

**Synthèse bibliographique**  
**Les légumineuses utilisées comme CIPAN**

## Synthèse bibliographique

# Les légumineuses utilisées comme CIPAN

### Introduction

**On attend d'abord d'une culture intermédiaire qu'elle piège des nitrates pour les soustraire au lessivage hivernal. Il est donc logique de ne pas autoriser le semis de légumineuses en culture pure pour atteindre cet objectif car ces plantes, par leur capacité à fixer l'azote de l'air, sont susceptibles d'introduire dans le système des quantités supplémentaires d'azote.**

**Sachant que, lorsque des quantités importantes d'azote minéral sont présentes dans le sol, les légumineuses fixent peu d'azote de l'air, leurs partisans souhaitent pouvoir les utiliser en s'appuyant sur les autres effets d'une culture intermédiaire : fourniture d'azote à la culture suivante, amélioration de la structure du sol, ...**

**Par ailleurs, l'impact d'un mélange de légumineuses et de graminées sur ces différents aspects est imparfaitement connu : quel effet prédomine ? existe-t-il une proportion de chacune des espèces à respecter ? quelles modalités de conduite faut-il leur appliquer ?**

**Cette synthèse bibliographique vise à faire le point sur les capacités des légumineuses en culture pure ou en mélange à diminuer le risque de lessivage des nitrates.**

### 1. Les légumineuses piègent-elles l'azote minéral du sol ?

**Les légumineuses peuvent fixer l'azote de l'air.**

Alors que la plupart des plantes se nourrissent à partir de l'azote minéral du sol, essentiellement nitrique (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les légumineuses ont comme caractéristique commune de pouvoir fixer l'azote de l'air (N<sub>2</sub>), grâce à une symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium*, dans des excroissances racinaires appelées nodosités. La nutrition azotée des légumineuses est assurée par les 2 voies, fixation symbiotique et absorption d'azote minéral du sol. Ces voies sont complémentaires dans le temps. L'absorption est prépondérante en début de cycle lorsque se met en place la surface foliaire, car la fixation symbiotique nécessite une bonne activité photosynthétique de l'appareil aérien. La fixation démarre quand les nodules se forment et s'arrête pendant le remplissage des grains ; elle est maximale à la floraison. L'absorption peut redevenir prépondérante en fin de cycle (3).

Au tout début du cycle, la fourniture d'azote est assurée par la semence : l'autonomie est d'autant plus grande que celle-ci est grosse. A partir de la levée, l'absorption commence à prendre le relais. Au début de la croissance, il y a compétition pour l'azote et le carbone entre la croissance de la plante et la formation des nodosités. La disponibilité en azote minéral du sol favorise le démarrage de la croissance en permettant de réserver suffisamment de nutriments à la formation des nodosités : il y a donc un effet bénéfique sur la croissance et une amélioration de la fixation (3). Toutefois une disponibilité trop importante d'azote dans le sol a un effet inverse : elle réduit la fixation. Les légumineuses doivent en effet nourrir les bactéries pour qu'elles travaillent, donc s'il y a suffisamment de nitrates disponible dans le sol, la légumineuse va d'abord absorber une bonne partie de cet azote, avant de dépenser l'énergie nécessaire à la fixation d'azote. Dans les sols contenant beaucoup de nitrates, les légumineuses peuvent fixer peu ou pas d'azote (2).

Il existe donc un niveau optimal d'absorption d'azote en dessous duquel la fixation est limitée par les capacités de croissance de la légumineuse. Au delà de ce seuil, la fixation est limitée par la compétition exercée par l'absorption (3).

Toutes les légumineuses n'ont pas la même aptitude à fixer l'azote atmosphérique : le haricot est incapable de réaliser une bonne relation symbiotique ; à l'inverse, les vesces fixent beaucoup d'azote. Les légumineuses fixent rarement plus de 80 % de leur N, et peuvent en fixer uniquement 40 à 50 % (2).

La question qui se pose est donc la suivante : une CI légumineuse qui a beaucoup d'azote à sa disposition va-t-elle le piéger, ou en introduire encore plus dans le système ?

**Les légumineuses en culture intermédiaire pure peuvent piéger de l'azote en comparaison à un sol nu, mais généralement moins que les crucifères et les graminées.**

En Suisse, un essai a montré que la culture de vesce d'été entre un blé et un maïs réduit le lessivage de nitrate en hiver (16).

