

# LES ENDOSYMBIOSES FIXATRICES D'AZOTE ET L'ARBRE « ARAIGNÉE »

#### **Claudine FRANCHE**

UMR Diversité Adaptation et Développement Montpellier Institut de Recherche pour le Développement

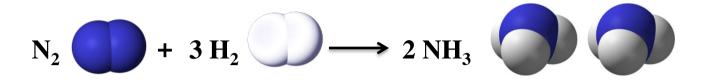








#### LA FIXATION D'AZOTE



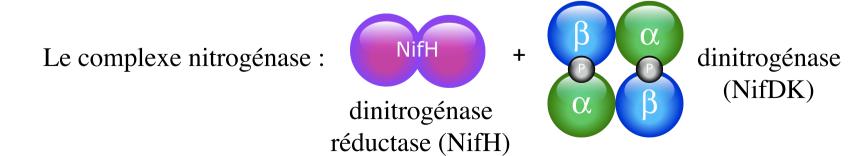
Eclairs, volcans: 10 Mt/an

Synthèse d'engrais azotés: 80 Mt/an

Fixation biologique d'azote : 90-140 Mt/an

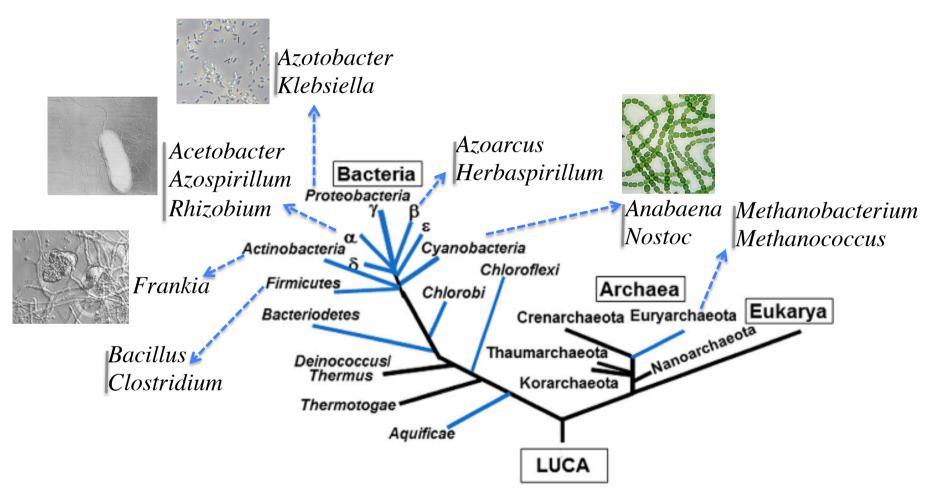
## Fixation biologique de l'azote

$$N_2 + 8H + 8e + 16 ATP \longrightarrow 2NH_3 + H_2 + 16 ADP + 16 Pi$$





# LES MICROORGANISMES FIXATEURS D'AZOTE DIVERSITÉ TAXONOMIQUE



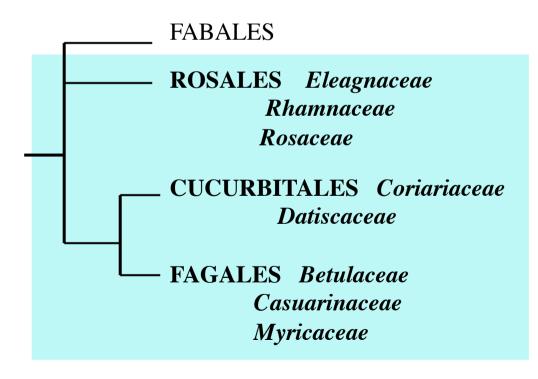
LUCA: Last Universal Common Ancestor



# LA SYMBIOSE FRANKIA-PLANTES ACTINORHIZIENNES



- \* Nodules fixateurs d'azote avec l'actinobactérie Frankia
- \* Arbres et arbustes (sauf *Datisca*)
- \* 260 espèces, 25 genres, 8 familles d'angiospermes

