

# Effets sur le stock d'azote minéral dans le sol

## 1 Aptitudes à piéger le nitrate et à contribuer à l'alimentation azotée de la culture suivante

**Choisir une culture intermédiaire répond à deux objectifs : limiter le lessivage d'azote nitrique lors de l'interculture et réduire, si possible, la fertilisation azotée de la culture suivante. Quelles sont les performances des différentes espèces de cultures intermédiaires en tant que pièges à nitrate ? Quels sont leurs impacts sur la fertilisation azotée de la culture suivante ?**

La fonction environnementale d'une culture intermédiaire piège à nitrate (CIPAN) consiste à absorber le plus possible d'azote minéral du sol avant l'entrée en période de drainage. En effet, pendant cette période (principalement en automne et en hiver en France), l'azote nitrique peut être lessivé hors de portée du système racinaire de la culture suivante et, à terme, dans le réseau hydrographique. La quantité d'azote absorbé par le couvert est fonction de la biomasse produite et de la disponibilité en azote dans le sol. Comme le montre la *figure 1*, les couverts autres que les légumineuses (crucifères, graminées, phacélie) présentent des quantités d'azote absorbé dans les parties aériennes globalement assez proches, malgré des différences assez marquées en termes de vitesse et de potentiel d'absorption (*tableau 1*). Grâce à leur double capacité à absorber l'azote dans le sol et à fixer l'azote de l'air qui leur permet de continuer à satisfaire leurs besoins lorsque l'azote dans le sol fait défaut, les légumineuses présentent de plus fortes teneurs en azote pour un niveau de biomasse donné. Les mélanges crucifères-légumineuses et graminées-légumi-

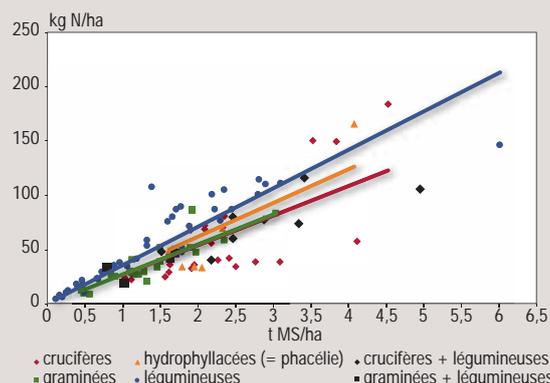
neuses présentent logiquement des teneurs intermédiaires entre celles des espèces qui les constituent.

### La capacité à « piéger » le nitrate dans le sol

La performance d'un couvert en tant que piège à nitrate s'évalue au moment de sa destruction en calculant la réduction du stock d'azote minéral dans le sol à l'entrée de la période de drainage par différence avec un témoin maintenu en sol nu. La *figure 2* représente cet effet, en fonction de la quantité d'azote accumulé dans les parties aériennes du couvert à sa destruction. Malgré une certaine « dispersion » des résultats autour de la bissectrice, on constate, pour les espèces non-légumineuses, une relation entre les



**Relation entre la production de biomasse au moment de la destruction du couvert (t MS/ha) et la quantité d'azote accumulé dans les parties aériennes (kg N/ha)**



Essais ARVALIS - Institut du végétal et comité technique FDGEDA Aube.

**L'effet « piège à nitrate » des espèces non-légumineuses est le plus élevé.**

deux variables. Dans certains cas, la réduction du stock d'azote minéral du sol est significativement supérieure à la quantité d'azote absorbée dans les parties aériennes du couvert. Cela peut s'expliquer notamment par la quantité d'azote absorbé par les racines ou par l'organisation dans le sol induite par la présence du végétal. Les cas inverses peuvent trouver leur explication dans différents phénomènes (début du drainage avant la date de

**Figure 1: Pour des niveaux de biomasse identiques, les légumineuses concentrent plus d'azote dans leurs parties aériennes que les espèces non-légumineuses.**



Les légumineuses seules ou associées sont les plus aptes à être utilisées comme engrais vert azoté.