En Pays de Bade à Mülheim, des essais en agriculture biologique ont montré sur 2 années climatiques différentes que moutarde, féverole, phacélie ou mélange (trèfle, pois fourrager, gesse, vesce, phacélie, sarrasin) sont équivalents jusqu'à la mi novembre (gel) pour diminuer les quantités d'azote minéral dans le sol (21).

En France, dans le Béarn, la vesce cultivée entre 2 maïs semences n'entraîne pas une augmentation des quantités d'azote minéral dans le sol, même après son enfouissement (5b).

Au Danemark, une expérimentation au champ a comparé 8 CIPAN (seigle d'hiver, RGI, avoine, phacélie, colza, radis fourrager, vesce velue, mélange seigle vesce), dans un système d'agriculture biologique. Les CI ont été semées début août, après pois et labour. Le sol est sableux (55 % sables, 27 limons, 15 argile). Les reliquats mi-novembre sur 0-1 m étaient les suivants : 129 u sans couvert, 9 u (colza), 15 u (radis), 24 à 31 u (graminées, phacélie, mélange), 51 u (vesce) (18).

Quatre essais au champ en Ontario avec 4 CI (seigle, radis, avoine, trèfle violet) semées après blé et avant maïs. Le reliquat post récolte du blé est faible. Début novembre, les teneurs en N minéral du sol sont plus faibles sous tous les couverts, comparées à un sol nu (21).

Les légumineuses diminuent le lessivage car elles absorbent de l'eau ; par contre elles absorbent peu d'azote : des expérimentations en cases lysimétriques aux USA le montrent. Les légumineuses en interculture diminuent la quantité de nitrate lixivé de 6 à 24 % par rapport à un sol nu, alors que les céréales et les crucifères la diminuent de 66 à 87 %. La concentration en nitrate de l'eau drainée n'est pas modifiée par une culture de légumineuse, qui absorbe peu l'azote minéral du sol, alors qu'elle est diminuée de 62 à 84 % sous céréale ou crucifère (4).

Le système racinaire des légumineuses est moins bien adapté au piégeage d'azote que les autres espèces utilisées en CI. Pour avoir des racines profondes, une CIPAN doit avoir un système racinaire qui s'implante vite et une vitesse de pénétration élevée. On trouve ces caractéristiques surtout parmi les dicotylédones non légumineuses, comme les crucifères (18). Les légumineuses par contre s'implantent lentement (2).

Ces différences de croissance racinaire sont en effet importantes pour l'aptitude des CIPAN à vider les couches profondes du sol de leur nitrate, couches les premières affectées par le lessivage (18).

**Une solution : les légumineuses en association avec des graminées ?**

Pour une interculture suffisamment développée, la présence d'un reliquat azoté à l'implantation du couvert est primordiale. Trop faible, il limite la croissance, notamment des graminées. Dans ce cas, l'utilisation de légumineuses seules ou en association s'avère indispensable (12).

En cas de fort reliquat, les associations semblent aussi piéger les nitrates de façon intéressante, les graminées pompant plus efficacement les nitrates en excès. L'association a aussi l'avantage de produire un système racinaire fasciculé de masse importante qui re-structure le sol.

Une expérimentation de la Chambre d'Agriculture de Haute-Saône, sur sol aéré profond (60 cm) de plateau à texture LA, en non labour, a montré l'utilité des mélanges. Après le blé, les pailles sont broyées puis la parcelle est déchaumée à 8 cm. 11 couverts sont testés : repousses de blé, avoine d'hiver, seigle lignée Canovus, Trèfle incarnat, phacélie, RGH Aberexcel, colza Pollen, seigle Jouffray-Drillaud, seigle lignée + vesce, vesce phacélie, avoine + vesce de printemps. Les couverts restent en place jusqu'en avril. Dans ce cas de reliquat faible à l'implantation de la CI (21 u, après un blé), la quantité d'azote absorbé par la CI est de 8 à 25 u pour les graminées (avoine, seigle, RGH), 30 u pour la phacélie, 33 u pour le colza. Les légumineuses, qui ont fixé l'azote du sol et capté de l'azote atmosphérique, ont prélevé 55 u pour le trèfle incarnat, 51 u en seigle lignée vesce, 82 u en vesce phacélie et 90 u en avoine vesce. Ajouter de la vesce à du seigle lignée, de l'avoine d'hiver ou de la phacélie améliore la production de MS du couvert, dans le cas de reliquats faibles. Le reliquat à fin novembre est faible pour tous les couverts, entre 11 et 20 u. Le reliquat sous repousses de blé est à 15 u. Fin janvier, les reliquats sont compris entre 15 et 51 u. Entre 15 et 25 pour la plupart (les repousses

sont à 24 u, le trèfle à 21 u, le seigle lignée + vesce à 25 u). Les mélanges avoine + vesce et vesce phacélie sont plus élevés : 51 et 42 u respectivement (12).