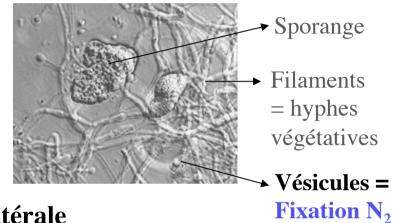




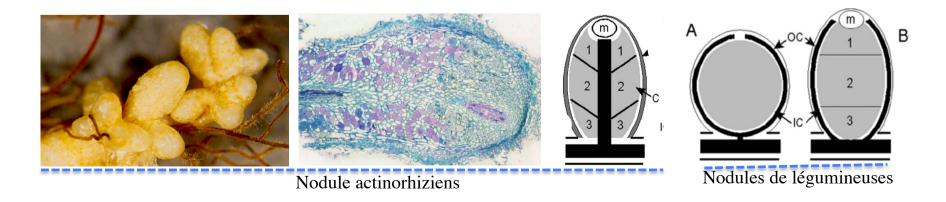


#### UNE SYMBIOSE FIXATRICE D'AZOTE ORIGINALE

- **Diversité taxonomique des hôtes** 
  - \* 8 familles d'angiospermes
- \* Frankia
  - ❖ Actinobactérie Gram + filamenteuse



- **❖** Un nodule apparenté à une racine latérale
  - **❖** Vascularisation centrale
  - Initiation du primordium nodulaire dans le péricycle





## LA FAMILLE DES CASUARINACEAE

- Angiospermes, quatre genres, 96 espèces
- Originaires d'Australie et du sud-est de l'Asie
- Adaptés aux régions tropicales arides et semi-arides



C. glauca: pin australien, arbre « queue de cheval », arbre « araignée »



#### **CASUARINACEAE**

## **Propriétés**

- \* Adaptation à la sécheresse
- \* Croissance rapide (5 m/an)
- \* Croissance sur des sols pauvres
- \* Tolérance salinité, métaux lourds

#### **Utilisations**

- \* Réhabilitation de sols dégradés
- \* Agroforesterie
- \* Fixation des dunes
- \* Brise vent
- \* Source de bois
- \* Protection des zones côtières contre les tsunamis et les typhons







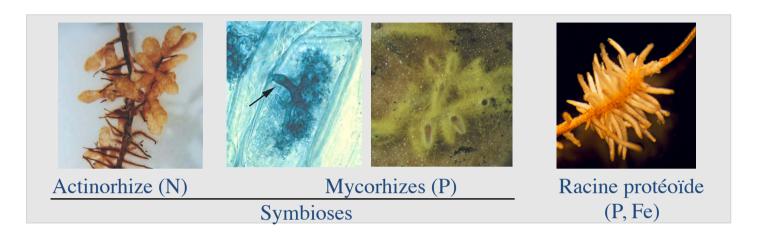








#### UN SYSTEME RACINAIRE ADAPTE AUX SOLS PAUVRES



## Objectif général

Comprendre les bases moléculaires de cette plasticité racinaire

Nodule actinorhizien

#### Contexte évolutif

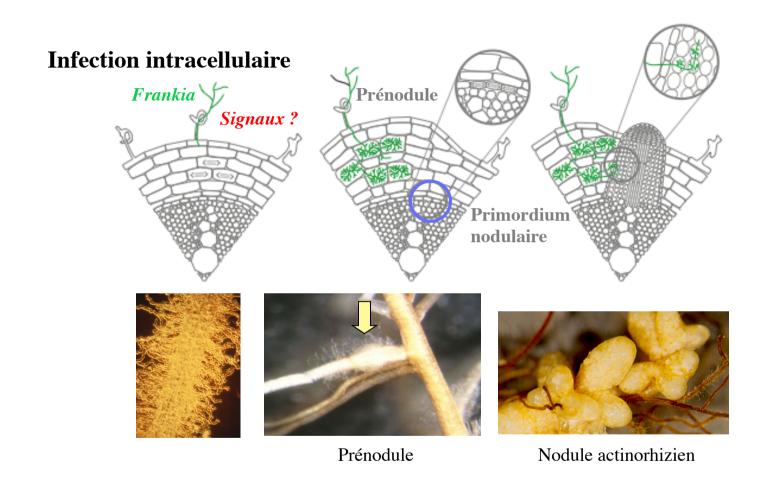
Comprendre ce qui a prédisposé certaines plantes à fixer l'azote

#### Thèmes de recherche

- 1. Perception et transduction des signaux symbiotiques
- 2. Signaux symbiotiques
- 3. Adaptation du système racinaire aux stress de l'environnement (salinité)



