ALAIN GARCIN, MURIEL MILLAN, MICHEL JAY, BRUNO LOQUET, MARIE-LISA BRACHET, CTIFL
NINA MERCIEZ, STAGIAIRE UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN/CTIFL
CÉCILE VILLENAVE, ELISOL-ENVIRONNEMENT
SYLVIE MASQUELIER, INOCULUMPLUS

INFOS CTIFL
MAI 2014 N°301

L'ABRICOTIER EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

VERS UN VERGER ÉCOLOGIQUEMENT INTENSIF ET AUTONOME EN INTRANTS ?

Dans un jeune verger d'abricotiers, des pratiques innovantes de gestion du sol sont mises en œuvre afin de favoriser les processus naturels permettant de maintenir la fertilité du sol. Premier bilan sur des résultats prometteurs.

RÉSUMÉ

Dans un contexte de moindre productivité de la culture en agriculture biologique (AB) par rapport à l'agriculture conventionnelle, la production fruitière se doit de devenir écologiquement intensive, tout en limitant sa dépendance aux intrants extérieurs, notamment les pesticides utilisables en AB, les engrais organiques et les énergies fossiles. Un verger d'abricotiers conduit en AB a été implanté dans l'objectif de favoriser les processus naturels, aussi bien au niveau du sol que de l'arbre, en agissant à la fois dans le temps et dans l'espace. Les premiers résultats ouvrent des perspectives sur la possibilité d'améliorer la fertilité du sol sans apport externe à l'exploitation, en utilisant les ressources disponibles sur place ou à proximité : semis de légumineuses, utilisation des déchets verts et résidus de récolte pour fabriquer le compost.

ORGANIC APRICOT PRODUCTION : TOWARDS AN ECOLOGICALLY INTENSIVE ORCHARD SELF-SUFFICIENT IN INPUTS ?

In a context of lower crop productivity in organic farming compared to conventional farming, fruit production has to become ecologically intensive, but at the same time, limit dependence on off-farm inputs, in particular pesticides used in organic farming, organic fertilizers and fossil energies. An organic apricot orchard was established in the aim of promoting natural processes in the soil as well as the tree, by acting in both time and space. The first results open up new horizons for the possibility of improving soil fertility without off-farm inputs, by using available sources on site or nearby: legume green manure crops, use of crop waste and crop residues after harvest for making compost.

> PAILLAGE SUR LE RANG ET LÉGUMINEUSES ENTRE LES RANGS D'UN JEUNE VERGER D'ABRICOTIERS

MAÎTRISER LA FERTILITÉ DU SOL

La connaissance et la gestion de la fertilité du sol sont fondamentales en agriculture biologique, car le sol est le pivot de ce système de culture. La fertilité d'un sol dépend de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, les interactions entre ces différentes propriétés donnant au sol sa capacité à nourrir les plantes. La gestion de la fertilisation est plus difficile en agriculture biologique qu'en conventionnel, avec des produits organiques à minéralisation lente et un coût de l'unité d'azote plus élevé. La concurrence de l'enherbement peut être problématique en venant renforcer la baisse de fertilité du sol si elle devient trop importante. Le travail mécanique, largement utilisé en AB pour sa relative facilité de mise en œuvre et son efficacité pour contrôler les adventices et enfouir les engrais organiques, peut avoir un effet négatif sur les qualités physiques, chimiques et biologiques du sol. Ces verrous, renforcés par la présence de bioagresseurs parfois problématiques en bio, provoquent baisse et alternance de production dans les vergers biologiques.

DÉFI PLANÉTAIRE

Avec neuf milliards d'habitants à l'horizon 2050, le grand défi des années à venir est de nourrir la planète tout en préservant l'environnement pour les générations futures. Les surfaces agricoles par habitant deviennent de plus en plus réduites. Un certain niveau de productivité est nécessaire pour que les producteurs installés sur des surfaces petites à moyennes puissent obtenir un revenu suffisant. La biomasse agricole sera de plus en plus sollicitée pour des usages non agricoles, et il y a un risque de moindre disponibilité en eau pour l'irrigation et d'augmentation des coûts des engrais... L'orientation vers une Agriculture écologiquement intensive (AEI) apparaît donc comme un enjeu majeur, en associant hauts rendements et respect de l'environnement. Elle va consister à utiliser au mieux les processus écologiques et les services écosystémiques, en économisant les énergies fossiles et en associant sur la même exploitation ou un même territoire différents systèmes productifs.

L'agriculture biologique (AB) est un bon modèle pour faire évoluer l'agriculture dans la voie de l'agroécologie. Cependant, un certain nombre de faiblesses de ce système de culture pourraient à terme le fragiliser, particulièrement pour le secteur des fruits.

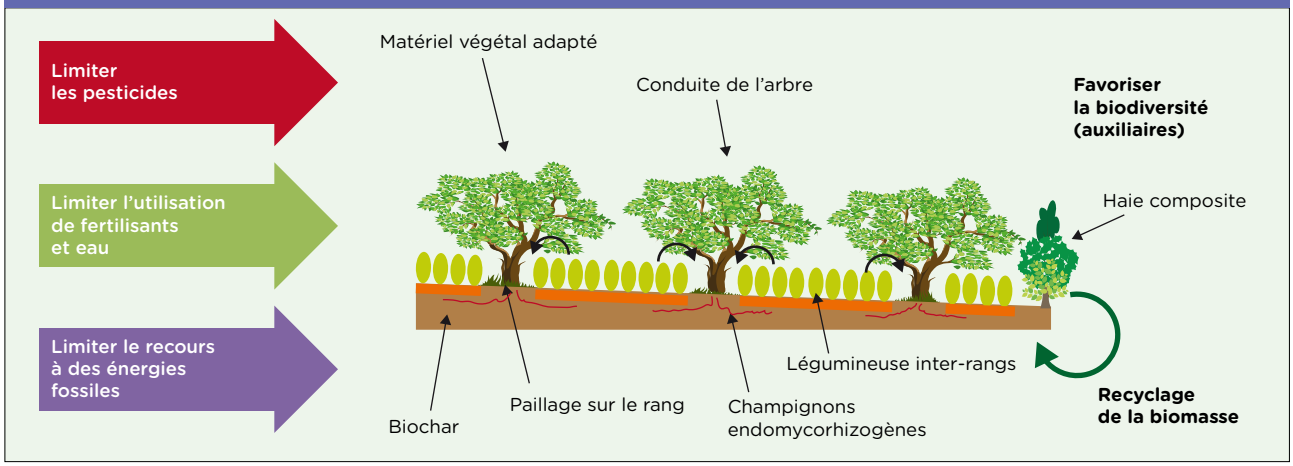
Les rendements des productions fruitières conduites en bio sont encore inférieurs à ceux obtenus en culture conventionnelle. Le besoin de répondre à la demande croissante du marché en fruits issus de l'AB et d'assurer la durabilité économique des exploitations biologiques exige d'augmenter la productivité des vergers.

Par le recours important à la mécanisation, l'agriculture biologique participe à l'épuisement des énergies non renouvelables et aux émissions de gaz à effet de serre.

Le travail mécanique du sol, largement utilisé dans les cultures fruitières biologiques, a un certain nombre d'impacts négatifs sur le sol : perturbation de la faune et de la flore du sol, tassements, érosion, déstockage du carbone...

