

Inoculation des plantes cultivées avec des micro-organismes symbiotiques : du transfert de technologie à la construction d'un partenariat multi-acteurs

MARC NEYRA (IRSTEA)

HAMET ALY SOW (ASPRODEB)

MARIUS DIA (CNCR)

IBRAHIMA NDOYE, ABOUBACRY KANE ET DIÉGANE DIOUF (UCAD)

INAMOUD YATTARA (UNIVERSITÉ DE BAMAKO)

FRÉDÉRIQUE JANKOWSKI ET JOËLLE LE MAREC (ENS-LYON)

ANTOINE LE QUÉRÉ ET TANIA WADE (IRD)

Présentation du contexte

Les systèmes écologiques des zones africaines sont soumis depuis des décennies à d'importantes perturbations climatiques (effets de la sécheresse et des fortes températures) et anthropiques (surexploitation des terres, modification des pratiques culturales). Ainsi, on assiste généralement à un accroissement de l'aridité d'origine édaphique et à une modification du couvert végétal et des paysages, qui affectent la productivité des systèmes de production et les conditions de vie des populations.

L'activité agricole de la région ouest-africaine est caractérisée par une production fluctuante, souvent limitée par l'effet combiné de différents facteurs (insuffisance et irrégularité des pluies, pauvreté des sols et faibles niveaux d'intrants, salinisation des sols, parasitisme...). La fragilisation de la production végétale est l'une des conséquences prévisibles les plus dramatiques du changement climatique en Afrique de l'Ouest.

Quoique invisibles à l'œil nu, les micro-organismes, et plus particulièrement les bactéries du sol, représentent une composante essentielle de la vie sur Terre. Les très nombreuses fonctions réalisées par ces organismes leur confèrent un rôle capital dans le fonctionnement des grands cycles biogéochimiques (cycles du C, N, P etc.),

libérant les éléments nutritifs nécessaires aux plantes, formant l'humus et maintenant les propriétés physiques et chimiques des sols, les situant à la base même de la vie sur Terre. De leurs activités dépendent donc directement la qualité et la productivité du sol, support de la croissance végétale. L'effet des changements climatiques ou anthropiques sur la composante bactérienne est cependant très peu étudié du point de vue fonctionnel (conservation ou adaptation des nouvelles activités), populationnel (changements de la proportion de certains taxons ou conservation de la diversité) et réactionnel (affectation ou résilience).

Différentes pratiques culturales sont envisageables pour accroître la productivité et améliorer la production agricole et forestière, parmi lesquelles la technique d'inoculation avec des micro-organismes symbiotiques sélectionnés, en particulier :

- les rhizobiums

Ce sont des bactéries s'associant aux plantes de la famille des légumineuses en une symbiose qui se traduit par la formation d'organes particuliers au niveau des racines (parfois sur les tiges), appelés nodosités, au sein desquelles la bactérie fixe l'azote atmosphérique gazeux en une forme assimilable par la plante.

Cette symbiose aide les plantes à améliorer l'alimentation azotée surtout dans les sols des régions arides et semi-arides, et favorise la résistance aux conditions de stress. Depuis une quinzaine d'années, le développement de la biologie moléculaire a permis la description de nouvelles espèces de rhizobiums associées aux légumineuses herbacées et arbustives, spontanées et cultivées de la zone sahélienne (Ba *et al.*, 2002 ; Sylla *et al.*, 2002). L'étude de l'impact de facteurs environnementaux sur les symbioses a pu être abordée de façon plus approfondie, sur des modèles importants en agriculture et en foresterie (Krasova-Wade *et al.*, 2003 ; Diouf *et al.*, 2007 ; Diouf *et al.*, 2008 ; Fall *et al.*, 2008 ; Fall *et al.*, 2009) en particulier, le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) et ses rhizobiums associés (bradyrhizobiums). C'est une légumineuse alimentaire importante dans les systèmes de cultures à base de céréales-légumineuses du Sahel (Padulosi et Ng, 1997). Les rendements observés sont de l'ordre de 300 kg à l'hectare au niveau mondial et de 50 à 550 kg à l'hectare en Afrique (Cissé et Hall, 1996) La faiblesse des rendements est due à la pauvreté des sols, en particulier en azote, et aux contraintes environnementales et au premier rang, la sécheresse. Le niébé est particulièrement adapté dans les régions à faibles pluviométries. Cependant, au Sénégal la sécheresse constitue la cause principale de l'instabilité de ses rendements et de sa faible production, car plus de 90 % des superficies cultivées en niébé sont concentrées dans le Nord et le Centre-Nord, régions les plus sèches du pays (fig. 1). Environ 93 % des superficies cultivées en niébé sont concentrées dans la région de Louga (48 %), Diourbel (25 %) et Thiès (20 %).

