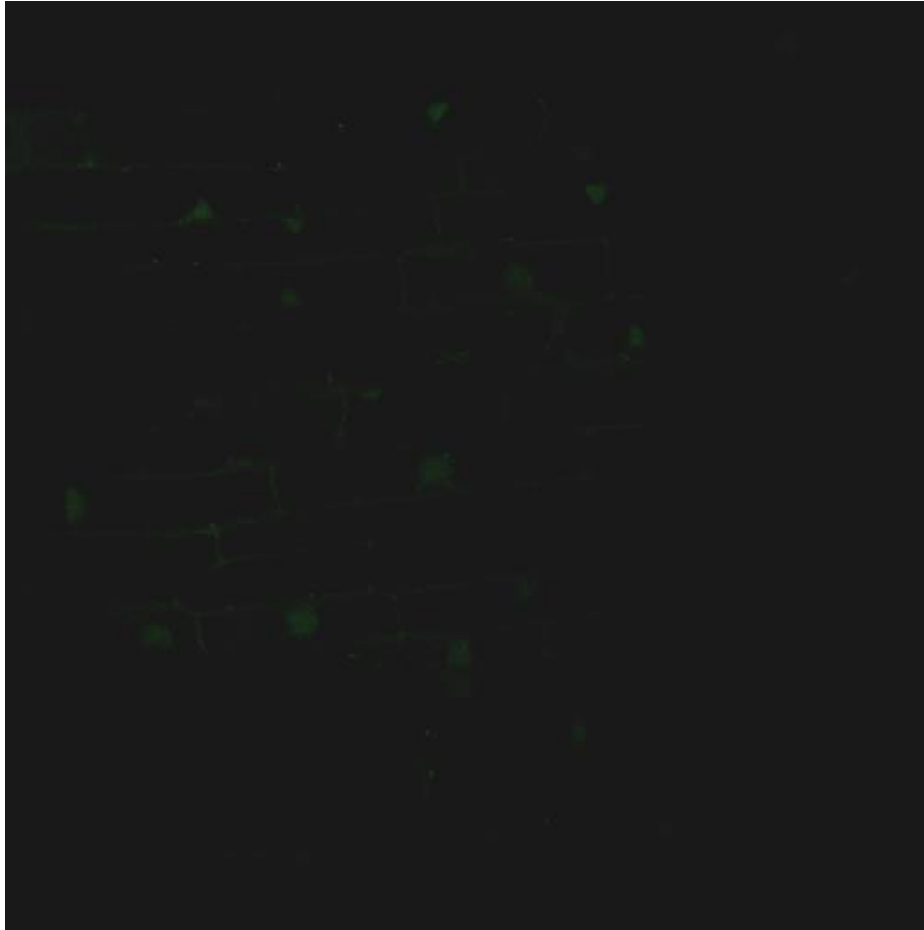


Décodeur CCaMK
Facteurs de
transcription

Plant hôte mycorhizienne

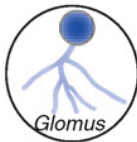
Légumineuses

Oscillations calciques nucléaires et peri-nucléaires



Imagerie du calcium nucléaire
grâce au senseur NLS-GECO

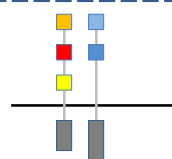
Symbiose mycorhizienne à arbuscules



Facteurs Myc (LCOs et COs)

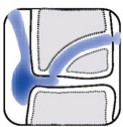
Reconnaissance

Récepteurs facteurs Myc



Colonisation

Voie Symbiotique Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

Organogénèse

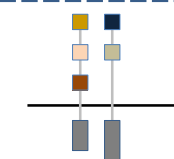
Plant hôte mycorhizienne

Symbiose rhizobium - légumineuses

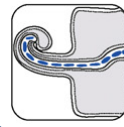


Facteurs Nod (LCOs)

Récepteurs facteurs Nod



Voie Symbiotique Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

NIN



Récepteur LHK1
Expression génique Organogénèse

Légumineuses

Développement de racines latérales

Homologues de NIN (NLP)