Les couverts non-légumineuses ont un effet environnemental avéré, mais ils n'offrent pas de réels avantages pour l'alimentation azotée de la culture suivante.

destruction, vitesse de minéralisation différente sous sol nu et CIPAN...). Parmi les non-légumineuses, les résultats ne mettent pas en évidence de grande différence entre espèces.

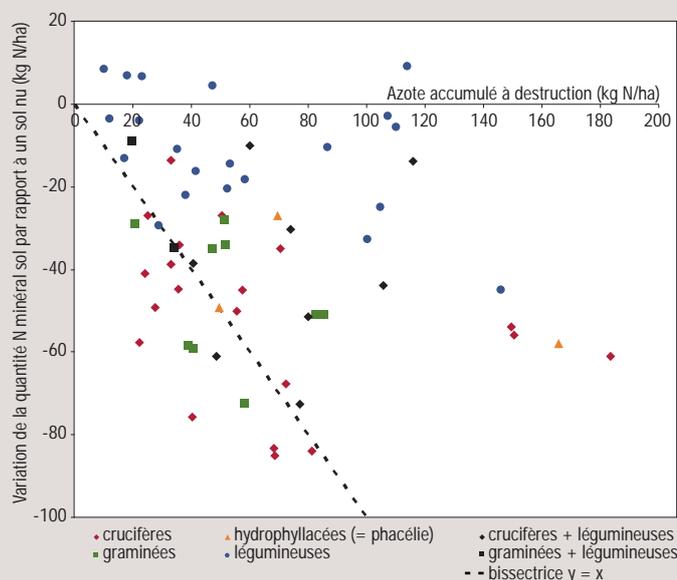
Par contre, le comportement des légumineuses est particulier. Bien qu'ayant absorbé des quantités globalement similaires d'azote dans les parties aériennes, leur capacité à réduire le stock d'azote minéral dans le sol

est moindre que celle des non-légumineuses. Cela s'explique d'une part par le fait que le système racinaire des légumineuses peut être moins performant que celui d'une graminée ou d'une crucifère pour absorber l'azote minéral dans le sol (enracinement moins profond et moins dense du pois par exemple). D'autre part, la fixation symbiotique intervient dès que l'azote dans le sol n'est plus suffisant pour satisfaire les besoins de la plante, ceci bien avant qu'elle n'ait absorbé la totalité du stock d'azote minéral présent dans le sol. Là encore, les mélanges crucifères-légumineuses présentent des performances intermédiaires entre celles des espèces qui les constituent.

### Restitution de l'azote piégé à la culture suivante

Les fournitures d'azote du sol à la culture suivante s'évaluent en mesurant le stock d'azote minéral présent dans le sol à l'ouverture du bilan prévisionnel (reliquat « sortie hiver ») et en estimant les quantités d'azote issu de la minéralisation des matières organiques

**Relation entre la quantité d'azote accumulé dans les parties aériennes en début de période de drainage et la variation par rapport au sol nu de la quantité d'azote minéral dans le sol à cette même date**



Essais ARVALIS – Institut du végétal et comité technique FDGEDA Aube.

Figure 2: Malgré un intérêt non négligeable, les légumineuses sont moins efficaces que les crucifères ou que les graminées pour réduire le stock d'azote minéral dans le sol avant l'entrée en période de drainage.

(dont les résidus de couverts intermédiaires) entre la date de mesure du reliquat et la fin d'absorption de la culture.

**Le reliquat sortie hiver** est constitué du stock d'azote minéral présent à l'entrée de la période de drainage auquel s'ajoute l'azote issu de la minéralisation des matières organiques, et dont il faut déduire les pertes (lessivage principalement, mais aussi organisation, dénitrification...) jusqu'à la date de mesure du reliquat. Par rapport à un sol nu, un couvert a un effet dépressif sur le stock d'azote initial et restitue plus ou moins d'azote par minéralisation après destruction. Par rapport à un sol nu, les couverts non légumineuses sont soit sans effet, soit réduisent le reliquat sortie hiver (figure 3). En effet, ils réduisent assez fortement le stock initial, tout en restituant assez peu d'azote par minéralisation pendant l'hiver ce qui, en situation de faible lessivage, entraîne une diminution du reliquat sortie hiver. À l'opposé,

