LÉGUMINEUSES

IL EST URGENT DE LES RÉHABILITER

Les légumineuses (littéralement : légume dont le fruit est une gousse) représentent 1/12e des plantes à fleurs, soit plus de 18 000 espèces connues. La très grande majorité d'entre elles est capable d'entrer en symbiose avec des bactéries du sol, principalement du genre rhizobium. La plante fournit l'énergie, et le micro-organisme l'azote assimilable (NH_3) à partir de l'azote de l'air (N_2). Un système biologique complexe et passionnant que nous devons plus que jamais apprivoiser. En agriculture de conservation, où l'azote fait parfois cruellement défaut, surtout durant la période de transition, nous avons bien compris leur intérêt et nous avons réintégré ces plantes. L'énergie fossile se fait rare, son prix explose et avec lui celui des engrais. Nous devons repenser à notre autonomie en azote. Il est donc urgent de réhabiliter ce formidable potentiel naturel que forme cette symbiose avec les légumineuses.

L'azote de l'air (N_2) est une molécule très stable, qui représente la plus importante source naturelle d'azote. 80 % de l'atmosphère en est constituée. Sur terre, seuls des organismes appartenant au groupe des procaryotes[1] peuvent réduire cet azote en une forme recombinée assimilable. Les rhizobia[2] appartiennent à ce groupe.

(1) Procaryotes : êtres vivants tels que les bactéries dont les cellules sont dépourvues de noyau. L'ADN n'est pas protégé.
(2) Rhizobium : bactérie ayant la faculté à induire la formation d'un nouvel organe chez son hôte. Mais cette formation est d'un genre un peu particulier puisque, contrairement aux tumeurs classiques, le nodule qu'elle produit est un organe pleinement fonctionnel et bénéfique pour son hôte.

Certaines bactéries libres sont capables de fixer l'azote de l'air, mais les systèmes fixateurs les plus efficaces sont des symbioses, qui réalisent un couplage entre la fixation de cet azote et la photosynthèse. Il en existe deux grands types : la symbiose rhizobium légumineuse et la symbiose actinorhizienne impliquant une bactérie du genre Frankia avec des plantes ligneuses. On peut en ajouter une troisième : l'association entre des fougères aquatiques, du genre Azolla, et des cyanobactéries, très utilisée pour la fertilisation des rizières en Asie du Sud.

Symbiose signifie : fusion plus ou moins intime de deux êtres vivants d'espèces différentes, qui correspond à une association à caractère obligatoire et à avantages et inconvénients réciproques et partagés, entre partenaires. Ainsi, dans la symbiose rhizobium et légumineuse, les premiers fournissent à la plante des substrats azotés, sous forme d'ammoniac. En retour, la plante fournit des substrats carbonés issus de sa photosynthèse.

Tout part de la légumineuse qui émet par ses racines, sous forme d'exsudats racinaires, un mélange bien précis de flavonoïdes (molécules habituellement utilisées par les végétaux en tant que colorants) et de divers produits dont les micro-organismes sont friands tels que des sucres et acides aminés issus de la photosynthèse. Le dosage du mélange exsudé est déterminant pour la symbiose à venir car chaque souche de rhizobium ne réagit qu'à un « dosage » bien spécifique.

« Les prix de l'azote flambent. L'unité valait 0,70 euro il y a peu. Alors que nous écrivons ces lignes, elle vaut 1,20 euro. Très rapidement, elle sera à 1,50 euro. Mais cette envolée en précède une autre : celle du prix des protéines. Si, aujourd'hui, les légumineuses sont mal payées, demain, il en sera sans doute autrement. »

Une reconnaissance spécifique

Le rhizobium, qui vit libre dans le sol, est doté sur son enveloppe externe de récepteurs spécifiques aux différents composants de l'exsudat racinaire. La fixation des flavonoïdes sur ces récepteurs induit chez la bactérie l'expression d'un gène spécifique, nommé nodD, qui code pour une protéine du même nom. Si les deux espèces sont compatibles, la protéine nodD va pouvoir s'associer aux flavonoïdes pour former une molécule. Cette dernière, de nature hormonale, provoque sur la racine l'incurvation de l'extrémité des poils absorbants. À ce

ASTUCE

« Pour savoir si la symbiose rhizobium légumineuse fonctionne, sectionnez quelques nodosités au niveau des racines de la légumineuse. Celles-ci doivent présenter une coloration rouge, synonyme de la présence de la leghémoglobine. Celle-ci, de nature et de fonctionnement proches de l'hémoglobine animale, est chargée de transporter l'oxygène, sans risques de contact avec la nitrogénase, pour laquelle cet oxygène s'avère toxique. »

Le trèfle incarnat est la légumineuse des sables et, plus généralement des sols un peu « squelettiques ». Elle constitue un excellent fourrage de printemps.

La vesce est une très bonne plante accompagnatrice dans les mélanges de couverts végétaux et dans les mélanges fourragers. Mais elle demande de bonnes unités de chaleur pour produire sa biomasse. Elle doit donc être implantée tôt.

stade, un deuxième message est alors envoyé aux racines des légumineuses et deux solutions se présentent :

➜ soit les racines reconnaissent le message, se modifient et provoquent une stimulation de la croissance. Le nodule va devenir fonctionnel ;

➜ soit, dans le cas contraire, il ne se passe rien. Tout est stoppé.

Il y a donc plusieurs niveaux de reconnaissance dans cette symbiose qui en fait un système très complexe et très spécifique en se protégeant de l'intrusion de micro-organismes indésirables. Lorsque le message passe, les rhizobia s'agglutinent autour du poil absorbant qui produit une enzyme, la polygalacturonase. Celle-ci fragilise la paroi des bactéries et leur permet de pénétrer en profondeur à travers la racine afin de former un nodule en « déviant » une partie du système conducteur de celle-ci. C'est ce système qui va permettre d'apporter les produits carbonés fabriqués dans les feuilles et d'exporter vers la plante les produits azotés fabriqués dans le nodule.

Une fois ce nodule formé (en général, 2 à 3 semaines après semis), les rhizobia s'y regroupent pour y grossir jusqu'à 40 fois, formant des bactéroïdes qui vont mettre en place un réseau membranaire étanche dans lequel ils vont produire les enzymes responsables de la transformation de l'azote : les nitrogénases. Ces dernières travaillent ainsi à l'abri. Une fois transformés en bactéroïdes, les rhizobia ne sont donc plus libres et n'ont plus comme mission que de fixer l'azote de l'air. Ils sont aussi protégés des autres micro-organismes de la rhizosphère. Chaque nodule a une vie relativement courte mais est constamment remplacé en cours de saison.