Ces contraintes entraînent des risques concomitants et persistants d'érosion du rendement. Depuis le milieu des années 1970, la région principale de culture du niébé est touchée par une baisse importante de la pluviométrie, marquée par des précipitations annuelles extrêmement variables en fréquence et en volume, passant en moyenne de 500-600 mm annuels avant 1970 à 300-400 mm dans les années 1980-2000 (fig. 2).

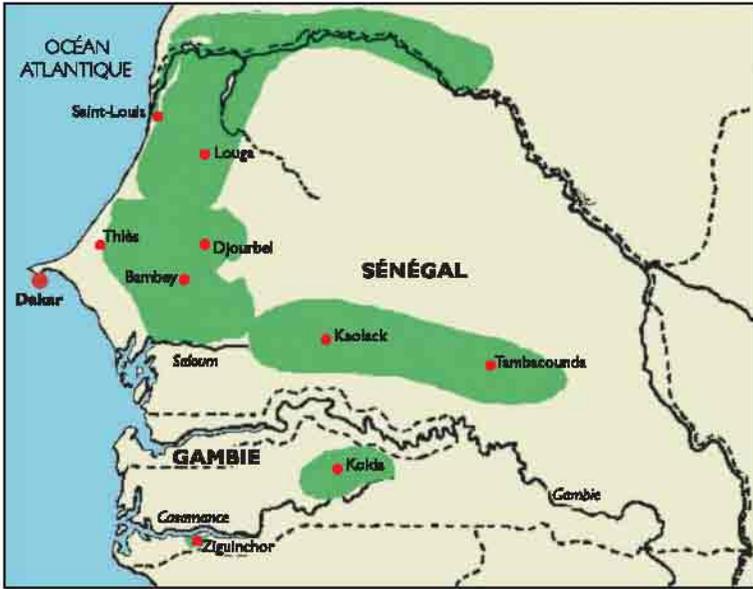


Figure 1.
Zones principales de la culture du niébé (*Vigna unguiculata*) au Sénégal.
(D'après Sene et al., 1971, modifié par Classe, comm. pers.).

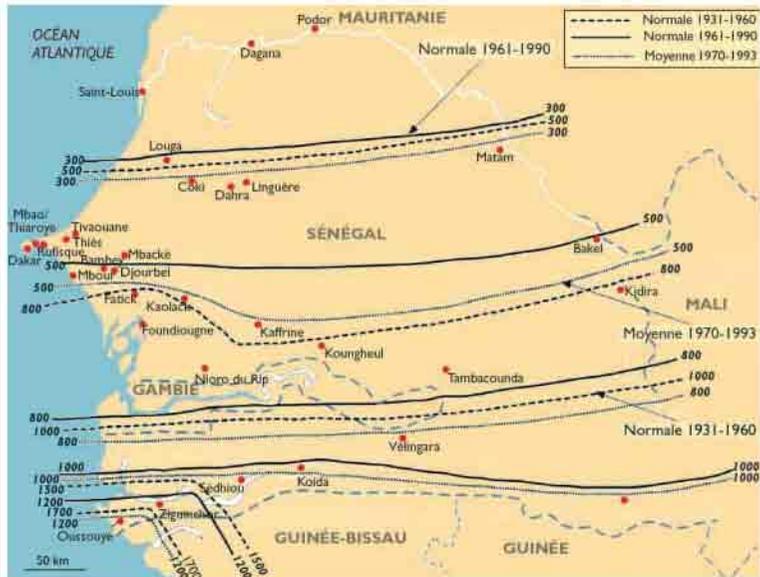


Figure 2.
Transition des isohyètes de 1931 à 1993 (Ndong, 1995).

Par contre, peu d'informations existent sur la diversité des rhizobiums du niébé et leur comportement vis-à-vis de ces changements. Ils représentent l'une des populations de bactéries parmi les plus intéressantes à considérer en regard de la vulnérabilité des sols. Des travaux récents (effectués entre 1999 et 2005) ont montré une grande diversité de bradyrhizobiums au Sénégal avec des résultats préliminaires indiquant une corrélation entre les conditions hydriques et la répartition géographique de ces bactéries (Krasova-Wade *et al.*, soumis pour publication) (fig. 3). D'un point de vue appliqué, ces informations permettront d'apporter des critères concrets pour l'orientation des démarches de sélection de souches commercialisables en vue de l'inoculation de cette légumineuse en zones arides tropicales.