Un essai au champ au Massachusetts compare 2 CI (seigle, vesce) et leur mélange. A l'automne, le seigle fait diminuer la concentration en nitrate du sol comparé au sol nu. Le mélange seigle/vesce fait également diminuer le lessivage d'automne, mais il ne faut pas fertiliser le maïs qui suit, sinon il y a un excès d'azote (6).

Un autre essai au champ aux Etats-Unis, à Washington, compare 3 CI (seigle, RG annuel, vesce velue) et les mélanges vesce/seigle et vesce/RG. Le sol est limoneux. La parcelle est en monoculture de maïs avec CI. Des lysimètres sont installés. Les lixiviats sont les plus chargés sous vesce, suggérant que la minéralisation de la vesce continue en automne et en hiver. Le seigle seul, ou le RG seul, ou les mélanges avec la vesce diminuent le lessivage (8).

En Autriche, en agriculture biologique, dans une rotation blé d'hiver/CI-pomme de terre-seigle d'hiver/CI, sont comparées des CI légumineuses (gesse, vesce commune, pois fourrager), non légumineuses (radis oléifère, navet, phacélie), ou des mélanges. La quantité d'azote dans la biomasse du couvert (en comptabilisant aussi les racines) est significativement supérieure pour le mélange. La biomasse est significativement inférieure pour les légumineuses pures. La fixation symbiotique de l'azote est de 48 kg N/ha dans le mélange (sur environ 150) et de 38 kg N/ha (sur environ 100) dans la culture pure. En mélange, tout l'azote des légumineuses provient de l'air, alors que seulement 35 % vient de l'air en culture pure. Les CI non légumineuses ou les mélanges réduisent les quantités de N minéral du sol en hiver (5).

## **2. Comment évolue l'azote minéral du sol après la destruction de la légumineuse CIPAN ?**

### **Mécanismes de la minéralisation des résidus :**

L'insertion des CIPAN dans les systèmes de culture est une stratégie qui vise à réduire les risques environnementaux liés à la fuite de nitrate sans augmenter pour autant la demande en azote de la culture suivante et donc les quantités d'engrais à apporter. Si possible les quantités d'engrais doivent même être diminuées. Or, ne pas augmenter la quantité d'engrais azoté à apporter sur la culture suivante suppose de piloter les CIPAN de manière à faire coïncider la période de minéralisation de leurs résidus avec la période d'absorption de la culture de printemps. L'effet azote de la CI sur la culture suivante est contrôlé à la fois par la nature de l'espèce utilisée, sa nutrition azotée et sa biomasse (donc sa date de destruction). Ces facteurs vont déterminer leur C/N et donc la dynamique de minéralisation des résidus après incorporation (4).

La décomposition des résidus de culture incorporés au sol se déroule en 2 phases successives en ce qui concerne le phénomène de minéralisation de l'azote du résidu (rapide puis lente) pendant lesquelles se produit de façon simultanée le phénomène d'organisation :

- la phase d'organisation de l'azote minéral du sol est très variable en durée et en intensité ; elle dépend de la nature du résidu (rapport C/N, proportion de composés solubles, de cellulose, d'hémicellulose et de lignine) et de la disponibilité en azote minéral du sol.
- La phase de minéralisation rapide de l'azote du résidu concerne les composés les plus dégradables. Elle se déroule dans les 2 à 3 premiers mois qui suivent l'enfouissement des résidus au sol. La plus grande part de l'azote contenu dans les résidus facilement dégradables est minéralisée.
- La phase de minéralisation lente concerne les fractions les plus stables. Elle conduit à une production d'azote minéral plus faible au cours des mois suivants (3).

La fraction minéralisée est sous la dépendance des caractéristiques intrinsèques du résidu (proportion de composés solubles, caractéristiques biochimiques dont la teneur en N, le rapport C/N, la teneur en lignine, polyphénols et en cellulose) et des conditions de milieu rencontrées (température et humidité du sol, pH du sol, aérobie, disponibilité en azote) (3, 11).

