HAL open science

Fixation symbiotique d'azote par les légumineuses en association. Résultats obtenus en Guadeloupe.

Jorge Sierra, Régis Tournebize

▶ To cite this version:

Jorge Sierra, Régis Tournebize. Fixation symbiotique d'azote par les légumineuses en association. Résultats obtenus en Guadeloupe.. [0] 9, Inconnu. 2019, 12 p. hal-02373208

HAL Id: hal-02373208
https://hal.science/hal-02373208

Submitted on 20 Nov 2019

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 4.0 International License

Fixation symbiotique d'azote par les légumineuses en association.

Résultats obtenus en Guadeloupe.

Jorge Sierra et Régis Tournebize

Unité Agrosystèmes Tropicaux, INRA Antilles-Guyane
Domaine Duclos, Petit-Bourg, Guadeloupe, France
jorge.sierra@inra.fr

Novembre 2019

Participants aux recherches (par ordre alphabétique)

Cruz Pablo (Chercheur, INRA)
Daudin David (Ingénieur, INRA)
Desfontaines Lucienne (Ingénieure, INRA)
Domenach Anne-Marie (Chercheuse, CNRS)
Dulormne Maguy (Maître de Conférences, Université des Antilles)
Jalonen Riina (Thésarde, Université d'Helsinki)
Leinster Jocelyne (Technicienne, INRA)
Motisi Natacha (Stagiaire Master, AgroParisTech)
Nygren Pekka (Professeur, Université d'Helsinki)
Solvar Franck (Technicien, INRA)
Sophie Saint-Ange (Technicien, INRA)
Timonen Sari (Chercheuse, Université d'Helsinki)

Table des matières

Résumé 1
I- La fixation symbiotique chez les légumineuses 2
La symbiose 2
Le coût de la fixation 3
II- Les systèmes de culture et les processus étudiés 3
Systèmes de culture 3
Les processus 4
III- Estimation de la fixation symbiotique 5
IV- Transfert plante-plante de l'N fixé 5
V- Effet de l'engrais vert et transfert d'azote vers le sol 7
VI- Synthèse de la destinée de l'N de la fixation symbiotique 8
VII- Conclusions et perspectives 8

Résumé

Les légumineuses (pois, haricots, soja, arachide, trèfles, luzerne...) sont une famille de plantes regroupant environ 20.000 espèces, lesquelles constituent une source de protéines essentielle pour l'alimentation humaine et animale. Les racines des légumineuses possèdent la particularité de former des associations de coopération (symbiose) avec des bactéries du sol qui ont la capacité de fixer l'azote (N) atmosphérique, lequel n'est pas assimilable par les végétaux, et le transformer en substances azotées utilisables par la plante hôte. Cette propriété permet aux légumineuses d'être cultivées sans utiliser d'engrais azotés. En contrepartie, la légumineuse apporte à ces bactéries le carbone (source d'énergie) nécessaire à leur activité fixatrice et à leur croissance.

Une partie de l'N ainsi fixé peut être aussi transférée vers les plantes associées (dans le cas d'associations de cultures) et vers le sol. Ces caractéristiques confèrent aux légumineuses un rôle clé dans la dynamique de l'N au sein des systèmes de culture, car elles permettent de réduire l'utilisation d'engrais, diminuer le risque de pollution azotée et améliorer la fertilité des sols.

Dans ce rapport nous réalisons une synthèse des travaux développés durant 12 ans dans notre unité, en collaboration avec des collègues de l'Université d'Helsinki (Finlande), sur la fixation symbiotique d'N et le transfert de l'N fixé. L'objectif est de mettre en évidence la fonction que les légumineuses pourraient remplir dans l'agriculture guadeloupéenne, afin de rendre plus efficaces et durables les systèmes de culture appliqués actuellement ou à appliquer dans l'avenir.

Dans une première partie, nous décrivons le processus de la fixation symbiotique et la relation plante hôte/bactérie fixatrice. Nous présentons ensuite les systèmes de culture étudiés (association sylvopastorale herbe tropicale/légumineuse ligneuse et association bananier/légumineuse herbacée), et les résultats obtenus pour ces deux systèmes.