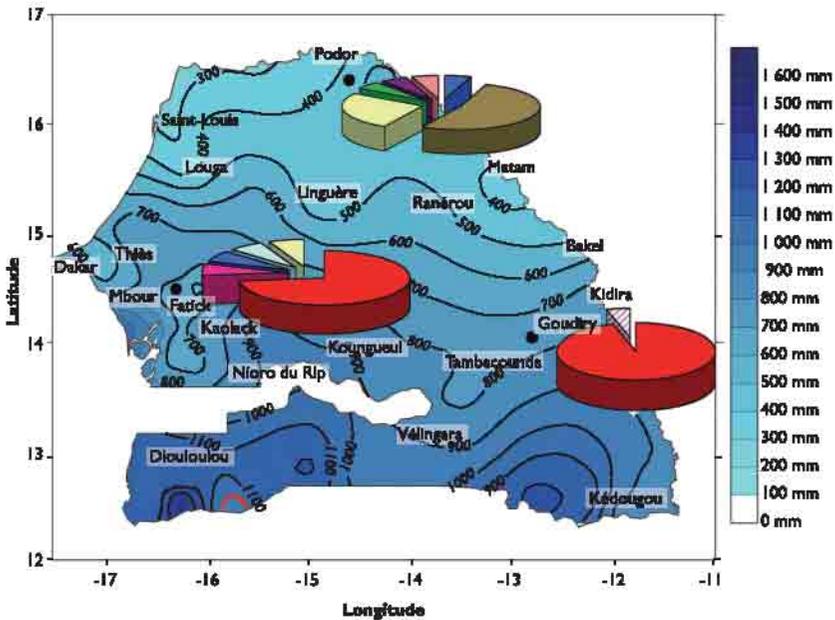


Figure 3.
Pluviométrie moyenne annuelle (source CSE)
et distribution des groupes génétiques sur trois sites en 2005.
En rouge, type I, en marron, type VI; cercles noirs : position des sites d'étude.

• les champignons mycorhizogènes

En colonisant le système racinaire, ils forment avec la quasi-totalité des végétaux une symbiose appelée mycorhize. En explorant un plus grand volume de sol, par l'intermédiaire des filaments mycéliens du champignon, la mycorhize permet à la plante une meilleure absorption d'eau et de différents éléments nutritifs, parmi lesquels le phosphore.

Ces micro-organismes symbiotiques aident les plantes à s'approvisionner en éléments nutritifs très souvent limitants dans les sols des régions arides et semi-arides, et

favorisent la résistance aux conditions de stress (déficit pluviométrique, salinité, attaque par des parasites, notamment). Elles existent naturellement, mais leur fonctionnement n'est pas toujours optimal, notamment en zone aride à cause d'un nombre insuffisant ou d'une mauvaise efficacité des micro-organismes symbiotiques présents dans le sol.

Il est possible de dépasser ces insuffisances en apportant à la plante une quantité importante de micro-organismes sélectionnés. Cette technique, appelée inoculation, est connue pour les rhizobiums depuis plus d'un siècle, et il a été montré qu'elle permet fréquemment l'amélioration à faible coût de la croissance végétale au champ. L'application d'inoculum s'effectue le plus souvent au moment du semis, par enrobage des graines ou apport sous forme liquide ou mélangé à un support. L'inoculation peut être bénéfique à de nombreux types de cultures, aussi bien annuelles que pérennes, et est maintenant utilisée en routine dans de nombreux pays (en France, par exemple, 50 % des cultures de soja et de lupin et 10 % des cultures de luzerne sont inoculées ; au Canada, 10 compagnies proposent 96 produits différents).

En améliorant la physiologie de la plante, notamment en condition de stress hydrique et nutritif, la technique d'inoculation représente une forte opportunité en zones sèches pour augmenter la production agricole et forestière, tout en améliorant la fertilité des sols par une pratique non polluante. Du fait de son faible coût et de sa relative facilité d'emploi, elle est bien adaptée à l'agriculture familiale, notamment vivrière, et peut permettre de limiter l'importation d'intrants agricoles, coûteuse en devises et en énergie. Globalement, elle s'inscrit donc parfaitement dans une perspective de développement durable, tout en répondant au souhait du Roppa (Réseau des organisations paysannes et de producteurs de l'Afrique de l'Ouest) de « promouvoir l'amélioration des conditions d'exercice des activités des familles rurales, socle des sociétés agraires dans les pays africains ». Pourtant, l'inoculation n'est pas pratiquée en zone sahélienne. Cette absence de pratique est en grande partie due à un manque de promotion et de diffusion auprès des utilisateurs potentiels.

Stratégie de l'intervention : levier retenu pour une transition vers un agroécosystème durable

Les tentatives antérieures de diffusion de l'inoculation en Afrique de l'Ouest s'étaient appuyées sur des démarches individuelles de chercheurs travaillant en lien avec des cultivateurs ou de petits groupes d'utilisateurs potentiels. Aucun de ces acteurs individuels n'avait de fait, moyens et vocation pour développer une communication de masse. La montée en puissance des organisations paysannes (OP), manifestée par la création du Roppa en juillet 2000 allait permettre une nouvelle approche, s'appuyant à la fois sur des actions de terrain très concrètes et sur une volonté de mise en réseaux.

