HAL open science

Du partage de connaissances à la co-conception d'innovations agroécologiques : Exemple de la mobilisation des mycorhizes en Guyane

Marie Chave, Valérie Angeon, Raphaël Paut, Marc Tchamitchian, M. Goasduff, A. C. Harter, G. Paul, Sophie Quinquenel, H. Ster

▶ **To cite this version:**

Marie Chave, Valérie Angeon, Raphaël Paut, Marc Tchamitchian, M. Goasduff, et al.. Du partage de connaissances à la co-conception d'innovations agroécologiques : Exemple de la mobilisation des mycorhizes en Guyane. Innovations Agronomiques, 2018, 64, pp.97-111. 10.15454/1.5408025827548547E12 . hal-02628212

HAL Id: hal-02628212

https://hal.inrae.fr/hal-02628212

Submitted on 26 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Innovations Agronomiques 64(2018), 97-111

Du partage de connaissances à la co-conception d'innovations agroécologiques : Exemple de la mobilisation des mycorhizes en Guyane

Chave M.[1], Angeon V.[2,3]

Avec la collaboration de : Paut R.[1,3], Tchamitchian M.[3], Goasduff M.[5], Harter A.C.[4,6], Paul G.[4], Quinquenel S.[4], Ster H.[5]

[1] INRA UR ASTRO AgroSystèmes TROpicaux, F-97170 Petit-Bourg, Guadeloupe

[2] INRA URZ Unité de Recherche en Zootechnie, F-97170 Petit-Bourg, Guadeloupe

[3] INRA UR Ecodéveloppement, Domaine Saint-Paul- Agroparc, F-84914 Avignon, France

[4] Chambre d'agriculture de Guyane, av des Jardins de Ste-Agathe, F- 97355 Macouria-Tonate, Guyane

[5] Coopérative Bio Savane, PK0, route crique Toussaint, F- 97315 Sinnamary, Guyane

[6] DAAF Guyane, Parc Rebard, F-97305 Cayenne, Guyane

Correspondance : marie.chave@inra.fr

Résumé

Pour concevoir et mettre en œuvre des systèmes de production agroécologiques, les agriculteurs s'appuient sur un panel de connaissances (scientifiques, locales, expertes …) relatives à leurs milieux naturels et leurs fonctionnalités. Ils mobilisent un ensemble de pratiques, produits, méthodes et technologies qui valorisent la biodiversité. La biodiversité microbienne du sol, en particulier, offre des perspectives prometteuses pour réduire l'utilisation d'engrais et de pesticides. En Guyane française, une démarche participative impliquant des agriculteurs, des chercheurs et des techniciens a permis de partager des connaissances et d'identifier les leviers à la valorisation des mycorhizes en maraîchage. Les acteurs guyanais ont proposé d'évaluer des produits commerciaux standard (biofertilisants à base de racines mycorhizées) et des pratiques mobilisant les mycorhizes indigènes, naturellement présentes dans la plupart des sols, par la culture de plantes mycorhizotrophes en pépinière. Les résultats obtenus montrent que la valorisation des champignons mycorhiziens indigènes est plus efficace que l'utilisation de produits commerciaux pour mycorhizer des plants en pépinière.

Mots-clés : Agroécologie, Démarche participative, Micro-organismes bénéfiques, Conception innovante.

Abstract : From knowlegde sharing to co-design of agroecological innovations: Example of the mycorrhiza valorization in French Guiana

When designing and implementing agroecological production systems, farmers make use of knowledge from various sources (scientific, local, expertise,…). They also exploit practice, products and technologies based on biodiversity. Soil microbial biodiversity, especially, offers promising opportunities to reduce the use of pesticides and fertilizers. In French Guiana, a participatory approach involving farmers, advisers and researchers, allowed to share knowledge and to identify levers and brakes. This approach is dedicated to the use of mycorrhiza in market gardening production. The different stakeholders proposed to evaluate some commercial products (biofertilizers based on mycorrhized roots) and practices favouring native mycorrhiza (naturally present in most agricultural soils) by growing mycorrhizal plants in nurseries. The results obtained show that the valorization of native mycorrhizal fungi is more efficient than the use of commercial products to mycorrhize plants in nurseries.

Keywords: Agroecology, Participatory approach, Beneficial microorganisms, Innovative design.

Introduction

En réponse à l'injonction de « produire autrement », la conception de systèmes de production agroécologiques est appelée à se développer. L'agroécologie offre un panel de connaissances et d'outils permettant aux agriculteurs de construire leurs propres stratégies en fonction de leur contexte de production (Meynard et al., 2012). Les agriculteurs s'appuient pour cela sur différentes sources de connaissances (scientifiques, locales, expertes …) relatives à leurs milieux naturels et à leurs fonctionnalités écologiques. Ils mobilisent un ensemble de pratiques, produits, méthodes et technologies en faveur de la biodiversité.

La biodiversité microbienne du sol, en particulier, offre des perspectives prometteuses pour réduire l'utilisation d'intrants de synthèse (engrais et pesticides) (Chave et al., 2014). Ainsi, les mycorhizes, symbioses entre racines des plantes (80% des espèces végétales sont concernées) et certains champignons du sol (les Champignons Mycorhiziens à Arbuscules ou CMAs, présents dans la majorité des sols), sont de plus en plus intégrées au sein des stratégies d'écologisation des systèmes agricoles. Organismes clés, associant biodiversité végétale et microbienne depuis plus de 400 millions d'années, les mycorhizes fournissent de nombreux services écosystémiques (Smith et Read, 2008) : biofertilisation, résistance aux stress abiotiques (sécheresse, salinité etc.) et biotiques (maladies, ravageurs), contribution au bouclage des cycles géochimiques. A partir de racines mycorhizées, de très longs filaments fongiques explorent le sol sous forme de réseaux permettant aux racines de capter des éléments nutritifs (eau et minéraux) difficilement accessibles autrement. En échange, la plante fournit aux CMAs des éléments issus de la photosynthèse sans lesquels ils ne peuvent se développer. La bioprotection des plantes (Veresoglou et Rillig, 2012) vis-à-vis de différents types de bioagresseurs (bactéries, nématodes et champignons phytopathogènes) s'appuie, quant à elle, sur un ensemble de processus directs et indirects (Azcón-Aguilar et Barea, 1997) tels que l'augmentation de la vigueur de la plante, la compétition pour les sites nutritifs entre les CMAs et les bioagresseurs ou la stimulation des défenses naturelles.

Dans la pratique, deux stratégies de valorisation des mycorhizes existent : (i) l'inoculation de CMAs exogènes sous forme de propagules (fragments de racines mycorhizées, de filaments ou de spores), et (ii) la mobilisation de mycorhizes indigènes.

(i) **L'inoculation de CMAs exogènes** produits industriellement à partir de souches de collection, sélectionnées essentiellement pour leurs capacités reproductives, est une technique largement proposée aux agriculteurs. De nombreux produits sont commercialisés en tant que matières fertilisantes et supports de culture à base de racines mycorhizées. L'optimisation des conditions de production, de conditionnement et de commercialisation des CMAs fait l'objet d'une activité intense de recherche (inocula mono ou plurispécifiques, produits *in vivo* ou *in vitro*, vendus associés à des matières fertilisantes ou dans l'enrobage des graines, sous forme liquide, granules, etc.). On note cependant que les risques écologiques liés à l'introduction des inocula de CMAs exogènes (présence possible d'agents pathogènes dans les inocula produits *in vivo* et risque de compétition au détriment des populations indigènes) ne sont pas évalués (Ijdo et al., 2011 ; Schwartz et al., 2006 ; Verbruggen et al., 2013).

