

## Semis direct et cultures intermédiaires

**Quel est l'impact à long terme de la réduction du travail du sol et de la mise en place de cultures intermédiaires sur la minéralisation de l'azote, et sur la fertilisation azotée des cultures ? La réponse en détail au travers d'un essai conduit pendant 12 ans à Boigneville.**

**P**our évaluer la minéralisation de l'azote organique du sol, des mesures ont été réalisées depuis 1991 sur l'essai « environnement » de Boigneville (encadré 1). Cinq traitements expérimentaux, combinant techniques de travail du sol, gestion des pailles et semis de Cipan<sup>1</sup>, ont fait l'objet de mesures régulières du contenu en azote minéral du sol, des quantités d'azote absorbé par les cultures principales (pois

de printemps - blé - orge de printemps) et les Cipan, ainsi que des quantités d'azote lessivées. Le bilan de l'azote minéral du sol calculé entre chaque date de mesure permet d'analyser l'effet des techniques culturales sur la fourniture d'azote par le sol.

### Le travail du sol est sans effet sur la minéralisation

L'effet du travail du sol (et de la gestion des pailles) sur la minéralisation de l'azote du sol est étudié par comparaison des traitements T1, T2 et T7 (respectivement labour sans Cipan, mulch des pailles entre récolte et labour d'hiver, semis direct sans Cipan).

Entre décembre 1991 et septembre 2004, les minéralisations cumulées sur la durée de l'essai ont été très proches pour ces trois systèmes (figure 1). Les vitesses de minéralisation apparente de l'azote s'établissent respectivement à 0,42, 0,45 et 0,42 kg N/ha/jour normalisé<sup>2</sup> pour les trois traitements. Le semis direct n'a donc pas modifié la vitesse moyenne de minéralisation de l'azote comparativement à celle des parcelles labourées en continu pendant 12 ans.

Pour caractériser avec plus de précision la minéralisation, celle-ci a été mesurée sur sol



Dans certains cas, la Cipan permet de soustraire du sol de l'azote minéral, qui sans cela aurait été lessivé, et d'en restituer par la suite la partie minéralisée.

### Les cinq traitements expérimentaux (tab. 1)

Traitement	Travail sol	Résidus de culture	Cipan
T1	labour	déchaumage	-
T2	labour	mulch (1)	-
T5	labour	déchaumage	moutarde
T7	semis direct	mulch (permanent)	-
T8	semis direct	mulch (permanent)	moutarde

(1) pailles laissées en surface jusqu'au labour

Les effets cumulatifs de ces cinq traitements permettent d'évaluer l'impact du mulch des pailles (T2 – T1), du semis direct (T7 – T1), et des Cipan (T5 – T1 ou T8 – T7) sur les flux de minéralisation de l'azote.

François Laurent

f.laurent@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS – Institut du végétal

Remerciements à Pascal Thiébeau (INRA) pour la réalisation des calculs nécessaires à la figure 2, et à Bernard Nicolardot (INRA) pour l'autorisation de sa publication tirée d'un article à paraître.

(1) : Cultures Intermédiaires Pièges A Nitrates

(2) : Jour correspondant à des conditions standard de température (15°C) et d'humidité (capacité au champ)

## Le dispositif expérimental (1991-2004) (enc. 1)

Dans le cadre d'une rotation pois – blé – orge de printemps, trois techniques différentes étaient combinées pour évaluer leur efficacité vis-à-vis de la limitation des fuites d'azote par lessivage :

- **le travail du sol** : les cultures principales et intermédiaires étaient implantées soit après labour, (traitements T1, T2 et T5), soit par semis direct (traitements T7 et T8).

- **la gestion des résidus de culture** : l'absence de déchaumage pour maintenir un mulch de paille jusqu'au semis suivant (traitement T2).

- **l'implantation systématique de cultures intermédiaires** (traitements T5 et T8) était testée pour chaque régime de travail du sol. Le semis a été réalisé début septembre et la destruction a eu lieu fin septembre (pour le semis du blé) ou mi-novembre (avant les cultures de printemps), laissant la possibilité de la réalisation du labour d'hiver pour les traitements concernés.

nu d'août 2003 à février 2005 (collaboration INRA Laon – Reims). Les parcelles ont été divisées en deux et le sol a été maintenu sans végétation pendant 18 mois sur une moitié de la surface. Toutes les trois semaines, les teneurs en eau et en azote des trois horizons constitutifs du sol ont été mesurées pour calculer avec le logiciel Lixim la minéralisation nette d'azote entre chaque date. On montre ainsi que l'effet du travail du sol sur les quantités d'azote minéralisé a été faible (figure 2). Les vitesses de minéralisation étaient comprises entre 0,48 et 0,50 kg N/ha/Jn. Douze années d'absence de travail du sol profond n'ont donc pas modifié significativement le régime de minéralisation de l'azote du sol. Cette observation concorde avec celle d'un autre essai de longue durée (32 ans) conduit également à Boigneville.