L'N fixé par la légumineuse ligneuse a été de 470 kg N/ha/an (équivalent à 437 €/ha/an) et de 111 kg N/ha/an par la légumineuse herbacée (102 €/ha/an). L'N transféré par la légumineuse (rhizodéposition, engrais vert) équivaut à un tiers de la biomasse azotée de la plante associée, ce qui démontre l'efficacité de ce processus en termes d'économie azotée dans les cultures associées. Le transfert vers le sol améliore fortement sa fertilité azotée, notamment dans le système sylvopastoral (+81 kg N/ha/an). Dans l'ensemble, les résultats soulignent la valeur agronomique des légumineuses étudiées et leur bonne performance en tant que plantes de services. Ces services écosystémiques peuvent être utilisés pour améliorer la qualité fourragère des savanes, pour réduire l'emploi d'engrais minéraux, et pour accroitre la résilience des sols de Guadeloupe face aux impacts négatifs du changement climatique.

I- La fixation symbiotique chez les légumineuses

La symbiose

La fixation d'N atmosphérique[1] est réalisée par un grand nombre de bactéries vivant dans les sols à l'état libre (p.ex. *Azotobacter*, *Clostridum*) ou en symbiose avec certaines plantes (p.ex. *Rhizobium*, *Frankia*). Dans les océans ce sont les Cyanobactéries qui assurent cette fonction (libres ou en symbiose avec le phytoplancton). Les conditions optimales de cette fixation biologique sont 0.2-1.0 atm de pression (pression atmosphérique) et 30°C–35°C de température. Ces valeurs sont à comparer avec celles de la fixation industrielle pour la fabrication d'engrais azotés : 250-1000 atm et 450 °C. Ainsi, la fixation industrielle nécessite de l'énergie provenant de ressources fossiles et rejette de grandes quantités de gaz à effet de serre. D'ailleurs, le prix des engrais azotés étant lié à celui des combustibles fossiles, il est voué à augmenter avec la raréfaction de ces ressources et les aléas politiques.

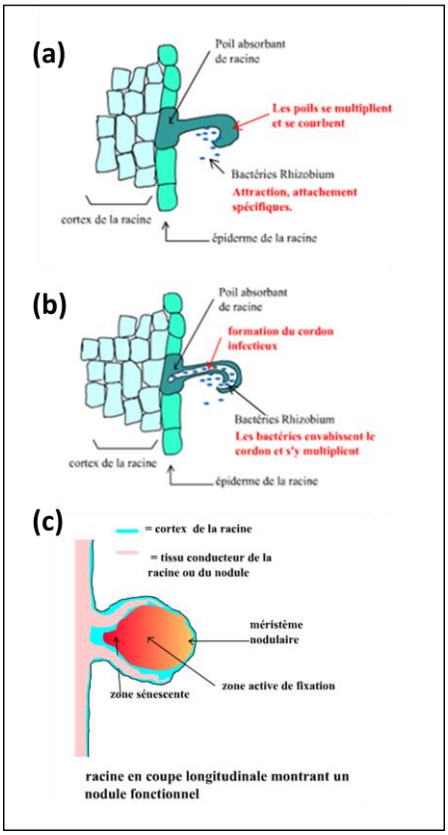

Figure 1 : Formation d'une nodosité chez une légumineuse. Crédit Google Image.