Appropriation de la technologie par les organisations de producteurs (2004-2008)

Depuis le début des années 2000, une action concertée entre le LCM (Laboratoire commun de microbiologie IRD/Isra/Ucad du centre de recherche de Bel-Air à Dakar) et la Direction des eaux et forêts du Sénégal, avait permis l'adhésion des forestiers à cette pratique en organisant des ateliers de formation et en mettant en place des plantations d'essais et de démonstration dans les onze régions du Sénégal. S'appuyant sur cette approche structurée, une démarche de partenariat a été initiée en 2004 avec les CLCOP (Cadres locaux de concertation des organisations de producteurs) de la région de Louga (nord du Sénégal). Ce partenariat a débuté à Dakar avec la participation des présidents des CLCOP au 11^e congrès de l'Association africaine pour la fixation biologique de l'azote, matérialisée par une communication orale des producteurs sur leur approche d'un transfert de technologie. Ont suivi l'organisation d'ateliers techniques au LCM, une présence commune lors de la septième Fiara (Foire internationale de l'agriculture et des ressources animales) à Dakar en 2005, et la mise en place durant l'hivernage 2005 d'essais pilotes d'inoculation de spéculations répondant à des demandes fortes des producteurs (niébé, parmi les principales espèces vivrières cultivées en Afrique de l'Ouest, et *Acacia mellifera*, espèce arbustive très demandée pour la plantation de haies vives).

C'est dans cette démarche de partenariat que le ministère français des Affaires étrangères et européennes (MAEE), a financé de 2005 à 2008 le projet « Appropriation par les organisations de producteurs d'Afrique de l'Ouest de la technologie d'inoculation avec des micro-organismes améliorant la production végétale », dans le cadre du programme Duras (« Promotion du développement durable dans les systèmes de recherche agricole du Sud »). Initié avec pour objectif principal de mettre en relation chercheurs et paysans pour le test et la diffusion de l'inoculation dans cinq pays d'Afrique de l'Ouest (Bénin, Burkina Faso, Mali, Niger et Sénégal), ce projet a associé des équipes de microbiologistes présents dans chacun des pays et les plates-formes nationales en partenariat avec le Roppa.

Tout en confirmant l'impact positif de l'inoculation sur la production de différentes spéculations (notamment le niébé), le projet « Duras Inoculation » a permis de mettre en avant que, pour renforcer la participation de la société civile, et notamment des organisations paysannes, dans la mise au point et l'application d'innovations en agriculture, il était important :

- de créer des liens directs entre chercheurs et paysans ;
- de poser les bases du partenariat avec des organisations représentatives, et pas uniquement avec des individus ;
- de répartir la responsabilité de gestion (financière et technique) entre les organisations de producteurs et les laboratoires ;
- de faire accepter par les chercheurs la perte d'une partie de leur « pouvoir » ;

- de sensibiliser les paysans aux questionnements de la recherche, pas seulement aux résultats ;
- de s'appuyer sur l'effet d'entraînement provoqué par la réussite de certains groupes ;
- d'envisager la collaboration dans la durée

Intégration de questions de recherche pluridisciplinaires

Il est apparu rapidement qu'il n'était pas possible d'analyser uniquement l'impact de l'inoculation sur la production de graines et/ou de fourrage, mais qu'il était indispensable de prendre en considération et d'étudier l'ensemble du contexte biologique, agronomique, environnemental et sociologique dans lequel on souhaitait développer cette technologie, et l'impact rétroactif de celle-ci. Les tests effectués spontanément par les femmes de producteurs partenaires au Mali pour comparer la qualité gustative des graines inoculées et non inoculées incitaient par exemple à analyser leurs qualités organoleptiques. De nouveaux financements ont ainsi permis d'élargir les bases de l'action :

- Projet Ripimsa sur l'intégration des micro-organismes dans les systèmes agricoles au Mali, Sénégal et Niger dans le contexte du changement climatique, intégrant des spécialistes des observatoires de l'environnement (2008-2010, programme FSP Ripiecsa du MAEE, coordination Université de Bamako).
- Projet MycoVigna sur la diversité des champignons mycorhizogènes associés au niébé au Bénin, Burkina Faso et Sénégal (2008-2010, programme FSP Corus du MAEE, coordination Université de Dakar).
- Projet « Introduction d'essences exotiques en milieu aride : conséquences sur la conservation des ressources microbiennes et végétales endémiques du Sahel » (2008-2010, programme Aires-Sud du MAEE, coordination Université de Dakar).
- Projet SolAO sur la vulnérabilité des sols sahéliens (2009-2012, programme ANR VMCS, coordination IRD) (fig. 4).