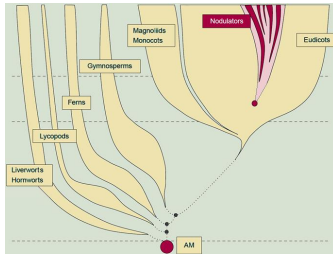


Récepteurs LHK
Expression génique Organogénèse

Angiospermes

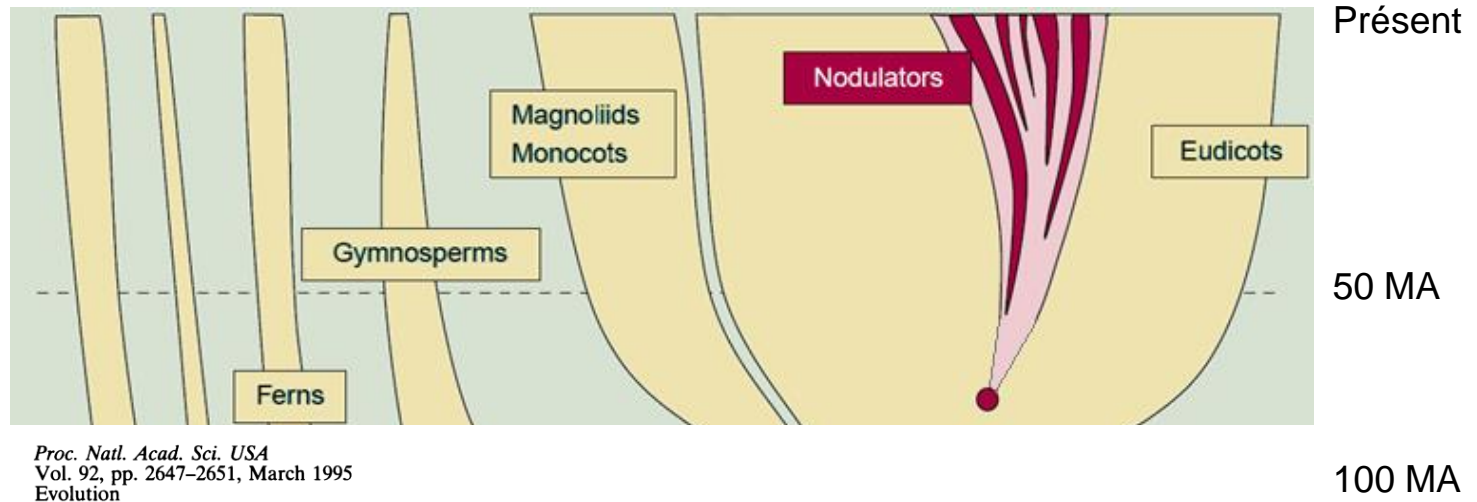


Mécanismes d'établissement des symbioses



Evolution de la symbiose rhizobium-légumineuses

Une histoire évolutive commune



Chloroplast gene sequence data suggest a single origin of the predisposition for symbiotic nitrogen fixation in angiosperms

DOUGLAS E. SOLTIS*, PAMELA S. SOLTIS*, DAVID R. MORGAN†, SUSAN M. SWENSEN‡, BETH C. MULLIN§, JULIE M. DOWD¶, AND PETER G. MARTIN¶||

*Department of Botany, Washington State University, Pullman, WA 99164-4238; †Department of Biology, Western Washington University, Bellingham, WA 98225; ‡Department of Biology, Indiana University, Bloomington, IN 47405; §Department of Botany, Center for Legume Research, University of Tennessee, Knoxville, TN 37996; and ¶Department of Botany, University of Adelaide, Adelaide, South Australia 5005, Australia

Communicated by Michael T. Clegg, University of California, Riverside, CA, November 14, 1994



Adapté de Kistner et Parniske, 2002

Hypothèse depuis 20 ans: une prédisposition suivie d'origines indépendantes de la nodulation

ARTICLE

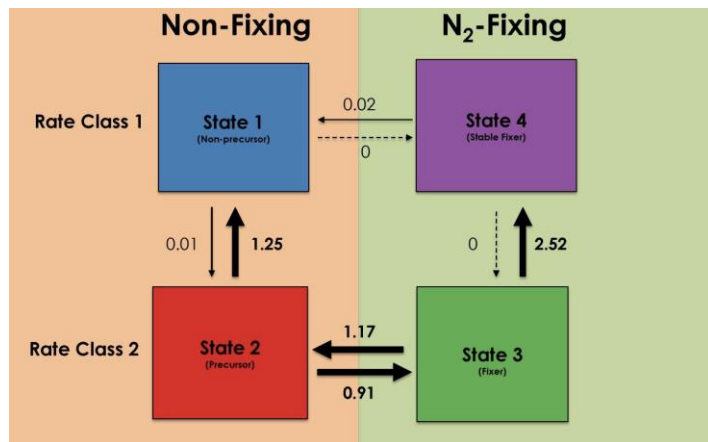
Received 4 Feb 2014 | Accepted 9 May 2014 | Published 10 Jun 2014