**Le sol de l'essai est un limon argileux moyennement épais (25 % d'argile et 1,7 % MO en surface), sain, développé sur un substrat calcaire qui apparaît entre 60 cm et 100 cm de profondeur.**

▶ La suppression pendant douze années du labour au profit du semis direct n'a pas modifié significativement la minéralisation de l'azote organique du sol.

Les tendances observées ne permettent pas d'en déduire la nécessité de modifier la fertilisation azotée des cultures.

## Effet des cultures intermédiaires sur la fourniture d'azote par le sol

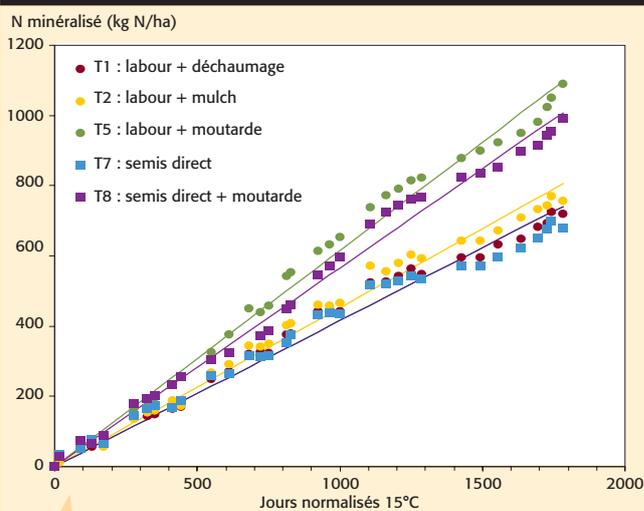
L'essai « environnement » a également permis de mesurer l'effet des cultures intermédiaires sur la fourniture d'azote par le sol. L'implantation de moutarde dans l'interculture a été systématique pour les traitements T5 (labour) et T8 (semis direct), mais la croissance des couverts a été nulle certaines années (1993 et 1996). Si l'on excepte ces cas, les parties aériennes ont accumulé en moyenne 44 kg N/ha dans les parcelles labourées et 37 kg N/ha dans le cas du semis direct (tableau 2). Cela correspond respectivement au recyclage de 489 et 374 kg N/ha pendant les douze années de l'étude.

Les quantités d'azote minéralisé en présence de cultures intermédiaires ont été plus élevées qu'en leur absence (figure 1). Ce supplément de minéralisation provient de l'azote contenu dans les moutardes (parties aériennes et racines) au moment de leur destruction. Il a été légèrement inférieur sous semis direct par rapport au labour (figure 3), probablement en raison de la plus faible restitution d'azote par les résidus de Cipan (tableau 2).

Ces cinétiques de minéralisation de l'azote recyclé par

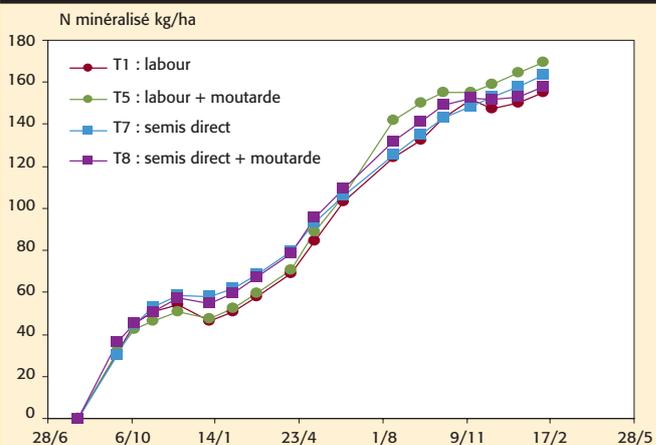


## Minéralisation cumulée de l'azote du sol de 1992 à 2004 (sans prise en compte des cultures de pois) calculée par le bilan d'azote (fig. 1)



La vitesse de minéralisation (pente des droites ajustées aux valeurs observées) calculée sous semis direct est égale (T7) ou inférieure de 8 % (T8) à celle des traitements de référence labourés (respectivement T1 et T5). À l'opposé, celle du traitement « pailles mulchées » (T2) est supérieure de 9 % à celle du labour

## Effet du régime de travail du sol et des Cipan sur la minéralisation de l'azote du sol déterminée sous sol nu entre le 3/08/03 et le 8/02/05 (fig. 2)



(D'après Oorts et al., 2006). (Culture précédente en 2003 : pois, pailles exportées)

Douze années de semis direct et/ou de Cipan n'ont pas modifié significativement la capacité du sol à minéraliser l'azote organique : il n'y a donc pas d'effet cumulatif des techniques testées.