**En situation de faible lessivage, les espèces non légumineuses ont tendance à diminuer le reliquat sortie hiver, à l'inverse des légumineuses.**

les couverts légumineuses présentent un effet neutre ou positif sur le reliquat sortie hiver (figure 3), à la fois par une moindre efficacité dans la réduction du stock d'azote minéral à l'entrée drainage et par une minéralisation plus importante d'azote provenant des résidus après destruction. Les mélanges crucifères-légumineuses et graminées-légumineuses présentent des performances intermédiaires entre celles des espèces qui les constituent.



**Les quantités d'azote minéral absorbé par les couverts sont proportionnelles à la biomasse produite.**

## Expérimentations étudiées

De nombreuses expérimentations ont été conduites sur les cultures intermédiaires ces vingt dernières années. Les résultats utilisés dans cet article proviennent de 17 essais réalisés en France de 1991 à 2008 par ARVALIS – Institut du végétal et par les partenaires du comité technique FDGEDA Aube (que nous remercions pour leur collaboration), dans les conditions expérimentales suivantes :

- implantation de fin août/début septembre,
- destruction fin novembre/début décembre à l'entrée de la période de drainage,
- mesure du reliquat sortie hiver de début février à mi-mars,
- cultures suivantes : maïs, orge de printemps, betterave sucrière,
- types de sols variés (limons, craies, graviers).

Leur principal objectif était de comparer l'aptitude de différentes espèces à piéger le nitrate avant l'entrée en période de drainage et à restituer l'azote à la culture suivante. Ont été étudiés des couverts de crucifères (moutarde, radis, colza), de graminées (RGI, seigle, avoine), la phacélie et des légumineuses (trèfle, vesce, pois, fève, lentille). Quelques essais comportaient aussi des mélanges graminées-légumineuses ou crucifères-légumineuses.

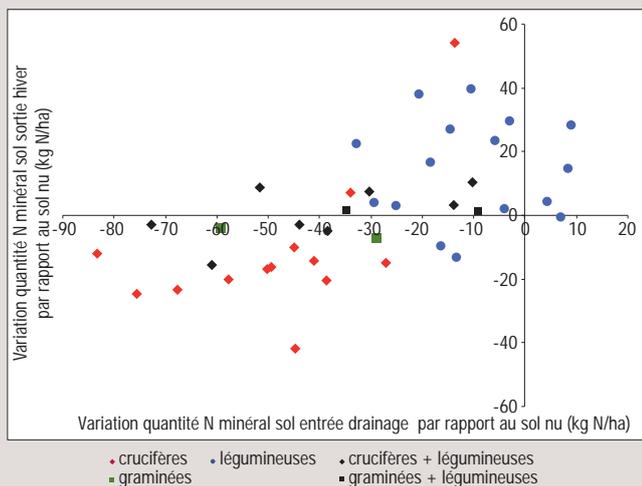
Le tableau en fin d'article fournit des informations pour un plus large panel d'espèces que celles étudiées dans les essais. Etant donné que certaines espèces ont fait l'objet de peu d'études à l'heure actuelle, leur référencement peut donc parfois reposer sur des analogies avec des espèces apparentées et mieux connues.



Tous les couverts végétaux ont un effet « piège à nitrate ». Les plus performants sur ce critère sont les crucifères.

Figure 3: Les espèces non légumineuses réduisent plus la quantité d'azote minéral dans le sol en début de période de drainage que les légumineuses. Mais, après destruction, ces dernières restituent plus d'azote par minéralisation. L'effet des légumineuses sur le reliquat sortie hiver est soit neutre soit positif. Les espèces non légumineuses ont un effet soit neutre, soit négatif.