(ii) **La mobilisation de mycorhizes indigènes** est une stratégie peu utilisée intentionnellement par les agriculteurs actuellement bien que techniquement directement disponible par la mise œuvre de pratiques adaptées au champ. Par exemple, l'association en inter-rang, dans les systèmes de culture, de plantes capables de mobiliser les CMAs indigènes représente une voie alternative innovante à l'inoculation de CMAs commerciaux. Cette pratique est par ailleurs porteuse de nombreux avantages économiques et écologiques puisqu'elle n'impose pas à l'agriculteur d'acheter des intrants (Pellegrino et al., 2011 ; Chave et al., 2014). Elle permet, en outre, de respecter le principe de précaution face au risque de compétition entre souches de CMAs exogènes et populations indigènes.

Quelle que soit la stratégie utilisée, la mise en œuvre de pratiques adaptées est essentielle afin que l'utilisation des mycorhizes par les agriculteurs soit efficace. Il s'agit, d'une part, de faciliter l'interaction

plante-champignon et de constituer la symbiose (rotations et associations de cultures mycorhizotrophes) et, d'autre part, de maintenir et de densifier les réseaux mycorhiziens constitués (réduction du labour et de l'utilisation d'engrais et de pesticides). Toutefois, des difficultés méthodologiques demeurent quant à l'évaluation de l'efficacité de la mycorhization en conditions naturelles.

En effet, compte tenu de l'état des connaissances scientifiques, appréhender isolément l'effet réel des mycorhizes de celui de l'ensemble des pratiques nécessaires à leur mobilisation est aujourd'hui non réalisable. Il demeure par ailleurs impossible de différencier au champ les souches de mycorhizes exogènes inoculées des souches indigènes présentes naturellement dans les sols (Gianinazzi et Votsaka, 2004). Ainsi, mobiliser plus de biodiversité dans les systèmes de production introduit de la complexité et de l'incertitude et rend nécessaire une bonne compréhension des processus écologiques en jeu afin de mieux saisir comment les actionner.

Dans ce contexte de complexité et d'incertitude, la chambre d'agriculture de Guyane (CAG) a sollicité l'INRA Antilles-Guyane, pour une formation-expertise des agriculteurs sur la valorisation des mycorhizes dans les systèmes de culture maraîchers. Il s'agissait pour la CAG d'explorer avec les agriculteurs la mobilisation des processus mycorhiziens comme alternative à l'utilisation des pesticides. Cette initiative inscrite au sein du plan Ecophyto avait également pour objectif d'accompagner les agriculteurs souhaitant s'engager dans de telles démarches agroécologiques. En réponse à la demande de la CAG, un dispositif de recherche-action a été conçu.

Cet article comprend trois parties. Premièrement, nous exposons le cadre théorique et le dispositif mis en place afin de faire émerger les stratégies de valorisation des mycorhizes envisagées par les agriculteurs guyanais et leurs propositions d'action. Deuxièmement, nous présentons l'évaluation des propositions qui ont été expérimentées. Troisièmement, nous discutons l'ensemble des résultats obtenus.

1. Valoriser les mycorhizes en Guyane : former les agriculteurs et co-concevoir des stratégies d'action

La démarche d'accompagnement des agriculteurs guyanais sur la mobilisation des mycorhizes s'inscrit dans le cadre d'une recherche partenariale[1] impliquant la CAG et le centre de recherche Antilles-Guyane de l'INRA. L'expertise de l'équipe de recherche de l'INRA sur les mycorhizes s'appuie sur une maîtrise de la littérature scientifique (phytopathologie, mycologie, agronomie) explicitant les processus écologiques en jeu (Chave et al., 2014). Ces éléments de littérature mettent en évidence que si les mycorhizes constituent des éléments-clés de la biodiversité mobilisables pour réduire l'utilisation des intrants de synthèse, ce sont des interactions complexes dont l'activation dépend de nombreux facteurs (nature des organismes, conditions environnementales, succession des processus dans le temps). Leur efficacité est partielle et fortement dépendante des pratiques agricoles. Par ailleurs, l'impact de leur mobilisation au champ demeure incertain et particulièrement difficile à observer.

Dans ce contexte, nous faisons l'hypothèse que le manque d'accès et de partage des connaissances (autour des mycorhizes et entre les agriculteurs) est un frein majeur à leur mobilisation dans les systèmes de culture. Nous postulons également que l'un des principaux leviers pour mettre en place des systèmes de production agroécologiques est la capacité d'apprentissage collectif des agriculteurs. Ainsi, nous avons entrepris de concevoir un dispositif collectif cognitif qui vise à (i) favoriser la compréhension de processus biologiques et l'appropriation des principes et concepts qui y sont liés, (ii) mettre en partage les connaissances, (iii) faciliter l'énoncé par les agriculteurs des freins et des leviers à

[1] Projet SYSTEMYC : Conception de SYSTEmes de culture basés sur l'utilisation de la MYCorhization pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques de la tomate (2015-2018), soutenu par l'APR Pour et Sur le Plan Ecophyto 2 « Contribuer à l'essor du biocontrôle » et l'Agence Française pour la Biodiversité.

la mycorhization (Angeon et al., 2014). Cette démarche est pensée comme un préalable pour faciliter la conception et la mise en œuvre d'innovations agroécologiques centrées sur les mycorhizes. Elle entend outiller la CAG sur le plan conceptuel et méthodologique afin de mieux répondre aux enjeux d'accompagnement des agriculteurs dans la formation et le conseil. Dans les propos qui suivent, nous présentons le cadre théorique, le dispositif conçu et les concepts qu'il permet d'appréhender.

1.1. Un dispositif de conception innovante pour appréhender les processus mycorhiziens

Le dispositif conçu et expérimenté avec les agriculteurs s'intitule MYMYX pour « Mimic Mycorrhizal networks ». Il s'inspire de la méthode **KCP®** (*Knowledge Concept Propositions*, Hatchuel et al., 2009). La méthode KCP trouve ses origines dans la théorie de la conception innovante C-K (Le Masson et al., 2006). Les espaces des concepts (C) et des connaissances (K) sont au cœur de ce cadre théorique. Ces espaces C et K s'articulent, s'incrémentent, s'étendent et orientent le processus d'innovation. Dans le cadre de notre démarche d'accompagnement des agriculteurs à la transition agroécologique, le formalisme C-K a été appliqué à la valorisation des processus mycorhiziens.

L'espace K regroupe l'ensemble des connaissances mobilisables dans le domaine de l'ingénierie agroécologique pour la valorisation des processus mycorhiziens. Il est tout d'abord alimenté par des connaissances scientifiques issues des disciplines biotechniques (phytopathologie, mycologie et agronomie). Ainsi une revue de littérature synthétise les savoirs acquis sur : le rôle des mycorhizes pour le biocontrôle (Veresoglou et Rillig, 2012 ; Chave et al. 2017), l'importance des réseaux mycorhiziens communs pour les interactions entre plantes et la diversité des pratiques agricoles qui impactent les processus mycorhiziens (Chave, 2015). Elle est complétée par une analyse issue des sciences économiques et sociales qui révèle le caractère dominant de la stratégie d'inoculation de souches de chmapignons mycorhiziens exogènes et met en évidence des phénomènes de verrouillage technologique (Angeon et Chave 2014).

L'espace C a été conçu à partir de la littérature scientifique constitutive de l'espace K. Il s'agit de concepts puisqu'ils renvoient à une manière de formaliser les processus écologiques. Sur cette base, le concept initial 'Valoriser les processus mycorhiziens' a été décomposé en trois sous-concepts (Chave 2015). Les trois sous-concepts décrivent les trois phases du cycle de constitution et de développement de la mycorhization. Ces trois phases sont identiques que les CMAs soient exogènes ou indigènes.