Il y a en fait une corrélation entre la teneur en N et la composition biochimique des résidus, qui est elle-même liée à la nature, l'âge et les conditions de croissance des cultures. Par exemple le C/N et le taux de lignine augmentent significativement avec l'âge de la culture, pendant que les matières

solubles diminuent. Donc les résidus de plantes jeunes se décomposent plus vite. Les résidus à C/N élevé contiennent davantage de polymères complexes (lignine, polyphénols) qui sont décomposés plus lentement (11).

Les composés rapidement dégradables sont riches en sucres simples et protéines et sont constitués par des résidus incorporés récemment, des cellules microbiennes et les déchets simples des microbes qui se décomposent. Les microorganismes consomment rapidement les sucres simples et les protéines. Une fois que ces composés sont digérés, beaucoup des composés qu'ils contiennent sont libérés dans le sol, en particulier l'azote contenu dans les protéines. Après que les microorganismes ont dévoré la fraction la plus digeste, ils vont s'attaquer aux celluloses et lignines, qui vont davantage contribuer à la formation d'humus (2).

### **Les légumineuses se décomposent plus vite que les graminées et dans une moindre mesure que les crucifères.**

Les plantes grasses et riches en sucres et protéines libèrent rapidement les nutriments et ne laissent pas de matière organique dans le sol à long terme. En général, les légumineuses annuelles libèrent l'azote et les nutriments rapidement. Les plantes qui sont plus ligneuses et fibreuses libèrent les nutriments plus lentement et fabriquent de la matière organique stable. C'est le cas des graminées. Les légumineuses pérennes, comme le trèfle blanc ou violet appartiennent aux 2 catégories : les feuilles se décomposent rapidement, mais le système racinaire devient dur et fibreux (2).

Une culture intermédiaire légumineuse détruite à mi floraison libère beaucoup de nitrates en une semaine. Cette libération est plus rapide en cas de labour en comparaison avec la culture est laissée en surface. 157 kg/ha ont été mesurés 7 à 10 jours après destruction de vesce chevelue. Les engrais verts contenant moins de protéines mettront plus de temps à libérer leur azote. Le labour conventionnel peut causer une rapide décomposition des engrais verts qui fournissent de l'azote trop tôt pour être absorbé par la culture qui suit (2).

### **Toutes les légumineuses n'ont pas la même vitesse de minéralisation.**

En laboratoire, 6 CI légumineuses ont été incubées. Au bout de 115 jours, 30 à 35 % du N total du trèfle blanc, de la luzerne noire (*Medicago lupulina*) et du trèfle souterrain, était minéralisé. Les 3 montrent une minéralisation nette durant toute la période d'incubation. Le trèfle violet et le trèfle perse (*T. resupinatum*) minéralisent à 20 % et le trèfle égyptien (*T. alexandrinum*) 17 %. Ces 3 dernières espèces montrent une immobilisation pendant 2 semaines, suivie d'une minéralisation nette (10).

### **En non labour, la minéralisation est plus lente et des risques de dénitrification peuvent apparaître.**

En non labour, quand la CI est fauchée et que ses résidus restent en surface, sa décomposition et la disponibilité de l'azote sont retardées. La disponibilité de l'azote peut être aussi diminuée à cause de la volatilisation de l'azote des résidus (ammoniac et dénitrification) (2, 7).

En effet, les résidus de CIPAN favorisent la dénitrification, particulièrement dans les périodes où le sol est saturé d'eau, car le C et le NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sont disponibles immédiatement. Ceci conduit à des pertes d'azote, ainsi qu'à l'émission d'un gaz à effet de serre (N<sub>2</sub>O). La vesce velue en particulier est connue pour favoriser la dénitrification (13).

### **Parfois la minéralisation coïncide avec les besoins de la culture suivante.**

Aux Etats-Unis, on a montré que la fourniture en azote par une CI légumineuse comme la vesce est suffisante pour certaines cultures (maïs doux et melon). Cependant cette fourniture n'est pas suffisante pour des cultures demandant beaucoup d'azote pendant longtemps, comme le paprika, qui doivent recevoir un complément d'engrais azoté en fin de saison (15).