Dans le cas des légumineuses, les différentes espèces de bactéries des genres *Rhizobium* et *Bradyrhizobium* ont la capacité de reconnaitre la plante hôte (Figure 1a), de pénétrer par les poils racinaires (Figure 1b) et de promouvoir la formation de nodosités au sein desquels la fixation d'N a lieu (Figures 1c et 2). La formation des nodosités est le résultat d'un "dialogue moléculaire" entre la plante et la bactérie. Celle-ci "perçoit" des signaux chimiques sécrétés par les racines, ce qui induit l'expression de nombreux gènes bactériens permettant l'infection et le développement de la nodosité. La fixation étant inhibée par la présence d'oxygène, les bactéries internes à la zone active (Fig. 1c) ont développé différentes stratégies afin de pouvoir l'utiliser pour la respiration du carbone apporté par la plante (source d'énergie), tout en protégeant le système enzymatique de la fixation. L'N fixé dans les nodosités sous la forme de NH_3 (ammoniac) est combiné avec le carbone apporté par la plante pour élaborer des molécules organiques qui sont par la suite transférées vers l'hôte via les tissus conducteurs de la racine et de la nodosité (Fig. 1c).

Au niveau mondial, on estime à 100 millions de tonnes par an la masse d'N ainsi fixé, soit le même ordre de grandeur que la production d'engrais azotés par l'industrie chimique.

[1] L'air est composé d'azote (78%), d'oxygène (21%) et, pour moins de 1 %, de gaz rares (argon, néon, krypton, xénon), vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane, etc. L'azote de l'air est présent sous une forme (diazote, N_2) qui n'est pas assimilable par les plantes.

Le coût de la fixation

Les symbioses fixatrices d'N seraient apparues il y 65 millions d'années comme une réponse adaptative des végétaux aux carences azotées. Dans ces conditions, la plante serait "disposée" à investir une partie de son carbone obtenu par photosynthèse en échange d'un nutriment essentiel pour son développement. Le prix à payer par la plante (son carbone) dépend donc de la possibilité d'obtenir "un N moins cher", via par exemple l'absorption de l'N minéral du sol (nitrates et ammonium). Ainsi, la fraction de l'N venant de la fixation est maximale (80%) quand la quantité d'N minéral dans le sol est inférieure à 50 kg N/ha, et elle est proche de 0% pour des quantités supérieures à 350 kg N/ha. Entre ces deux limites, l'N fixé et le nombre de nodosités dans les racines diminuent proportionnellement à l'augmentation de la disponibilité d'N minéral dans le sol. Le contrôle que la plante exerce sur la fixation d'N se réalise en réponse aux signaux de carences azotées provenant des feuilles.

Figure 2 : Nodosités racinaires d'une légumineuse. Crédit Google Image.

Ce contrôle varie en fonction du stade de développement de la plante hôte. Par exemple, la quantité de carbone investi par la plante dans son système racinaire (nodosités y compris), diminue après floraison car l'apparition et le remplissage des graines deviennent prioritaires. C'est à cause de ce phénomène que les légumineuses utilisées comme "engrais vert"[2] doivent être fauchées à floraison afin de maximiser la quantité d'N apporté au sol.

II- Les systèmes de culture et les processus étudiés

Systèmes de culture

A l'INRA de Guadeloupe, nous avons évalué la fixation symbiotique et le transfert de l'N fixé dans deux systèmes de culture : association sylvopastorale herbe tropicale (Petit-foin)/légumineuse ligneuse (Gliricidia) et association bananier/légumineuse herbacée (Canavalia) (Figure 3). L'objectif du système sylvopastoral est d'améliorer la valeur nutritionnelle des savanes comme source d'alimentation animale. Dans ce sens, la légumineuse est utilisée afin d'augmenter les teneurs en protéines et la qualité du fourrage. Le but de l'association bananier/Canavalia est de réduire l'utilisation des engrais azotés, lesquels sont partiellement remplacés par l'apport azoté de la légumineuse.

[2] Un engrais vert est une culture cultivée dans le but de fertiliser un sol (fauchage et enfouissement de la biomasse aérienne) et non en vu d'être récoltée.

Figure 3 : Gauche, association Petit-foin/Gliricidia ; droite, association bananier/Canavalia. Crédit J. Sierra et R. Tournebize.

Le système sylvopastoral avait été installé dix ans avant le début de nos études sur la fixation symbiotique, et la parcelle avait été utilisée dans des projets de recherche concernant la compétition entre les deux espèces pour l'eau et la lumière (p.ex. effet de l'ombrage sur la croissance du Petit-foin). La densité de plantation de Gliricidia était de 2 m (entre les lignes) x 0.4 m (à l'intérieur des lignes).