La nitrogénase est particulièrement sensible à la présence d'oxygène, toxique pour l'enzyme. Par contre, le rhizobium, bactérie aérobie, en a besoin. Plusieurs stratégies se sont alors développées pour garder la nitrogénase à l'abri : une respiration « forcée » avec très peu d'oxygène en circulation, l'enfermement dans une paroi épaisse imperméable et l'utilisation d'une autre molécule : la leghémoglobine. Celle-ci, de couleur rouge car riche en fer, est très proche de l'hémoglobine animale. Elle transporte l'oxygène sans qu'il risque d'interférer avec la nitrogénase. Grâce à cette molécule, il y a donc présence constante d'oxygène dans la nodosité mais à un taux faible. Élément intéressant, caractéristique de la symbiose : la leghémoglobine est synthétisée par les deux partenaires, la légumineuse et le bactéroïde.

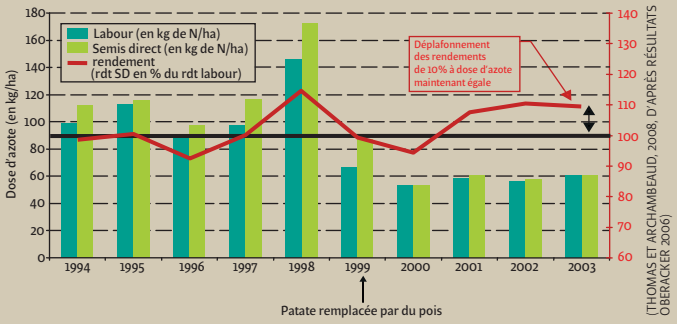
Une symbiose coûteuse en énergie

Au sein du nodule (ou de la nodosité, terme plus couramment employé), les acides organiques fournis par la plante sont la source d'énergie nécessaire au bon fonctionnement de la nitrogénase. Elle en est très gourmande. Une partie des produits de la photosynthèse est ainsi détournée au profit des nodosités dans les racines. Chez le soja, par exemple, cette fixation symbiotique équivaut à 0,7 t/ha de sucre pour une production de 2 t/ha de graines. La croissance des nodosités est ainsi prioritaire par rapport à celle des racines jusqu'à la floraison de la plante. La synthèse des racines nodulées et l'activité fixatrice des nodosités sont donc en compétition pour l'utilisation des assimilats carbonés. Mais cette utilisation, au sein des ▶

« En agriculture de conservation, durant la période transitoire, on manque d'azote pour deux raisons. La première vient de la simplification (ou l'abandon) du travail du sol. La minéralisation est ralentie alors que les besoins sont toujours là. La deuxième découle de la reconstitution du niveau de matières organiques qui stockent une partie de l'azote.

Ces deux phénomènes font donc que les systèmes en AC ont besoin de plus d'azote dans leur période de transition pour assurer un bon développement de la végétation. Par contre, lorsque le volant d'autofertilité est atteint et qu'on a, en quelque sorte, reconstruit son PEA (plan épargne azote), le système est capable de fabriquer autant d'azote qu'en système traditionnel, voire plus. Des économies substantielles peuvent alors être réalisées. L'essai pluriannuel d'Oberacker, en Suisse, en est la preuve. À partir du moment où le pois a remplacé, dans la rotation, la pomme de terre, les chercheurs ont pu réduire de 50 % le recours aux engrais azotés. »

ÉVOLUTION COMPARÉE DE LA FERTILISATION MOYENNE SUR L'ENSEMBLE DES CULTURES DE LA ROTATION EN FONCTION DU MODE DE TRAVAIL DU SOL



(THOMAS ET ARCHAMBEAUD, 2008, D'APRÈS RÉSULTATS OBERACKER 2006)

En 1999, sur l'essai pluriannuel d'Oberacker, en Suisse, le pois remplace la pomme de terre présente depuis 5 ans dans le système. Jusqu'à cette période, le SD exigeait un peu plus d'azote qu'en implantation traditionnelle. Avec l'introduction de la légumineuse, il n'en est plus rien. Sur la période 1994-1999, la consommation moyenne était d'environ 110 kg N/ha/an. Sur la période suivante, avec le pois, elle passe, en moyenne, à 60 kg N/ha/an, soit une cinquantaine d'unités économisées. Multiplié par 1,20 euro, prix de l'unité d'azote à l'heure où on écrit ces lignes, c'est 60 euros/ha/an économisés !

Les légumineuses ont leurs exigences

Si la présence très importante d'azote dans le milieu réduit le fonctionnement de la symbiose, il en est de même pour d'autres facteurs parmi lesquels on peut citer la salinité du milieu, l'acidité, la pauvreté en phosphore, la sécheresse, les basses températures, la limitation en nutriments ou le manque d'oxygène. Une carence en molybdène est aussi néfaste car cet élément s'avère indispensable dans les processus de fixation de l'azote.
Le stress salin affecte à la fois les populations rhizobiennes, la légumineuse hôte et la relation symbiotique. La formation des nodosités est extrêmement sensible à la présence de NaCl par réduction des sites d'infection de la racine et du nombre de poils absorbants. Lors d'un stress salin chez la luzerne, par exemple, on a pu observer un épaississement important du cortex nodulaire externe et interne. Parallèlement, les cellules non infectées contiennent de très nombreux amyloplastes1 alors que ceux-ci sont quasiment absents des nodules en présence de NaCl. L'acidité du milieu modifie le nombre de nodules. Même une faible baisse du pH peut les réduire fortement. De nombreux chercheurs ont ainsi montré que le chaulage améliore la nodulation. Outre l'effet « pH », le chaulage améliore les aspects chimique, physique et biologique du sol (lire le dossier « Évolution acido-basique : chauler est une nécessité » dans TCS n° 37 de mars-avril-mai 2006), importants pour un fonctionnement optimal de la symbiose. L'influence du pH sur la nodosité et l'activité des rhizobia est différente selon le climat. Dans les zones tempérées, comme chez nous, la croissance et la nodulation sont plus actives sur les sols neutres ou légèrement acides. Tandis que l'optimum de croissance des légumineuses tropicales est compris entre 5 et 6,5. Dans ces dernières, les rhizobia résistent mieux à l'acidité et sont capables de fixer l'azote à pH 4,5. Toutefois, il y a toujours une baisse de nodosités sur sols acides, comme ceux riches en aluminium. Pour assurer leur survie dans ces conditions difficiles, tout un arsenal chimique protecteur est alors mis en place. On comprendra enfin aisément, dans les facteurs limitants cités plus haut, pourquoi la sécheresse ou le manque d'oxygène diminuent l'activité symbiotique. Un sol mal structuré, compacté, ne peut donc pas être favorable. Les racines de légumineuses, souvent de bon diamètre, sont néanmoins peu agressives et explorent mal un sol présentant des défauts de structure ou s'il fait trop sec.
(1) Amyloplaste : organite spécifique des cellules végétales qui s'est spécialisé dans le stockage d'amidon.

parties racinaires, diminue au cours du cycle. À tous les stades phénologiques de la légumineuse, l'activité spécifique des nodosités dépend donc directement de la quantité de carbone allouée aux parties racinaires. Mais l'efficience de l'activité fixatrice par rapport au carbone utilisé diminue au cours du temps. Ainsi, si la plante utilise une grande partie de son énergie au début, pour la symbiose, lorsque cette dernière est pleinement fonctionnelle, elle peut se focaliser sur le développement de sa biomasse. Vous remarquerez que ceci explique pourquoi la biomasse des légumineuses n'est, en moyenne, jamais aussi exubérante que chez d'autres familles : car elles consacrent beaucoup de leur photosynthèse à leur autonomie en azote.