On distingue ainsi : C1 : introduire des CMAs, C2 : Connecter CMAs et plantes, C3 : Densifier les réseaux mycorhiziens. C1 correspond à l'inoculation de propagules de CMAs au sein du système de culture ; C2 rassemble les processus de mise en contact et d'association des plantes avec les CMAs pour constituer la symbiose ; C3 correspond à la phase de développement des réseaux dans le sol une fois la symbiose établie. Chacun des sous-concepts est lui-même subdivisé en sous-ensemble correspondant à des catégories de pratiques agricoles sur lesquelles les agriculteurs échangent.

L'espace K est également alimenté par les connaissances empiriques des agriculteurs qui hybrident les connaissances scientifiques et permettent de poursuivre l'exploration de l'espace C. A l'issue de cette exploration de C, de nouvelles connaissances scientifiques et techniques sont produites. La Figure 1 résume les principales interactions entre C et K.

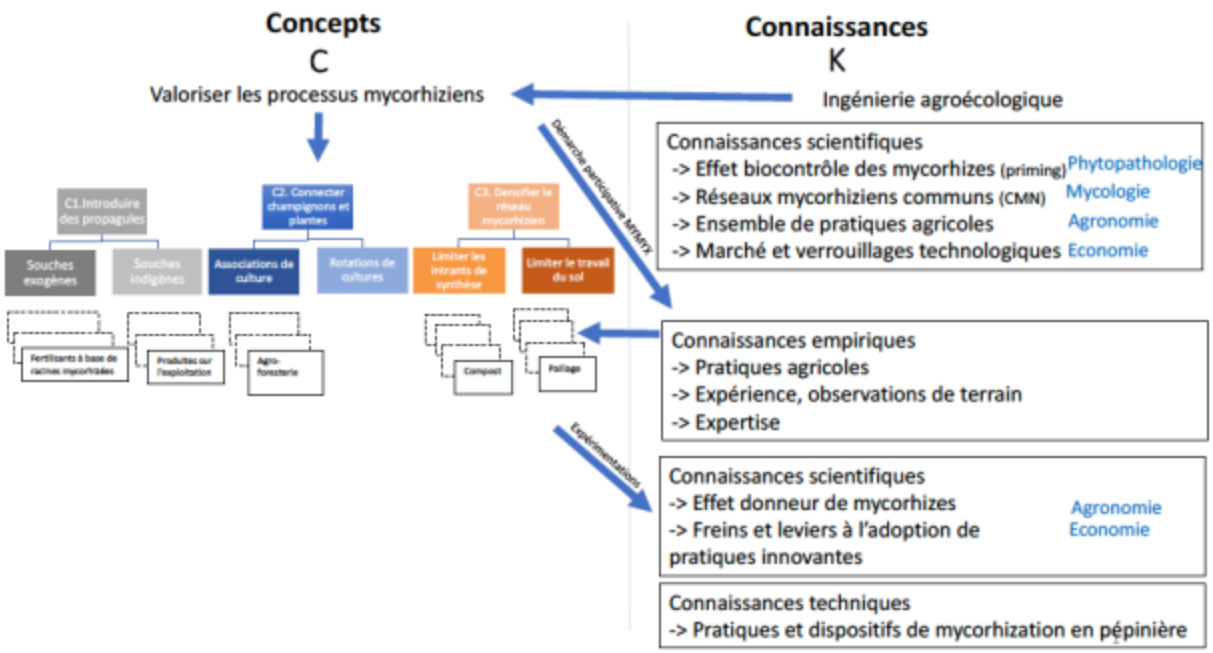

Figure 1 : Espaces des concepts et des connaissances pour la valorisation des processus mycorhiziens dans une démarche d'ingénierie agroécologique.

D'un point de vue opérationnel, la théorie C-K est mise en œuvre par la démarche KCP® (Hatchuel et al., 2009). Nous nous sommes inscrits dans cette ligne avec le dispositif MYMYX qui contribue au partage et à l'hybridation de connaissances scientifiques et empiriques nécessaires au processus de conception innovante. Ce dispositif crée ainsi des dynamiques d'apprentissage collectif facilitant la mise en œuvre de la transition agroécologique.

1.2. Un dispositif d'apprentissage collectif

Le dispositif MYMYX consiste en la mise en œuvre d'ateliers participatifs avec des agriculteurs cherchant à « produire autrement » en mobilisant les régulations naturelles. Ce dispositif s'appuie sur l'intervention d'experts et l'utilisation d'un jeu de plateau[2]. Son originalité tient dans le fait qu'il articule trois séquences de rapport au terrain au cours desquels les ensembles K, C et P sont diversement alimentés. Il y a :

(i) Un **premier atelier qui inclut une séquence de formation collective**[3] pour le partage et l'appropriation de connaissances **(consolidation de l'ensemble K)** est proposé. MYMYX permet de partager et/ou de faire état des connaissances existantes (scientifiques, empiriques, etc.). Cette phase d'actualisation et de mise en commun des connaissances permet également d'identifier les connaissances manquantes, en continuité ou en rupture par rapport à celles qui sont disponibles. MYMYX favorise également l'appréhension et l'exploration des concepts explicitant les processus mycorhiziens **(appropriation de l'ensemble C**). Il s'agit d'organiser une démarche de créativité « dirigée » (Hatchuel et Weil, 2003 ; 2009) afin d'approfondir les concepts clés qui sont nécessaires à la

[2] DI-RV-15-15-0020. Chave, Angeon, Giraud. Enveloppes Soleau n°582327 et n°582992. Marque n°174341832 déposée au nom de l'INRA en classes 9, 28 et 41.

[3] La formation porte sur les processus et les fonctionnalités écologiques des mycorhizes et sur les pratiques agronomiques à observer pour les valoriser. Elle s'intitule « Les mycorhizes : Quoi ? Pourquoi ? Comment ? » http://transfaire.antilles.inra.fr/spip.php?page=recherche&recherche=mycorhizes

compréhension des mécanismes et des processus étudiés voire d'en produire de nouveaux. Plus largement, l'atelier sensibilise les agriculteurs à la vie du sol, à la complexité et à l'incertitude liés aux processus en jeu, au caractère systémique de l'approche en matière de conduite agronomique des parcelles cultivées pour une mobilisation efficace de la mycorhization.

(ii) **Des enquêtes sur les exploitations sont menées.** Elles ont un triple objectif. Le premier est d'évaluer les savoirs acquis. Le deuxième est l'identification des freins (internes et externes) et leur pondération pour l'agriculteur interrogé. Le troisième objectif est l'observation des pratiques mycorhizotrophes effectivement mises en œuvre. Une discussion est alors engagée avec l'agriculteur sur les pratiques adoptées à l'issue du premier atelier.

(iii) **Un atelier prospectif est réalisé avec les agriculteurs**. Il vise à synthétiser et à discuter collectivement les propositions d'action en matière de valorisation des mycorhizes. Il se conclut par une sélection des propositions à évaluer *in situ*. Il s'agit d'agréger et de recombiner les connaissances et les concepts issus des deux premières phases mais aussi de les mobiliser concrètement en les déclinant au sein d'un programme d'action. Cette étape permet de formuler des propositions susceptibles de déboucher sur une stratégie d'innovation sur le long terme. Sont abordées aussi bien des questions biotechniques qu'organisationnelles et institutionnelles.