L'association bananier/Canavalia a été installée afin de réaliser cette étude. La densité de plantation des bananiers était de 2 m (entre les lignes) x 1 m (à l'intérieur des lignes). Une ligne de Canavalia a été plantée entre les rangs des bananiers avec 0.5 m entre les plantes.

Les processus

Nous avons analysé quatre processus (Figure 4) : la fixation symbiotique (processus 1 dans la Figure 4), le transfert racinaire de l'N fixé par la légumineuse vers la plante associée (processus 2), le transfert de l'N fixé vers la plante associée via l'engrais vert (processus 3), et le transfert de l'N fixé vers le sol (processus 4).

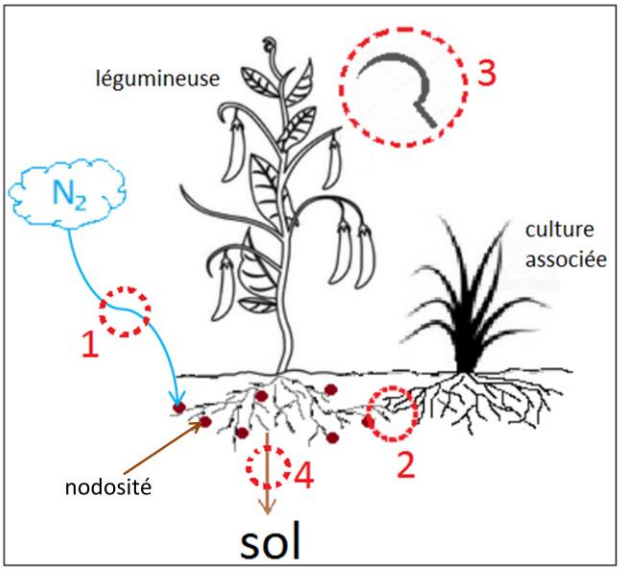

Figure 4 : Schéma d'une association des cultures et des quatre processus étudiés. Crédit J. Sierra.

L'origine du processus 3 varie en fonction du type de légumineuse. Dans le système sylvopastoral, l'effet "engrais vert" apparaît suite à l'élagage de Gliricidia et la mort et le recyclage d'une partie de son système racinaire. La biomasse aérienne élaguée est utilisée comme fourrage à l'extérieur de la parcelle. Dans le cas de Canavalia cet effet apparaît suite au fauchage de la plante au moment de la floraison, afin de recycler l'N fixé dans le sol.

De la Figure 4 il ressort que la plante associée peut bénéficier de l'N fixé par la légumineuse via un

transfert plante-plante direct (processus 2), et via le recyclage des biomasses aériennes et/ou racinaires de la légumineuse après l'élagage ou le fauchage (processus 3). L'enrichissement du sol (processus 4) est surtout une conséquence du processus 3.

III- Estimation de la fixation symbiotique

(processus 1 en Figure 4)

Nos études au champ (Figure 3) ont permis d'estimer la fixation symbiotique des deux légumineuses analysées : 470 kg N/ha/an (0.38 g N/plante/an) pour Gliricidia et 111 kg N/ha/an (0.21 g N/plante/an) pour Canavalia. L'N fixé représente environ 70% de la biomasse azotée de Gliricidia et 45% de celle de Canavalia. En considérant un prix de 0.93 €/kg N dans le cas d'un engrais chimique (urée), les valeurs de fixation symbiotique équivalent à 437 €/ha/an pour Gliricidia et 102 €/ha/an pour Canavalia. Ces chiffres illustrent l'importance économique de la fixation symbiotique.