Grâce à cette énergie fournie par la plante, la nitrogénase réduit donc le diazote de l'air N_2, en ammoniac NH_3. L'ammoniac produit est cédé à la plante qui le convertit en acides aminés, une partie étant rétrocédée aux bactéroïdes. Bien entendu, pour être assimilé correctement par la plante, l'ammoniac NH_3 doit être oxydé en ions ammonium NH_4^+, par contact avec l'eau.

Cette formidable machine biologique fixe ainsi, au niveau mondial, environ 170 millions de tonnes d'azote par an, soit un niveau supérieur à la production d'azote issue de l'industrie (à peu près 140 millions de tonnes). On estime que la fixation symbiotique rhizobium légumineuse peut produire entre 100 kg et 300 kg d'azote/ha/an alors que certaines bactéries libres, capables elles aussi de fixer l'azote atmosphérique, n'en produisent que 100 fois moins. L'azote produit par la symbiose se retrouve, pour partie, dans les récoltes exportées (protéines des graines et fourrages) et en partie dans le sol, utilisable par les cultures suivantes (entre 10 et 80 unités selon des essais réalisés par Arvalis depuis les années quatre-vingt-dix). Pour Thierry Tetu, chercheur à l'université de Picardie et agriculteur par ailleurs, *« en général, lorsque 33 % de la teneur en azote organique d'une biomasse de légumineuse est disponible pour la culture qui suit, c'est déjà bien »*.

Mélange pois fourrager et féverole entre deux maïs. La biomasse peut être ensilée au printemps et valorisée en élevage, sans pénalité pour le maïs qui suit.

Exemple concret d'association positive où deux espèces, ici un pois et un triticale, sont implantées ensemble. Cette association fait que la biomasse de l'ensemble est plus vigoureuse que si les deux espèces avaient été semées séparément. La graminée profite de l'effet rhizosphérique de la légumineuse.

Une relation très privilégiée avec la rhizosphère

Les légumineuses entretiennent une relation très privilégiée avec la rhizosphère qui entoure leurs racines. D'après T. Tetu, *« l'effet rhizosphérique des légumineuses est 20 à 30 fois supérieur à celui d'une betterave ou d'un colza. La moutarde, autre exemple, a un effet rhizosphérique proche de 1… »*. On entend par effet rhizosphérique, le ratio entre la microflore rhizosphérique, à l'interface racine/sol (grosso modo, la terre qui reste collée aux racines lorsqu'on arrache une plante) et la microflore du sol située à distance des racines. *« Deux éléments expliquent cet effet rhizosphérique élevé des légumineuses : l'azote qui n'est pas, pour elles, un facteur limitant, notamment en fin de cycle, et des exsudats racinaires importants. Ces derniers sont, en quelque sorte, des fuites de carbone qui participent activement à l'entretien d'une rhizosphère importante. Ces « fuites » peuvent représenter entre 20 % et 40 % du carbone total fixé par photosynthèse chez les plantes en général, y compris les légumineuses »*, ajoute T. Tetu. Les légumineuses réinjectent ainsi dans le système certainement plus de carbone qu'on imagine ; carbone qui profite aux micro-organismes (libres et associés) et aux plantes accompagnatrices. Ces dernières, dans l'environnement proche de la légumineuse (racines imbriquées dans un mélange de couverts par exemple), bénéficient aussi de l'azote rhizosphérique. Celui-ci ne provient pas directement de la fixation symbiotique (la légumineuse « travaille » surtout pour elle) mais des micro-organismes fixateurs libres vivant au sein de la rhizosphère mais profitant de l'environnement propice créé par la légumineuse. *« Il est difficile de donner des chiffres mais on peut raisonnablement penser qu'une trentaine d'unités d'azote sont ainsi fournies. Ainsi, des plantes associées peuvent produire jusqu'à deux fois plus de biomasse que lorsqu'elles sont seules. C'est d'autant plus vrai que le sol est initialement riche en carbone assimilable »*, explique le chercheur.

Jusqu'au début du remplissage des graines, l'activité fixatrice est modulée par la vitesse de croissance des parties aérien-

Idée : semis de luzerne dans un couvert de féverole

C'est ce que nous avons pu découvrir en Tchéquie, dans une société agricole de la région de Prague, à Jesenice avec 3 700 hectares dont 270 ha de pâturages et, entre autres, 1 000 vaches laitières et 550 truies.
On y pratique couramment le semis de luzerne de printemps dans un couvert de féverole. On connaît, chez nous, le semis de luzerne ainsi mais dans un couvert d'orge de printemps. Luzerne et féverole sont ainsi semées en même temps. On évite ainsi une concurrence exacerbée sur les réserves du sol qui permet une installation plus rapide de la luzerne. Les deux espèces bénéficient d'un peu plus d'espace chacune pour correctement se développer. La féverole monte plus rapidement et limite ainsi le salissement. La luzerne est toujours plus lente à s'installer et implantée seule, elle a toujours du mal à faire concurrence aux adventices.
Le tout est d'abord ensilé courant juin et fournit un fourrage de qualité. Cette fauche précoce empêche qu'il y ait aussi trop de concurrence entre les deux espèces. Bien implantée, la luzerne repart ensuite et peut dominer seule la situation. Elle sera fauchée en pur en septembre.
Cette idée rejoint aussi le semis de luzerne sous couvert de pois, abandonné pour les difficultés de récolte. Une technique à également tester pour les installations d'été afin de limiter les besoins en désherbage.

nes, qui pilote la demande en azote du peuplement. La fixation symbiotique peut potentiellement assurer une nutrition azotée optimale du peuplement. Mais la contribution de la fixation symbiotique à l'acquisition totale d'azote par le peuplement est directement limitée par la disponibilité en nitrates du sol, les deux voies d'acquisition de l'azote étant complémentaires. Ainsi lorsque l'azote est présent de manière abondante dans le sol, les légumineuses ralentissent leur fixation symbiotique au profit d'une absorption plus classique dans le sol. Mais il faut, pour cela, des grandes quantités d'azote présentes, assez peu courant en système cultivé. Par ailleurs, toutes les légumineuses ne sont pas égales dans leur niveau de « productivité symbiotique » : le haricot ou le pois, par exemple, sont de pauvres fixateurs, contrairement à la luzerne, championne toutes catégories (voir tableau por- ▶

Les légumineuses aiment être implantées en compagnie d'autres plantes, tout comme l'inverse est aussi vrai. Leur discrétion cache leur rôle essentiel dans un mélange. Les légumineuses aiment également être protégées, tuteurées par d'autres plantes (cas de la vesce par exemple).