### **Parfois la minéralisation est trop précoce et présente un risque de lessivage des nitrates. Une solution : les mélanges graminées/légumineuses ou une destruction tardive de la légumineuse.**

Une possibilité serait de semer des mélanges légumineuses/graminées, qui ont un rapport C/N plus élevé que les légumineuses en culture pure, conduisant à une libération plus progressive de l'azote (2). Une autre serait de détruire la CIPAN tardivement, en février par exemple (Machet, com. pers.).

Un essai à Mülheim a montré que, une année sur les 2 années d'observation, les reliquats étaient plus élevés sous la féverole et le sol nu que sous la moutarde, la phacélie ou bien encore le mélange (trèfle, pois, gesse, vesce, phacélie, sarrasin), entre le mi novembre (gel) et la fin février. Les couverts ont ensuite été détruits mi-mars, et les reliquats ont été à nouveau un peu plus élevés sous féverole et sol nu. L'autre année d'observation, le traitement féverole s'est comporté comme les autres traitements. Le calcul du lessivage des nitrates montre que dans le premier cas, il est plus faible pour moutarde, phacélie, mélange, intermédiaire pour féverole et plus élevé pour sol nu. Dans le second cas, il est plus élevé pour le sol nu que pour tous les autres couverts (21).

Au laboratoire, la minéralisation nette de N de sol traités avec des résidus de mélanges (vesce chevelue + seigle) ou (vesce velue + ray-grass annuel) a été suivie, ainsi que la croissance de seigle et son prélèvement de N. Le ray-grass et le seigle contiennent peu d'azote total et beaucoup de carbone soluble et de carbohydrates, comparés à la vesce. Moins les mélanges contiennent de vesce, moins il y a de minéralisation nette d'azote, plus la croissance du seigle est faible, ainsi que son prélèvement de N. Quand le mélange contient moins de 40 % de vesce, l'immobilisation nette en première semaine d'incubation augmente nettement (9).

Les mélanges seigle/vesce (2 parts de semences de seigle pour 1 de vesce) produisent davantage de biomasse foliaire que le seigle seul ou la vesce seule (13).

Au laboratoire, un mélange seigle/vesce 50/50 a eu un taux de minéralisation intermédiaire entre le seigle seul et la vesce seule : vesce>mélange (minéralisation nette)>sol nu>seigle (immobilisation) (13).

Au champ, le taux de dénitrification a été mesuré maximum 1 semaine après la destruction de la CI et a diminué très fortement par la suite (13).

Ces résultats suggèrent des pertes potentielles plus élevées pour la vesce que pour le mélange et le seigle seul, à cause d'une rapide minéralisation en conjonction avec la dénitrification et un risque de lessivage, tout ceci avant que la culture qui suit ne puisse absorber l'azote (13).

### **3. Quel est l'effet d'une légumineuse en CIPAN sur la nutrition azotée et le rendement de la culture qui suit ?**

#### **Les légumineuses en culture intermédiaire fournissent de l'azote à la culture qui suit.**

La contribution des CI à la nutrition azotée de la culture principale suivante est variable, de 0 à 50 % de l'azote accumulé par ces cultures, en fonction du C/N du résidu incorporé. Plus le C/N est faible, donc la teneur en N élevée, plus la minéralisation est élevée (1).

Dans AZOBIL, l'effet azote des cultures intermédiaires est pris en compte, selon la date de destruction, l'espèce et la biomasse produite par les parties aériennes (1) :

Date de destruction	espèce	MS<1 t/ha	1<MS<3 t/ha	MS>3 t/ha
Avant le 1/12	Légumineuse	10	20	30
	Crucifère	10	15	20
	Graminée	5	10	15
Après le 1/12	Légumineuse	15	25	35
	Crucifère	10	20	30
	Graminée	10	15	20

En Ontario, 4 essais au champ avec 4 cultures intermédiaires (seigle, radis, avoine, trèfle violet) après blé et avant maïs ont montré la supériorité des légumineuses. Les fournitures d'azote par les CI ont été mesurées en non labour (destruction chimique d'automne ou de printemps) et avec labour d'automne. Le maïs est fertilisé avec des doses allant de 0 à 150 u. Le trèfle augmente le N absorbé par le maïs, pour le labour d'automne comme en non labour. Par contre les autres couverts ne fournissent pas d'azote au maïs. Des engrais minéraux sont nécessaires au maïs pour atteindre le rendement optimum, sauf après trèfle détruit au printemps. La destruction chimique du trèfle au printemps n'augmente pas la disponibilité de N comparée à celle d'automne (22).