Ces trois séquences d'animation permettent une grande diversité d'apprentissages de la part des agriculteurs. Ces apprentissages sont d'ordre technique, théorique, se construisent par l'expérience et l'action. Ils sont de nature biologique, écologique, agronomique, organisationnelle etc. Ils s'établissent dans un contexte collectif et relèvent pour l'essentiel des interactions entre parties prenantes. MYMYX constitue ainsi un dispositif collectif cognitif (Angeon et al. 2014). Il favorise en effet l'émergence de règles de décision et d'action, de routines partagées visant à satisfaire des objectifs finalisés, qu'il s'agisse de la production de services écosystémiques ou de connaissances pour la co-conception de nouveaux systèmes de culture.

Tout au long des trois séquences, les propositions de pratiques agricoles et d'action émises par les agriculteurs pour valoriser les processus mycorhiziens sont répertoriées au sein d'une « bibliothèque de propositions » **(élaboration de P)**. La bibliothèque de propositions que nous présentons sous la forme d'un arbre (cf. section suivante) est le fruit d'un processus d'appropriation des sous-concepts C1, C2 et C3 issus du concept initial 'Valoriser les processus mycorhiziens'.

Ainsi, si le dispositif MYMYX permet de spécifier les concepts explicitant les processus mycorhiziens, il permet aussi de se les approprier en déclinant les propositions au sein des différentes branches de l'arbre. Cette phase est essentielle au sens où elle libère les horizons de choix des agriculteurs et augmente leur capacité de décision et d'autonomie sur leur exploitation. Ce sont en effet ces branches de l'arbre que les agriculteurs mettront concrètement en pratique sur leur exploitation.

1.3. Un arbre des concepts exploré avec les agriculteurs guyanais

Après avoir été développé en Martinique en 2014[4], le dispositif MYMYX a été mis en œuvre en Guyane en octobre-novembre 2015 avec 14 agriculteurs en systèmes de culture maraîchers diversement localisés sur la bande côtière (à Macouria, Sinnamary et Iracoubo) et à l'intérieur des terres (à Nancibo, Régina, Cacao et Montsinéry). Ces systèmes de production s'établissent donc dans des contextes agro-pédo-climatiques contrastés. La plupart de ces agriculteurs associe maraîchage et arboriculture (9 d'entre eux). Quatre d'entre eux sont en système polyculture-élevage. La moitié des exploitations est certifiée en agriculture biologique. L'autre moitié est engagée dans une dynamique de réduction des

[4] Projet REACTION : REgulations naturelles et leviers d'ACTION : Focus sur la bioprotection préventive par les symbioses mycorhiziennes (2014-2016), soutenu par le métaprogramme INRA-SMaCH (Sustainable Management of Crop Health).

pesticides. L'âge moyen des agriculteurs est de 46 ans. La surface consacrée au maraîchage est de l'ordre de 1 à 2 hectares.

Les participants ont été invités par la CAG dans le cadre de la mise en œuvre du plan Ecophyto par la conseillère Ecophyto Recherche-Transfert. Deux techniciennes de la coopérative Bio-savane ainsi qu'un agent de la DAAF Guyane ont participé aux ateliers en tant qu'experts observateurs et ont réalisé les enquêtes en exploitation afin de suivre l'évolution des pratiques des agriculteurs. Le premier atelier a eu lieu le 2 octobre 2015 au lycée agricole de Matiti à Macouria. Les agriculteurs ont par la suite tous été enquêtés (3-25 novembre 2015) afin d'observer leurs pratiques au champ et d'apprécier leur degré d'appropriation des connaissances et des concepts discutés en séance. L'atelier prospectif au cours duquel sont plus spécifiquement recueillies les propositions d'action s'est tenu le 26 novembre 2015 au lycée agricole de Matiti à Macouria.

Le dispositif MYMYX a permis l'exploration du concept initial de valorisation des processus mycorhiziens en renseignant les 3 sous-concepts clés C1, C2 et C3 par les propositions des agriculteurs guyanais. Au cours des deux ateliers et des enquêtes en exploitation, les 38 propositions élaborées par les agriculteurs guyanais se répartissent de manière différenciée sur C1, C2 et C3 (Figure 2).

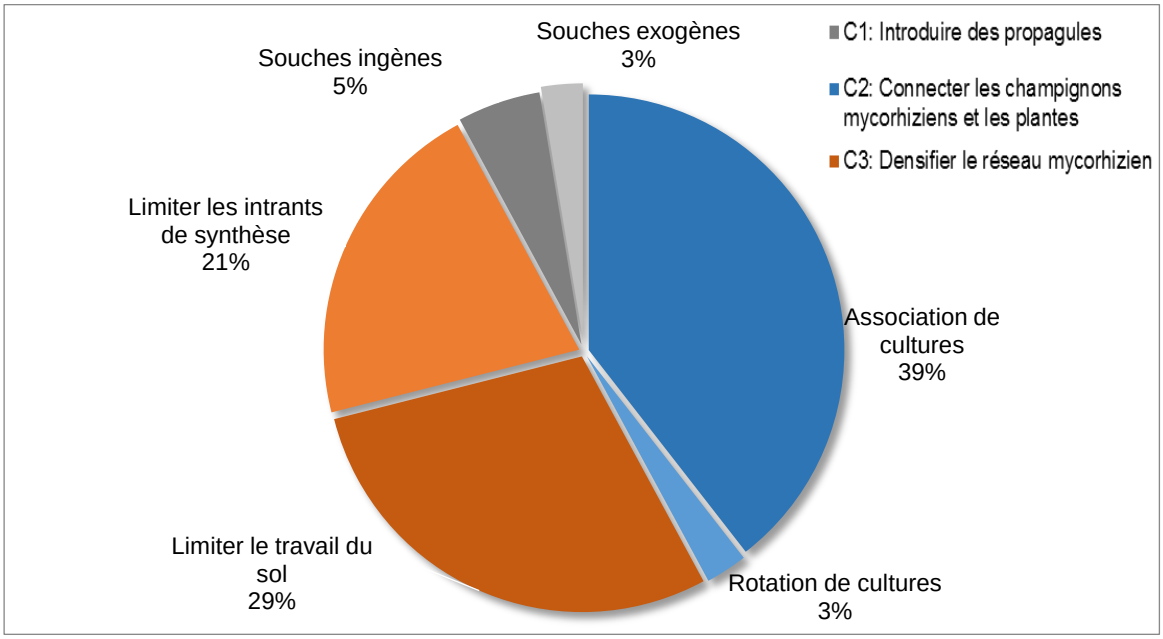

Figure 2 : Répartition des propositions des agriculteurs guyanais au sein des 3 sous-concepts C1, C2 et C3 de l'arbre 'Valoriser les processus mycorhiziens'.

Ainsi, 50% de ces propositions visent à densifier le réseau mycorhizien (C3) par des pratiques qui limitent le travail du sol (ie. utilisation de paillage ou de BRF (Bois Raméal Fragmenté) et l'utilisation d'intrants de synthèse (ie. apport de compost ou de fumier). Le sous-concept C2 recueille, quant à lui 42% des propositions dont la très grande majorité concerne l'association de cultures telle que la pratique de l'agro-foresterie ou l'association de légumineuses arbusives (ingha par exemple). 3% de l'ensemble des propositions portent sur la rotation des cultures. Le sous-concept C1 'introduction de propagules' ne recueille que 8 % des propositions et concerne l'introduction de souches exogènes ou indigènes. Deux agriculteurs proposent de mettre en œuvre et d'évaluer la production de mycorhizes indigènes sur leur exploitation.

Parmi ces propositions, certaines sont déjà mises en œuvre au titre de leurs pratiques sur l'exploitation, les agriculteurs mettent alors en relation les pratiques qu'ils ont déjà adoptées avec la mycorhization.