EASYDRILL

Un grand Oui aux T.C.S. !

>> **Ultra polyvalent**, l'Easydrill de SULKY est un nouveau champion des T.C.S. : semis direct, semis sous couvert végétal, semis sur préparations superficielles voire sur labour… Il rassure fortement par son aptitude à **semer** à très grande vitesse.

>> Pénétrant **sans bouleverser la structure du lit de semences**, l'l'Easydrill dispose d'une roue de jauge FARMFLEX® à l'avant pour maîtriser la profondeur, d'un disque crénelé de grand diamètre avec sa **rasette semeuse intégrée pour bien placer les graines** et d'un rouleau plombeur biseauté en fonte pour refermer le sillon.

>> **Spécialiste du semis** et marque-pionnière en TCS, SULKY a la réputation de suivre chaque utilisateur : mise en route, documentation, réunions autour du responsable agronomique SULKY : tout est fait pour **concilier performances économiques et amélioration de votre capital-sol.**

Nouveau : option FERTISEM pour fertiliser au semis.

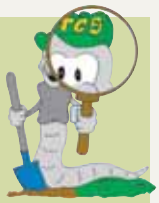
SULKY

www.sulky-burel.com

FT

Les légumineuses faisaient largement partie du paysage agricole il y a encore 3 ou 4 décennies. Le pois, par exemple, pouvait approcher les 60 à 70 q/ha ! Aujourd'hui, malgré les progrès génétiques et d'itinéraire technique, il peine à atteindre les 30 à 40 q/ha. Cela atteste vraisemblablement d'un affaiblissement de la qualité des sols. Le pois est pour cela un exemple assez typique car il figure parmi les légumineuses les moins autonomes et nécessite donc des sols encore plus performants.

« En France et en Europe, nous sommes aujourd'hui complètement dépendants de l'Est vis-à-vis de notre approvisionnement en azote (gaz russe) et de l'Ouest pour les protéines végétales (soja américain). Nous n'avons plus de légumineuses (alors que nous en avions il y a seulement 20 ou 30 ans) mais par contre nous avons beaucoup de nitrates ! N'y a-t-il pas une forme d'incohérence mais aussi de risque stratégique majeur dans ce système ? »

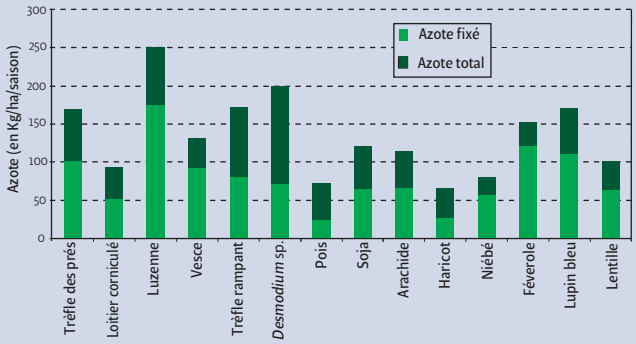


tant sur la part d'azote fixé par les nodules pour quelques légumineuses).

Attention à la période de conversion

Au début de son développement, la plante doit ainsi trouver dans le sol l'azote nécessaire à son installation. Une légumineuse qui a du mal à démarrer ne fera jamais un beau peuplement. Et c'est bien là toute la difficulté en agriculture de conservation, tout particulièrement durant la fameuse période de conversion, du labour au semis direct, où on peut manquer d'azote dans le système. Il y a deux raisons principales à ce manque : la simplification voir l'absence de travail du sol (moins de minéralisation) et la reconstitution d'un stock de matières organiques, consommateur d'azote (surtout dans une rotation très « pailleuse »). En période de transition, les légumineuses, si elles sont pourtant essentielles, ne se retrouvent pas dans de très bonnes conditions de développement. Les petites reprises de sol, minéralisatrices, sont alors parfois les bienvenues. Ceci explique aussi pourquoi on fertilise parfois une luzerne à l'implantation, surtout dans les terres de craie où le pH élevé est relativement bloquant pour pas mal d'éléments. Il faut donc savoir passer ce cap un peu délicat car la légumineuse a, globalement, besoin d'un sol de qualité, qui fonctionne. C'est sans doute pour cela qu'on les a progressivement abandonnées (sans parler des questions économiques et réglementaires). Les sols s'appauvrissant et rencontrant de plus en plus de problèmes sanitaires (*Aphanomyces* pour ne pas le nommer), les rendements des légumineuses n'étaient plus au rendez-vous. En deux ou trois décennies, nous sommes passés, en France et pour le pois, de rendements atteignant 60-70 q/ha à 30-40 q/ha tout au plus. Il faut aussi aux légumineuses une structure de sol performante, sans zone de compaction, aérée. Mais en persévérant dans l'implantation de ces plantes (en culture et/ou en couverts), vous allez d'autant plus facilement enrichir votre système et le conduire à une quasi-autonomie. On peut évoquer la notion de PEA pour « plan épargne azote » car le frein est bien déjà l'azote. Pour preuve, dès qu'on réintroduit une légumineuse dans une rotation très céréalière, on déplafonne tout de suite les rendements et cela d'autant plus qu'on est en SD. Le tableau « Intérêt économique des rotations ▶

PART DE L'AZOTE FIXÉ PAR LES NODULES BACTÉRIENS POUR QUELQUES LÉGUMINEUSES (D'APRÈS VANCE, 1998)



Ce tableau montre la différence qui existe entre espèces entre la part d'azote fixée par symbiose et la part absorbée dans le sol. Ainsi, le pois ou le soja ne produisent respectivement que 30 % à 50 % de leurs besoins totaux en azote par symbiose. C'est bien différent pour une luzerne, une féverole, une vesce ou un trèfle, plus autonomes.

FT

Certains micro-organismes de la rhizosphère des légumineuses ont de grandes facultés à mobiliser le phosphore du sol qui va bénéficier à la plante. Attention donc aux sols carencés notamment en terre de craie, situation pénalisante pour la luzerne, par exemple.