## PROCESSUS D'INFECTION

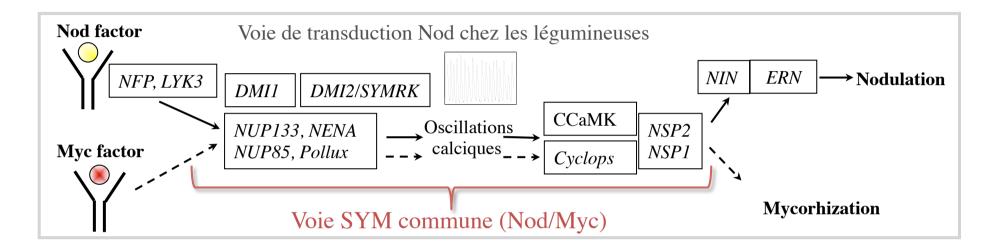


- \* Approches globales: transcriptomes racines, nodules, racines endomycorhizées
- \* Etudes fonctionnelles de gènes candidats : approches ARNi et étude de promoteurs dans des plantes transgéniques de *C. glauca*



## TRANSDUCTION DES SIGNAUX SYMBIOTIQUES

Existe-t-il des gènes symbiotiques communs avec les légumineuses ?



- \* Analyse transcriptome : mise en évidence d'une majorité de gènes communs
- \* Les gènes identifiés chez C. glauca ont-ils la même fonction que chez les légumineuses?

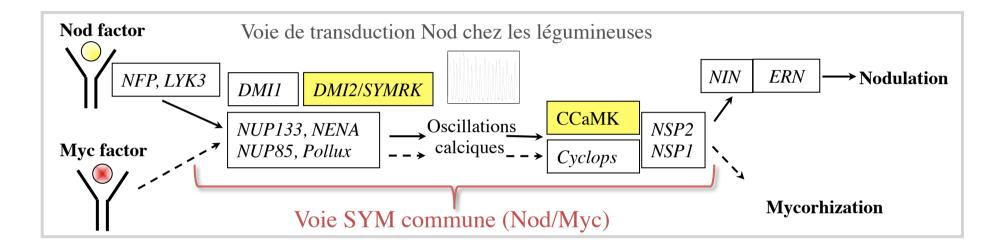
**Collaborations :** C. Rosenberg, D. Barker (LIPM, Toulouse), P. Normand (U. Lyon I/CNRS, Lyon), L. Wall (U. Quilmes, Argentine), S. Mansour (U. Canal de Suez, Egypte)

Financements: ANR Blanc SESAM, ANR SYMActino, PHC IMHOTEP



## TRANSDUCTION DES SIGNAUX SYMBIOTIQUES

Existe-t-il des gènes symbiotiques communs avec les légumineuses ?



\* Conservation de deux acteurs clés de la voie SYM : CgSymRK et CgCCaMK

Voie commune SYM aux endosymbioses racinaires (*Frankia*, *Rhizobium*, champignons endomycorhiziens)

PNAS (2008), Plant Physiol. (2011), PLoS ONE (2013 & 2012)

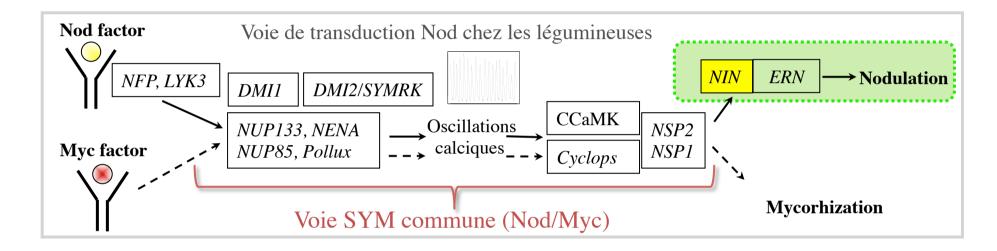
**Collaborations :** C. Rosenberg, D. Barker (LIPM, Toulouse), P. Normand (U. Lyon I/CNRS, Lyon), L. Wall (U. Quilmes, Argentine), S. Mansour (U. Canal de Suez, Egypte)

Financements: ANR Blanc SESAM, ANR SYMActino, PHC IMHOTEP



## TRANSDUCTION DES SIGNAUX SYMBIOTIQUES

Existe-t-il des gènes symbiotiques communs avec les légumineuses ?