DOI: 10.1038/ncomms5087

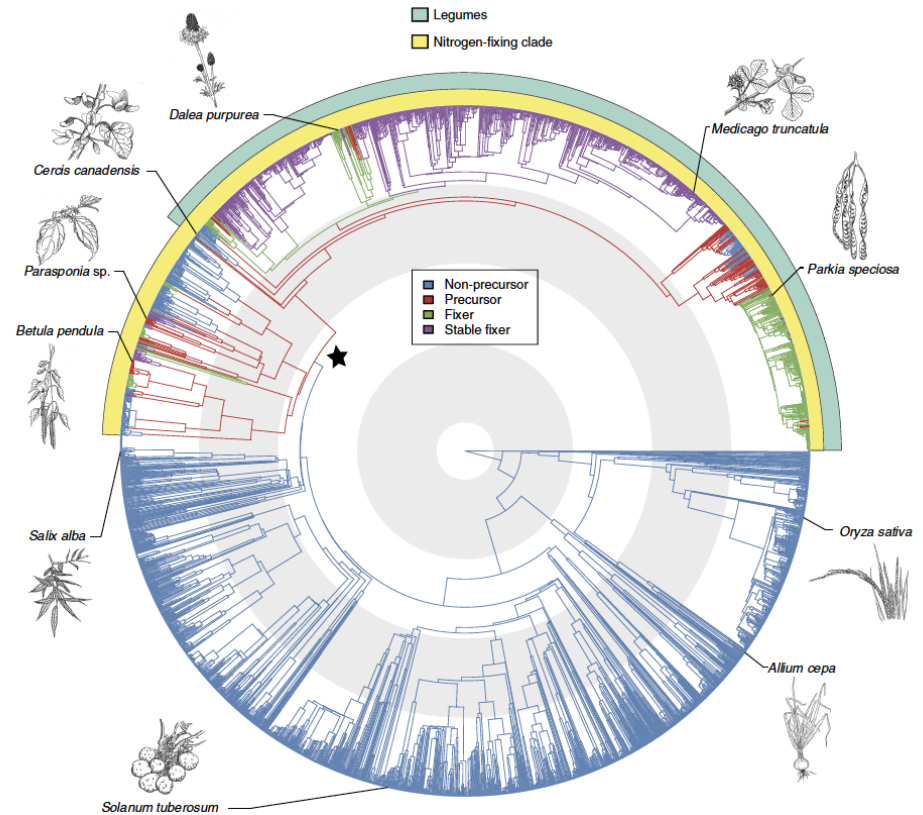
OPEN

A single evolutionary innovation drives the deep evolution of symbiotic N₂-fixation in angiosperms

Gijsbert D.A. Werner¹, William K. Cornwell^{1,†}, Janet I. Sprent², Jens Kattge^{3,4} & E. Toby Kiers¹