Légumineuses et SD : une fixation symbiotique plus performante

	N fixé (%)		N fixé (kg/ha)	
	Labour	SD	Labour	SD
Pois chiche	34	28	32	27
Soja	73	88	180	232
Soja	73	88	91	156
Pois chiche (1994)	31	40	9	11
Pois chiche (1995)	12	17	4	5
Pois	48	79	ND	ND
Lentille	62	72	ND	ND
Soja (cultivar S12)	87	91	33	47
Soja (cultivar S15)	86	88	39	44

D'APRÈS VAN KESSEL ET HARTLEY, 2000.

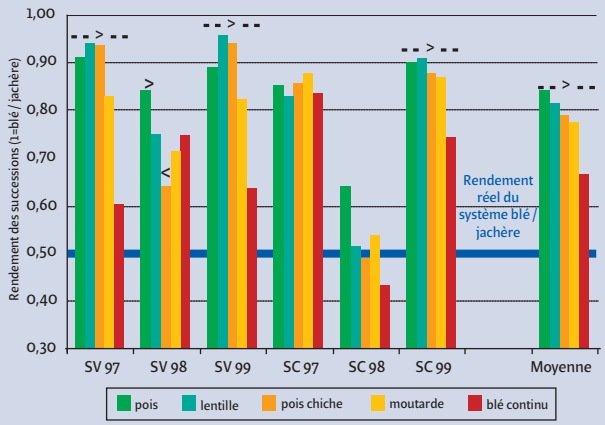
Encore un exemple où l'intérêt des légumineuses est d'autant plus prononcé en SD (ou travail minimum du sol). Dans ces conditions de moindre perturbation de la structure, la symbiose rhizobienne s'exprime beaucoup mieux et l'azote fixé est plus élevé qu'en situation de travail conventionnel. Les légumineuses font partie intégrante des rotations dans les grands pays du SD et l'ont toujours été : soja en Amérique (Nord et Sud) et lupin en Australie. De ce fait, les agriculteurs de ces pays n'ont pas connu de problèmes de faim d'azote liée au non-travail du sol. Ils ont ainsi pu mettre en œuvre plus facilement ces techniques.

Ailleurs : quand l'azote des légumineuses remplace l'eau

Dans la zone centrale du nord des États-Unis et du Canada, la sévérité du climat continental semi-aride (seulement 250 à 350 mm/an) a conduit les agriculteurs à pratiquer le « dry farming », c'est-à-dire à produire du blé une année sur deux en alternance avec une jachère cultivée afin de reconstituer les stocks en eau et de permettre une récolte satisfaisante. Si le développement du semis direct avec l'optimisation des ressources en eau qu'il apporte (limitation de l'évaporation par les résidus et les chaumes et meilleur captage de la neige en hiver) a permis de sécuriser les rendements, l'introduction de cultures de légumineuses en lieu et place de la jachère a été une véritable révolution. En fait, et comme le montre une campagne d'essais américano-canadiens dont a fait partie Guy Lafond, spécialiste du semis direct, les rendements en céréales sont systématiquement supérieurs après légumineuse ou crucifères, et ce malgré la consommation des précipitations de l'année précédente. Ce n'est donc pas l'eau qui était le facteur limitant mais bien l'azote : avec la période de jachère, le sol accumule également des éléments minéraux issus de la minéralisation de l'année qui est d'autant plus importante que le sol a été travaillé.

En substituant cette pratique par la culture de plantes productrices d'azote et non plus consommatrices, ce frein a été immédiatement levé, autorisant des cultures chaque année. La répercussion de cette découverte est telle que la jachère a reculé de plus de moitié dans cette région en 10 ans : une surface occupée maintenant par des légumineuses (pois, lentilles et pois chiche) et quelques crucifères (canola et moutarde), avec à la clé plus de diversité dans les rotations, une augmentation significative de la production globale et des rendements en blé, sans compter des économies en azote substantielles.

RENDEMENT DU BLÉ EN FONCTION DU PRÉCÉDENT AU SASKATCHEWAN (2 LOCALISATIONS) PAR RAPPORT AU RENDEMENT DU SYSTÈME JACHÈRE/BLÉ (LAFOND, SSCA, CANADA)



Dans cet essai, les rendements sont comparés à ceux du système traditionnel jachère/blé qui représentent la référence (1,00). Le rendement réel annuel d'un tel système produisant un blé tous les deux ans est en fait de 0,50 (barre bleue). Le simple fait de passer au semis direct (blé sur blé), soit un rendement de 0,65 permet en moyenne de gagner 30 % de production, ce qui s'explique sans doute par les économies en eau et la qualité du sol développée en semis direct. Le deuxième niveau de déplafonnement est permis par l'introduction des légumineuses et des crucifères comme précédents culturaux : on atteint quasiment 80 % du rendement blé d'un système blé/jachère sans compter le supplément de production du précédent ! Enfin, le positionnement d'une culture à la place de la jachère augmente également la quantité de biomasse produite et laissée sur le sol, ce qui contribue aussi à une progression plus rapide de la matière organique et de l'autofertilité du sol. Au-delà d'une situation très particulière en conditions difficiles, cet exemple illustre la marge de manœuvre dont on dispose en agriculture de conservation à partir du moment où l'on raisonne fertilité globale et non élément par élément.

Aujourd'hui, un désherbage efficace associe pratiques

culturales adaptées et bon usage des herbicides.

Pour un désherbage réussi et efficace dans le temps, les pratiques culturales jouent un rôle déterminant :

Rotation des cultures

En diversifiant et en allongeant la rotation par l'alternance de cultures de printemps, cultures d'hiver, cultures dicotylédones et céréales à paille, cette pratique permet :

- d'utiliser un plus grand nombre de modes d'actions herbicides,
- une germination moins importante de certaines adventices, comme le vulpin, dans les cultures de printemps.

Faux-semis

Cette technique consiste à travailler le sol pendant l'interculture pour faire lever un maximum d'adventices puis à les détruire mécaniquement ou chimiquement, autant de fois que les conditions climatiques le permettent. Résultat :

- moins de mauvaises herbes dans la culture à venir,
- optimisation des conditions de réussite du désherbage de la céréale.

Labour

Il permet d'enfouir en profondeur les graines de mauvaises herbes qui, dès lors, ne peuvent plus lever :

- le labour réduit ainsi considérablement le nombre de graminées dans la culture.

Il est particulièrement conseillé après un échec de désherbage et ne doit être renouvelé que tous les 3 à 5 ans.

Photo : C. Thiriet

Demandez le guide pratique à votre technicien conseil.

Parce que l'information est essentielle pour pouvoir agir dans le contexte de votre exploitation, Bayer CropScience s'engage aux côtés des agriculteurs avec les distributeurs et les prescripteurs pour partager avec vous toute son expertise.

Ensemble, agissons !