Certains intrants, bien qu'autorisés par le cahier des charges AB, ont un impact négatif sur la durabilité économique, sociale ou environnementale de ce système de culture. Alors que l'azote de l'air est potentiellement inépuisable, le phosphore extrait de mines a des réserves limitées dans le temps et concentrées dans quelques pays seulement, souvent très éloignés de l'Union européenne. Selon les auteurs, les réserves en phosphore de la planète sont estimées entre une centaine d'années et 300-400 ans au rythme actuel d'extraction (Dawson & Hilton, 2011). De plus, l'immobilisation du phosphore présent dans les sols le rend pour une large part indisponible pour la culture. L'azote organique utilisable en AB a un coût élevé lorsqu'on le ramène à l'unité d'azote. Sa disponibilité pour la plante est difficilement

FIGURE 1 : Principaux leviers mobilisés pour un verger écologiquement intensif



ALAIN GARCIN, MURIEL MILLAN, MICHEL JAY, BRUNO LOQUET, MARIE-LISA BRACHET, CTIFL
NINA MERCIEZ, STAGIAIRE UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN/CTIFL
CÉCILE VILLENAVE, ELISOL-ENVIRONNEMENT
SYLVIE MASQUELIER, INOCULUMPLUS

maîtrisable du fait d'une minéralisation lente et fortement dépendante de la température et de l'état hydrique du sol. De plus, les pertes de nitrate par les fumiers et composts peuvent être importantes. Enfin, le cuivre et le soufre, largement utilisés en arboriculture biologique, ont un impact environnemental et social lié à l'extraction et à la fabrication des substances de base, et à leur effet négatif sur la faune et la flore telluriques et aériennes.

Il s'avère donc indispensable de mettre en œuvre des pratiques innovantes, afin de concilier compétitivité et respect de l'environnement. Dans un système de production sans élevage, un verger d'abricotier a été mis en place dans le respect du cahier des charges de l'agriculture biologique, dans lequel vont être mis en œuvre plusieurs leviers relevant de l'agroécologie. L'objectif est de favoriser les processus naturels avec un agroécosystème varié, aussi bien au niveau du sol pour une meilleure disponibilité en eau et en éléments minéraux qu'au niveau de l'arbre pour améliorer sa tolérance aux bioagresseurs, en agissant à la fois dans le temps et dans l'espace. Ainsi, avant plantation, il s'agira de mobiliser les cycles des nutriments pour nourrir le sol ; sur jeune verger, la concurrence pour l'eau et les éléments minéraux sera orientée au profit de l'arbre pour construire sa charpente ; sur arbres adultes, on recherchera un équilibre végétatif pour assurer une production régulière et de qualité. Dans l'espace, la gestion du rang sera orientée vers des techniques adaptées pour éviter la concurrence et celle de l'inter-rang pour favoriser la biodiversité et les services écosystémiques qui l'accompagnent. Les différents leviers qui seront utilisés durant l'expérimentation pour arriver à ces résultats relèvent des techniques suivantes (Figure 1).

– Choix d'un matériel végétal adapté, avec une variété rustique, autofertile pour assurer une production régulière et palier à l'absence de moyens de lutte biologique contre le *Monilia* sur fleurs d'abricotier, et un porte-greffe adapté au sol et suffisamment vigoureux.

– Conduite de l'arbre respectant l'architecture naturelle de la variété, avec une taille réduite sur les jeunes arbres afin de favoriser une mise à fruit précoce.

– Apports de compost de déchets verts produit sur l'exploitation agricole et de charbon végétal (biochar) capable de retenir les éléments minéraux, pour améliorer le stockage et la disponibilité du carbone et des éléments minéraux dans le sol, bénéfique à la fois pour la fertilité agricole et pour limiter les effets négatifs sur le climat par le recyclage du carbone.

– Utilisation de paillage et d'amendements organiques pour améliorer la résistance au stress hydrique et limiter la concurrence des adventices, surtout pendant les premières années après plantation.

– Recyclage de la biomasse des légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique utilisées comme engrais vert.

– Stimulation de la mycorhization des racines pour une meilleure assimilation des éléments minéraux, notamment le phosphore, mais aussi l'azote et certains oligo-éléments.

– Amélioration de la résistance naturelle des arbres aux bioagresseurs et maintien de la présence des auxiliaires pour une lutte biologique par conservation pour limiter l'utilisation des pesticides (notamment soufre et cuivre).

– Gestion de l'enherbement pour limiter la concurrence sur le rang et mobiliser les services écosystémiques rendus par des plantes couvre-sol peu concurrentes, lorsque les arbres seront adultes.

MISE EN PLACE DE L'EXPÉRIMENTATION

L'essai a été mis en œuvre sur une parcelle des costières du Gard, certifiée en AB depuis 1999. Le sol est de texture fine limono-argileuse, avec un pH proche de la neutralité et une faible teneur en calcaire actif (Tableau 1). La teneur en acide phosphorique et potassium est plutôt faible, celle en magnésium est bonne, par rapport à des valeurs de référence moyennes.

Deux ans avant la plantation du verger, un mélange de trois espèces annuelles a été semé sur la totalité de la parcelle (Tableau 2). Les espèces ont été choisies en fonction des effets attendus sur le sol :

TABLEAU 1 : ANALYSE DE SOL DE LA PARCELLE D'ABRICOTIERS (4 PRÉLÈVEMENTS, NOVEMBRE 2011)

			Moyenne	Écart-type
Granulométrie	Argile	%	22,9	1,9
	Limon fin	%	24,1	2,3
	Limon grossier	%	34,9	3,3
	Sable fin	%	14,3	4,9
	Sable grossier	%	3,8	2,2
Analyses physiques	pH		6,9	0,1
	CaO	%	7,4	0,3
	Calcaire actif	%	1,6	0,3
	MO	%	1,6	0,1
	CEC	meq/kg	119,1	8,7
Analyses chimiques	P_2O_5	mg/kg	41,3	12,9
	K_2O	meq/kg	4,9	0,8
	MgO	meq/kg	16,7	1,0
	NO_3	meq/kg	11,5	1,9
	NH_4	meq/kg	6,6	0,3
	Humidité	%	10,9	2,5

le Ray-grass d'Italie, par son installation rapide, occupe l'espace rapidement ; la Phacélie est une Hydrophyllacée qui étouffe les mauvaises herbes et améliore la structure du sol grâce à sa végétation abondante et à son système radiculaire très développé ; la Vesce est une légumineuse qui fixe l'azote atmosphérique (N_2) grâce aux bactéries du genre *Rhizobium* formant des nodules, qui sont les sites de fixation symbiotique de l'azote par les racines des légumineuses. Cet azote est ensuite restitué au sol et minéralisé progressivement lors de la décomposition de la plante. Ce mélange a été broyé avant qu'il ne monte à graine, puis enfoui.

L'essai à proprement parler a débuté à l'automne 2011 avec l'épandage de bois raméal fragmenté (BRF, technique culturale agricole qui, par l'introduction du broyat dans la couche superficielle du sol ou en paillis, cherche à recréer un sol aéré et riche en micro-organismes, comme on en trouve souvent en forêt) sur 3 cm d'épaisseur (300 m^3/ha) et son enfouissement superficiellement sur la moitié de la parcelle (deux répétitions) en octobre 2011. Ensuite, le semis d'un mélange de légumineuses selon deux modalités, avec ou sans apport de BRF, a été effectué sur l'ensemble de la parcelle. Les six espèces de légumineuses ont été choisies en fonction de leur cycle végétatif (annuel, bisannuel ou vivace) et pour leur faculté d'enracinement différent (Tableau 3 et Figure 2). Le BRF va jouer le rôle de « consommateur » d'azote minéral pour sa décomposition. Nous savons que les besoins en azote des micro-organismes du sol pour décomposer des résidus organiques sont assez constants, de l'ordre de 34 g d'azote par kilogramme de carbone apporté (Recous *et al.*, 1993). Cette mobilisation de l'azote minéral est supposée favoriser la nodulation des racines des légumineuses, permettant ainsi à la plante de fixer plus d'azote atmosphérique (N_2). La levée hétérogène des légumineuses nous a conduits à ressemer le mélange au printemps 2012.

