



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Séance solennelle de l'Académie des sciences / 16 juin 2009
Réception des nouveaux Membres sous la coupole de l'Institut de France

Les signaux des symbioses racinaires : de la biologie moléculaire à l'agronomie
Jean Dénarié

Le cycle de l'azote joue un rôle primordial dans les écosystèmes et dans l'agriculture. L'azote est un facteur limitant majeur de la production agricole, alors que l'atmosphère est constituée à 80% d'azote. Ce paradoxe est dû au fait que l'azote moléculaire (N_2) est une molécule très stable, que seuls des organismes appartenant au groupe des bactéries sont capables de réduire sous une forme assimilable. Les systèmes fixateurs les plus efficaces sont des symbioses qui permettent un couplage entre la fixation d'azote qui demande beaucoup d'énergie et la photosynthèse. Ainsi, les Rhizobium sont des bactéries du sol capables d'induire sur les racines des légumineuses la formation d'organes particuliers, les nodosités, au sein desquels ils réduisent l'azote de l'air. Dans cette association à bénéfice mutuel, la plante fournit une niche protectrice et de l'énergie aux bactéries qui, en échange, synthétisent de l'ammoniac pour leur hôte. La symbiose Rhizobium-légumineuses fournit chaque année, à l'échelle de la planète, une quantité d'azote assimilable équivalente à celle synthétisée par voie chimique dans l'industrie des engrais, et joue donc un rôle écologique et économique considérable. D'un point de vue fondamental, cette symbiose, dont la mise en place implique un processus de reconnaissance spécifique ainsi qu'une différenciation coordonnée des deux partenaires, constitue un matériel de choix pour l'étude des interactions plantes-microorganismes et des processus de signalisation qui les contrôlent.

La première étape de nos recherches a consisté à développer des outils génétiques pour l'étude du partenaire bactérien. Nous avons ainsi montré que chez Rhizobium les gènes contrôlant la symbiose sont situés sur un mini-chromosome spécifique, à partir duquel les gènes *nod* qui contrôlent la spécificité d'hôte, l'infection et la formation des nodosités ont pu être clonés et caractérisés. Une collaboration interdisciplinaire avec les équipes de G. Truchet (LIPM, Toulouse) et J.-C. Promé (LPTF-CNRS, Toulouse) a montré que les gènes *nod* contrôlent la synthèse et la sécrétion de signaux symbiotiques, les facteurs Nod, qui sont des lipochito-oligosaccharides diversement substitués. Des "décorations" variées du squelette de base de ces molécules leur confèrent leur spécificité, impliquée dans la reconnaissance des plantes-hôtes.

Les facteurs Nod ont une grande activité biologique. Sur les racines de Légumineuses-hôtes, à des concentrations de l'ordre du nano- au picomolaire, ils provoquent des réponses symbiotiques semblables à celles provoquées par les bactéries elles-mêmes. En outre, ils ont un effet très net sur le développement du système racinaire. Ces signaux sont donc des

régulateurs de croissance très puissants et constituent le premier exemple montrant par une série de preuves biochimiques, génétiques, moléculaires et cellulaires que des oligosaccharides naturels peuvent être impliqués dans le contrôle du développement chez les plantes.

L'étude génétique et génomique des légumineuses cultivées est difficile à cause de la grande taille de leur génome et de caractéristiques génétiques complexes. C'est pourquoi, j'ai coordonné un programme interdisciplinaire qui a identifié une légumineuse modèle, *Medicago truncatula*, commode pour les études génétiques, et possédant un génome de taille réduite. Cette espèce a été adoptée depuis comme modèle par la plupart des laboratoires intéressés par les légumineuses en Europe et aux États-Unis.

L'utilisation de cette plante modèle a permis à mon équipe d'identifier les gènes majeurs contrôlant la cascade de perception et de transduction des signaux Nod. Trois de ces gènes sont requis non seulement pour la symbiose avec *Rhizobium*, mais également pour la formation d'endomycorhizes, symbioses fongiques très répandues dans le monde végétal où elles jouent un rôle important dans la nutrition phosphatée. Il existe donc des étapes communes dans la transduction de signaux symbiotiques impliqués dans ces deux symbioses pourtant très différentes. Cette découverte nous a conduit à émettre l'hypothèse de l'existence de facteurs Myc, signaux symbiotiques synthétisés par les champignons endomycorhiziens. Une collaboration avec les équipes toulousaines de Guillaume Bécard (UMR5546 UPS-CNRS) et Véréna Poinot (UMR5623 UPS-CNRS), a permis récemment la purification de ces signaux et la détermination de leur structure.

Des brevets ont été pris pour faciliter la valorisation des facteurs Nod et des facteurs Myc. Une collaboration avec une entreprise leader mondial pour la production d'inoculants de *Rhizobium*, a permis de montrer que le traitement des graines de légumineuses avec des inoculants enrichis en facteurs Nod pouvait provoquer une augmentation significative des rendements. Ces produits sont maintenant utilisés sur plus d'un million d'hectares. Ces molécules naturelles sont utilisables en agriculture biologique. Des études sont en cours pour valoriser les facteurs Myc dont l'activité pourrait concerner l'ensemble des plantes cultivées, y compris les céréales.

L'étude approfondie des mécanismes cellulaires et moléculaires gouvernant les symbioses végétales a permis non seulement la découverte de mécanismes importants dans le dialogue moléculaire entre organismes symbiotiques, et de nouveaux régulateurs de croissance actifs sur les plantes, mais a également ouvert la voie à des applications agronomiques respectueuses de l'environnement.