Tous ces projets ont été portés, à différents niveaux d'implication, par les chercheurs et les organisations de producteurs partenaires du projet Duras Inoculation. Au-delà de leurs objectifs spécifiques, ils ont permis de renforcer le partenariat initié par le projet, et une démarche pluridisciplinaire et multipartenaire plus large s'est alors progressivement mise en place, intégrant en particulier au Sénégal les conseillers agricoles de l'Ancar (Agence nationale de conseil agricole) et des chercheurs spécialistes d'autres domaines (physico-chimistes, sociologues, physiologistes, entomologistes, généticiens, nutritionnistes...).

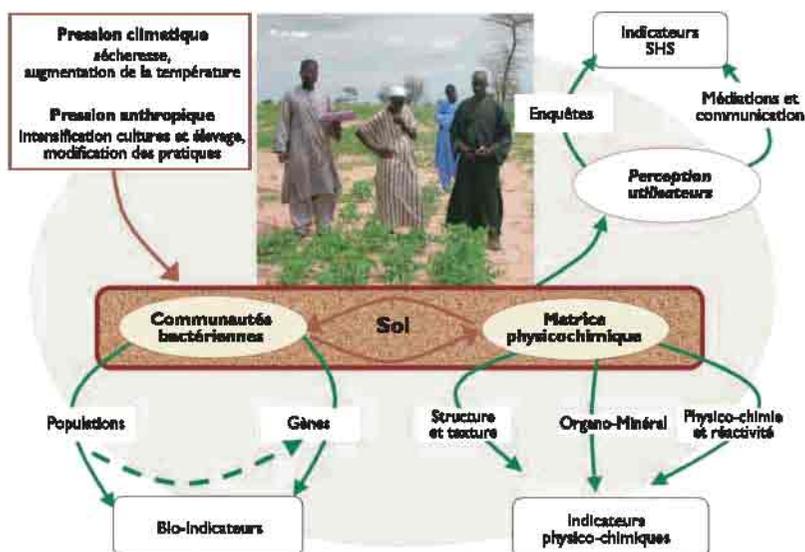


Figure 4.
Représentation schématique de l'étude interdisciplinaire sur la vulnérabilité des sols
(source Neyra, projet ANR/VMCS/SolA).

Mise en place de « Sites de recherche et de démonstration » et d'ateliers annuels de restitution et de planification

L'inoculation est alors apparue comme un excellent fil rouge pour la création de Sites de recherche et de démonstration (SRD) cogérés par des membres d'organisations locales de producteurs, des chercheurs, des conseillers agricoles et des professeurs de science et vie et de la terre, avec un triple objectif :

- mener des recherches en milieu paysan ;
- assurer la diffusion de nouvelles technologies ;
- créer des sites privilégiés d'échanges et de partage de questionnements entre chercheurs, producteurs, conseillers agricoles et enseignants.

En parallèle et pour soutenir les SRD, ont été programmés au Sénégal, des ateliers annuels de restitution et de planification, avec pour objectif non seulement de faire des bilans des actions menées et planifier les suivantes, mais aussi de partager pour construire ensemble de nouvelles façons de travailler.

Transfert de la technique d'inoculation

L'impact positif de l'inoculation du niébé, pourtant réputé non réceptif, a été vérifié dans différentes localités au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal, avec par exemple des gains de poids de gousses sèches pouvant atteindre 35 %, ou une meilleure reprise après un stress (attaque parasitaire, stress hydrique). Malgré l'intérêt indéniable suscité par ces résultats, et une demande croissante au-delà des communautés rurales partenaires, l'usage de la technique ne s'est cependant pas encore développé. Il est nécessaire maintenant d'amplifier la diffusion au niveau national et régional et surtout d'assurer la mise à disposition d'inoculum performants et contrôlés, dont le manque est l'un des freins majeurs à la diffusion. Des expérimentations sont planifiées pour la production délocalisée de champignons mycorhizogènes, réalisables dans des conditions relativement simples au niveau d'OP locales, sous réserve de la mise en place d'un service de fourniture d'inoculum « starter » et d'un système de contrôle de qualité.

Construction d'un partenariat multi-acteurs

Les bases de Sites de recherche et de démonstration ont été posées dans quatre communautés rurales du Sénégal (Dya, Darou Mousty, Ouarkhokh et Guédé). Les expériences menées sur ces SRD ont permis de progresser dans la connaissance de la diversité et de l'écologie des micro-organismes symbiotiques, et plus largement de l'environnement des zones sèches. Ainsi, la typologie des sols faite en partenariat entre chercheurs et producteurs du Sénégal a pu être comparée à l'analyse de la diversité des micro-organismes symbiotiques associés au niébé et plus largement, de l'ensemble des micro-organismes du sol (approche « métagénomique »). À partir de ces expériences successives les règles de fonctionnement des SRD sont progressivement élaborées, tant du point de vue technique (dimensionnement, protection, suivi...) que des droits, devoirs et responsabilités de chaque partenaire. Une réflexion est en cours pour la rédaction d'une charte de partenariat. Deux ateliers de restitution et de planification se sont tenus au Sénégal dans deux communautés rurales partenaires (Dya en 2010 et Darou Mousty en 2011) rassemblant chacune plusieurs dizaines de participants, représentant les différents partenaires intervenant dans l'ensemble du pays et permettant également d'affiner le mode de fonctionnement du partenariat. Une démarche très proche est en cours au Mali, et, un peu moins avancée, au Bénin. La proposition de création d'un réseau multipartenarial et pluridisciplinaire intitulé InocAO a été faite pour rassembler l'ensemble des laboratoires, organisations et réseaux de producteurs agricoles et structures de conseil agricole intéressés par cette démarche en Afrique de l'Ouest.