La plus grande fixation par plante observée chez Gliricidia est liée au fait que le système sylvopastoral est pérenne, ce qui assure à la symbiose légumineuse/bactérie un fonctionnement plus stable dans le temps comparé à la légumineuse annuelle. C'est à dire, tandis que la symbiose et la fixation sont quasi permanentes chez Gliricidia, le système fixateur doit "s'installer" suite à chaque semis de Canavalia. Le délai lié à l'installation de la fixation chez les légumineuses annuelles, et leur cycle plus court (p.ex. 6 mois pour Canavalia vs. pérenne pour Gliricidia) explique une partie de leur moindre niveau de fixation symbiotique en relation aux légumineuses pérennes.

Nous avons observé que le niveau de fixation n'est pas constant dans le temps mais il diminue en carême (p.ex. 40% de réduction à cause de l'effet du stress hydrique sur la symbiose), lors de la floraison/fructification (changement dans les priorités de la plante) et suite à l'élagage de Gliricidia (mort de racines et des nodosités).

La fixation chez Gliricidia peut diminuer de 80% après un élagage destiné à la production du fourrage. En effet, l'élagage induit un changement dans les priorités de la plante laquelle privilégie la reconstitution des parties aériennes afin d'assurer la photosynthèse. De ce fait, une grande partie du système racinaire, y compris les nodosités, meurt à cause du déficit dans la fourniture du carbone, et est décomposé par l'activité microbienne du sol. Nous verrons dans les items suivants que ce processus contribue à libérer vers le milieu une partie importante de l'N racinaire lequel enrichit le sol et nourrit la plante associée.

IV- Transfert plante-plante de l'N fixé

(processus 2 en Figure 4)

La Figure 5 montre les quatre voies de transfert plante-plante de l'N fixé (en rouge) : transfert des exsudats azotés par **contact direct** entre les racines, transfert des exsudats azotés sur de **courtes distances**, recyclage des **cellules racinaires mortes**, et transfert via les réseaux des **champignons mycorhiziens**.

Les trois premières voies correspondent à ce que l'on appelle "rhizodépôts", constitués par un ensemble de substances émises par les racines vivantes (exsudats et mucilages racinaires) et par le recyclage des cellules racinaires mortes. Les exsudats et mucilages revêtent une importance capitale car ils sont le "relais chimique" dans les communications entre la plante et les microorganismes habitant autour des racines (rhizosphère). Compte tenu que les microorganismes rhizosphériques sont des compétiteurs très efficaces pour l'N contenu dans les exsudats, le transfert plante-plante seulement peut se réaliser par contact direct entre les racines ou à des distances très faibles (quelques millimètres) ou encore par l'intermédiaire des mycorhizes (Figure 5). Nous avons déterminé qu'en l'absence de ces trois éléments l'N des exsudats des légumineuses est absorbé à 99% par les microorganismes du sol.

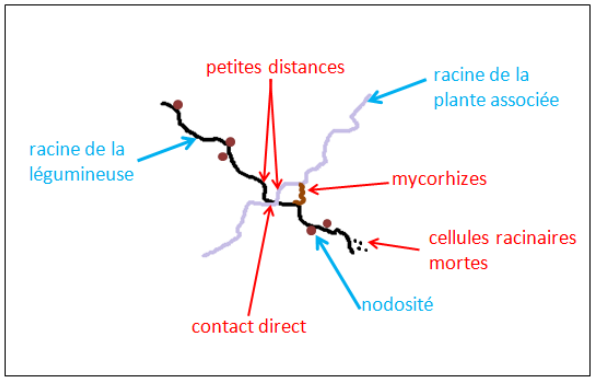

Figure 5 : Mécanismes de transfert de l'N fixé par la légumineuse vers la plante associée. Crédit J Sierra.