Le dispositif expérimental est un split-splot à trois niveaux de facteurs, avec deux répétitions, chaque parcelle élémentaire étant constituée de six arbres. Un témoin adjacent est travaillé mécaniquement (Tableau 4 et Figure 3).

Avant plantation, les légumineuses ont été broyées et enfouies sur le rang à la rotobêche sur 2,20 m de large le 19 décembre 2012.

Un apport d'amendement a ensuite été fait sur les rangs de plantation, selon deux modalités. Un rang sur deux, un compost de déchets verts produit à la ferme à partir de bois de tailles provenant de parcs et jardin, mélangés avec les déchets de cultures de l'exploitation agricole du Ctifl de Balandran (fruits et légumes déclassés). Sur les autres rangs, un Biochar enrichi et activé avec un mélange de déchets verts et de terreau, provenant de Swiss Biochar en Suisse. Des analyses ont été effectuées sur les

TABLEAU 2 : COMPOSITION DU MÉLANGE DE TROIS ESPÈCES ANNUELLES SEMÉ EN SEPTEMBRE 2010

Famille	Espèce	Nom commun	Densité kg/ha
Gramineae	*Lolium multiflorum*	Ray-grass d'Italie	10
Hydrophyllaceae	*Phacelia tanacetifolia*	Phacélie	3
Leguminosae	*Vicia sativa*	Vesce	25

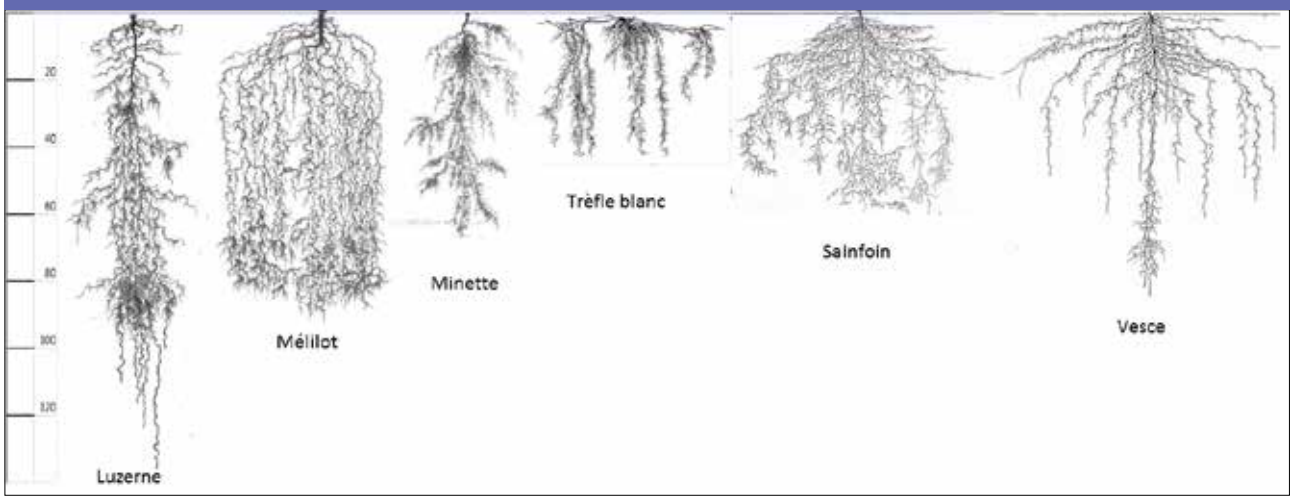
> ENFOUISSEMENT DU MÉLANGE DE PLANTES ANNUELLES EN OCTOBRE 2011

TABLEAU 3 : COMPOSITION DU MÉLANGE DE LÉGUMINEUSES SEMÉES EN AUTOMNE 2011

Nom latin	Nom commun	Variété	Densité kg/ha	Cycle végétatif	Enracinement
Medicago sativa	Luzerne	Diane	10	vivace	très profond
Medicago lupulina	Luzerne lupuline (minette)		5	bisannuel	moyen
Melilotus officinalis	Mélilot		5	bisannuel	profond
Onobrychis sativa	Sainfoin	De pays	10	vivace	profond
Trifolium repens	Trèfle blanc	Ronny	10	vivace	moyen
Vicia sativa	Vesce commune	Maxivesa	5	annuel	moyen

ALAIN GARCIN, MURIEL MILLAN, MICHEL JAY, BRUNO LOQUET, MARIE-LISA BRACHET, CTIFL
NINA MERCIEZ, STAGIAIRE UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN/CTIFL
CÉCILE VILLENAVE, ELISOL-ENVIRONNEMENT
SYLVIE MASQUELIER, INOCULUMPLUS

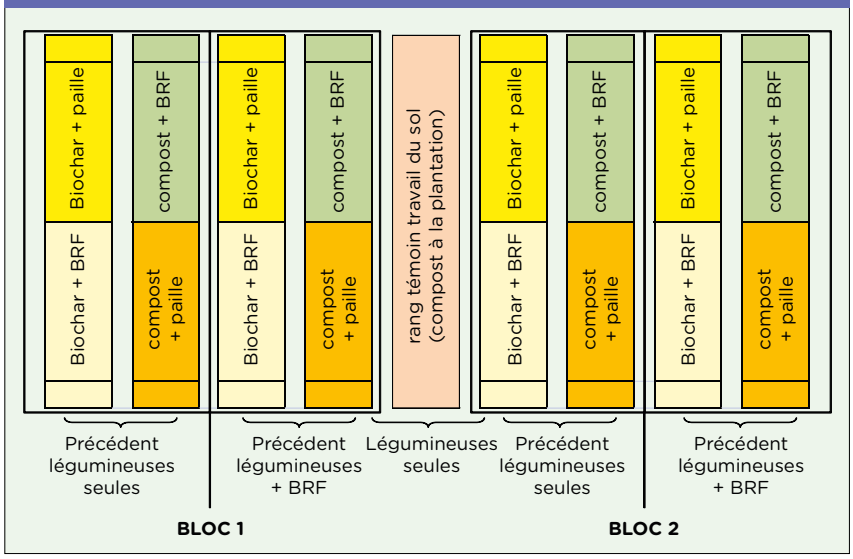
FIGURE 2 : Enracinement comparé de différentes espèces de légumineuses (d'après Kutschera, 1960)



deux types d'amendements (Tableau 5). Les apports ont été ajustés de façon à apporter la même quantité d'azote dans les deux modalités.

Les abricotiers ont été plantés en janvier 2013, avec la variété Tom Cot® Toyaco greffée sur porte-greffe pêcher Montclar. Les arbres ont des distances de plantation de 6 m entre les rangs et de 3,50 m sur le rang (476 arbres/hectare). Un paillage a été apporté sur les rangées d'arbres, sur 2 m de large, selon deux modalités : paille de blé par déroulage d'une balle ronde par demi-rang ; BRF composté pendant 6 mois, sur 3 cm d'épaisseur sur l'autre moitié de rang (Tableau 6).