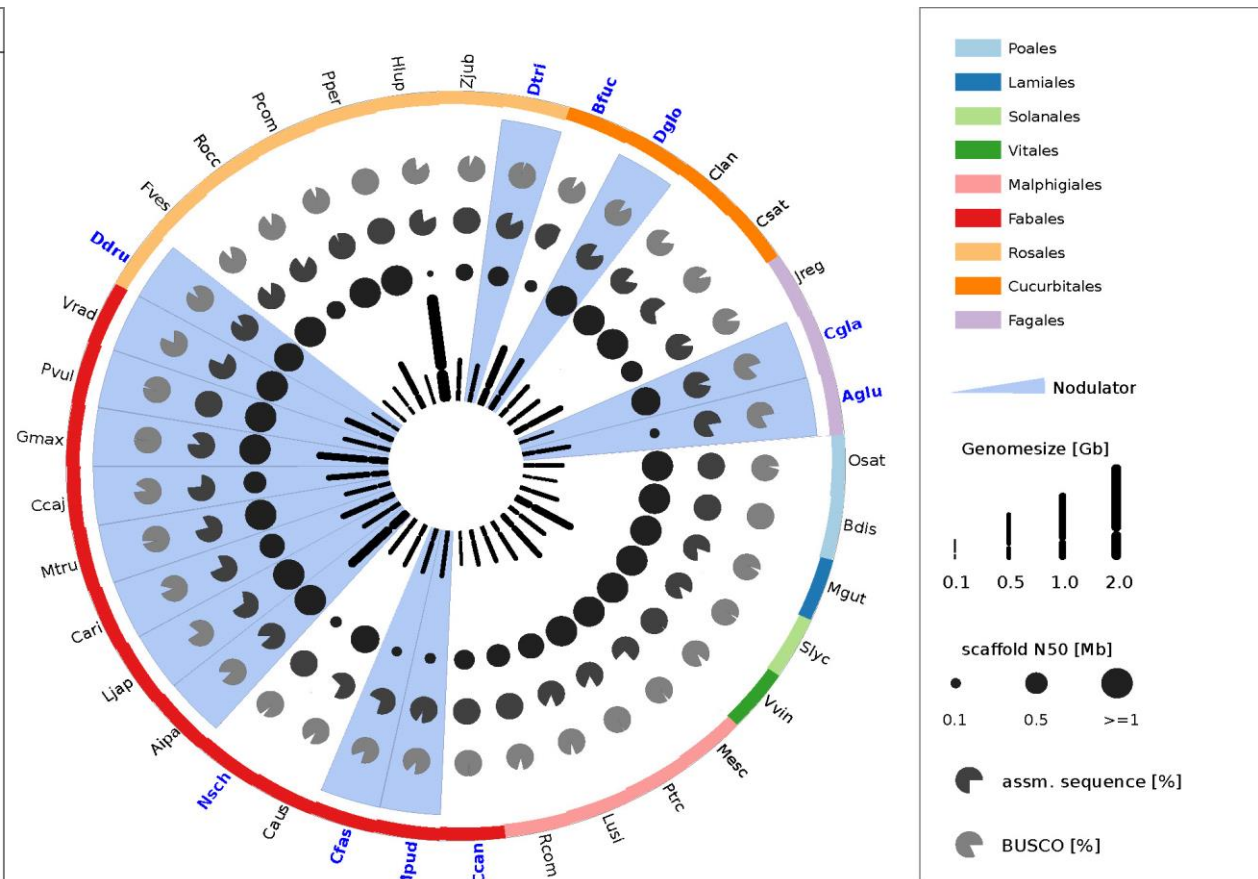


Werner *et al.*, 2014

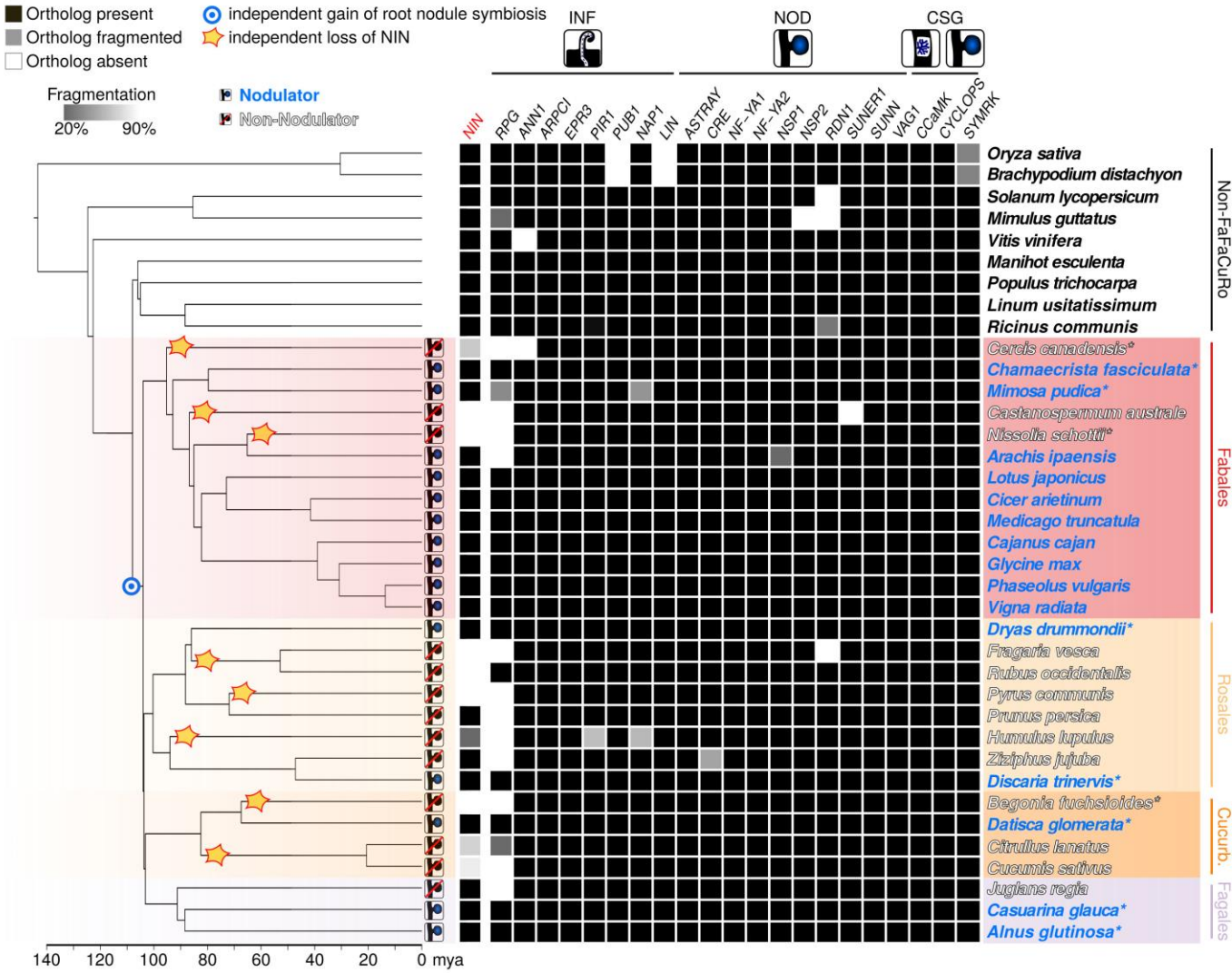


Séquençage de nouveaux génomes dans la clade FaFaCuRo

Species abbreviation	
Osat	Oryza sativa
Bdis	Brachypodium distachyon
Mgut	Mimulus guttatus
Slyc	Solanum lycopersicum
Vvin	Vitis vinifera
Mesc	Manihot esculenta
Ptrc	Populus trichocarpa
Lusi	Linum usitatissimum
Rcom	Ricinus communis
Ccan	Cercis canadensis
Mpud	Mimosa pudica
Cfas	Chamaecrista fasciculata
Caus	Castanospermum australe
Nsch	Nissolia schottii
Aipa	Arachis ipaensis
Ljap	Lotus japonica
Cari	Cicer arietinum
Mtru	Medicago truncatula
Ccaj	Cajanus cajan
Gmax	Glycine max
Pvul	Phaseolus vulgaris
Vrad	Vigna radiata
Ddru	Dryas drummondii
Fves	Fragaria vesca
Rocc	Rubus occidentalis
Pcom	Pyrus communis
Pper	Prunus persica
Hlup	Humulus lupulus
Zjub	Ziziphus jujuba
Dtri	Discaria trinervis
Bfuc	Begonia fuchsoides
Dglo	Datisca glomerata
Clan	Citrullus lanatus
Csat	Cucumis sativus
Jreg	Juglans regia
Cgla	Casuarina glauca
Aglu	Alnus glutinosa

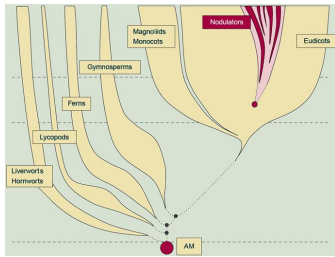


Pertes répétées de *NIN* et *RPG* dans les espèces non-nodulatrices de la clade FaFaCuRo