Bayer CropScience

diversifiées » portant sur la synthèse d'essais réalisés par Arvalis entre 1997-1999 et 2002 est assez clair. L'introduction du pois dans une rotation céréalière assure, pour le blé, entre 7 q/ha et 17 q/ha de plus qu'en monoculture de blé. Les écarts les plus hauts sont en situation de non-labour.

D'autres atouts : phosphore, C/N, désherbage…

Les légumineuses n'apportent pas seulement l'azote au système. Comme nous l'avons dit plus haut, grâce à leurs exsudats racinaires riches en sucres, elles attirent et entretiennent une flore et une faune microbiennes riches qui elles-mêmes participent à la structuration naturelle du sol et à son bon fonctionnement. À ce propos, il est utile de rappeler que les racines de

La féverole est l'une des légumineuses les plus autonomes, les plus productives et les plus performantes. Pourquoi s'en priver ?

légumineuses sont aussi mycorhizées et que ces champignons sont favorisés par le non-travail du sol et la quantité de carbone assimilable. Le fait d'implanter régulièrement des légumineuses et d'espèces différentes entretient des niveaux intéressants et surtout variés de rhizobia. Elles mobilisent le phosphore de manière également très intéressante et ce phénomène est réalisé grâce à la microflore qui lui est associée (genre *Pseudomonas* selon T. Tetu).

N'oublions pas aussi que ces plantes sont très utiles pour couper le cycle des bio-agresseurs (plantes non désirables, maladies et ravageurs). Elles apportent un programme de traitement différent, notamment en herbicides. Les légumineuses, ce sont également des dates de semis et de récolte différentes, permettant un meilleur étalement des temps de travaux et d'utilisation du matériel. Elles apportent un système racinaire de nature complémentaire à d'autres espèces.

Les légumineuses sont également intéressantes de part leur rapport C/N qu'elles maintiennent relativement bas tout au long de leur vie, maximum 20 à 25. *« Une légumineuse vieille, type luzerne blanchie après l'hiver, peut avoir un C/N de 20 »*, indique, pour exemple, T. Tetu. Et un C/N de 12-13 est relativement courant. Encore une fois, cela s'explique par le fait qu'en fin de cycle et contrairement à d'autres plantes, l'absorption d'azote ne représente pas un facteur limitant (fixation symbiotique). Ce C/N bas leur confère donc une dégradation rapide, entretenant ainsi rapidement l'activité biologique du sol. Enfin, parmi leurs atouts, citons la possibilité de les valoriser dans un système comprenant de l'élevage (encore la notion d'autonomie).

On l'aura compris : les légumineuses sont incontournables au début, lors de la période transitoire où elles vont considérablement aider au démarrage du système. Il est vrai que le sol n'étant pas encore performant, elles ne fonctionneront pas ▶

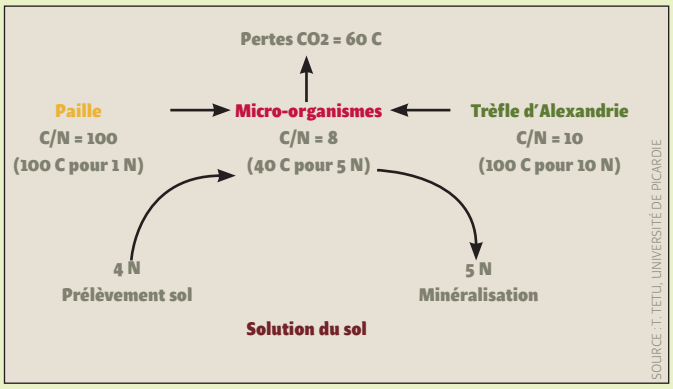
INTÉRÊT ÉCONOMIQUE DES ROTATIONS DIVERSIFIÉES EN NON-LABOUR (ESSAI DE BOIGNEVILLE, ARVALIS)

		Monoculture de blé (moyenne de 1997 à 2002)			Rotation* (moyenne pois-blé-orge de 1999 à 2002)		
		Labour	TCS	Semis direct	Labour	TCS	Semis direct
Rendements (en q/ha)	Blé	82	75	81	89	92	96
	Pois	-	-	-	54	53	52
	Orge	-	-	-	75	73	75
Charges d'intrants	€/ha	365	445	448	387	407	408
dont herbicides**	€/ha	33	95	95	24	33	33
Marge brute	€/ha	787	647	699	851	826	842
Charges de mécanisation***	€/ha	273	263	236	310	290	245
Marge nette hors main-d'œuvre	€/ha	177	74	137	198	195	244
Temps de travail	h/ha/an	3,9	3,3	3,1	4,1	3,3	2,7
dont en octobre	h/ha/an	1,6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,3

* Betterave, orge de printemps, pois de printemps, blé.
** Monoculture sans labour : deux herbicides spécifiques contre le RG.
*** Calculées à partir des valeurs d'amortissement d'achat de tous les outils neufs.

En plus des aspects « rendement », ce tableau affiche également des indicateurs économiques intéressants. Ainsi, l'introduction du pois assure, au final, une marge nette supérieure et celle-ci est d'autant meilleure qu'on est en SD. Le poste désherbage est particulièrement intéressant. Sans légumineuse, il est presque trois fois plus élevé en TCS et en SD. Dès qu'on insère le pois, le poste chute de trois fois. Les légumineuses, meilleures « nettoyantes » que les programmes chimiques ? On n'en est pas loin…

À retenir : les résidus de légumineuses conduisent à une minéralisation nette d'azote



Ce schéma, imaginé par Thierry Tetu, symbolise bien la différence de C/N et ses conséquences existant entre les résidus d'une céréale à paille et ceux d'une légumineuse (exemple ici, du trèfle d'Alexandrie). Le C/N des micro-organismes est indiqué égal à 8 et on estime les pertes en CO2 dans le système de 60 C.
Ainsi, dans le cas d'une céréale à paille (C/N = 100 dans l'exemple), les micro-organismes ne disposent que de 1 N en provenance de la paille alors qu'ils ont besoin de 5 N pour leur développement. Ils vont donc prélever la différence dans le sol, c'est-à-dire 4 N à partir de l'azote minéral du sol. On parle aussi d'organisation microbienne de l'azote… Mais on parle aussi de faim d'azote…
Dès qu'on passe à la légumineuse, le C/N, beaucoup plus bas, est ici égal à 10 soit 100 C pour 10 N. Les micro-organismes ont toujours les mêmes besoins : 5 N. Mais, cette fois-ci, ils disposent de 10 N en provenance de la légumineuse. Ils vont donc libérer la différence dans le sol, c'est-à-dire 5 N minéral : c'est la minéralisation nette d'azote.
Les résidus de légumineuses sont ainsi des fournisseurs immédiats d'azote ce qui n'est pas le cas d'autres résidus, a fortiori des pailles.