FIGURE 3 : Plan de la parcelle et modalités étudiées



UN SOL RICHE EN CHAMPIGNONS ENDOMYCORHIZIENS

La mycorhize est une symbiose mutualiste entre certains champignons et une plante. Les champignons mycorhiziens facilitent le développement des plantes par un meilleur accès aux ressources du sol et peuvent limiter les effets des stress biotiques et abiotiques. La mycorhization artificielle peut renforcer le potentiel de la mycorhization naturelle et sa stimulation du développement racinaire lorsque le potentiel mycorhizogène naturel du sol est insuffisant.

Avant plantation, des analyses ont permis de mesurer le potentiel mycorhizogène naturel du sol servant de support à l'expérimentation. Dans ce but, un prélèvement de sol sur la modalité « légumineuses seules » a été effectué le 16 octobre 2012 et les analyses ont été effectuées par le laboratoire spécialisé Inoculumplus. Les principaux résultats

TABLEAU 4 : MODALITÉS ÉTUDIÉES (3 NIVEAUX DE FACTEURS)

Niveau 1 : précédent cultural	Niveau 2 : amendement	Niveau 3 : paillage sur le rang
Légumineuses (6 espèces en mélange)	compost de déchets verts (CDV) 38 T/ha	paille de blé : 12 T/ha sur 2 m de large
légumineuses + BRF (Bois raméal fragmenté)	Biochar activé (CDV + biochar) 57 T/ha	BRF composté : 35 T/ha sur 2 m de large

Témoin : précédent légumineuses, compost de déchets verts, travail mécanique du rang

TABLEAU 5 : AMENDEMENTS ET ÉLÉMENTS ORGANIQUES ET MINÉRAUX APPORTÉS SUR LA PARCELLE D'ABRICOTIERS

	Compost de déchet vert		Biochar activé	
	%/sec	Apport/ha	%/sec	Apport/ha
Quantité de compost apporté		38,5 t		57 t
Taux de matière sèche	58		62	
Matière organique	51,3	11,6 t	25,9	9,2 t
N total	1,67	376 kg	1,06	376 kg
Rapport C/N	15,4		12,2	
P_2O_5	1,03	232 kg	0,64	227 kg
K_2O	1,63	367 kg	1,10	627 kg
MgO	0,80	180 kg	1,29	735 kg
CaO	8,23	1 852 kg	10,30	5871 kg
Na_2O	0,09	20 kg	0,10	57 kg
SO_3	1,01	227 kg	1,42	809 kg

TABLEAU 6 : QUANTITÉ DE MULCH APPORTÉE POUR CHAQUE MODALITÉ

	Surface m^2	Volume m^2	Poids kg	t/ha réel	t/ha équivalent
Paille de blé	49		178	36	12
BRF	49	1,5	517	105	35

> *PAPILLON* ARGUS *EN TRAIN DE BUTINER SUR LA LUZERNE SEMÉE ENTRE LES RANGS D'ABRICOTIERS*

sont les suivants.

Biotest « pouvoir mycorhizogène » : le sol a été dilué (6 dilutions testées et 5 réplicats par dilution) dans un substrat stérile. Chaque dilution a été le support de culture d'un semis de trèfle Barfiola. Après cinq semaines de culture, les racines ont été colorées selon la technique décrite par Phillips et Hayman (1970).

Le nombre le plus probable de propagules de champignons mycorhizogènes a été estimé en utilisant les tableaux 100-1 et 100-2 de Cochran (1950).

Les résultats du biotest ont donné une estimation de 340 000 propagules mycorhizogènes par kg de sol (mini 102 000 ; maxi 1 122 000). On estime généralement qu'un sol montrant un pouvoir mycorhizogène supérieur à 10 000 propagules/kg, peut être considéré comme un sol riche.

Analyses moléculaires : l'ADN total a été extrait de trois sous-échantillons du sol (3 x 250 mg) avec un kit commercial (NucleoSpin Plant II, Macherey-Nagel). Les amplifications ont ensuite été réalisées avec, d'une part, des amorces spécifiques des genres *Glomus, Acaulospora, Scutellospora* et *Gigaspora* ; et, d'autre part, des amorces spécifiques des espèces *Glomus intraradices, Glomus mosseae, Glomus etunicatum, Glomus geosporum* et *Glomus claroideum*.

Les analyses moléculaires ont montré la présence des genres *Glomus, Acaulospora* et *Scutellospora*.

Parmi les *Glomus,* les espèces *Glomus intraradices, Glomus mosseae, Glomus etunicatum* et *Glomus geosporum* ont été détectées.

Le sol après plusieurs années de jachère et un précédent cultural à base de légumineuses semble induire une abondance et une diversité des espèces de champignons formant les endomycorhizes, ne justifiant pas le recours à une mycorhization artificielle des arbres. Afin de vérifier cette hypothèse, des tests en pot ont été effectués parallèlement. Les principales conclusions sont présentées dans l'encadré 1.

DES COMMUNAUTÉS DE NÉMATODES PLUS DIVERSIFIÉES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Les nématodes, vers microscopiques, sont de bons bio-indicateurs, du fait de leur abondance dans tous les sols et de leur grande diversité fonctionnelle (Coll *et al.,* 2013). L'intérêt des nématodes est qu'ils se placent à différents niveaux de la chaîne trophique et, de ce fait, leur caractérisation donne une information sur l'ensemble de ce réseau trophique du sol. Ils jouent plusieurs rôles clés dans la chaîne trophique, en particulier dans la régulation des micro-organismes. De plus, ils sont sensibles aux conditions du milieu et aux perturbations physiques ou chimiques.

Les nématodes peuvent être distin-

ALAIN GARCIN, MURIEL MILLAN, MICHEL JAY, BRUNO LOQUET, MARIE-LISA BRACHET, CTIFL
NINA MERCIEZ, STAGIAIRE UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN/CTIFL
CÉCILE VILLENAVE, ELISOL-ENVIRONNEMENT
SYLVIE MASQUELIER, INOCULUMPLUS

INFOS CTIFL
MAI 2014 N°301

TEST SUR PÊCHERS EN POTS

Des noyaux de pêcher GF 305 préalablement germés ont été mis en pots de 1,2 litre dans un substrat composé de terre provenant de la parcelle d'abricotiers, avec quatre modalités : sol stérilisé ou non à 180 °C, ensemencé ou non avec Symbivit®, produit contenant des champignons mycorhiziens à arbuscules (*Glomus* sp.). Le support, à base d'argile, est amendé avec des bioadditifs (minéraux naturels, extraits d'algues marines, kératine, humus, chitine). Les plants ont été cultivés sous abris froid, sans apport d'engrais, pendant dix semaines.

La longueur de pousse des jeunes plants a été mesurée régulièrement. Des mesures de l'indice de teneur en chlorophylle ont été faites à trois dates avec le N-tester. Après 10 semaines de culture, les arbres ont été arrachés, la partie aérienne et les racines pesées séparément et mises à l'étuve pour évaluer leur masse sèche. La colonisation des racines des jeunes pêchers a été évaluée par le laboratoire Inoculumplus. L'analyse repose sur l'examen de 30 petits fragments du système radiculaire. Ces fragments, après coloration, sont examinés au microscope et notés selon un barème de classes.

Les résultats montrent une meilleure croissance des jeunes pêchers (Tableau 7), ainsi qu'un indice N-tester supérieur (Figure 4) dans les modalités avec Symbivit®.

L'estimation du taux de mycorhization fait apparaître une colonisation sensiblement égale dans les deux modalités, avec des niveaux très élevés, aussi bien en fréquence (nombre de racines colonisées) qu'en pourcentage de colonisation par racine (Figure 5). Par contre, avec les modalités sur sol stérile, l'apport se Symbivit® a légèrement amélioré la colonisation des racines par les endomycorhizes, en fréquence mais pas en intensité, qui reste très faible.