Impacts des interventions dans les différentes dimensions de la durabilité

L'impact de l'inoculation sur les systèmes de production n'est pas encore sensible. On peut anticiper cependant qu'il pourra être non négligeable dans les années à venir. Il devrait alors permettre de réduire de façon sensible les variations de rendement d'un certain nombre de spéculations soumis à des stress, en particulier en conditions de culture pluviale, de réduire les intrants (engrais, pesticides), et de participer à la régénération et l'enrichissement des sols ainsi qu'à la protection des ressources naturelles (réduction notamment de la pollution des nappes phréatiques).

La stratégie de partenariat avec les organisations paysannes locales et nationales privilégie l'agriculture familiale vivrière et devrait donc avoir à terme un impact sur les conditions d'existence des ménages.

La simplicité de la technique et l'impact positif souvent spectaculaire sur la croissance des plantes en font un exemple de choix pour des actions de sensibilisation et de découverte scientifique, notamment en milieu scolaire.

La création des SRD s'inscrit parfaitement dans les recommandations du colloque international « Partenariats-Innovation-Agriculture » tenu à Paris en juin 2008, dont l'une des conclusions était de proposer « des lieux de convergence entre tous les acteurs », où seraient construits des outils communs facilitant les circuits d'information, le travail amont sur les règles de propriété intellectuelle et de gestion, et qui seraient également « des réseaux d'échange régionaux, des plates-formes de communication et de regroupement des acteurs d'un même secteur, permettant de définir des objectifs communs, favorisant à la fois la mutualisation et la spécialisation autour d'outils et collectifs, et incluant des étapes d'évaluation de l'efficacité de ces actions, des « incubateurs » d'innovations, où seront discutés en amont les différents impacts des recherches et identifié les chemins de l'innovation ».

Ainsi la volonté de développer une réflexion partagée entre chercheurs, utilisateurs et conseillers agricoles pour la définition de textes réglementaires régissant la distribution et l'application des inoculums, et pour la création de structures d'approvisionnement et de contrôle de qualité devrait donner plus de poids aux solutions techniques qui seront retenues.

La participation des OP en tant que partenaires de l'ensemble de ces actions renforce leurs capacités et leur visibilité au niveau national et international. Suite au travail mené en commun, les plates-formes paysannes nationales ont ainsi été invitées à être membres des comités nationaux. De même, le réseau InocAO (et donc les OP partenaires) a souhaité être associé à la mise en place du programme SREC (Sociétés rurales, environnement et climat) évoqué par ailleurs dans cet ouvrage. Pour les chercheurs, outre le fait de contribuer au développement durable, la démarche engagée leur permet de développer une vision plus critique des recherches qu'ils conduisent.

Au-delà d'un « simple » transfert de technologie, l'inoculation apparaît donc comme une clé pour créer de nouveaux types de relations entre chercheurs et utilisateurs et, par la mise en place de partenariats de confiance et plus directs, participer au sein de la société à l'instauration d'espaces de dialogue partagé plus efficaces sur les questionnements de la recherche.

Limites de l'expérience

Transfert de la technique d'inoculation

Développer à grande échelle l'usage de la technique nécessite dès à présent la mise à disposition d'inoculum sélectionnés de qualité, pour répondre à la demande qui se dessine. Diverses possibilités sont envisagées : mise en place d'unités locales de production (possibilité de « jeunes pousses » faisant appel à des diplômés des universités partenaires), intervention de sociétés internationales spécialisées. Dans l'attente de ces choix techniques à réaliser, le coût d'application de l'inoculation reste à calculer, mais les premières estimations et l'analyse des coûts dans les pays où elle est appliquée permettent de prévoir qu'il sera largement compétitif par rapport au coût d'autres pratiques culturales.

La diffusion de la technique d'inoculation nécessitera également d'accroître et d'affiner les connaissances sur l'écologie des micro-organismes symbiotiques en zones sèches (informations importantes pour la sélection des souches microbiennes utilisables comme inoculum en fonction des conditions environnementales locales) et sur l'impact global potentiel de leur insertion dans les dispositifs de culture. Les études en cours (par exemple sur les relations diversité microbienne/caractéristiques physicochimiques/typologie paysanne des sols de culture, ou l'analyse génomique et transcriptomique des gènes d'adaptation à la sécheresse chez les rhizobiums associés au niébé) permettent d'avancer dans cette voie.