D'autres propositions sont énoncées ; elles seront ou ne seront pas mises en pratique par les agriculteurs. Le dispositif MYMYX a dès lors permis aux agriculteurs d'échanger sur leurs pratiques (actuelles ou envisagées) mais aussi d'exprimer leur cadre de contraintes. Cette dynamique d'échange a, dans certains cas, renforcé leur posture initiale (rapport à la biodiversité végétale et microbienne) et leurs stratégies de valorisation, et dans d'autres, les a incités au changement.

Dans le prolongement de la réflexion sur les pratiques et les stratégies de mycorhization adoptables, l'atelier prospectif a réuni 9 des 14 agriculteurs présents lors du premier atelier. Ce groupe est relativement homogène. Il est composé d'agriculteurs certifiés ou en cours de conversion en agriculture biologique, principalement en maraîchage et en arboriculture, adhérents de la coopérative Bio Savane ou qui participent aux animations organisées par cette coopérative.

Il s'agissait de continuer à recenser les freins et leviers à la mycorhization et de faire les agriculteurs expliciter les stratégies qu'ils souhaitent explorer et évaluer. Un scénario fictif est présenté avec la création de « GuyaMyc : une start-up de production et de vente de mycorhizes locales ». Le sous-concept C1 'introduction de propagules' produites par une unité régionale à partir de souches prélevées sur le territoire est ainsi utilisé comme scénario à débattre. Il est demandé aux agriculteurs d'indiquer (i) s'ils seraient prêts à acheter ces propagules produites localement à partir de souches indigènes, (ii) selon quels critères ils prendraient leur décision et (iii) quels obstacles potentiels ils identifieraient à l'utilisation de tels produits.

Parmi les 9 agriculteurs présents au deuxième atelier, cinq ont répondu positivement à la première question sous réserve d'un tarif abordable, d'une contribution à l'activité biologique du sol et d'un effet bénéfique dans le contexte de sols pauvres et dégradés en complémentarité d'autres pratiques (BRF, compost, etc.). Quatre autres agriculteurs ont exprimé le souhait de multiplier leurs mycorhizes sur leur propre exploitation. Leurs arguments sont principalement écologiques (limiter les risques de « déséquilibres », adaptation à ses « propres cultures ») et économiques (« indépendance de l'agriculteur qui auto-produit », « gratuité du patrimoine naturel »).

Les échanges lors de l'atelier ont mis en évidence la diversité des stratégies des agriculteurs, certains d'entre eux préférant utiliser un produit disponible dans le commerce (matières fertilisantes à base de mycorhizes sous forme de granulés), conservant ainsi leurs pratiques habituelles (principe de substitution d'un intrant chimique par un intrant biologique).

Dans la continuité de l'atelier prospectif, une demande d'évaluer expérimentalement différentes stratégies de mycorhization indigènes et exogènes a émergé. Cette demande est formellement ré-exprimée par un consortium d'acteurs locaux soutenant le développement de l'agroécologie et impliqués dans l'évaluation de stratégies de réduction des intrants en Guyane. Ce consortium réunit la conseillère Ecophyto Transfert-Recherche, deux techniciens de la coopérative Bio Savane et le chef de culture du lycée Matiti. En interaction avec l'ingénieur expert en mycorhizes de l'INRA Antilles-Guyane et co-concepteur du dispositif MYMYX, ce consortium a proposé d'évaluer, sur plusieurs sites aux contextes pédologiques contrastés les sous-concepts C1 et C2. Un tel protocole vise à éprouver les sous-concepts C1 et C2 en milieu tropical et *in situ*.

Pour ce qui concerne C1, l'introduction de produits commerciaux standards (biofertilisants à base de racines mycohizées) (C1_souches exogènes) et la production de mycorhizes indigènes sur l'exploitation pour inoculation en pépinière (C1_souches indigènes) ont émergé comme stratégies à tester pour éclairer la prise de décision. Pour ce qui concerne C2, ce sont des pratiques mobilisant les mycorhizes indigènes par la culture de plantes mycorhizoptrophes 'dites donneuses' associées aux plantes cultivées en pépinière (C2_association de plantes à mycorhizes) qui sont apparues pertinentes à considérer et pour lesquelles un appareil de preuve empirique a été demandé. L'intérêt d'une comparaison des résultats des trois stratégies identifiées sur différents sites est de consolider les résultats dans des conditions agro-pédologiques variées.

Les résultats des stratégies expérimentées sont présentés et discutés avec les agriculteurs dans le cadre de l'atelier REAGI (Réseau d'Echanges en Agro-écologie Intertropicale), qui s'est tenu en septembre 2016, au lycée Matiti. Le partage de connaissances ainsi produites vise à augmenter la capacité de choix et d'action des agriculteurs. Il s'inscrit dès lors en continuité du dispositif MYMYX.

2. Evaluer des stratégies de valorisation des mycorhizes en milieu réel

Un protocole expérimental visant à comparer les trois stratégies de valorisation des mycorhizes spécifiées collectivement a été défini. Il a été mis en place en pépinière, sur la culture de concombre, culture produite par les agriculteurs présents aux ateliers et adaptée aux contraintes expérimentales (cycle court, période de l'expérimentation en saison sèche) (Rapport de stage Harter, 2016). Plus largement, les résultats attendus sont d'explorer et d'expérimenter les sous-concepts déterminant les stratégies évaluées et de produire de nouvelles connaissances.

2.1 Une expérimentation multi-sites pour consolider les ensembles C et K

De nombreux travaux ont jusqu'à récemment montré que la valorisation des CMAs indigènes s'appuyait principalement sur une phase de production suivie d'une phase d'inoculation de propagules (spores ou fragments de racines mycorhizées) pour aider à la colonisation des plantes cibles (Douds et al., 2005, 2006, 2012 ; Pellegrino et al., 2011). Ces travaux s'inscrivent dans le sous-concept C1_souches indigènes.

Une stratégie innovante consiste à mobiliser les champignons mycorhiziens indigènes via l'association en pépinière de plantes mycorhizotrophes « donneuses » pour faciliter la colonisation de plantes « receveuses » sans passer par une phase de production de propagules. Cette stratégie s'inscrit dans C2_association de plantes à mycorhizes. Cette approche développée *in vitro* par Voets et al. (2009) a été validée *in situ* en Martinique (Chave, 2015). L'effet dit « donneur » permet une colonisation très rapide et importante des plantes cibles.

Dans ces deux stratégies, la mobilisation de CMAs indigènes est un enjeu important afin de permettre aux agriculteurs de réduire le risque de compétition entre mycorhizes exogènes et indigènes. Dans le protocole expérimenté en Guyane, la plante donneuse retenue est le sorgho (*Sorghum bicolor*), reconnu pour être particulièrement favorable à la symbiose mycorhizienne et non-hôte des principaux agents pathogènes rencontrés sur le concombre afin de limiter les risques phytopathologiques.

Les expérimentations ont eu lieu d'avril à août 2016 sur 3 exploitations agricoles aux caractéristiques pédologiques contrastées (sols sablo-limoneux plus ou moins riche et azote, phosphore, potassium et matières organiques, pH entre 6 et 8) : (1) une exploitation maraîchère biologique associée à un élevage de poules, sur la commune de Macouria (intérieur des terres); (2) une exploitation maraîchère biologique associée à un élevage bovins, à Sinnamary (bande côtière); et (3) l'exploitation agricole de l'EPLEFPA de Matiti, investie dans une démarche de réduction des produits phytosanitaires. Les 3 chefs d'exploitation étaient présents lors de l'atelier de partage de connaissances et l'atelier prospectif. Les trois stratégies de valorisation des mycorhizes en pépinière ont été évaluées et comparées à une modalité témoin :

1. **(C1_EX)** l'inoculation de **champignons mycorhiziens commerciaux** (C1_souches exogènes)
2. **(C1_IN)** l'inoculation de **champignons indigènes** multipliés dans un bac sur des racines de sorgho (C1_souches indigènes)
3. **(C2_A_IN) l'effet donneur** du sorgho (plante mycorhizotrophe, dite 'donneuse') vers la culture de concombre en bac à partir de champignons mycorhiziens indigènes (C2_association de plantes à mycorhizes_souches indigènes)
4. **(T)** le **témoin** non-mycorhizé.