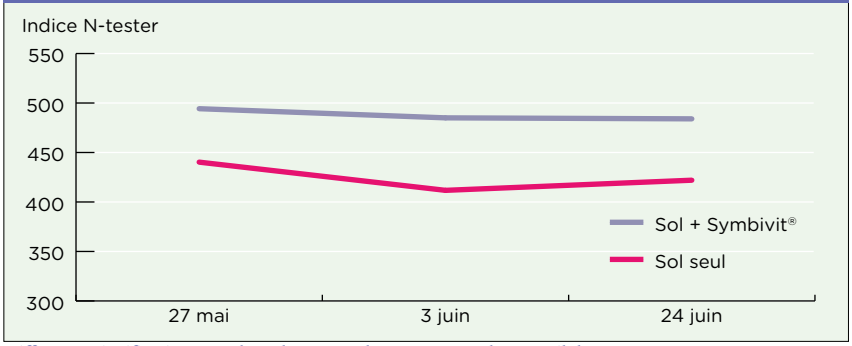
En conclusion, nous pouvons émettre l'hypothèse que les effets bénéfiques du Symbivit® constatés sur les jeunes plants de pêcher, en termes de masse végétale et de teneur en chlorophylle mesurée par le N-tester, ont pour origine l'effet combiné des champignons mycorhizogènes présents dans le produit avec les additifs du substrat, sans que l'on puisse faire la part du rôle des champignons exogènes dans le cas d'un sol naturellement riche (effet de souches différentes ?). Cette hypothèse mériterait d'être vérifiée par une expérimentation plus poussée.

TABLEAU 7 : MESURES DE CROISSANCE DES PÊCHERS APRES 10 SEMAINES DE CULTURE EN POT, AVEC OU SANS ENSEMENCEMENT AVEC SYMBIVIT®

	Sol stérilisé	Sol stérilisé + Symbivit®	Sol seul	Sol + Symbivit®
Longueur de pousse (mm)	557	583	628	878
Masse sèche caulinaire (g)	2,32 (b)	3,26 (ab)	3,05 (b)	4,43 (a)
Masse sèche racinaire (g)	1,08 (c)	1,43 (bc)	1,82 (ab)	2,40 (a)

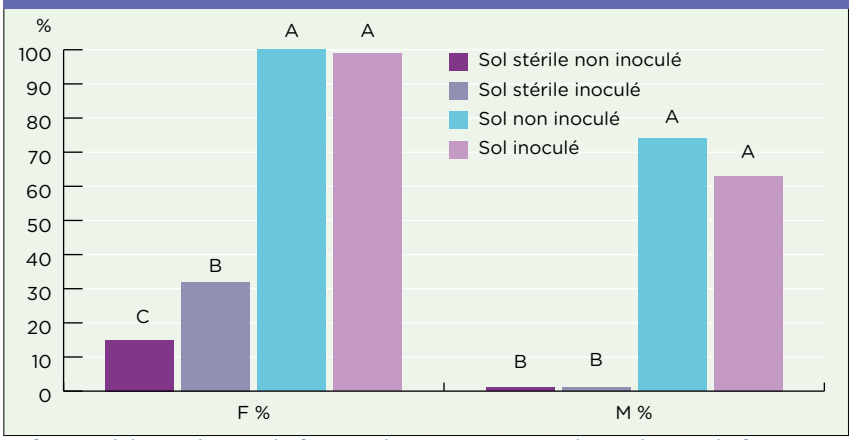
Les mesures significativement différentes sont suivies d'une lettre différente entre parenthèses (test de newman-keuls au seuil de 5 %)

FIGURE 4 : Évolution de l'indice de teneur en chlorophylle du N-tester en fonction de l'ensemencement avec Symbivit®



Différences significatives pour les 3 dates (test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

FIGURE 5 : Taux de colonisation des racines de pêcher par les endomycorhizes, après 10 semaines de culture



F : fréquence de la mycorhization des fragments de racines. M : intensité de mycorhization des fragments mycorhizés. Les mesures significativement différentes sont suivies d'une lettre différente (test de Newman-Keuls au seuil de 5 %).

gués selon leur groupe trophique. Chacun de ces groupes trophiques peut renseigner sur une fonctionnalité du sol. Ainsi, les six principaux groupes de nématodes trouvés dans le sol sont :

– les nématodes phytophages, obligatoires ou facultatifs. Ils renseignent sur la nature et l'état de la couverture végétale ;
– les nématodes bactérivores et fongivores, qui renseignent sur la dynamique de la matière organique et le recyclage des nutriments ;
– les nématodes omnivores et carnivores qui reflètent les perturbations physiques ou chimiques du milieu.

La parcelle expérimentale a été échantillonnée sur les modalités de niveau 1 (précédent légumineuses seules et légumineuses + BRF). Trois autres parcelles d'abricotiers ayant des itinéraires culturaux et des âges différents ont également été échantillonnées (Tableau 8). Les prélèvements de sol ont été réalisés sur l'inter-rang sur 15 cm de profondeur le 27 mai 2013. Chaque échantillon était constitué de 20 prélèvements élémentaires faits à la tarière. Les nématodes ont été extraits des échantillons de sol, dénombrés et identifiés selon la norme ISO 23611-4. Ce travail a conduit à l'obtention d'un tableau d'abondance des différents taxons qui ont été regroupés selon leurs groupes trophiques (Tableau 9).

À partir de l'identification des nématodes et de la connaissance de leurs comportements alimentaires et de leurs stratégies démographiques, on peut calculer des indices synthétiques permettant d'interpréter la qualité des sols. Plusieurs indices nématofauniques ont été calculés à partir de l'abondance de différentes guildes fonctionnelles de nématodes (Ferris *et al.*, 2001). L'Indice de structure (SI) reflète la stabilité du milieu : plus il est élevé, moins le milieu est perturbé. Il est fonction de l'abondance relative de plusieurs familles (les bactérivores, les fongivores, les omnivores et les prédateurs). L'Indice d'enrichissement (EI) donne une indication sur la dynamique des éléments nutritifs. L'EI augmente