Enfin, quelles que soient les solutions retenues pour la production des inoculum, il est indispensable de définir, de façon concertée entre chercheurs et utilisateurs, des normes strictes pour régir leur distribution, à l'image des pratiques développées dans le reste du monde et en prenant en compte les spécificités ouest-africaines.

Construction d'un partenariat multi-acteurs

La bonne marche d'un partenariat entre acteurs aussi différents, dans des contextes variés, et mettant en avant le partage des questionnements de recherche comme préalable pour la diffusion des résultats de ces recherches, demande que soient bien définis les rôles respectifs. La poursuite de la réflexion pour l'élaboration d'une charte de partenariat est donc indispensable, particulièrement dans l'optique d'une structuration en réseau régional, étape indispensable pour donner au processus toute son ampleur.

La durabilité d'un tel partenariat entre chercheurs et producteurs dépend également du maintien d'un équilibre fragile entre la nécessité de contacts directs – porteurs de confiance réciproque – et d'une implication institutionnelle, nécessaire à la durabilité. La structuration des organisations de producteurs est pyramidale mais non hiérarchisée, et il n'existe pas de lien de dépendance directe entre les OP à la base et les plates-formes nationales (ce qui participe sans doute au dynamisme actuel du mouvement paysan en Afrique). Il est donc particulièrement important que les chercheurs apprennent à connaître cette structuration (qui, de plus, est variable selon les pays), d'autant plus qu'elle a pour conséquence une différence sensible dans le mode d'intervention : les OP locales sont plus impliquées dans la cogestion des SRD, alors que les actions de diffusion et de visibilité internationale sont plutôt du ressort des plates-formes nationales et du Roppa. L'articulation entre les différentes échelles d'action et la prise en compte de la dimension multi-niveaux de la gouvernance apparaissent donc cruciales.

Conclusion

Les bactéries symbiotiques du groupe de bradyrhizobiums natifs des sols de l'Afrique de l'Ouest représentent de bons modèles, à la fois pour comprendre les mécanismes adaptatifs à la sécheresse et pour cerner de façon plus fine le comportement de populations ciblées en réponse aux modifications des conditions environnementales. Ces changements ne peuvent être élucidés qu'avec une implication des savoirs et expertises locaux et une ouverture vers d'autres disciplines scientifiques.

Le LCM a initié à partir de 2005 le développement d'un partenariat entre laboratoires de recherche, organisations paysannes et structures de conseil agricole pour la diffusion et la sensibilisation sur l'importance et l'utilité des bactéries symbiotiques. D'une manière générale, ces actions ont permis de créer des liens directs et de confiance entre chercheurs et paysans, de penser les partenariats avec des organisations représentatives et pas seulement avec des individus, de sensibiliser les paysans aux questionnements de la recherche et pas uniquement aux résultats, et d'envisager la collaboration dans la durée (Sow et Neyra, 2008). Ce dialogue franc entre la recherche et les acteurs locaux donne actuellement l'ouverture à d'autres disciplines et permet d'aborder les travaux de recherche à travers les regards croisés de microbiologistes, climatologues, physico-chimistes du sol, sociologues, afin d'élaborer et valider des indicateurs dynamiques qui permettront d'observer et d'anticiper le comportement du sol pour une amélioration de la productivité agricole dans le respect de l'environnement et d'une agriculture durable.

D'autre part, les questions concernant le réchauffement climatique prennent généralement peu en considération une autre échelle : celle de la microbiologie. Or, les très nombreuses fonctions réalisées par les micro-organismes du sol leur confèrent un rôle capital dans le fonctionnement des grands cycles biogéochimiques. De leurs

activités dépendent donc directement la qualité et la productivité du sol, support de la croissance végétale. L'effet des changements climatiques ou anthropiques sur la composante bactérienne est cependant très peu étudié.

Très souvent, un lien direct est énoncé entre le taux de précipitation et le rendement agricole. La diminution de la pluviométrie accompagnant le réchauffement climatique, engendrerait une diminution du rendement agricole avec des conséquences dramatiques sur la sécurité alimentaire. Or, il est essentiel de considérer la proportion des types de sols existant dans chacune des zones pour réellement définir la vulnérabilité des terres aux fluctuations de précipitations. Cela semble important, notamment, dans le cadre de la définition d'indicateurs microbiologiques potentiels de la qualité des sols agraires.