**Azote accumulé dans les parties aériennes des moutardes (kg N/ha) au moment de leur destruction (tab. 2)**

Traitement	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
T5: labour	37	44	0	47	51	0	69	33	45	50	23	33	56
T8: semis direct	36	36	0	40	0	0	35	33	51	42	18	23	62

La valeur 0 correspond à l'absence de croissance des couverts. Les années sont celles de la date de destruction des Cipan.

les moutardes, qui correspondent à la succession des décompositions élémentaires des treize Cipan, permettent de caler une fonction moyenne de minéralisation de l'azote contenu dans ces couverts. La figure 4 représente ces cinétiques élémentaires « types ».

Deux caractéristiques importantes des résidus de moutarde peuvent ainsi déterminer :

- la proportion d'azote susceptible d'être minéralisée au terme de la décomposition. Les valeurs de 67 à 78 % observées dans le cadre de cette étude sont élevées par rapport aux 25 à 50 % cités dans d'autres travaux. L'absence de prise en compte des racines et des feuilles tombées au sol ne peut expliquer qu'en partie cette différence. En fait, notre étude ne permet qu'une déduction du taux annuel de minéralisation à partir d'un suivi de longue durée de la cinétique de minéralisation imputable à la moutarde. Des modèles plus « mécanistes » seraient plus performants dans ce genre d'approche. Quoiqu'il en soit, les résidus de Cipan semblent avoir atteint le même degré de décomposition pour les deux régimes de travail du sol (les « plateaux » des cinétiques de la figure 4 sont proches), malgré l'absence d'incorporation des résidus dans le traitement T7 (semis direct).

- le temps nécessaire à la minéralisation de la moitié de l'azote potentiellement minéralisable est de 51 jours normalisés (Jn) pour les

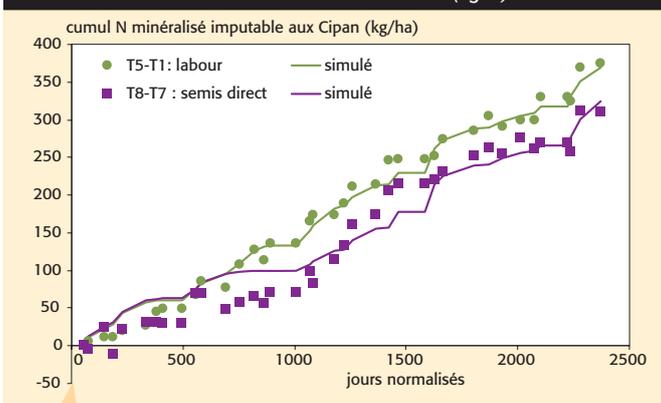
**Le semis direct, pratiqué de façon continue pendant 12 ans, n'a pas modifié la vitesse moyenne de minéralisation de l'azote du sol.**

**Stocks d'azote organique mesurés en fin d'essai (horizon 0-50 cm, février 2005) (tab. 3)**

	Sol labouré		Semis direct	
	sol nu (T1)	moutarde (T5)	sol nu (T7)	moutarde (T8)
kg N/ha	6931	7044	6968	7192

Après treize ans d'essai, on n'observe pas de modification significative de la quantité totale d'azote organique du sol (probabilité = 26 %, coefficient de variation des mesures = 2 %).

**Supplément de minéralisation imputable à la décomposition des moutardes sous labour ou sous semis direct entre 1992 et 2004 (fig. 3)**



L'ajustement d'un modèle simple de minéralisation de la Cipan permet de reproduire de façon satisfaisante la courbe représentative du traitement sous labour (trait vert plein) et d'en déduire la cinétique « type » de minéralisation élémentaire de la moutarde présentée à la figure 4. La simulation du traitement sous semis direct est moins satisfaisante.