En pépinière, un dispositif en bac visant la multiplication des mycorhizes indigènes grâce à l'utilisation d'une plante mycorhizotrophe (ici le sorgho) a été mis en place. Du sol issu d'une zone non cultivée de l'exploitation de chaque agriculteur a été prélevé entre 10 et 25 cm de profondeur sur une surface de 1m^2 environ. Deux bacs de mycorhization (de 100 cm de longueur, 40 cm de largeur et 40 cm de hauteur) ont été réalisés sur chaque exploitation. Chaque bac contient une couche inférieure de 20 cm de perlite, une couche de 10 cm de sol de l'exploitation agricole, puis une couche supérieure de 10 cm de perlite. La perlite assure le drainage et aide à la germination des semences. Les graines de sorgho ont été semées à 3 cm de profondeur, espacées de 4 cm, soit 20 graines par rangée sur 4 rangées par bac. Ces bacs ont été utilisés pour l'évaluation de 2 modalités : l'inoculation de champignons indigènes multipliés dans un bac sur des racines de sorgho (C1_IN) et l'effet donneur du sorgho vers le concombre (C2_A_IN).

Les graines de concombre (*Cucumis sativus* 'Marketmore', certifiée agriculture biologique) ont été semées dans du terreau utilisable en agriculture biologique (Bio-Potgrond), stérilisé à l'autoclave 20 min à 120°C. 25 graines de concombre ont été semées pour chaque modalité dans des godets de 7x7x7 cm pour 3 modalités (C1_EX, C1_IN, et T). Pour la modalité effet donneur (C2_A_IN), le semis des concombres s'est fait dans les bacs de mycorhization. Les concombres ont été semés à la place des sorghos préalablement prélevés pour la modalité (C1_IN) (Figure 3). Pour la modalité (C1_EX), 8,6 g d'inoculum commercial ont été ajoutés pour 8,6L de terreau stérilisé, selon l'indication d'utilisation du produit qui est de 1g pour 1L. La modalité (T) correspondant au témoin est obtenue en semant les graines dans le terreau stérilisé sans apport d'inoculum. Les semis restent 4 semaines en godets et dans les bacs pour la modalité C2_A_IN avant transplantation au champ.

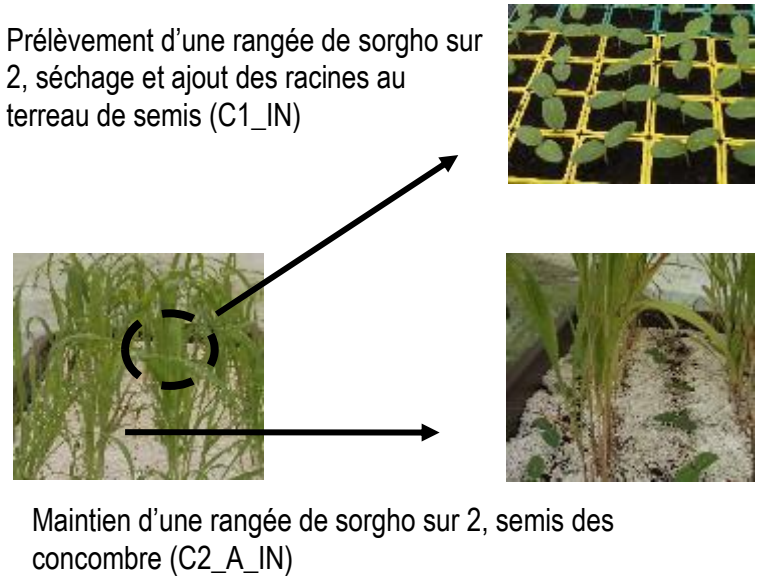

Figure 3 : Du bac de mycorhization (multiplication des champignons mycorhiziens indigènes par le sorgho) aux modalités C1_IN (prélèvement, séchage et ajout des racines mycorhizées de sorgho au terreau de semis) et C2_A_IN (effet donneur de mycorhizes du sorgho au concombre) (d'après Harter, 2015)

Les taux de mycorhization pour chaque modalité ont été évalués : i. sur le sorgho à la 8ème semaine après semis, ii. et sur le concombre à la 3ème semaine après semis. A chaque prélèvement, les racines de 6 plants par modalité ont été prélevées. Les taux de mycorhization ont été évalués par la méthode de Philips et Hayman (1970).

Des tests HSD (Honest Significant Difference) de Tukey ont été réalisés pour comparer 2 à 2 les intensités et les fréquences de mycorhization. Les tests statistiques ont tous été réalisés au seuil α = 5%.

2.2. La valorisation des mycorhizes indigènes, une pratique innovante et prometteuse

A la 8ème semaine après semis, les fréquences de mycorhization des sorghos sont élevées (égales ou proches de 100%) en moyenne pour les 3 sites (Harter, 2016).

Trois semaines après semis, la modalité « effet donneur de mycorhizes du sorgho vers le concombre » montre des fréquences et des intensités de mycorhization racinaires significativement plus élevées en comparaison des modalités utilisant des inocula indigènes (sur les sites 1 et 3) et des inocula commerciaux (sur les sites 1 et 2). Sur tous les sites, la valorisation des mycorhizes indigènes par effet donneur permet une mycorhization rapide et élevée des plants de concombre (Figure 4).

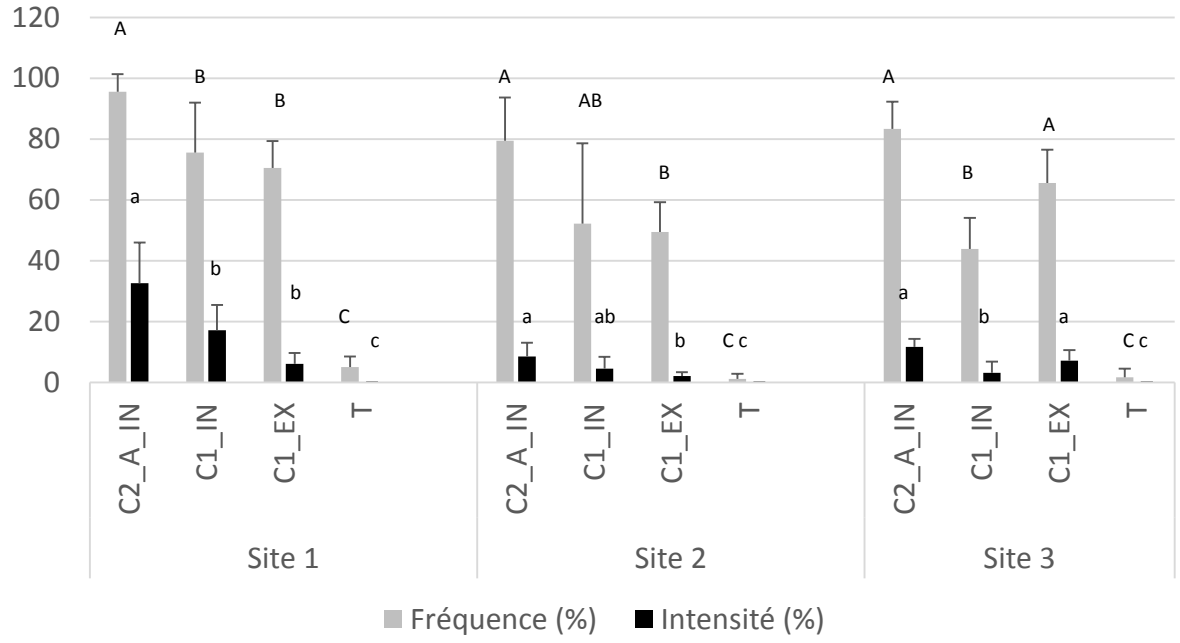

Figure 4 : Paramètres moyens de mycorhization (Fréquence et Intensité) des concombres 3 semaines après semis sur les 3 sites (test HSD 5%).