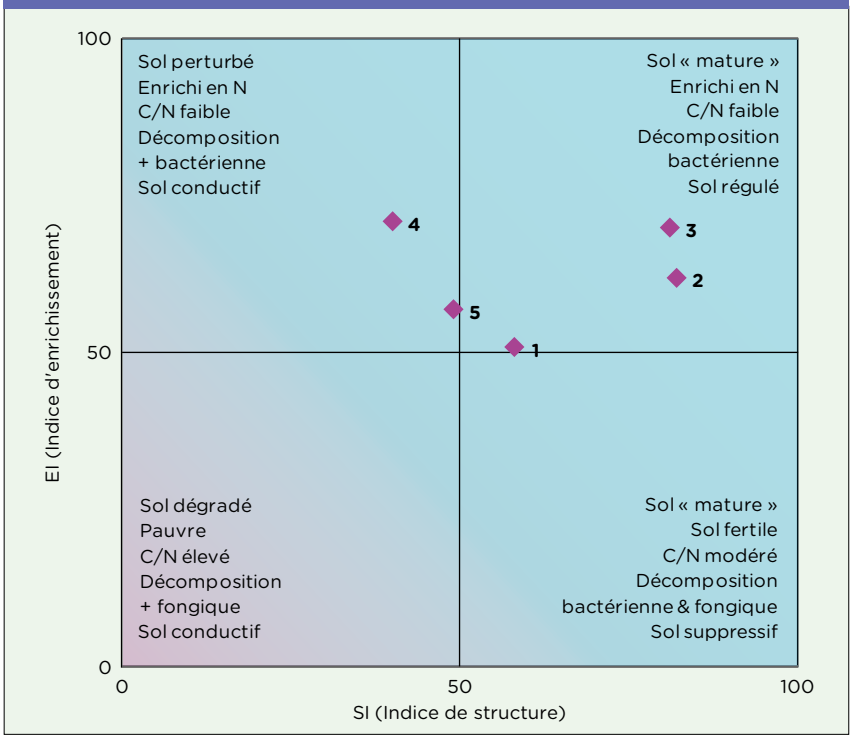
TABLEAU 8 : CARACTÉRISTIQUES DES PARCELLES ÉCHANTILLONNÉES

N°	Itinéraire technique	Couvert végétal	BRF	Âge (ans)
1	AB	Légumineuses	non	1
2	AB	Légumineuses	oui	1
3	AB	Graminées	non	10
4	Conventionnel	Graminées	non	1
5	Conventionnel	Graminées	non	7

TABLEAU 9 : ABONDANCES DES DIFFÉRENTS GROUPES TROPHIQUES (NOMBRE DE NÉMATODES POUR 100 G DE SOL SEC) ET INDICES NÉMATOFAUNIQUES

Numéro de parcelle	1	2	3	4	5
Bactérivores opportunistes	78	67	65	108	142
Autres bactérivores	290	156	87	98	342
Fongivores	164	104	168	132	342
Omnivores + Prédateurs	55	111	32	34	67
Phytoparasites	423	171	216	269	267
Phytophages facultatifs	305	520	211	64	450
SI (Indice de structure)	58	82	81	40	49
EI (Indice d'enrichissement)	51	62	70	71	57
IVD (Indice des voies de décomposition)	0,69	0,68	0,47	0,61	0,59

FIGURE 6 : Structure des communautés de nématodes. Les numéros renvoient aux différentes parcelles du tableau 8



ALAIN GARCIN, MURIEL MILLAN, MICHEL JAY, BRUNO LOQUET, MARIE-LISA BRACHET, CTIFL
NINA MERCIEZ, STAGIAIRE UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN/CTIFL
CÉCILE VILLENAVE, ELISOL-ENVIRONNEMENT
SYLVIE MASQUELIER, INOCULUMPLUS

avec la disponibilité en nutriments et en particulier l'azote. La valeur de EI et de SI est comprise entre 0 et 100. L'Indice des voies de décomposition (IVD) varie de 0 à 1. L'IVD est un moyen d'exprimer les voies dominantes de décomposition de la matière organique. Quand les nématodes bactérivores sont les plus abondants microbivores, le ratio tend vers 1 : la voie de décomposition bactérienne domine. Quand les nématodes fongivores sont les plus abondants microbivores, le ratio tend vers 0 : la voie de décomposition fongique domine.

Les cinq échantillons présentent des EI supérieurs à 50, signe d'un enrichissement des sols en fertilisants minéraux ou organiques (Figure 6). Les échantillons provenant des parcelles conduites en AB ont un SI supérieur à 50, avec des valeurs particulièrement élevées pour la jeune parcelle avec légumineuses associées au BRF et la parcelle biologique âgée (parcelles 2 et 3). Ces valeurs élevées sont le signe d'une microchaîne trophique plus diversifiée et plus complexe, en comparaison avec des parcelles équivalentes conduites en agriculture conventionnelle.

FERTILISER AVEC UN PAILLAGE DE LUZERNE ?

Utilisée habituellement en rotation de grandes cultures ou comme fourrage, la luzerne fait l'objet, depuis quelques années, de nouvelles études orientées vers la fertilisation azotée sous forme de paillage. Des travaux ont été conduits en grandes cultures, maraîchage et arboriculture (Bouttet *et al.*, 2012 ; Giroir, 2012 ; Wiens *et al.*, 2006).

Un test a été mis en place sur le centre Ctifl de Balandran au cours de l'été 2013, sur deux rangs au sol nu et ne portant pas d'arbres. Le but étant de mesurer la quantité d'azote libérée par du foin de luzerne de l'année, épandue selon trois modalités d'épaisseur (Tableau 10).

Le foin de luzerne utilisé avait une teneur en matière sèche de 90 % et une teneur en azote total de 2,3 %. Les modalités ont été définies à partir d'un effet occultant minimal du paillage (l'effet herbistatique était également recherché). Les mulch ont été tenus humides par aspersion d'eau une fois par semaine pour faciliter la minéralisation, tout en limitant le lessivage de l'azote. Les teneurs en nitrates sont mesurées une fois par mois avec un Nitrachek, sur l'horizon 0-30 cm (deux répétitions d'échantillons issus de 6 à 9 carottages par modalité). Mise en place du test : 3 juin 2013.

L'essai débute avec un reliquat azoté d'environ 50 kg/ha, car les deux rangs utilisés portaient un verger de pêcher l'année précédente.

La cinétique de minéralisation montre un pic important 42 jours après la mise en place du paillage (Figure 7) : avec 6 à 7 cm de paillage, la libération d'azote par le foin de luzerne est en moyenne de l'ordre d'une centaine de kg/ha de plus que le témoin sur sol nu. Pour une épaisseur de 4 cm environ, elle est de 36 kg/ha. Jusqu'à la fin octobre, des quantités encore importantes d'azote sont libérées sous les paillages.

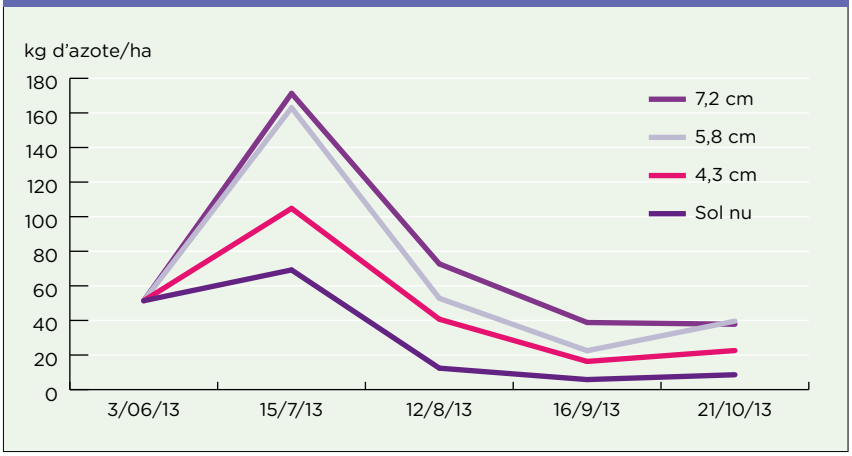
Ces premiers résultats confirment ceux des études antérieures sur le sujet ainsi que ceux obtenus en conditions contrôlées (incubation à 28 °C) sur des engrais verts, qui montrent qu'une grande part de la minéralisation a lieu dans le mois qui suit la mise à place.

Le travail doit être approfondi selon plusieurs axes : minéralisation du mulch dans des conditions plus tempérées (printemps par exemple), application pratique en verger, capacité d'auto approvisionnement en luzerne (adéquation des surfaces à fertiliser et à semer en luzerne), bilan économique...