Mécanismes d'établissement des symbioses

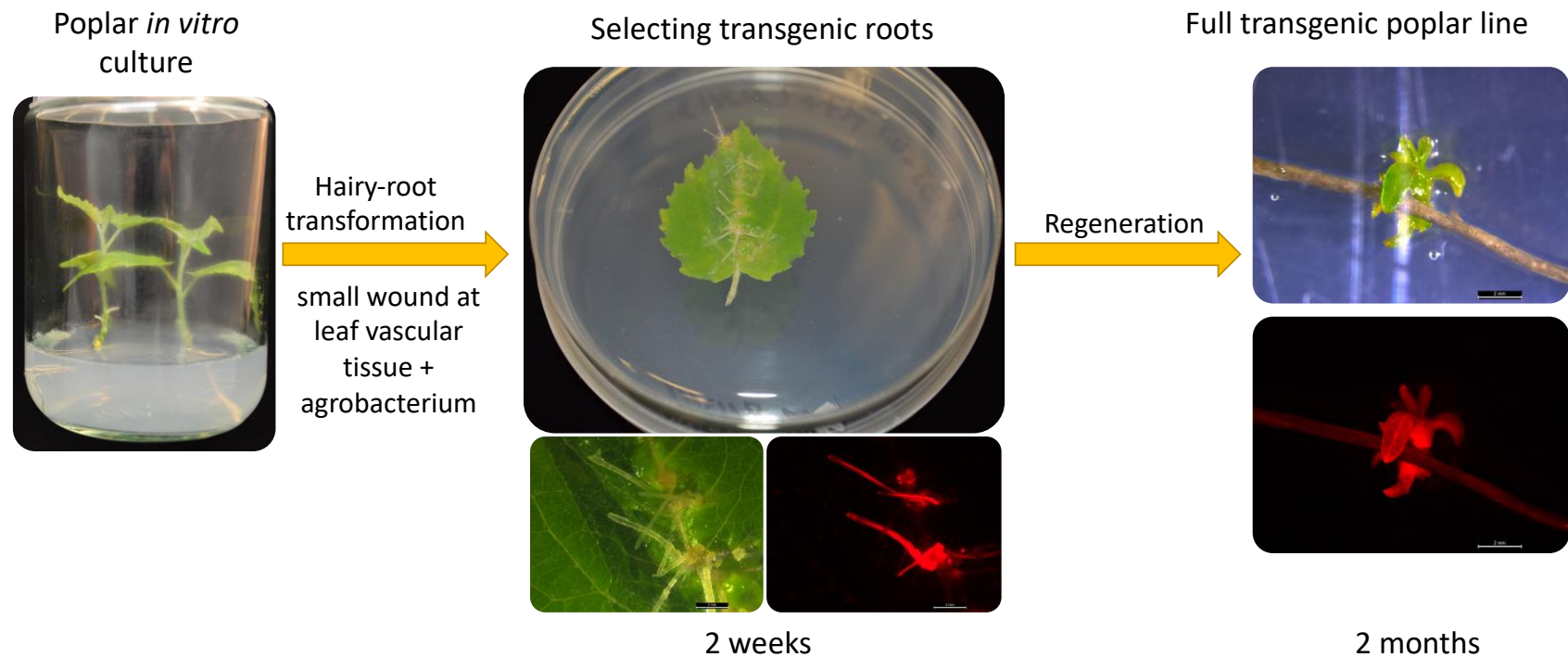


Evolution de la symbiose rhizobium-légumineuses

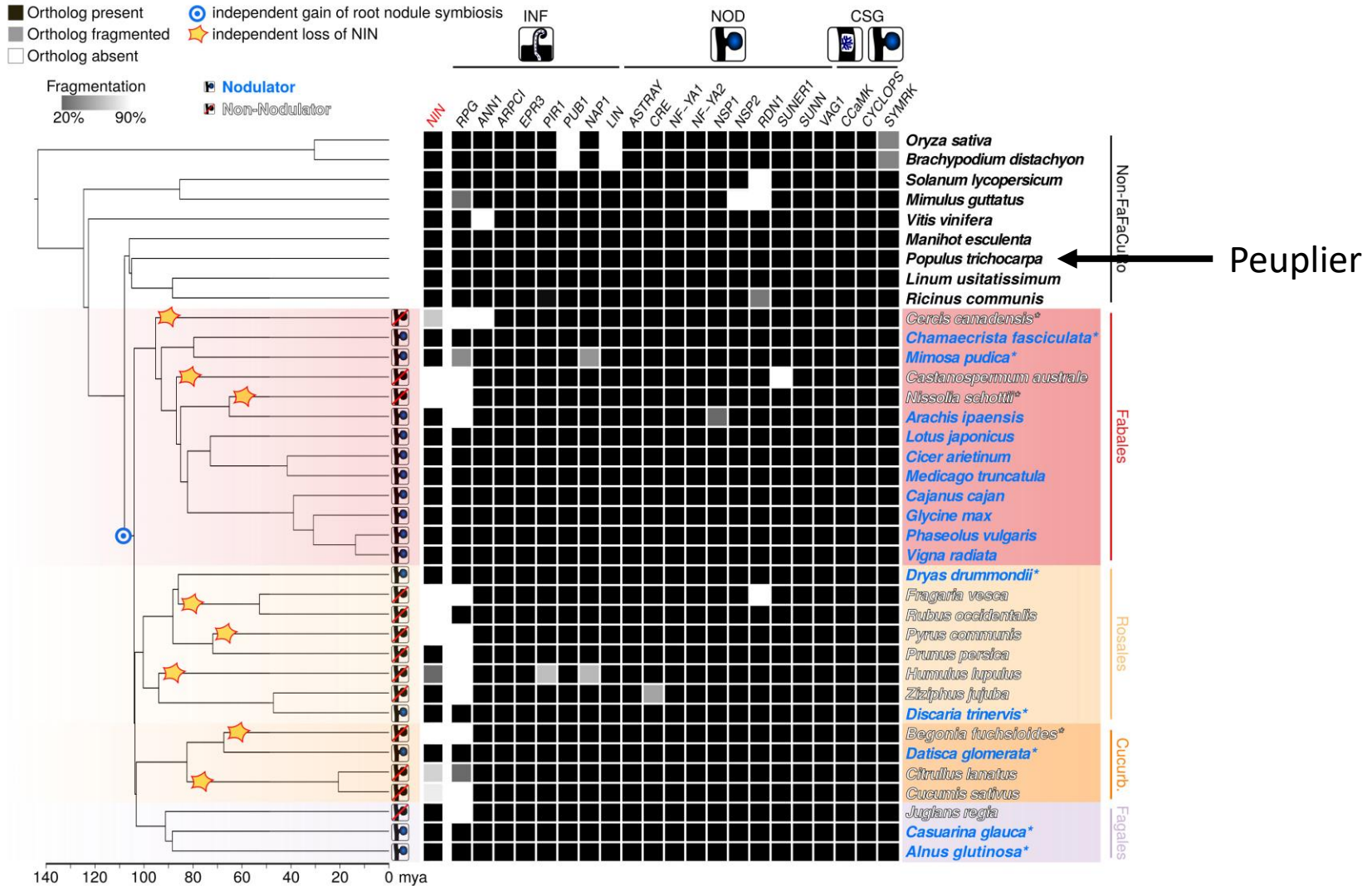


Développement de nouvelles symbioses

Le peuplier comme modèle génétique



Le peuplier contient tous les gènes connus requis pour la nodulation



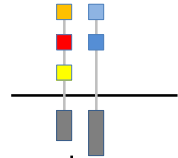
Symbiose mycorhizienne à arbuscules



Facteurs Myc (LCOs et COs)

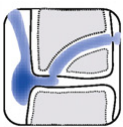
Reconnaissance

Récepteurs facteurs Myc



Colonisation

Voie Symbiotique Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

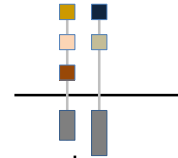
Peuplier

Symbiose rhizobium - légumineuses

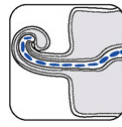


Facteurs Nod (LCOs)

Récepteurs facteurs Nod



Voie Symbiotique Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

Peuplier

Développement de racines latérales

Organogénèse

Homologues de NIN (NLP)



Récepteurs LHK
Expression génique
Organogénèse

Peuplier

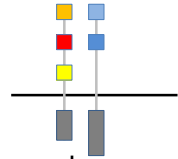
Symbiose mycorhizienne à arbuscules



Facteurs Myc (LCOs et COs)

Reconnaissance

Récepteurs facteurs Myc



Colonisation

Voie Symbiotique Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

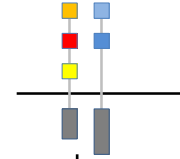
Peuplier

Symbiose rhizobium - légumineuses

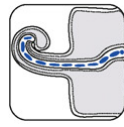


Facteurs Myc (LCOs)

Récepteurs facteurs Myc



Voie Symbiotique Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

Peuplier

Développement de racines latérales

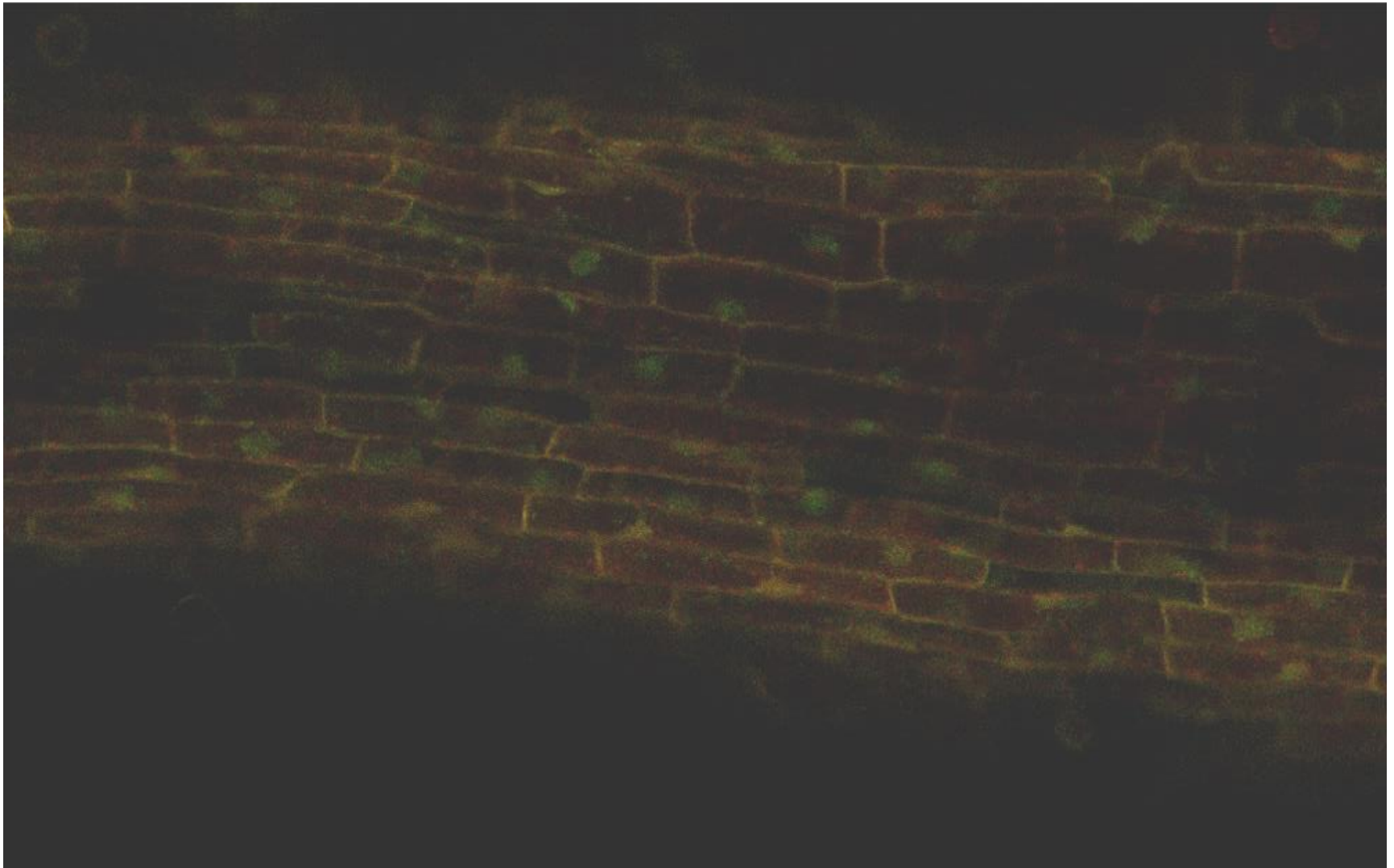
Organogénèse

Homologues de NIN (NLP)



Récepteurs LHK
Expression génique
Organogénèse

Peuplier



Racines de *Populus tremula x alba* exprimant un senseur NLS-G-GECO et inoculée avec *Rhizobium* sp. IRBG74 sur-exprimant *nodD2*

Symbiose mycorhizienne à arbuscules

Symbiose rhizobium - légumineuses

Développement de racines latérales

Reconnaissance

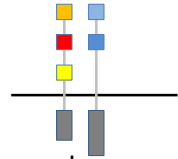


Facteurs Myc (LCOs et COs)

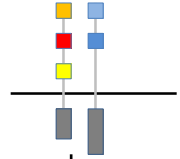


Facteurs Myc (LCOs)

Récepteurs facteurs Myc

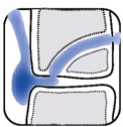


Récepteurs facteurs Myc



Colonisation

Voie Symbiotique Commune

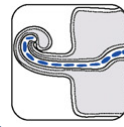


Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

Voie Symbiotique Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

Organogénèse

Homologues de NIN (NLP)



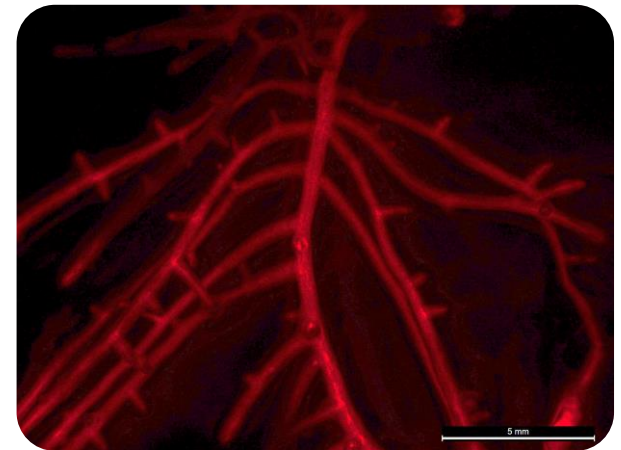
Récepteurs LHK
Expression génique
Organogénèse

Peuplier

Peuplier

Peuplier

***PtNIN2b* contrôle la formation d'organes racinaires latéraux chez le peuplier**



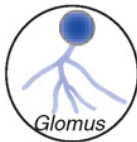
Racines transgéniques de peuplier exprimant des facteurs de transcription NIN sous contrôle du promoteur *AtUbi10* d'*Arabidopsis thaliana*

Symbiose mycorhizienne à arbuscules

Symbiose rhizobium - légumineuses

Développement de racines latérales

Reconnaissance

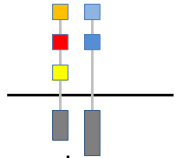


Facteurs Myc (LCOs et COs)

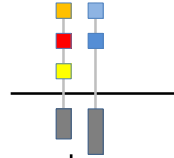


Facteurs Myc (LCOs)

Récepteurs facteurs Myc

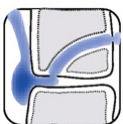


Récepteurs facteurs Myc



Colonisation

Voie Symbiotique Commune

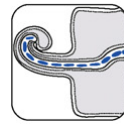


Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

Voie Symbiotique Commune



Corécepteur NORK
Oscillations calciques



Décodeur CCaMK
Facteurs de transcription

Organogénèse

NIN



Récepteur LHK1
Expression génique Organogénèse

Homologues de NIN (NLP)

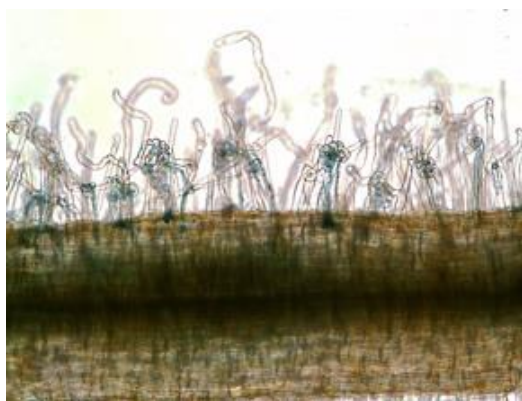


Récepteurs LHK
Expression génique Organogénèse

Peuplier

Peuplier

Peuplier



Recherche en cours

Colonisation intracellulaire du peuplier

Organogénèse de nodosités chez le peuplier

Transfer de la symbiose rhizobium-légumineuses chez les céréales

Remerciements

<http://anelab.wisc.edu/>

Equipe Ané

(Matthew Crook)

Dhileepkumar Jayaraman

Vânia Pankievicz

Junko Maeda

Shane Bernard

Michelle Keller-Pearson

Marian Lund

Anthony Bortolazzo

Zachary Keyser

Kevin Cope

Thomas Irving

Lucas Maia

Devanshi Khokhani

Lindsay Chamberlain

Tomás Rush

Shivangi Vayla

Sanhita Chakraborty

Bailey Kleven



Collaborateurs pour les projets présentés

Matias Kirst, Université de Floride

Pam and Doug Soltis, Université de Floride

Rob Guralnick, Université de Floride

Pierre-Marc Delaux, CNRS, Toulouse, France

Ryan Folk, Université de Floride

Sushmita Roy, Université du Wisconsin - Madison

Cécile Ané, Université du Wisconsin - Madison