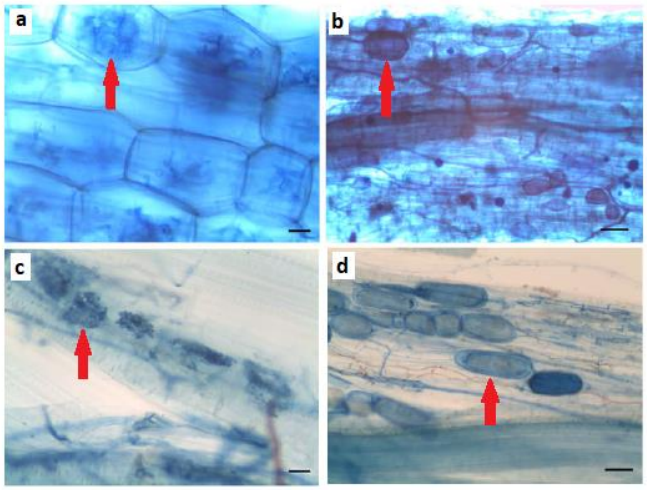

Figure 6 : Champignons mycorhiziens dans les cellules racinaires de Gliricidia (a,b) et de Petit-foin (c,d). (a) et (c) : mycélium du champignon ; (b) et (d) : vésicules du champignon (organes de réserve). Crédit R. Jalonen.

Les mycorhizes sont des champignons qui peuvent établir des associations symbiotiques en colonisant les racines de plantes. Ces champignons investissent les cellules racinaires et communiquent ainsi deux plantes de la même ou d'espèces différentes (Figure 5). Le transfert de l'N fixé peut se réaliser via cette symbiose, ce qui permet de court-circuiter la compétition exercée par les microorganismes rhizosphériques. La Figure 6 présente quelques exemples des champignons mycorhiziens colonisant les racines des deux espèces du système sylvopastoral étudié.

Dans la pratique, il est très difficile de distinguer les trois voies de rhizodéposition. En revanche, des essais réalisés en serre permettent d'identifier séparément la contribution des rhizodépôts et des champignons mycorhiziens. Dans l'exemple de la Figure 7, la maille du sachet en nylon qui enveloppe les racines de Gliricidia, permet le passage des champignons mycorhiziens mais empêche le contact entre les racines de deux espèces. Ce type d'expérimentation nous a permis de déterminer qu'environ 20% du transfert de Gliricidia vers le Petit-foin sont dû aux champignons mycorhiziens, et 80% proviennent des rhizodépôts. Cependant, nous pensons que la contribution des mycorhizes peut être sous-

estimée à cause de la courte durée des expérimentations en serre (4-5 mois), ce qui peut affecter l'installation effective de la symbiose plantes/champignons.

Figure 7 : Evaluation de la contribution des mycorhizes au transfert de l'N fixé par Gliricidia vers le Petit-foin. Crédit J. Sierra.

Le transfert plante-plante, toutes voies confondues, représente 14% de l'N du Petit-foin (27 kg N/ha/an) et 8% de celui du bananier (13 kg N/ha/an). Ces résultats démontrent que le transfert racinaire de l'N fixé par la légumineuse est une source importante d'N pour la plante associée.

La raison de la différence de transfert entre Gliricidia et Canavalia est similaire à celle détaillée pour le niveau de fixation symbiotique. Dans un système pérenne la symbiose plante/champignon et le contact entre les racines sont plus stables et permanents que dans un système de culture annuelle, où ces relations doivent s'installer progressivement après le semis de la légumineuse. Comme pour la fixation symbiotique, le transfert plante-plante diminue en carême et lors de la floraison de la légumineuse.

V- Effet de l'engrais vert et transfert d'azote vers le sol

(processus 3 et 4 en Figure 4)

Suite à l'élagage de Gliricidia une partie du système racinaire meurt et est recyclée par les microorganismes du sol. L'N racinaire recyclé peut être minéralisé et contribuer à la nutrition du Petit-foin et aussi de Gliricidia, ou s'humifier et rentrer dans la matière organique du sol. Nous rappelons que la biomasse aérienne élaguée (petites branches et feuilles) ne fonctionne pas comme engrais vert car elle est utilisé comme fourrage pour les animaux. Ainsi, 35 kg N/ha/an retrouvés chez le Petit-foin proviennent de l'engrais vert (racinaire) issu de Gliricidia. Il est intéressant de remarquer que cette source d'N est légèrement plus importante que celle provenant du transfert plante-plante (p.ex. 27 kg N/ha/an). En tenant compte du transfert et de l'engrais vert, Gliricidia a apporté 62 kg N/ha/an à la nutrition du Petit-foin, ce qui représente 32% de la biomasse azotée de l'herbe.