Références

- Ba, S., A. Willems, P. de Lajudie, P. Roche, H. Jeder, P. Quatrini, M. Neyra, J. C. Promé, M. Gillis, C. Boivin-Masson, and J. Lorquin
2002. Symbiotic and taxonomic diversity of rhizobia isolated from *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* in Africa. *System. Appl. Microbiol.* 25 : 130-145.
- Borcard, D., et A. Buttler
2001. Ecologie numérique. 250 p. Université de Montréal et Université de Franche-Comté.
- Cissé, N., S. Thiaw, M. Ndiaye, et A. E. Hall
1996. Guide de production de niébé. Fiches techniques, ISRA, 6 (2) : 1-12.
- Diouf D., R. Samba-Mbaye, D. Lesueur, A.T. Ba, B. Dreyfus, P. de Lajudie, and M. Neyra
2007. Genetic diversity of *Acacia seyal* Del. rhizobial populations indigenous to Senegalese soils in relation to salinity and pH of the sampling sites. *Microbial Ecol.* 54 : 553-566.
- Diouf D., I. Ndoeye, D. Fall, A. Kane, A. T. Ba, and M. Neyra
2008. Caractérisation phénotypique et symbiotique de souches de *Mesorhizobium* spp. nodulant *Acacia seyal* Del. *Journal des Sciences et Technologies*, 7 : 1-10.
- Fall, D., D. Diouf, M. Ourarhi, A. Faye, H. Abdelmounen, M. Neyra, S. Sylla, and M. Missbah El Idrissi
2008. Phenotypic and genotypic characteristics of *Acacia senegal* (L.) willd root-nodulating bacteria isolated from soils in the dryland part of Senegal. *Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology*, 47 : 85-97.
- Fall, D., D. Diouf, M. Neyra, O. Diouf, and N. Diallo
2009. Physiological and biochemical responses of *Acacias seyal* (Del.) seedlings under salt Stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 32 : 1122-1136.
- Krasova-Wade, T., I. N. N'Doye, S. Braconnier, B. Sarr, P. de Lajudie, and M. Neyra
2003. Diversity of indigenous bradyrhizobia associated with three cowpea cultivars (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) grow under limited and favorable water conditions in Senegal (West Africa). *Afr. J. Biotech.* 2 (1) : 13-22
- Krasova-Wade T. and M. Neyra
2007. Optimization of DNA isolation from legume nodules. *Letters in Applied Microbiology*, 45 : 95-99.

Ndong J.-B

1995. L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement / The evolution of rainfall in Senegal and the consequences of the recent drought on the environment.

In : Revue de géographie de Lyon.

Vol. 70 n° 3- 4. Sahel, la grande secheresse. pp. 193-198.

Padulosi, S. and N. Q. Ng

1997. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp., p. 337-340.

In B. B. Singh, D. R. Mohan, K. E. Dashiell, and L. E. N. Jackai (ed.), *Advances in cowpea research*. Nigeria, Japan.

Sene, D., P. Laurent, and S. M. Ndiaye

1971. Les variétés de niébé actuellement conseillées au Sénégal. *Les cahiers d'Agriculture Pratique des Pays chauds*, 2 : 1-18.

Sow H. A and M. Neyra

2008. Paysans et chercheurs ensemble pour l'intégration des microorganismes dans le système agricole ouest-africain. *AGRIDAPE*, 24 : 20-22

Sylla, S. N, R. T Samba,

M. Neyra, I. Ndoye, E. Giraud, A. Willems, P. de Lajudie, and B. Dreyfus

2002. Phenotypic and genotypic diversity of rhizobia nodulating *Pterocarpus erinaceus* and *P. lucens* in Senegal.

System. Appl. Microbiol. 25 : 572-583.

Willems, A., R. Coopman, and M. Gillis

2001. Comparison of sequence analysis of 16S-23S rDNA spacer regions, AFLP analysis and DNA-DNA hybridations in *Bradyrhizobium*.

Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 51 : 623-632.

Remerciements

Les auteurs et l'ensemble du personnel du Laboratoire commun de microbiologie remercient les présidents et les producteurs représentants des organisations paysannes et les agents d'encadrement rural de l'Ancar des CLCOPs de Guédé, Ouarkhokh, Darou Mousty et Dya pour les efforts consentis, leur engagement et leur disponibilité. Ces études ont bénéficié de l'aide financière des programmes Duras-Inoculation, Corus-MycoVigna, Ripiecsa-Ripimsa, Aires Sud et ANR/VMCS SolAO. Nous sommes reconnaissants à l'ensemble de nos collègues pour leur esprit de partenariat exemplaire.



La Grande Muraille Verte

*Capitalisation des recherches
et valorisation des savoirs locaux*



Coordination scientifique
Professeur Abdoulaye DIA
Docteur Robin DUPONNOIS

La Grande Muraille Verte

Capitalisation des recherches
et valorisation de savoirs locaux

Coordination scientifique

Professeur Abdoulaye DIA
Docteur Robin DUPONNOIS

IRD
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Coordination
Corinne Lavagne

Mise en page
Alain Doudiès Conseil

Maquette de couverture
Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure
Pierre Lopez

La loi du 1^{er} juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2012
ISBN : 978-2-7099-1738-4