Relation entre la variation par rapport au sol nu de la quantité d'azote minéral du sol en début de période de drainage et la variation par rapport au sol nu de la quantité d'azote minéral dans le sol en sortie d'hiver



## Quel effet des cultures intermédiaires sur l'alimentation en éléments PK ?

Outre l'azote, les cultures intermédiaires absorbent d'autres éléments minéraux, en particulier du phosphore et du potassium. Les quelques données expérimentales actuellement disponibles indiquent des absorptions de l'ordre de 8 à 10 kg  $P_2O_5$  et 30 à 35 kg  $K_2O$  par tonne de matière sèche produite (crucifères/graminées/composées). Après destruction, la totalité du potassium est rapidement restituée au sol (au même titre que pour les résidus de récolte). Pour le phosphore, une partie est restituée rapidement (le phosphore sous forme minérale dans le végétal) et l'autre est minéralisée en quantité variable selon le rapport C/P du couvert. Les éléments P et K ainsi libérés compensent la baisse de disponibilité de chacun dans le sol, occasionnée par le prélèvement de la culture intermédiaire. Ils peuvent même accroître leur biodisponibilité par rapport au sol nu, en raison de leur transfert de la profondeur, où ils sont prélevés dans un état peu disponible, vers la surface, où ils sont restitués sous une forme immédiatement disponible. Etant donné les quantités en jeu, cet effet bénéfique concerne surtout le potassium. Il ne peut bien entendu influencer la production de la culture que dans les sols à faible disponibilité (teneurs en  $K_2O$  échangeable inférieures au seuil dit « d'impasse » de la culture considérée).

Plus le délai est long entre la destruction du couvert et l'implantation de la culture suivante, plus le reliquat sortie hiver intègre une part importante d'azote minéralisé à partir des résidus du couvert.

La minéralisation de l'azote des résidus du couvert débute dès sa destruction. Dans les 6/9 mois qui suivent, elle représente au maximum 50 % de l'azote total absorbé. Plus la teneur en azote du couvert et la quantité absorbée sont élevées, plus la minéralisation est importante. Une fraction de cet azote minéralisé est présente dans la mesure du reliquat sortie hiver. La fraction restante, restituée pendant la phase d'absorption intense de la culture, doit être estimée (terme MrCI de la méthode du bilan prévisionnel). Le *tableau 1* indique les valeurs de MrCI pour différentes situations. Plus la période entre la date de destruction du couvert et la date de mesure du reliquat sortie hiver est longue, plus la fraction restant à minéraliser est faible (l'essentiel des fournitures étant mesuré dans le reliquat). Ce complément de minéralisation dû à la culture intermé-

diaire n'excède pas 30 kg N/ha, ce chiffre correspondant à un couvert de légumineuses pures.

## Utiliser une culture intermédiaire comme « engrais vert azoté » ?

Le plus souvent, la réduction du reliquat d'azote sortie hiver par les cultures intermédiaires non-légumineuses n'est pas entièrement compensée par le complément de minéralisation qu'elles engendrent au printemps. Ainsi, l'implantation de ce type de couvert peut être sans

**Les couverts de non-légumineuses réduisent assez fortement le stock d'azote dans le sol à l'automne et, au printemps, ne restituent que partiellement l'azote absorbé.**

effet sur l'alimentation azotée de la culture suivante. Dans certains cas (situations à faibles lessivages par exemple), il peut impliquer un apport complémentaire d'azote sur la



**Tableau 1 : Principales caractéristiques des couverts intermédiaires relatives à la limitation du lessivage du nitrate (effet CIPAN) et à leur contribution à l'alimentation azotée de la culture suivante**