La situation est différente pour Canavalia car toute sa biomasse (aérienne et racinaire) est transformée en engrais vert suite au fauchage. Ainsi, la contribution de l'engrais vert à la nutrition du bananier est de 95 kg N/ha/an, ce qui représente 27% de sa biomasse azotée. La contribution totale de l'N de Canavalia (transfert plante-plante et engrais vert) représente 35% de la biomasse azotée du bananier.

De ces résultats il ressort que, indépendamment des processus impliqués, environ un tiers de l'N des plantes associées provient des légumineuses. D'ailleurs, une partie de l'N de l'engrais vert contribue à compenser l'N du sol utilisé par les plantes associées pour sa nutrition (p.ex. fraction azotée non couverte par l'N offert par les légumineuses) et, éventuellement, à augmenter la teneur en matière organique. Ce dernier aspect est plus important dans le cas de Gliricidia car ses racines ont un potentiel d'humification plus important que celui de la biomasse aérienne et souterraine de Canavalia. Ainsi, le sol sous Gliricidia s'enrichit de 81 kg N/ha/an contre seulement 3 kg N/ha/an sous Canavalia.

VI- Synthèse de la destinée de l'N de la fixation symbiotique

La Figure 8 montre que la destinée de l'N fixé varie avec le système considéré. **Ainsi, on retrouve plus de l'N fixé par la légumineuse dans le bananier (50%) que dans le Petit-foin (13%), ce qui est dû à l'utilisation de Canavalia comme engrais vert.**

Malgré cela, il convient de souligner que la qualité fourragère du Petit-foin s'améliore significativement quand il est associé à Gliricidia. Ainsi sa teneur en N augmente de 1% en culture pure à 1.5% en culture associée. **De ce fait, l'amélioration de la qualité du fourrage dans ce système est double, à cause de l'apport protéinique de la légumineuse et de l'augmentation des concentrations azotées de l'herbe.**

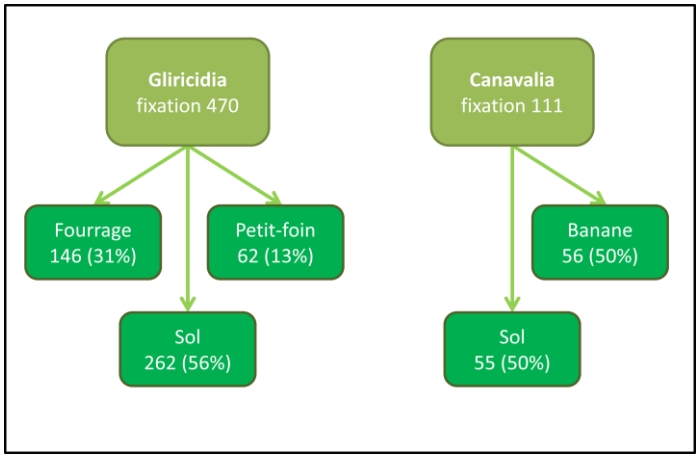

Figure 8 : Destinée de l'N de la fixation symbiotique dans les deux systèmes étudiés. Les chiffres à l'intérieur des boites représentent des biomasses azotées en kg N/ha/an et en % de la fixation de chaque légumineuse. Crédit J. Sierra.

Dans les deux systèmes, au moins la moitié de l'N fixé rentre dans la matière organique du sol. Dans le cas du système sylvopastoral, les 262 kg N/ha/an rentrant dans le sol (Figure 8) servent à compenser l'N du sol absorbé par les plantes (181 kg N/ha/an) et a obtenir le bilan positif de matière organique cité ci-dessus (81 kg N/ha/an). Dans le cas de Canavalia, la plupart de l'N rentrant dans le sol sert à compenser l'absorption du bananier et, en conséquence, l'enrichissement du sol est moindre (bilan quasi nul = 3 kg N/ha/an)).