Expérience : du trèfle d'Alexandrie entre deux pailles

Le trèfle d'Alexandrie est une légumineuse fourragère s'adaptant très bien aux intercultures, courtes ou longues. *« Elle a une croissance très rapide (la plus rapide des légumineuses fourragères sur le sol français)*[1]*, permettant l'obtention d'une biomasse importante en l'espace de 10 à 12 semaines »*, confirme Thierry Tetu, chercheur à l'université de Picardie mais aussi agriculteur TCSiste et expérimentateur dans ses terres de limons, près d'Amiens. Le semis doit être réalisé le plus tôt possible, en profitant de la fraîcheur du sol sitôt la récolte de la céréale. *« La réussite de l'interculture dépend principalement du contact sol/graine, de la quantité de terre fine générée en surface, notamment grâce aux disques coutres placés devant le disque semeur, de l'absence de mottes (à réguler avec le nombre d'alvéoles par disque coutre), de la régularité de la profondeur de semis fixée aux alentours de 1 cm et du système de rappuyage de sol prévu derrière le disque semeur. Les semis à la volée de trèfle d'Alexandrie sans recouvrement par de la terre fine sont rarement réussis : s'ils permettent la germination, la biomasse obtenue est généralement faible »*, complète T. Tetu.

En TCS, si on décide de détruire le trèfle, mieux vaut attendre que la température journalière moyenne descende en dessous de 10 °C afin d'éviter la minéralisation automnale.

1/3 d'azote prélévé et 2/3 fixés

Lorsque les conditions sont idéales, la plante germe en 5 jours. Une densité de semis de 15 kg/ha permet une croissance rapide à partir de la 5e semaine et un étouffement des repousses de céréales. En deçà de cette densité, gare à la compétition avec les repousses. La plante prélève au départ l'azote du sol avant que la fixation de l'azote atmosphérique prenne le relais. *« Il n'existe actuellement pas de données disponibles sur les ratios entre les quantités d'azote prélevées du sol sur les quantités d'azote fixées par les nodosités pour les légumineuses d'interculture. Par extrapolation, ce sont les données générales des teneurs en légumineuses fourragères qui sont reprises, soit environ un tiers d'azote prélevé au départ en provenance du sol et deux tiers ensuite par fixation atmosphérique »*, indique le chercheur.

La fixation symbiotique se poursuit jusqu'aux premiers gels. *« Les quantités d'azote fixées par la biomasse oscillent entre 120 et 150 kg N organique/hectare (25 à 30 kg N/tonne MS soit environ 8-10 kg N/tonne de MS fixés par la symbiose). »* Et T. Tetu d'ajouter : *« Par ailleurs, les quantités de phosphore mobilisées par la plante ne sont pas négligeables, de l'ordre de 40 unités. Le trèfle d'Alexandrie est particulièrement sensible au manque de phosphore disponible au démarrage (notamment en sol de craie où la réussite est alors compromise). De fait, si une fertilisation phosphorique est prévue pour la culture principale qui suit, alors apporter celle-ci avant la culture du trèfle permet toujours d'augmenter la biomasse obtenue ; idem pour la potasse (localisation de l'engrais avec le semoir). »*

Le semis direct sous couvert végétal du blé suivant sans traitement préalable (type désherbant total) peut être délicat du fait de la vigueur du trèfle qui crée une compétition pour la lumière (sitôt après le semis, la plante couchée par le semis se redresse et repart rapidement en croissance verticale). Par contre, un semis par temps de gel est plus efficace car le trèfle est affaibli par le froid. À remarquer qu'il ne gèle vraiment qu'au-delà de – 8 °C à - 10 °C.

Recul du premier apport d'azote sur blé

La minéralisation du trèfle débute rapidement au printemps, ce qui permet d'envisager un recul de la date du premier apport d'azote sur la céréale qui suit, d'environ 15 à 30 jours ; idem sur colza. *« En général, dans mon expérience du trèfle intégré dans une monoculture de blé, après 3 années consécutives d'implantation réussie, il est possible d'obtenir le même rendement grain avec une dose d'azote engrais X diminuée de 25 % (objectif de production raisonnée déterminé selon la méthode du bilan, atteint 8 années/10 ou sur 80 % des surfaces de l'exploitation). Après 5 années d'implantation réussies (en moyenne 5 t MS/ha en culture pure), et si les objectifs de rendements sont raisonnés (80-85 q/ha), l'économie d'engrais azotés peut atteindre 33 %. Le décalage des premiers apports d'azote vers des périodes plus tardives (température supérieure) pendant lesquelles le coefficient réel d'utilisation (CRU) de l'azote de l'engrais est meilleur, (juin pour le blé), explique en partie pourquoi, dans ces systèmes comparés, avec une même dose d azote engrais appliquée, le rendement obtenu soit meilleur, ou que le rendement obtenu puisse être identique avec une dose plus faible apportée. À noter pour que ce système blé/trèfle d'Alexandrie/blé fonctionne à l'idéal, il faut avoir provoqué le déclin du piétin échaudage des céréales sur la parcelle ; ce qui s'obtient de façon quasi systématique en monoculture de blé au bout de la troisième année avec paille exportée »*, conclut T. Tetu.

Le trèfle d'Alexandrie implanté en interculture peut également être valorisé en fourrage. La valeur fourragère du trèfle d'Alexandrie est légèrement supérieure à la luzerne. Il peut aussi être pâturé (non météorisant). En agriculture biologique où l'apport d'azote engrais est interdit, il constitue un des moyens les plus efficaces pour augmenter les productions dont le rendement est directement affecté par la quantité d'azote minéral disponible. Lorsque le trèfle est implanté sur des parcelles disposant de reliquats azotés importants, la biomasse finale obtenue est supérieure (6,5 t MS/ha en première coupe et 5 t MS/Ha si peu de reliquats). À noter, pour finir, que le trèfle d'Alexandrie apprécie tout particulièrement les limons profonds bien pourvus en eau. Dans d'autres sols, il n'est pas toujours facile d'obtenir de telles productivités.

(1) La féverole de printemps a aussi une croissance très intéressante.

JIM BULLOCK

Les légumineuses sont aussi de très bons précédents à colza. Celui-ci a en effet besoin de beaucoup d'azote pour bien démarrer, n'aime ni les fortes repousses de céréales ni les résidus pailleux. Le SD est ainsi possible et facile avec souvent, à la clé, beaucoup moins de risques limaces, un salissement plus faible et plus facile à gérer plus des économies d'azote, entre 40 et 90 kg N/ha.

F.T.

Le fenugrec refait son apparition dans le sud-ouest de la France. Il fait partie de ces légumineuses oubliées, pourtant intéressantes à réhabiliter. On pense aussi au lupin, sainfoin, mélilot, sula, minette, lotier, gesce ou encore trèfle souterrain. Tout un monde inestimable à découvrir ou à redécouvrir.