La fourniture en N à partir de la CI pour la culture qui suit dépend :

- de la culture intermédiaire : en général davantage pour une CI légumineuse
- des conditions environnementales : température, humidité, type de sol
- des décisions de pilotage de la culture intermédiaire : travail du sol, date de destruction de la CI, mode de destruction (22).

Un essai au champ à Washington compare 3 cultures intermédiaires (seigle, RG annuel, vesce velue) et les mélanges vesce/seigle et vesce/RG. Le sol est limoneux. La parcelle est en monoculture de maïs avec CI. Le seigle seul ou le RG seul n'ont pas d'effet ou un effet dépressif sur la disponibilité de N pour le maïs. La vesce au contraire a un effet bénéfique, et les mélanges aussi, dans une moindre mesure (8).

En Belgique, 2 essais de plein champ ont été conduits pour évaluer le prélèvement de l'azote et la capacité de libération d'azote de différents engrais verts. La minéralisation de l'azote de l'engrais vert dépend de la date de destruction (par le gel, un désherbant chimique ou le broyage mécanique), de la date de labour et de sa décomposabilité. La teneur en nitrate dans le sol a été suivie et a permis de classer les engrais verts en 3 groupes (20) :

1<sup>er</sup> : Ray-grass et orge d'hiver : peu de N disponible pour la betterave sucrière qui suit. Pas d'effet significatif sur le rendement et la qualité de la betterave.

2<sup>ème</sup> : Phacélie, moutarde : on mesure une minéralisation nette des engrais verts, mais les techniques culturales et les conditions climatiques déterminent si cette minéralisation conduit à une plus grande disponibilité du N pour la culture suivante.

3<sup>ème</sup> : Les légumineuses, comme la vesce : le prélèvement du N par la vesce était le plus élevé et le N a été disponible pendant une plus longue période en comparaison de la moutarde et de la phacélie. Les rendements racine et sucre étaient plus élevés, mais pas significativement. Pas de différence dans la qualité technologique des betteraves.

### **Les légumineuses n'ont pas d'effet négatif sur le rendement de la culture qui suit. Au contraire, elles l'accroissent quand celle-ci est sous-fertilisée.**

Les légumineuses relarguent dans le sol d'importantes quantités de sucres et donc d'énergie pour alimenter la synthèse de l'azote : elles sont ainsi des stimulants de l'activité biologique. L'effet d'une CI légumineuse sur le rendement de la culture qui suit a rarement été étudié pour des situations similaires à celles que l'on peut rencontrer en Alsace.

Le seul exemple français concerne l'essai de la Chambre d'agriculture de Haute-Saône avec des couverts en place jusqu'en avril. L'essai a été fortement perturbé par la sécheresse de 2003. L'impact sur le rendement du seigle lignée Canovus et du mélange vesce phacélie est nul. Le mélange vesce de printemps + avoine fait diminuer le rendement de 14 q/ha. Tous les autres couverts ont un effet positif sur le rendement, de 9 à 16 q/ha (avoine d'hiver, trèfle, phacélie, RGH, colza, seigle + vesce) voire de 25 q/ha (seigle Jouffray-Drillaud) (12).

En agriculture biologique, un essai à Mülheim a montré que le rendement du tournesol et de l'orge de printemps qui suivent un sol nu ou des couverts de moutarde, phacélie, féverole ou mélange (trèfle, pois fourrager, gesse, vesce, phacélie, sarrasin) sont équivalents (21).

Aux Pays-Bas, les effets de CI sous-semées dans du blé d'hiver sur le rendement de pommes de terre et de betterave sucrière ont été étudiés dans 11 essais sur sols argileux dans les années 80. Les CI testées étaient du RGI et du trèfle violet, détruites par labour dans la première quinzaine de novembre. Le RGI a accumulé dans les parties aériennes en moyenne 22 kg N/ha et le trèfle 57 kg N/ha. Le ray-grass a un effet non significatif sur le rendement de la pomme de terre et de la betterave sucrière qui suit, alors que le trèfle accroît le rendement (14).

D'autres auteurs ont montré que le rendement du maïs qui suit la CIPAN est vesce>mélange vesce/seigle>seigle (13).