VII- Conclusions et perspectives

Notre étude a démontré que les légumineuses peuvent offrir plusieurs services à l'agriculteur. Premièrement, le niveau de fixation symbiotique des deux espèces analysées est important, ce qui apporte des bénéfices agronomiques et économiques non négligeables. **Dans le cas du système sylvopastoral, la qualité du fourrage de la savane s'améliore significativement grâce à l'N apporté par Gliricidia et aussi à l'amélioration des teneurs azotées de l'herbe. Dans le cas de l'association bananier/Canavalia le bénéfice concerne notamment la réduction de l'utilisation des engrais azotés.**

Les sources azotées provenant de la fixation symbiotique sont beaucoup moins lessivables que celles issues des engrais chimiques et même des amendements organiques. En effet, la fixation symbiotique (réalisée à l'intérieur des nodosités) et le transfert de l'N fixé (réalisé par contact racinaire et via les mycorhizes) **se produisent en "circuit fermé" à l'abri des pluies.** D'ailleurs, l'N organique de l'engrais vert se décompose progressivement dans un milieu où les racines sont déjà installées, ce qui rend l'N minéral moins susceptible aux pertes par lessivage. **De ce fait, la légumineuse offre deux services supplémentaires**

simultanés : agronomique via une plus grande efficacité de l'N apporté, et environnemental à cause d'un moindre risque de pollution nitrique.

L'enrichissement en matière organique des sols cultivés avec des légumineuses est une bonne nouvelle vis-à-vis des impacts négatifs du changement climatique et de l'intensification des pratiques culturales sur la fertilité organique des sols ; p.ex. augmentation de la résilience des sols, compensation des pertes de matière organique liées au travail du sol. Il est intéressant de souligner que, dans le cas du système sylvopastoral, la séquestration de carbone qui accompagne le transfert de l'N fixé par Gliricidia vers le sol, est de l'ordre de 9‰, c'est à dire plus du double de la valeur proposée par la France lors de la COP21 (p.ex. 4‰) afin de compenser les émissions carbonées.

Malgré les services rendus par les légumineuses, elles sont actuellement très peu utilisées dans l'agriculture guadeloupéenne, contrairement à ce qui se passe dans d'autres régions des tropiques. Les systèmes sylvopastoraux peuvent apparaitre comme difficiles à gérer, à entretenir et à valoriser, et nécessitant un apport de main d'œuvre important. Pourtant, **l'association Petit-foin/Gliricidia pourrait être gérée à la petite échelle (p.ex. un quart d'hectare) afin de l'utiliser comme une source de protéines (cas des pays de Centre Amérique) ou pour combler le déficit de fourrage en période sèche (cas de plusieurs pays d'Afrique et d'Asie).** Dans ce sens, des travaux menés à l'INRA en Guadeloupe ont montré que le Petit-foin en association résiste mieux qu'en savane pure au stress hydrique en carême grâce à l'ombrage exercé par Gliricidia (Figure 9).

Figure 9 : L'association Petit-foin/Gliricidia en carême en Grande-Terre. Crédit R. Tournebize.

Dans le cas du bananier, des essais réalisés par le CIRAD en Guadeloupe montrent qu'il peut s'associer sans trop de contraintes avec des graminées destinées au contrôle des adventices. **Dans le cas de Canavalia, avec une biomasse aérienne plus importante que celle des graminées, il faudra une recherche plus approfondie sur la structure de l'association (densité et distribution des plantes) afin d'évaluer les relations de compétition/complémentarité entre les espèces.**

La promotion de l'utilisation des légumineuses en association nécessite la mise en place de parcelles de démonstration, où la profession agricole et la recherche puissent interagir et échanger sur la faisabilité technique de ces systèmes de culture, et sur les modalités de leur gestion et valorisation. Différentes combinaisons d'espèces et de conduites pourraient être ainsi testées afin d'évaluer les services les plus pertinents vis-à-vis des attentes des agriculteurs.