L'implantation de moutarde dans chaque interculture de la rotation pois - blé - orge de printemps a augmenté la fourniture d'azote par le sol. Cette augmentation est un effet à court terme : la minéralisation et les stocks d'azote organique du sol ne sont affectés d'aucun effet cumulatif après treize implantations successives de cultures piège à nitrates.

deux traitements T5 et T8. La figure 4 montre que 80 % du processus de minéralisation est accompli en 117 Jn, soit une durée très inférieure à celle correspondant à une année civile (de l'ordre de 180 Jn à Boigneville). Ce résultat confirme que les résidus de végétaux peu âgés au moment de leur destruction se décomposent rapidement et ne libèrent que très peu ou pas d'azote au-delà d'une période de 12 mois.

Ainsi, l'augmentation de la vitesse potentielle de minéralisation des parcelles couvertes par des moutardes observée à la figure 1, n'est due qu'à la minéralisation à court terme de leurs résidus, ce que confirme de manière incontestable la figure 2. Les mesures ayant débuté plus de huit mois après la destruc-

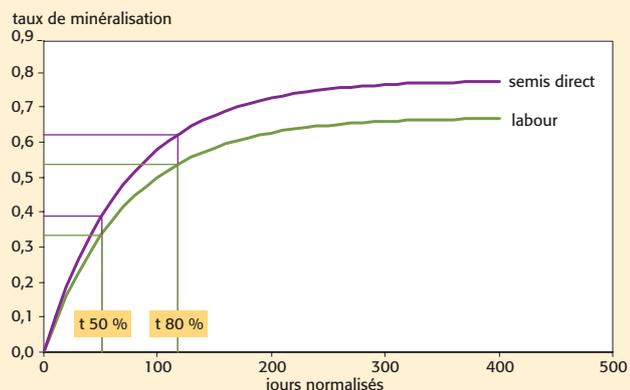


© ARVALIS-Institut du végétal



© D.R.

**Cinétiques élémentaires de minéralisation de la moutarde, déduites de la figure 3 (fig. 4)**



**P**our reproduire les cinétiques de minéralisation de la figure 3, il est nécessaire de faire l'hypothèse que chaque résidu de moutarde se décompose selon une loi « type » qui présente deux caractéristiques :

- la proportion d'azote organique des Cipan minéralisée au terme du processus (67 % pour le labour et 78 % pour le semis direct) ;
- le temps nécessaire à la décomposition de la moitié de cet azote (noté t 50 %) : il est de 51 jours normalisés pour les deux régimes de travail du sol. 80 % de la décomposition est achevée en 127 jours normalisés, soit bien moins que la durée d'une année civile.

**Le supplément de minéralisation constaté en présence de cultures intermédiaires provient de l'azote contenu dans la dernière céréale qui a précédé la moutarde.**

tion de la dernière moutarde, l'essentiel de la minéralisation de cette ultime Cipan est donc achevé. Puisqu'aucune différence significative n'est perceptible entre les traitements comportant ou non une moutarde, c'est qu'il n'y a pas d'effet cumulatif de douze cultures intermédiaires sur la minéralisation du sol.

Par ailleurs, l'absence de différence significative entre les stocks d'azote organique

dans le sol pour les différents traitements en fin d'essai (*tableau 3*) prouve que l'effet cumulatif des cultures intermédiaires est négligeable sur le moyen terme (13 ans).

**Quelles conséquences pour la fertilisation azotée ?**

Pour quantifier les effets de la décomposition des résidus de Cipan sur la disponibilité de l'azote, trois phases clés des

campagnes agricoles ont été définies : présence de la moutarde (du semis à sa destruction), début de minéralisation des résidus (de la destruction à la fin de l'hiver), phase de minéralisation pendant la période de prélèvement intense des cultures principales. Elles sont nommées respectivement phases 1, 2 et 3.

La différence de minéralisation entre les traitements avec et sans moutarde permet de déterminer les effets de la Cipan sur la quantité d'azote disponible dans le sol. Les deux tiers de l'azote minéralisable ont été libérés avant la sortie de l'hiver (phase 2 correspondant à + 16 kg N/ha en moyenne). Le faible effet pendant la période de fort besoin des céréales (phase 3 + 6 kg N/ha) s'explique par une décomposition rapide pendant l'hiver de moutardes faiblement développées.