Famille	Espèce	Effet CIPAN		Niveau de croissance du couvert <sup>(4)</sup>	Effet sur la fertilisation azotée de la culture suivante			
		Vitesse d'absorption de l'azote minéral du sol <sup>(1)</sup>	Potentiel d'absorption de l'azote minéral du sol <sup>(2)</sup>		MrCl (kgN/ha) <sup>(5)</sup>			
					Date d'ouverture du bilan (RSH) <sup>(6)</sup>			
					Février (betterave, céréales de printemps...)		Avril (maïs, pomme de terre...)	
				Novembre à décembre <sup>(7)</sup>	Janvier et au-delà <sup>(7)</sup>	Novembre à décembre <sup>(7)</sup>	Janvier et au-delà <sup>(7)</sup>	
Crucifères	Radis fourrager	+++	++(+)	Faible ou moyen	10	15	0	10
				Elevé	15	20	5	15
	Moutarde blanche	+++	++ (3)	Faible ou moyen	10	15	0	10
				Elevé	15	20	5	15
Graminées	Ray-Grass Italien	++(+)	+++	Faible ou moyen	10	15	5	10
				Elevé	15	20	10	15
	Seigle	++	+++	Faible ou moyen	0	5	0	5
				Elevé	10	10	5	10
	Avoine de printemps	++	++	Faible ou moyen	0	5	0	5
				Elevé	10	10	5	10
Hydrophyllacées	Phacélie	++(+)	+++	Faible ou moyen	0	5	0	5
				Elevé	10	10	5	10
Composées	Tournesol	++	++	Faible ou moyen	0	5	0	5
				Elevé	10	10	5	10
	Nyger	++	+(+)	Faible ou moyen	0	5	0	5
				Elevé	10	10	5	10
Légumineuses	Vesce commune	+	+	Faible ou moyen	25	30	20	25
				Elevé	30	30	30	30
	Pois fourrager	+	+	Faible ou moyen	25	30	20	25
				Elevé	30	30	30	30
	Féverole	+	+	Faible ou moyen	25	30	20	25
				Elevé	30	30	30	30
Mélange graminées-légumineuses	++	++	Faible ou moyen	15	20	10	15	
			Elevé	20	20	20	20	
Mélange crucifères-légumineuses	++	++	Faible ou moyen	15	20	10	15	
			Elevé	20	20	20	20	

+ = faible à moyen; ++ = moyen à fort; +++ = fort à très fort

(1) Aptitude du couvert à absorber plus ou moins rapidement l'azote dans le sol en relation avec la vitesse de croissance. (2) Capacité maximale d'absorption de l'azote dans le sol (en relation avec la vitesse de croissance maximale et l'aptitude à accumuler l'azote au-delà du strict nécessaire pour atteindre la vitesse de croissance maximale). (3) Limitation par la floraison précoce. (4) Un niveau de croissance élevé se caractérise par une biomasse des parties aériennes supérieure à environ 3 t MS/ha. (5) MrCl = supplément de minéralisation lié aux cultures intermédiaires (en plus de la mesure du reliquat sortie hiver). (6) RSH : Reliquat Sortie Hiver. (7) Date de destruction du couvert.

➔ Par exemple, un radis moyennement développé est détruit en novembre avant l'implantation d'une orge de printemps. Dans ce cas, le bilan prévisionnel de l'orge tiendra compte d'un surplus de fournitures de 10 kg N/ha lié à la minéralisation des résidus du couvert (MrCl) après la date de mesure du reliquat sortie hiver.

culture suivante. Seule l'utilisation de couvert de légumineuses pures, ou en mélanges avec d'autres espèces, contribue positivement à l'alimentation azotée de la culture suivante, et, par conséquent, peut permettre, dans certaines situations, de réduire la fertilisation azotée par rapport à un itinéraire sans couvert. ■

Jean-Pierre Cohan

jp.cohan@arvalisinstitutduvegetal.fr

Pierre Castillon

p.castillon@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS – Institut du végétal

## Choix d'espèces et réglementations

Au moment de l'écriture de cet article, les arrêtés préfectoraux relatifs au 4<sup>e</sup> programme d'action de la Directive Nitrate ne sont pas encore parus. En particulier, les listes des couverts intermédiaires autorisés par département ne sont pas connues de façon définitive. Cependant, les orientations données par l'administration laissent supposer que la plupart des espèces non-légumineuses et les mélanges de légumineuses et non-légumineuses seront autorisés dans un nombre non négligeable de départements. Si les légumineuses pures ne sont pas autorisées en zones vulnérables, elles semblent les plus intéressantes pour les parcelles hors zone vulnérable en tant qu'engrais vert azoté susceptible de contribuer à l'alimentation azotée de la culture suivante.