▶ à l'optimum. Pour cela, on peut leur donner un petit coup de main. Et cette aide passe déjà en les incluant davantage dans la rotation. On peut commencer par essayer quelques espèces clés, simplement pour évaluer leur niveau de germination dans ses propres conditions. On peut ensuite en implanter au travers des couverts végétaux, en mélange avec d'autres espèces puis aussi en culture. Plus vous en mettrez, plus elles vont fonctionner (d'autant plus que le sol devient qualitatif avec une vie biologique riche et dynamique). Elles vont réinjecter de l'azote dans le système (20 à 30 unités supplémentaires, sans problème), dynamiser la microflore et la microfaune et plus vous arriverez au fameux volant d'autofertilité, avec les économies d'intrants recherchées.

Meilleure marge sur la rotation

Pour terminer sur une note plus « économique », citons cette étude réalisée dans le cadre de la FAE, l'association européenne pour les légumineuses. Entre 2000 et 2004, elle a mené un programme d'étude portant sur les légumineuses dans la rotation, dans sept régions d'Europe : la Navarre et la Castille (Espagne), le Barrois et la Picardie (France), le canton de Vaud (Suisse), la Saxonie (Allemagne) et le Fyn (Danemark). Dans chacune des régions, la rotation typique a été identifiée et on y a inclus des légumineuses (toujours en système TCS). Dans les calculs, seuls les paiements couplés ont été pris en compte.

En Saxonie et dans le Barrois, trois rotations ont pu ainsi être identifiées : C-B-B-B-OH, C-B-B-OH et C-B-OH pour C, colza, B, blé et OH, orge d'hiver. Ces trois rotations ont été comparées à celle-ci : C-B-Pois-B-OH (pois de printemps en Allemagne). Sur les années 2000 à 2004, les rendements moyens ont été les suivants : en Saxonie, colza, 3,5 t/ha et céréales, 7,5 t/ha. Dans le Barrois, on obtient respectivement : 3 t/ha et 7 t/ha. Dans les deux régions, les rendements du pois sont similaires : environ 4 t/ha. Mais ce qui est intéressant c'est que l'introduction de pois a des effets favorables sur la rotation en termes de marge brute. Celle-ci est de 289 euros/ha/an en Saxonie lorsqu'il y a du pois, soit + 29 euros/ha/an par rapport à la rotation à trois blés et + 11 euros/ha/an en comparaison avec la rotation à deux blés. Dans le Barrois, l'introduction du pois parmi des céréales fait gagner 7 % de marge brute sur la rotation comparée à la rotation sur 5 ans avec trois blés et 5 % sur celle de 4 ans avec deux blés. Les coûts totaux deviennent identiques entre la rotation sur 3 ans et la rotation avec du pois.

En termes de coûts de production, en Saxonie, plus de 50 euros/ha ont été économisés en moyenne avec du pois, comparés à la rotation sur 5 ans avec blé et environ 40 euros/ha avec celle sur 4 ans. Et cela même si les semences de pois et la récolte sont plus chères qu'en céréales. Le blé suivant un pois a moins coûté que suivant un autre blé par l'économie de 30 kg N/ha, pas de désherbage ou de fongicide supplémentaire. Ajoutons que ces calculs ont été faits avec les prix d'époque. Aujourd'hui, avec l'explosion du coût de l'azote, les écarts seraient certainement encore plus grands, en faveur des légumineuses.

Il n'y a plus le choix. Au regard des nombreux avantages qu'elles confèrent, il s'avère indispensable d'implanter des légumineuses. Déjà, en agriculture de conservation, les agriculteurs l'ont bien senti, de part la problématique azote qui lui est associée. Les légumineuses ont été réintroduites dans les couverts végétaux mais aussi en culture où elles apportent l'azote mais aussi bien d'autres atouts comme nous avons pu le voir dans ce dossier : vie biologique du sol, structure, désherbage, etc. Mais avec l'augmentation du coût des engrais, il faut aller encore plus loin. Il y a bien sûr les légumineuses de base mais il en existe tellement d'autres qu'il reste à découvrir et à essayer. Tout comme les couverts végétaux où il a fallu du temps pour mesurer leurs intérêts et affiner la technique, il faut aussi du temps pour apprivoiser les légumineuses. Notre force en agriculture de conservation est de savoir anticiper. Alors, n'hésitons pas !

CÉCILE WALIGORA, avec la précieuse collaboration de THIERRY TETU

Une expérience positive de luzerne dans le sud du Morbihan

Dans le sud du Morbihan, les quatre associés du Gaec de Saint-Doué vivent du lait (120 vaches laitières), des volailles, des légumes et des grandes cultures. Il y a 5 ans, afin de retrouver un peu plus d'autonomie en protéines dans la ration de leurs vaches laitières, ils décident d'implanter de la luzerne. La culture n'est pas traditionnelle dans le secteur et les associés s'interrogent sur ses facultés à s'implanter. Les terres sont assez superficielles, légères, plutôt faciles à travailler même s'il y a présence de cailloux.

Ils s'orientent sur les 4,5 ha d'une parcelle à pH 6. En TCS, la luzerne est implantée derrière une phacélie. « Cela fait 5 ans et elle tient toujours », affirme l'un des quatre associés du Gaec, Thierry Magré. Quatre coupes sont effectuées chaque année, en ensilage et, en moyenne, la luzerne produit 15 tonnes de MS/ha ; « 20 tonnes les meilleures années, ajoute l'éleveur. Elle vaut largement aussi bien qu'un maïs qui produit ici environ 15 t MS/ha. Elle est moins gourmande en intrants et appétente pour les animaux. » Sans compter que dans la ration, elle apporte l'effet mécanique recherché sur la rumination. T. Magré s'explique : « Avant, nous utilisions la paille, riche en fibres, pour favoriser l'action de rumination chez les vaches. La luzerne a cet effet mais elle a, en plus, la valeur nutritive ». La ration est aujourd'hui constituée de 10 kg MS de maïs ensilage, 4 kg MS de luzerne ensilage, 2,5 à 3 kg MS de maïs grain humide et 3,5 kg de correcteur. Ils achètent encore un peu de soja pour l'hiver mais très peu. Satisfaits de cette réintroduction, les éleveurs ont implanté cette année de nouveaux hectares de luzerne, 7,5 ha. « Les conditions de récolte avaient été mauvaises. Le temps était très humide. Nous avons décidé de labourer avant le semis afin de dessécher le profil. Ce ne fut pas une bonne idée. La structure est bien meilleure en TCS. La luzerne n'aime pas les passages répétés », indique l'éleveur breton.

Aujourd'hui, l'introduction de luzerne dans le secteur commence à faire des émules. Deux autres structures ont fait le pas.