### **La date de destruction est importante.**

Les données collectées ne concernent que des destructions tardives aux Etats-Unis :

Un essai de plein champ a été mené pour déterminer l'effet de la date de destruction d'un trèfle violet sous-semé dans un blé sur le rendement du maïs qui suit (irrigué et non irrigué) et sur sa teneur en N. Le sol est limoneux. La destruction du trèfle intervient soit 2 semaines avant le semis du maïs, soit quelques jours avant le semis. Le trèfle détruit plus tardivement accumule davantage de N, 56 kg N/ha

de plus en 1993 et 31 de plus en 1994. La date de destruction n'a pas d'effet sur la teneur en N du maïs, ni sur son rendement. L'humidité du sol est inférieure au moment du semis de maïs pour le trèfle détruit plus tardivement (19).

Aux Etats-Unis en non labour, un autre essai pose la question de la date de destruction du couvert de vesce velue (*Vicia villosa* Roth) avant semis du maïs. Les résultats montrent que le rendement du maïs est optimum pour une destruction avant le semis (1 à 3 semaines avant), plutôt qu'après le semis (juste après, ou après l'émergence des pousses) (17).

## **Conclusion**

**Les agriculteurs sèment une culture intermédiaire pour des raisons qui peuvent être variées : piéger les nitrates, économiser des engrais azotés minéraux, diminuer l'érosion, améliorer la structure du sol... Malheureusement il n'y a pas une espèce parfaite répondant à tous ces critères à la fois.**

**Pour piéger les nitrates, les graminées et les crucifères sont efficaces. Par contre, l'aptitude des légumineuses, comme la vesce velue, à réduire le lessivage pendant l'hiver et le printemps est minimum, leur absorption de nitrates étant limitée et l'azote de leurs résidus se minéralisant parfois trop vite dans le sol.**

**Par contre, les légumineuses apportent des quantités d'azote conséquentes à la culture suivante, contrairement aux graminées et crucifères.**

**Les mélanges graminées/légumineuses ont le potentiel pour atteindre les objectifs CIPAN+engrais vert. Les données bibliographiques sur le sujet existent donc, mais la plupart viennent d'expérimentations menées aux Etats-Unis, avec des systèmes très différents des nôtres (culture intermédiaire en place jusqu'au printemps, beaucoup de non labour, recherche d'une réelle économie d'engrais azotés sur la culture suivante, plus que d'une réduction du lessivage en hiver).**

**Des expérimentations seraient donc nécessaires en Alsace. Si les légumineuses en culture pure sont à bannir en zone vulnérable si l'objectif est de piéger des nitrates excédentaires, les mélanges par contre sont à tester, pour connaître les associations, les proportions et les dates de retournement les plus efficaces.**

*Une première expérimentation pourrait comparer le sol nu à de la moutarde (culture intermédiaire la plus répandue en Alsace), une graminée, une légumineuse, et les mélanges de ces espèces. L'idéal serait de se trouver dans une situation de forts reliquats à la récolte. Si ce n'est pas le cas, on pourrait ajouter 20 kg N/ha sous forme d'engrais minéral azoté pour permettre d'observer des différences entre couverts. Il vaudrait mieux détruire les cultures intermédiaires en décembre, comme cela se pratique le plus couramment en Alsace. Les mesures nécessaires sont : notations en culture de la proportion de chaque espèce pour les mélanges, avec photos systématiques, à différentes dates, reliquats azotés à la récolte, puis en octobre, décembre, puis une fois par mois pendant l'hiver, biomasse de la culture à la destruction, teneur en N de cette biomasse, maïs témoins zéro azote l'année suivante.*

### Références bibliographiques :

(1) ANDA, (2001). Gestion de l'interculture et azote. Des références pour agir, mars 2001, Ferti-mieux ANDA, 28 pages.

(2) Bowman G., Shirley C., et Cramer C., (1998). Managing cover crops profitably. Second edition, Sustainable agriculture network handbook series bk. 3, national agricultural library, Beltsville, ISBN 1-888626-04-6, 201 p.

Bugg R.L., (1995). Cover crop biology : a mini review. University of California, Sustainable agriculture research and education program. SAREP's Sustainable agriculture-Technical Reviews, 7, 4.