- \* Conservation de gènes spécifiques de la nodulation ?
- \* Conservation de la fonction symbiotique de CgNIN

Voie Nod commune aux endosymbioses fixatrices d'azote

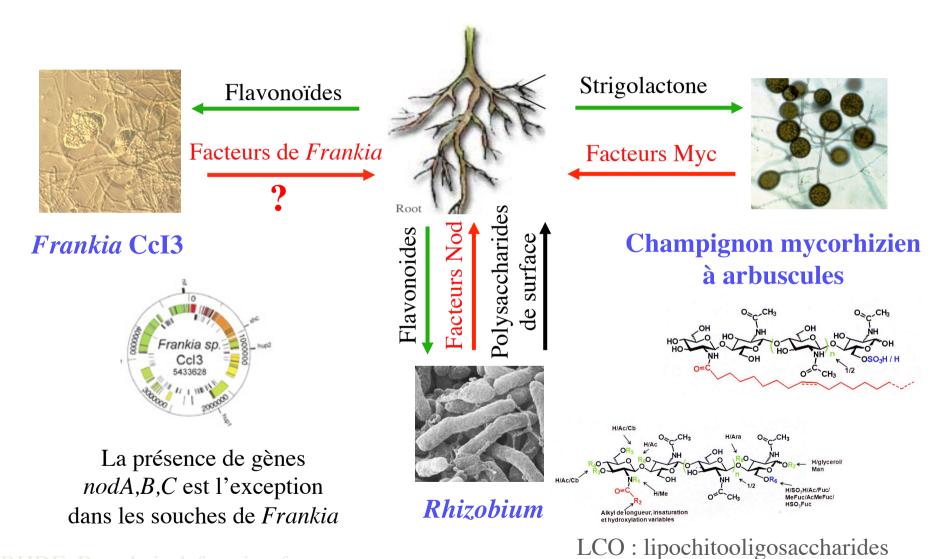
PLoS ONE (2013 & 2012), New Phytol. (2015)

**Collaborations :** C. Rosenberg, D. Barker (LIPM, Toulouse), P. Normand (U. Lyon I/CNRS, Lyon), L. Wall (U. Quilmes, Argentine), S. Mansour (U. Canal de Suez, Egypte)

Financements: ANR Blanc SESAM, ANR SYMActino, PHC IMHOTEP



### MOLECULES SIGNAL DE FRANKIA



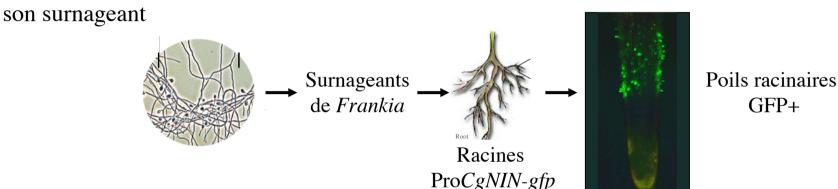
RHDF: Root hair deforming factor



#### LES SIGNAUX DE FRANKIA

#### Quelle est la nature des molécules signal de Frankia?

\* CgNIN : gène symbiotique précocément et spécifiquement inductible par Frankia ou



- \* Mise au point d'un test biologique pour la purification des molécules signal
  - ✓ Actives à faible concentration
  - ✓MM < à 3 kDa



Molécules différentes des facteurs Nod et Myc

**✓** Molécules hydrophiles

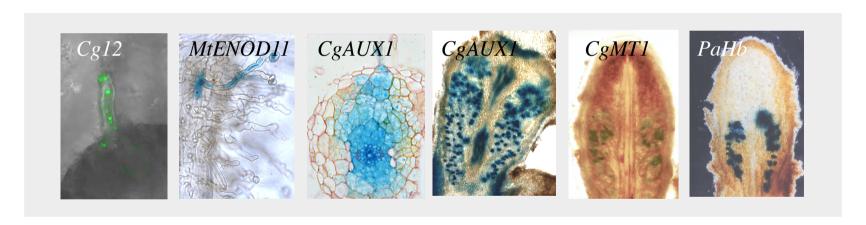
New Phytol., 2015, New Phytol., sous presse

**Collaborations :** P. Normand (U. Lyon I/CNRS, Lyon), D. Barker (LIPM, Toulouse), D. Vallenet (CEA-Genoscope, Evry), L. Tisa (UNH, Etats Unis)



# LES PLANTES TRANSGENIQUES DE CASUARINA GLAUCA

\* Contributions majeures à la connaissance du processus symbiotique avec *Frankia* 