Outre cet effet sur la minéralisation de printemps, la Cipan modifie aussi le reliquat d'azote minéral à la sortie de l'hiver, mais de façon variable selon les conditions climatiques hivernales. La figure 5 présente les valeurs annuelles de ces deux effets dont la somme permet d'évaluer l'en-



jeu pour la fertilisation azotée des cultures. Si la pluviosité de l'hiver est faible et entraîne un drainage inférieur à 50 mm (cas notamment de l'année 1991-92), la minéralisation tardive des résidus de moutarde ne libère pas suffisamment d'azote pour compenser la forte diminution du reliquat sortie hiver (Re) due à l'absorption d'azote par la Cipan. Dans ce cas, il est nécessaire d'augmenter les doses d'azote. *A contrario*, dans le cas d'hivers pluvieux, la Cipan permet de soustraire du sol de l'azote minéral qui sans cela aurait été lessivé, et d'en restituer

**Dans cette expérimentation, la couverture hivernale du sol n'a pas permis de réduire la fumure azotée moyenne du blé et de l'orge de printemps.**

par la suite la partie minéralisée. Dans le dispositif de Boigneville, le bilan a été globalement neutre : la fertilisation moyenne pour les douze années devait être la même avec Cipan ou avec sol nu, malgré la réduction de moitié du lessivage engendré par les cultures intermédiaires. Ces conclusions rejoignent celles tirées d'un autre essai de longue durée réalisé à Thibie dans la Marne.

Cet effet de compétition pour la disponibilité de l'azote dans les mois qui suivent leur destruction peut être vu comme un effet « paradoxal » des Cipan dont l'objectif premier est de limiter les pertes d'azote. Il est susceptible de se manifester lorsque :

- l'essentiel de l'azote minéral du sol est concentré à la récolte de la culture précédente, dans les horizons de surface ;
- l'enracinement de la culture suivante est très profond ;
- la pluviosité hivernale est faible.

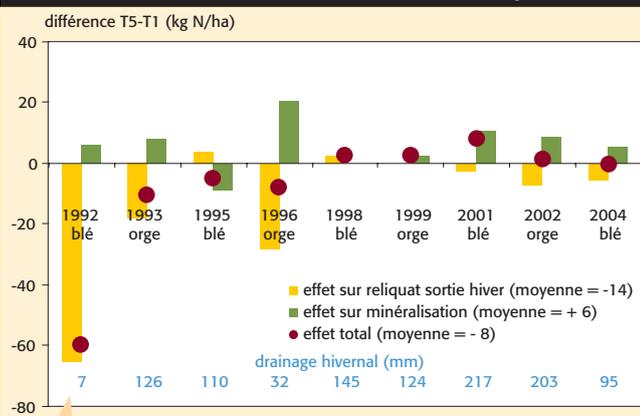
Ainsi, sous l'effet des Cipan, l'ajustement annuel de la fertilisation reste possible en fonction des caractéristiques climatiques de l'hiver.

▶ Par rapport à une parcelle homologue dont le sol reste nu pendant les périodes d'interculture, la présence d'une Cipan :  
1- diminue le reliquat d'azote minéral sortie hiver, d'autant plus que l'hiver est sec,  
2- augmente la minéralisation d'azote en période de prélèvement intense par les cultures.  
Le bilan de ces deux effets peut être variable. Le solde de ces deux effets peut donc être positif ou négatif selon les cas (pluviosité hivernale, type de sol...). Dans le cas de l'essai de Boigneville, le bilan a été globalement neutre. La fertilisation azotée moyenne n'a pu être réduite malgré la diminution de moitié du lessivage permise par les cultures intermédiaires.

Si l'introduction de cultures intermédiaires ne permet pas une diminution sensible de la fertilisation azotée à moyen terme, le recyclage de l'azote par le double jeu de la diminution du lessivage et de l'augmentation de l'organisation devrait logiquement y contribuer un peu à long terme (au moins 20 ans). ■

Sur le même sujet :  
*Perspectives Agricoles*  
n°327, octobre 2006 :  
Pertes d'azote par lessivage - cultures intermédiaires, une efficacité immédiate et durable.

**Effets de la moutarde sur la disponibilité en azote pour les cultures de céréales suivantes (fig. 5)**



Le supplément moyen de minéralisation sous les céréales imputable à la minéralisation printanière de la moutarde (histogrammes verts) est + 6 kg N/ha. Par ailleurs, la Cipan diminue le reliquat sortie hiver (Re) en moyenne de 14 kg N/ha (histogrammes jaunes). La somme des deux termes (ronds marron), quand elle est positive, correspond à l'économie possible d'engrais azoté permise par la moutarde par rapport au « sol nu ».