- (3) Corpen, (1999). Fertilisation azotée de trois légumineuses, le haricot, la luzerne, et le pois protéagineux. Groupe « fertilisation azotée de légumineuses », avril 1999, 49 p.
- (4) Dorsainvil F., (2002). Evaluation, par modélisation, de l'impact environnemental des modes de conduite des cultures intermédiaires sur les bilans d'eau et d'azote dans les systèmes de culture. Thèse de doctorat, INA-PG, 124 pages.
- (5) Farthofer R, Friedel JK, Pietsch G, Rinnofner T, Loiskandl W, Freyer B, (2004). Plant biomass nitrogen and effects on the risk of nitrate leaching of intercrops under organic farming in Eastern Austria. Colloque Eurosoil, Fribourg, sept 2004.
- (5b) Fédération Nationale de la Production des Semences de Maïs et de Sorgho, (2001). Environnement et azote, cultures intermédiaires. Action Technique Semence, n°25, décembre 2001.
- (6) Herbert S.J., Mangan F.X., Liu G., Daliparthi J., Barker A.V., et Moffitt L.J., (1995). Nitrate leaching in alternate cover crop systems. In Clean water – clean environment – 21<sup>st</sup> century : team agriculture – working to protect water resources. Volume 2 : nutrients. Proceedings Kansas City, USA, 5-8 March 1995, 71-74.
- (7) Ingels C.A., van Horn M., Bugg R.L., et Miller P.R., (1993). Selecting the right cover crop gives multiple benefits. California Agriculture, 48, 5, 43-48.
- (8) Kuo S., Huang B., et Bembenek R., (2001). Effect of winter cover crops on soil nitrogen availability, maize yield, and nitrate leaching. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Nitrogen Conference on Science and Policy, Potomac, MD, USA, 14-18 october 2001.
- (9) Kuo S, Sainju UM, (1998). Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. Biology and Fertility of Soils. 26, 4, 346-353.
- (10) Marstorp H., et Kirchmann H., (1991). Carbon and nitrogen mineralization and crop uptake of nitrogen from six green manure legumes decomposing in soil. Acta Agriculturae Scandinavica, 41, 3, 243-252.
- (11) Nicolardot B., Recous S., et Mary B., (2001). Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition : a simple dynamic model based on the C:N ration of the residues. Plant and Soil, 228, 83-103.
- (12) Raclot E., et Coronel A., (2004). Intercultures : pièges à nitrates, mais pas seulement. Terroir magazine, avril 2004, 12-14.
- (13) Rosecrance R.C., McCarty G.W., Shelton D.R., et Teasdale J.R., (2000). Denitrification and N mineralization from hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) and rye (*Secale cereale* L.) cover crop monocultures and bicultures. Plant and Soil, 227, 283-290.
- (14) Schroder JJ, TenHolte L, Janssen BH, (1997). Non-overwintering cover crops : a significant source of N. Netherlands Journal of Agricultural Science, 45, Iss 2, 231-248.
- (15) Smith R., Jackson L., et Foster P., (1996). Release of nitrogen from a leguminous cover crop and the subsequent utilization by bell pepper. University of California, Sustainable agriculture research and education program. <http://www.sarep.ucdavis.edu/ccrop/ccres/1996/2.HTM>
- (16) Sturny W.G., (1988). Konservierende Bodenarbeit und neue Sätechnik – Wechselwirkungen auf Boden und Pflanzen. Landwirtschaft Schweiz., 1, 3, 141-152.
- (17) Teasdale JR, Shirley DW, (1998). Influence of herbicide application timing on corn production in a hairy vetch cover crop. Journal of Production Agriculture. 11, Iss 1, 121-125.
- (18) Thorup-Kristensen K., (2001). Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured ? Plant and Soil, 230, 185-195.
- (19) Tiffin P, Hesterman OB, (1998). Response of corn grain yield to early and late killed red clover green manure and subirrigation. Journal of Production Agriculture. 11, Iss 1, 112-121.

(20) Vandendriessche H., Vanongeval L., Smeets E. et Geypens M., (1996). Monitoring of N-uptake by green manures and of the influence of N-release on N-availability, production and quality of sugar beet. Progress in nitrogen cycling studies : Proceedings of the 8<sup>th</sup> Nitrogen Workshop held at the University of Ghent, 5-8 September 1994, 147-151, 1996.

(21) Vetter Dr, Miersch M., Weissbart J., Freyer Dr, et Rennenkampf K., (1999). Dynamique et gestion de l'azote dans les rotations culturales d'exploitations biologiques. ITADA, Rapport final du projet A 1.5 (1996-1999), 110 pages.

(22) Vyn T.J., Faber J.G., Janovicek K.J., et Beauchamp E.G., (2000). Cover crop effects on nitrogen availability to corn following wheat. Agron. J., 92, 915-924.