Nous avons ainsi montré que la valorisation des champignons mycorhiziens à arbuscules indigènes est une alternative efficace à l'utilisation d'inocula exogènes. Une colonisation précoce est d'autant plus importante que durant les premières phases de croissance la plante est plus fragile aux différents stress environnementaux. On note cependant qu'après 5 semaines au champ les taux de mycorhization des différentes modalités sont comparables.

A la suite de cette expérimentation un atelier d'échange (REAGI) a été mis en place par la CAG et la coopérative Bio-savane pour présenter et discuter les résultats des expérimentations avec les agriculteurs.

Au final, le sous-concept C2_A_IN a été validé. L'ensemble K a été augmenté puisque la stratégie innovante « effet-donneur » a été explicitée (couplage entre différents processus : piégeage et multiplication de champignons mycorhiziens indigènes, développement d'un réseau mycorhizien et augmentation rapide de la colonisation de nouvelles racines liée au nombre élevé de filaments qui la colonise). Par ailleurs, les agriculteurs qui avaient élaboré l'ensemble P, ont également contribué au processus d'innovation (participation à la définition du protocole, à la mise en œuvre et au suivi de l'expérimentation sur leurs exploitations). L'observation et les échanges leur a permis à s'approprier C et K et de gagner en réflexivité sur leurs pratiques.

3. Discussion

La démarche d'accompagnement adossée au dispositif MYMYX constitue un cadre opérationnel de production, d'appropriation de connaissances et de concepts sur les mécanismes et les processus impliqués dans le fonctionnement du sol. Il s'agit d'aboutir à la valorisation effective des mycorhizes sur le terrain par les agriculteurs pour contribuer à la promotion d'une agriculture multi-performante. Notre démarche d'inspiration KCP apporte cinq éléments de réponse aux questions soulevées par l'écologisation des pratiques et des systèmes de production agricoles. Elle débouche par ailleurs sur un ensemble de résultats opérationnels.

3.1. MYMYX : une démarche générique pour des actions situées

(i) Notre démarche permet d'apprendre en hybridant les connaissances scientifiques et empiriques. Les agriculteurs modifient et améliorent leurs pratiques en sachant l'existence de zones d'ombres scientifiques et/ou de trous de connaissances. On rappelle que les processus en jeu ne peuvent être évalués isolément.

(ii) Notre démarche inscrit les agriculteurs dans des dynamiques d'apprentissage. Le résultat d'une revue de littérature sur les apprentissages (Angeon et al., 2014) met en évidence que : (1) la propension des individus à apprendre est plus importante dans un contexte collectif qu'individuel (Argyris et Schön, 1996, 2002 ; Godelier, 2006). (2) Des « faits marquants » (événements frappant les acteurs dans leurs émotions ou leurs sens) sont susceptibles de faire évoluer leurs représentations, valeurs et convictions courantes (Buzan, 1995). De ce point de vue, MYMYX est bien un dispositif collectif d'apprentissage. Le cadre collectif permet de faire circuler des idées, d'échanger des points de vue, de les faire évoluer et de transformer les pratiques. Par ailleurs, le jeu de plateau permet à l'agriculteur de réfléchir à des stratégies de valorisation de mycorhizes et de les tester. C'est une occasion pour l'agriculteur de contextualiser la stratégie envisagée en l'appliquant à un système de culture proche de ses conditions réelles. Le dispositif MYMYX produit ainsi un fait marquant permettant à l'agriculteur d'apprendre par lui-même.

(iii) Notre démarche valorise l'apprentissage entre pairs puisque sont créées des conditions d'échanges entre les agriculteurs. Lors des différentes séquences de jeu, où la parole est équitablement répartie, les agriculteurs apprennent ensemble mais aussi apprennent les uns des autres. Les apprentissages acquis sont certes d'ordre agronomique (raisonnement systémique, approche globale) mais peuvent concerner également d'autres registres (organisationnel, institutionnel).

(iv) Notre démarche s'appuie sur un objet intermédiaire (le jeu de plateau), support d'échanges entre les agriculteurs. Un objet intermédiaire est un objet appropriable par ses différents usagers et qui permet de faire exprimer aux parties prenantes leurs différents points de vue, niveau de connaissance et représentations (Star et Griesemer, 1989 ; Martin 2015). Au regard de la complexité des processus en jeu et de leur caractère non directement observable, le choix d'un outil matériel et tangible est pertinent afin de représenter, de matérialiser, de rendre visible l'invisible. Les réseaux mycorhiziens s'établissent en effet dans le sol. Ce sont des processus non perceptibles à l'œil nu.

(v) Enfin, si la démarche proposée est générique, les résultats produits sont situés et dépendent des conditions locales. En effet, elle est mise en œuvre avec des agriculteurs au titre de leur activité professionnelle. Ces agriculteurs sont en prise avec leur réalité. Ils expriment leurs propres freins et leviers à la mycorhization. Les résultats obtenus reflètent une grande diversité de situations et de contextes locaux au sein desquels se présentent des problèmes, des solutions et des configurations d'acteurs différenciés.

3.2. Résultats opérationnels et perspectives

L'exemple de la mobilisation des mycorhizes montre que des stratégies alternatives mobilisant les micro-organismes indigènes peuvent être explorées et présentent de réels atouts quant à l'efficacité et à la durabilité des processus. Adaptés aux conditions locales, les micro-organismes qui seraient récoltés sur une parcelle, multipliés sur l'exploitation par des dispositifs dédiés à l'extérieur de la parcelle, et réintroduits par la suite, présentent une probabilité plus élevée d'installation durable, sans s'exposer à priori au risque d'invasion d'organismes non-cibles. Ils peuvent aussi être multipliés directement sur la parcelle par l'association de plantes mycorhizotrophes. Une telle amplification d'un processus écologique, source de services écosystémiques intrants, s'inscrit dans une perspective « d'écologisation forte » de l'agriculture (Duru et al., 2014).

L'échantillon d'agriculteurs avec lequel nous avons travaillé est sensibilisé aux démarches agroécologiques et présente une volonté marquée de réduction des intrants chimiques. Cet échantillon n'est toutefois pas représentatif de la majorité des exploitants agricoles guyanais dont les pratiques s'inscrivent pour l'essentiel dans le modèle conventionnel. Les agriculteurs impliqués participent au processus d'innovation en enrichissant l'arbre de concepts et en étant forces de proposition. N'ayant pas eu les moyens d'évaluer les rendements dans le cadre du protocole expérimental mis en place, certains agriculteurs ont mentionné la nécessité de poursuivre les investigations. A ce titre, il convient de souligner que l'évaluation des stratégies de valorisation des mycorhizes privilégiées par les acteurs guyanais s'est inscrite dans un nouveau projet de recherche-développement porté par la CAG dans le cadre de la mise en œuvre du plan Ecophyto. Ce projet a associé la Chambre d'Agriculture, la coopérative agricole Bio-Savane et l'INRA Antilles-Guyane. Il a été financé par la DAAF de Guyane et a permis de créer une dynamique partenariale en agroécologie visant à co-concevoir des innovations de rupture.