\* Valorisation de la technologie par des Instituts de foresterie au Sud



## LES BESOINS IDENTIFIES DANS LES PLANTATIONS



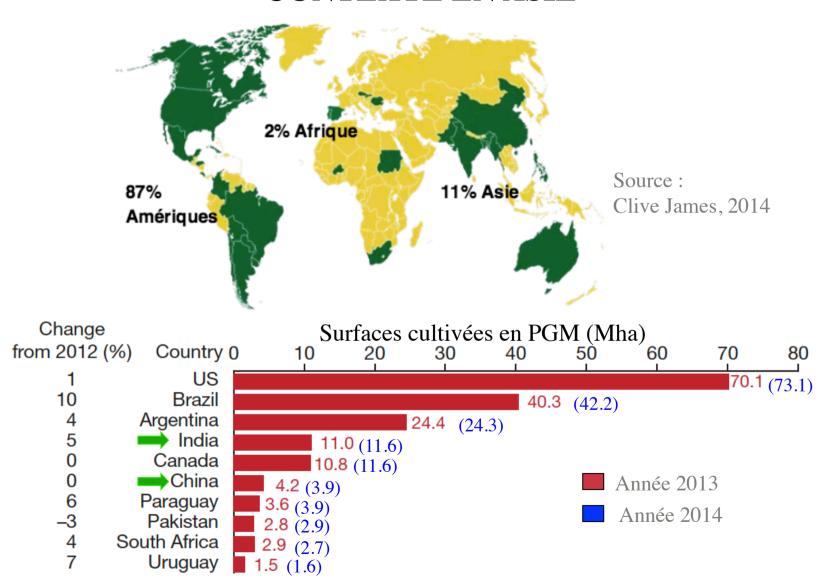








# TRANSGENESE VEGETALE CONTEXTE EN ASIE





#### LES PGM EN INDE

### Contexte général

\* 95% des cotonniers sont GM (11,6 millions d'ha)



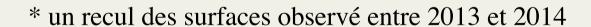
- \* une recherche active
  - ✓ diversité des gènes d'intérêt (stress abiotiques et biotiques, qualités nutritionnelles, phytoremédiation)
  - ✓ diversité des espèces végétales étudiées (maïs, riz, tomate, papaye, chou, arachide, aubergine, moutarde, etc.)
- \* 60 permis d'essais en champ délivrés en 2014 par le « Genetic Engineering Approval Committee »
- \* Certains états n'autorisent pas les essais au champ (Rajastan, Kerala,...) Source : http://igmoris.nic.in/defaulr.asp



### LES PGM EN CHINE

### Contexte général

- \* 3,9 millions d'ha cultivés en PGM en 2014 (6ème pays)
- \* Les cultures :
  - ✓ cotonnier (1996) Bt et tolérance herbicide
  - $\checkmark$  peuplier (2003) Bt 543 ha en 2014
  - ✓ papayer (2006) 8000 ha en 2014
  - ✓ tomate et poivron

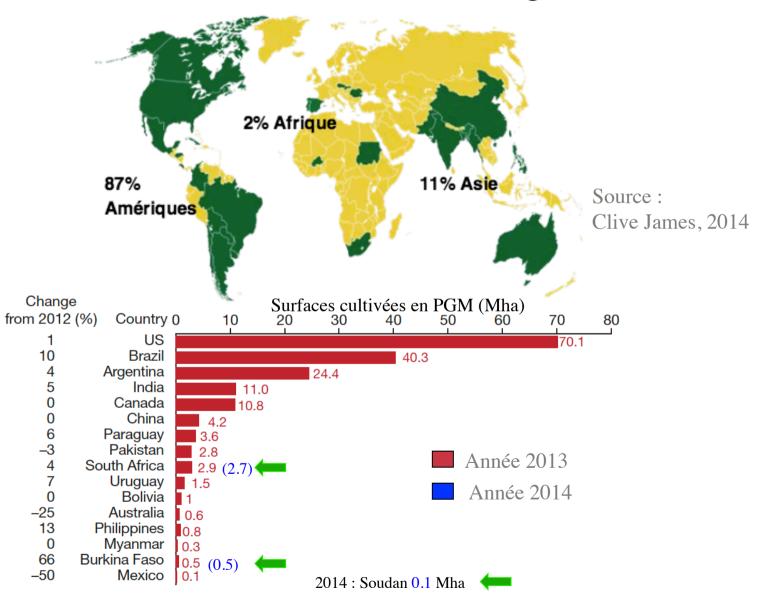




\* mise en place d'un étiquetage « strict » des produits OGM dans la province du Gansu en 2014



# LE CAS DE L'AFRIQUE





# CONTEXTE GÉNÉRAL DES PGM EN AFRIQUE

#### Peu de pays impliqués dans les cultures

- \* Afrique du Sud
- ✓ réduction de 7% des surfaces GM en 2014
- ✓ cultures de maïs GM (2,14 Mha soit 86% des surfaces en maïs; Bt et TH)
- ✓ cultures de soja GM (552.000 ha soit 92% des surfaces en soja ; TH)
- ✓ cultures de cotonniers GM (9.000 ha soit la quasi totalité des surfaces)

#### \*Burkina Faso

✓ cultures de cotonniers Bt (454.000 ha soit 73,8% % des surfaces en cotonniers)

#### \* Soudan

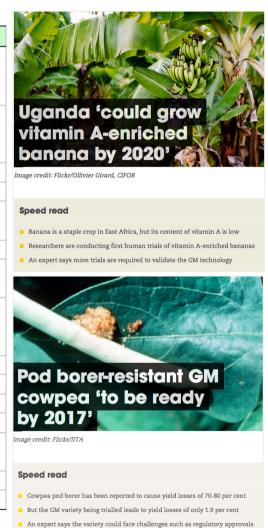
✓ 90.000 ha de cotonniers Bt (+46%); ils représentent 80% des surfaces cultivées en cotonniers

Bt : résistance insecte ; TH : tolérance herbicide



## PLANTES GM EN COURS D'ÉVALUATION AU CHAMP

Plante¤	Caractère¤	Pays¤
Bananier¤	Qualités nutritionnelles,	Egypte, Ouganda =
	résistance aux maladies et aux	
	champignons ¤	
Canne à sucre #	Amélioration de la croissance,	Egypte, Maurice, Afrique du Sud =
	contenu en sucre, résistance	
	aux virus ¤	
<b>Cocotier I</b>	Résistance aux virus ¤	Côte d'Ivoire, Ghana ¤
<b>Concombre B</b>	Résistance aux virus ¤	Egypte¤
<b>Cotonnier</b> ¤	Résistance aux insectes ¤	Egypte, Kenya, Malawi, Tanzanie,
		Ouganda, Zimbabwe n
Courge¤	Résistance aux virus ¤	Egypte¤
Maïs¤	Tolérance à la sécheresse, à la	Kenya, Afrique du Sud, Tanzanie,
	salinité, résistance aux insectes ¤	Ouganda, Zimbabwe n
Manioc¤	Qualités nutritionnelles,	Egypte, Ghana, Kenya, Nigeria, Afrique
	résistance aux maladies et aux	du Sud, Ouganda¤
	virus¤	
Melon ¤	Résistance aux virus ¤	Egypte¤
Niébé¤	Résistance aux insectes ¤	Burkina Faso, Ghana, Nigeria n
Sorgho ¤	Qualités nutritionnelles ¤	Burkina Faso, Kenya, Afrique du Sud ¤
Tomate¤	Résistance aux virus ¤	Egypte¤
Pomme de	Résistance aux virus, aux	Egypte, Afrique du Sud ¤
terre¤	insectes et aux champignons ¤	
Patate douce ¤	Résistance aux virus ¤	Kenya, Afrique du Sud =
Vigne¤	Résistance aux champignons ¤	Afrique du Sud ¤





#### **CONCLUSIONS-PERSPECTIVES**

La transformation génétique de *Casuarina* s'est révélée un outil majeur pour la connaissance de la symbiose actinorhizienne

#### Priorités de recherche

- \* caractérisation des molécules signal de *Frankia* et de leurs récepteurs chez les plantes actinorhiziennes
- \* analyse comparative d'un primordium racinaire et nodulaire
- D. Bogusz
- J. Bonneau
- H. Gherbi
- S. Svistoonoff
- V. Hocher
- A. Champion
- D. Moukouanga
- L. Laplaze
- S. Guyomarc'h
- M. Lucas

#### **Collaborations**

- D. Barker, LIPM, Toulouse, France
- C. Rosenberg, LIPM, Toulouse, France
- P. Normand, LEM, Lyon, France
- C. Zhong, RITF, Canton, Chine
- M. Nambiar-Veetil, IFGTB, Coimbatore, Inde
- S. Mansour, Ismailia, Egypte
- M-O Sy, Dakar, Sénégal
- L. Wall, U. Quilmes, Argentine
- L. Tisa, U. New Hampshire, USA















Affaires étrangères