TABLEAU 10 : MODALITÉS DE PAILLAGE À BASE DE FOIN DE LUZERNE SUR SOL NU

Numéro de parcelle	poids/8 m²	poids/ha	MS/ha	Épaisseur moyenne	N total/ha théorique
Modalité 1	10 kg	12,5 t	11,25 t	4.3 cm	287 kg/ha
Modalité 2	15 kg	18,75 t	16,9 t	5.8 cm	431 kg/ha
Modalité 3	20 kg	25 t	22,5 t	7.2 cm	575 kg/ha

FIGURE 7 : Quantités d'azote minéralisé selon l'épaisseur du paillage (kg/ha de N-NO_3-)



LES LÉGUMINEUSES SONT FAVORISÉES PAR L'INCORPORATION DE BRF

Le mélange de légumineuses semé une année avant la plantation des abricotiers a été maintenu sur les inter-rangs de plantation et enfoui sur le rang avec une roto-bêche. La couverture de l'inter-rang a été évaluée à la fin du mois de mai 2013, par des mesures de pourcentage de recouvrement effectuées sur quatre quadras par modalité (légumineuses seules ou associées au BRF). Les mesures effectuées montrent une meilleure installation des légumineuses lorsqu'elles sont associées avec du BRF (Figure 8). Le BRF frais, en provoquant une faim d'azote pour sa dégradation par les micro-organismes, stimule la fixation symbiotique d'azote par les légumineuses, tout en limitant la croissance des adventices nitrophiles, notamment les graminées.

TENEUR EN AZOTE NITRIQUE

Les mesures de l'azote nitrique sur une profondeur de 30 cm la première année après plantation montrent une disponibilité en azote du sol supérieure dans la parcelle avec des légumineuses en inter-rangs à celle d'une parcelle conduite en AB sans légumineuse (Figure 9). Par ailleurs, la teneur en nitrate à la fin du mois d'août est meilleure avec un amendement contenant du biochar activé qu'avec un compost de déchets verts seul (Figure 10).

TENEUR EN CHLOROPHYLLE

Le N-Tester permet de réaliser un diagnostic de nutrition azotée sur une culture en cours de croissance. Il fonctionne en mesurant optiquement la teneur en chlorophylle des feuilles qui est fortement corrélée à l'état de nutrition azotée de la plante. Des mesures sont faites durant la saison de végétation des abricotiers, tous les mois dès que les feuilles sont assez développées.

La teneur en chlorophylle des feuilles des abricotiers est moindre au mois de juillet avec le mulch de BRF qu'avec la paille (Figure 11). En revanche, aucune différence significative n'a été observée aux autres dates de mesure. Le niveau de statut azoté des feuilles est redevenu identique pour les deux modes d'entretien du sol à la fin du mois d'août.

CONTRÔLE DES ADVENTICES

Le mulch de paille de blé permet un meilleur contrôle des adventices que le mulch de BRF sur 3 cm, qui favorise l'implantation de composées notamment (Figure 12). Quelques repousses de luzerne ont cependant été observées sur le paillage de blé, ainsi que des germinations de blé, issues de grains

FIGURE 8 : Recouvrement de l'interrang du verger en présence ou en absence de BRF
Comptage du 23 mai 2013

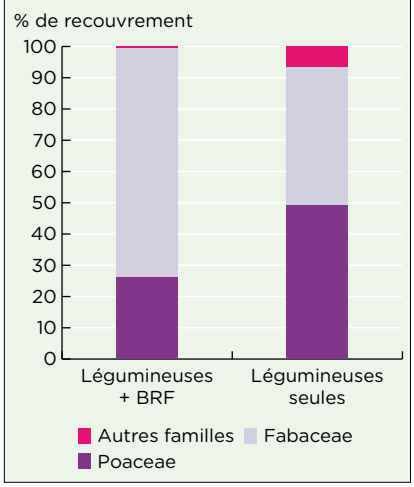


FIGURE 9 : Teneur en azote nitrique du sol sur 30 cm, sur 2 parcelles d'abricotiers en AB (parcelles 1 et 3 du tableau 8)

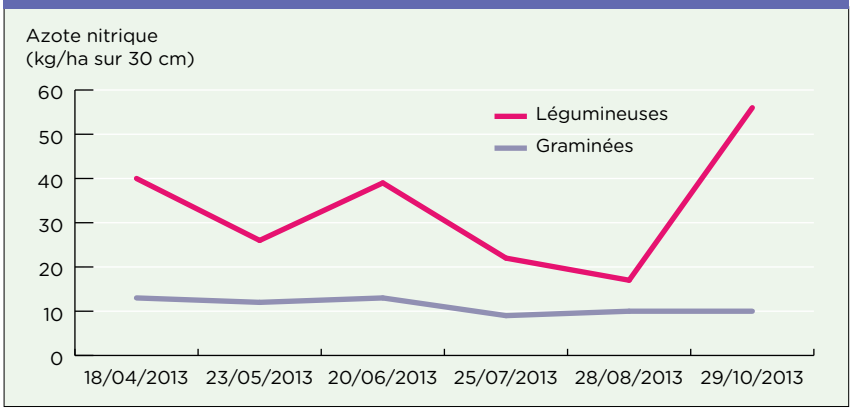
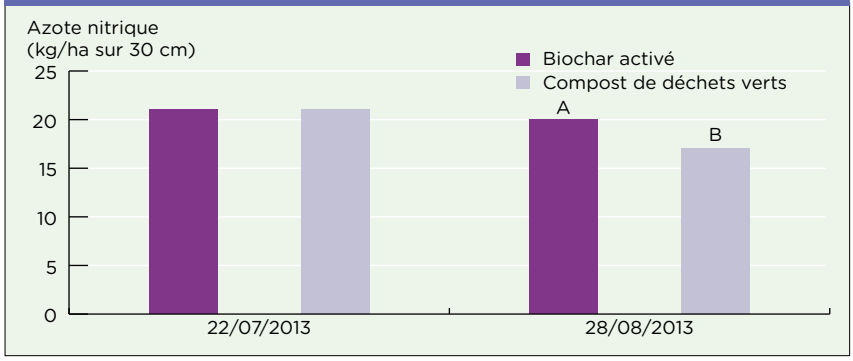


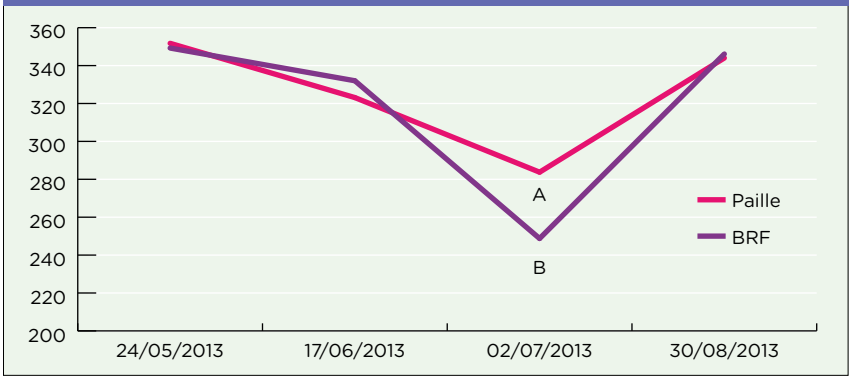
FIGURE 10 : Teneur en azote nitrique du sol sur 30 cm en juillet et août 2013, en fonction de l'amendement apporté avant plantation



Différence significative le 28 août (test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

ALAIN GARCIN, MURIEL MILLAN, MICHEL JAY, BRUNO LOQUET, MARIE-LISA BRACHET, CTIFL
NINA MERCIEZ, STAGIAIRE UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN/CTIFL
CÉCILE VILLENAVE, ELISOL-ENVIRONNEMENT
SYLVIE MASQUELIER, INOCULUMPLUS

FIGURE 11 : Mesures de l'indice SPAD du N-tester sur feuilles d'abricotier à différentes dates



La différence n'est significative que le 2 juillet (test de Newman-Keuls au seuil de 5 %)

> MULCH DE PAILLE DE BLÉ AU 24/06/13

> MULCH DE BRF COMPOSTÉ AU 24/06/13

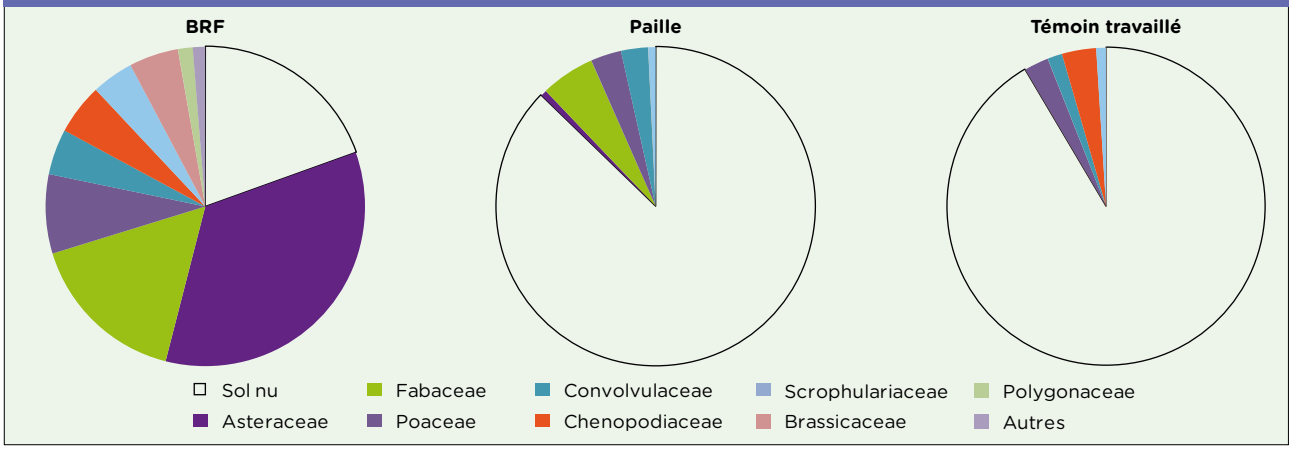
restés dans la paille. Le développement d'adventices sur le BRF au mois de juin, venant concurrencer les jeunes abricotiers, pourrait expliquer la plus faible teneur en azote des feuilles en juillet sur cette modalité, révélée par le N-tester. Face à cette situation, nous avons décidé de travailler mécaniquement sur le rang la modalité BRF à partir du mois de juillet.

PERSPECTIVES PROMETTEUSES

Ces premiers résultats ouvrent des perspectives sur la possibilité d'améliorer la fertilité du sol sans apports externes à l'exploitation, en utilisant les ressources disponibles sur place ou à proximité : semis de légumineuses, utilisation des déchets verts et résidus de récolte pour fabriquer le BRF et le compost. Les études et prospections déjà effectuées au niveau départemental ou régional montrent que les ressources disponibles pour la fabrication de compost ou de BRF sont limitées, aussi la voie de l'autoproduction semble prometteuse : récupération des bois à la taille ou à l'arrachage des vergers, et plantation de ligneux dédiés à la production de bois sur le modèle du bois-énergie. Une étude de faisabilité est en cours sur le centre Ctifl de Balandran. La fabrication de biochar avec une chaudière à pyrolyse pourrait permettre de combiner production d'énergie et stockage de carbone dans les sols au niveau de l'exploitation ou localement.

Le verger étant encore jeune, les premiers résultats prometteurs sont à valider sur le verger en production. L'utilisation de BRF à ces quantités pour la gestion des adventices sur le rang montre ses limites dès la première année de pousse du verger. D'autres pistes vont être explorées, pour étudier notamment les effets de ces techniques sur la fertilité biologique du sol et sur la stimulation des défenses de la plante. Le paillage installé sur jeune verger sera remplacé, lorsque les arbres seront bien implantés, par des plantes couvre-sol peu concurrentes. ■

FIGURE 12 : Pourcentage de recouvrement des différentes familles d'adventices en fonction du mode de paillage sur le rang



Témoin : rang travaillé mécaniquement. Date d'observation : 18 juin 2013

BIBLIOGRAPHIE

Bouttet D., Bouviala M., 2012. Fertiliser avec des produits à base de luzerne en grandes cultures biologiques. Synthèse des essais 2012 Arvalis. T.a.p 25 pp.

Cochran W.G., 1950. Estimation of bacterial densities by means of the "most probable number". Biometrics, 6, p. 105-116.

Coll P., Le Cadre E., Mérot A., Villenave C., 2013. La caractérisation du fonctionnement biologique du sol en viticulture biologique peut être réalisée par l'analyse de la nématofaune. Innovations Agronomiques 32, p. 391-400.

Dawson, C.J., Hilton, J. Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. Food Policy (2011), doi:10.1016/j.foodpol.2010.11.012.

Dossier « gestion du sol en AB : résultats du projet SolAB ». Alter Agri n° 116, novembre-décembre 2012.

Ferris H., Bongers T., de Goede R., 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. Applied Soil Ecology 18, p. 13-29.

Fourrié L., Peigné J., Védie H., Garcin A., Goma Fortin N., 2013. SolAB : Limiter le travail du sol et évaluer la fertilité des sols en agriculture biologique. Innovations Agronomiques 30 (2013), p. 125-138.

Garcin A., Bussi C., Corroyer N., Dupont N., Fourrie L., Gomez C., Ondet S-J., Parveaud C-E., 2013. Verger en agriculture biologique - Modes de gestion du sol sur le rang. Infos Ctifl n° 291 mai, p. 50-53.

Garcin A., Gur C., 2004. Les alternatives au désherbage chimique - Des solutions pourraient venir du bio. Infos Ctifl n° 207 décembre, p. 22-26.

Giroir T., 2012. Étude des possibilités de valorisation des fourrages issus des systèmes de grandes cultures biologiques sans bétail. Contribution aux références techniques sur la fertilisation organique. Mémoire de stage Agrocampus Ouest centre (Rennes) présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, spécialisation Inter-Agro Protection des Plantes et Environnement, 68 pp.

Granatstein D., Kirby E., Davenport J., Morgan W., Kukes A., 2012. Direct-seeding Legumes into Orchard Alleys for Nitrogen Production. International Organic Fruit Research Symposium, Leavenworth, WA. Poster.

Kutschera L., 1960. Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG Frankfurt, 574 pp.

Merciez N., 2013. Essai sur l'influence de l'endomycorhization et de l'apport de biochar en arboriculture fruitière. Mémoire Master, université de Perpignan. 23 pp.

Philipps J-M., Hayman D-S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, 55, p. 158-161.

Ricard J.-M., Fiers M., 2006. L'activité biologique du sol - Étude de l'endomycorhization de pêchers. Infos Ctifl n° 221 mai, p. 24-27.

Toussaint A., 2012. Mise en place de suivis microbiologiques pour l'expérimentation de la gestion des sols en verger d'abricotier biologique. Mémoire Master, Université de Pau. 32 pp.

Wiens M.J. et al., 2006. Agronomic benefits of alfalfa mulch applied to organically managed spring wheat. Canadian Journal of Plant Science 86(1), p. 121-131.