Bien qu'ils soient sensibilisés à l'agroécologie et habitués à se confronter à la complexité et à l'incertitude, certains agriculteurs ont exprimé des attentes de résultats immédiats en termes de rendement. Or, cette attente d'immédiateté ne peut pas toujours être satisfaite quand on mobilise les régulations naturelles. La prolongation de la dynamique collective entreprise en matière d'agroécologie nécessite un changement de posture des différents acteurs. Ceci est valable pour les agriculteurs comme pour les acteurs du conseil et de la formation qui doivent également réaliser des apprentissages en termes d'accompagnement au changement.

Conclusion

L'écologisation des pratiques et des systèmes de production agricoles renouvelle le champ des questions en matière de construction et de transmission des connaissances. Les systèmes et les pratiques écologisés sont certes plus diversifiés mais également plus complexes et plus incertains (du fait de la non prédictibilité et de la non contrôlabilité des phénomènes naturels). Ils éprouvent les cadres habituels de production des connaissances (le savoir scientifique n'est pas toujours en mesure de fournir des réponses et de définir des normes d'action) et remettent en cause les cadres classiques de la formation et du conseil aux agriculteurs.

Le dispositif MYMYX permet aux agriculteurs d'énoncer les freins et les leviers à l'adoption des innovations et d'être proposants. Plus largement, notre démarche contribue à l'accompagnement de la transition agroécologique :

(i) En partageant les connaissances sur les régulations biologiques/naturelles (à partir de l'exemple des mycorhizes) dans les systèmes de cultures pour limiter l'utilisation d'intrants chimiques ;

(ii) En proposant des modalités d'apprentissage du raisonnement systémique pour mettre en œuvre des pratiques agroécologiques.

Nous montrons qu'il n'existe pas une mais des solutions à adapter aux différents systèmes de culture et territoires. La question se pose alors de savoir comment la démarche proposée peut être utilisée à d'autres échelles que celle de l'exploitation, dans d'autres contextes et dans d'autres sphères notamment celles de l'enseignement et du conseil agricoles afin qu'elle devienne un véritable outil de gouvernance pour une « écologisation forte » de l'agriculture.

Remerciements

Ce travail a bénéficié des soutiens « Investissements d'Avenir » de l'Agence Nationale pour la Recherche (CEBA, ref. ANR-10-LABX-25-01), du programme Pour et Sur le Plan Ecophyto 2 (SYSTEMYC, ref. 41000202) et de la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de Guyane, qui ont permis respectivement les recrutements de Arnaud Larade qui a contribué à la réalisation des ateliers et des enquêtes, Raphaël Paut qui a contribué à l'analyse des résultats et Anne-Charlotte Harter qui a mis en œuvre les expérimentations. Les auteurs les remercient tout particulièrement ainsi que Marc Tchamitchian.

Références bibliographiques

Angeon V., Chave M., 2014. Implementing the agroecological transition: weak or strong modernization of agriculture? Focus on the mycorrhiza supply chain in France. Communication in ERSA 54th congress. 25-28th August 2014, Saint Petersbourg.

Angeon V., Bilon R., Chave M., 2014. Co-construire des innovations de rupture. Gouvernance et apprentissage dans le cadre de la filière de mycorhizes à la Martinique, 51ème colloque de l'Association de Science Régionale de Langue Française (ASRDLF), Métropolisation, cohésion et performances : quel futur pour nos territoires ? 7-9 juillet 2014, Marne-la-Vallée.

Argyris C. and Schön D.A., 1996. Organizational learning. 2. Theory, method, and practice. Addison-Wesley.

Argyris C., Schön D.A., 2002. Apprentissage organisationnel : théorie, méthode, pratique. De Boeck Supérieur.

Buzan T., 1995. Dessine-moi l'intelligence. Guide d'accès à la dynamique mentale, les éditions d'organisation.

Cash D.W., Clark W.C., Alcock F., Dickson N.M., Eckley N., Guston D.H., Jäger J., Mitchell R.B., 2003. Knowledge systems for sustainable development. P. Natl. Acad. Sci. USA 100: 8086–91.

Chave M., Crozilhac P., Deberdt P., Plouznikoff K., Declerck S. 2017. *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 transitorily reduces tomato bacterial wilt incidence caused by *Ralstonia solanacearum* under in vitro conditions. Mycorrhiza. 27: 719-723.

Chave M., 2015. Ingénierie agroécologique et santé des cultures : conception de systèmes de culture recourant aux plantes mycorhizotrophes pour la bioprotection de la tomate contre le flétrissement bactérien. Thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane, France. 204 p.

Chave M., Tchamitchian M., Ozier-Lafontaine H., 2014. Agroecological Engineering to Biocontrol Soil Pests for Crop Health. In Sustainable Agriculture Reviews 14. Springer International Publishing: 269-297

Douds D.D., Nagahashi G., Pfeffer P.E., Kayser W.M., Reider C., 2005. On-farm production and utilization of arbuscular mycorrhizal fungus inoculums. Canadian Journal Plant Science 85: 15-21

Duru M., Farès M., Therond O., 2014. Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain), la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires. Cahiers Agricultures. 23:84-95

Godelier E. 2006. La culture d'entreprise. Repères Gestion, Paris, la découverte.

Gianinazzi S., Vosatka M. 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems. Science meets business. Canadian Journal of Botany. 82: 1264–1271.

Harter A.-C., 2016. Évaluation de différentes stratégies de valorisation des mycorhizes sur les concombres en système de culture bas intrants en Guyane française. Rapport de stage de master 2. Université de Pau et des pays de l'Adour. France.

Hatchuel A., Weil B., 2003. A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory. Proceedings of the international conference on engineering design (ICED'03), Stockholm, Sweden, p. 109–124

Hatchuel A., Weil B., 2009. C-K design theory: An advanced formulation, Research in Engineering Design, 19(4):181–192

Hatchuel A., Le Masson P., Weil B., 2009. Design theory and collective creativity: a theoretical framework to evaluate KCP process. International conference of engineering design. 24-27 August 2009, Stanford University, USA

Ijdo M., Cranenbrouck S., Declerck S., 2011. Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. Mycorrhiza 2: 1-16.

Martin G., 2015. A conceptual framework to support adaptation of farming systems–Development and application with Forage Rummy. Agricultural Systems. 132: 52-61

Meynard J.M., Dedieu B., Bos A.B., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic (pp. 405-429). Springer Netherlands.

Pellegrino E., Bedini S., Avio L., Bonari E., Giovannetti M., 2011. Field inoculation effectiveness of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi in a Mediterranean agricultural soil. Soil Biology and Biochemistry 43:367-376.

Phillips J.M., Hayman D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and straining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. J. British Mycological Society 55:158-161

Schwartz M.W., Hoeksema J.D., Gehring C.A., Johnson N.C., Klironomos J.N., Abbott L.K., Pringle A., 2006. The promise and the potential consequences of the global transport of mycorrhizal fungal inoculums. Ecology Letters 9 : 501-515.

Smith S., Read J., 2008. Mycorrhizal symbiosis. Ed. Hardcover. 800 p.

Star S.L., Griesemer J.R., 1989. Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39, Social Studies of Science 19: 387-420.

Verbruggen E., van der Heijden M., Rillig M.C., Kiers E.T., 2012. Mycorrhizal fungal establishment in agricultural soils: factors determining inoculation success. New Pathology 197 : 1104-1109

Veresoglou S.D., Rillig M.C., 2012. Suppression of fungal and nematode plant pathogens through arbuscular mycorrhizal fungi. Biology letters 8: 214-217

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL).