

Disponibilité en azote issue de l'effet du précédent légumineuse, de culture intermédiaire et d'engrais organique - Conséquences sur le rendement et la teneur en protéines du blé tendre d'hiver

Par Loïc Prieur (CREAB Midi-Pyrénées¹) et Eric Justes (INRA, UMR INRA-ENSAT ARCHE²)

Le travail présenté ici s'inscrit dans l'une des quatre taches du programme national FertiAgriBio³ : "connaître et prévoir la disponibilité en éléments minéraux provenant de diverses sources organiques". L'objectif était pour cette étude de comparer la disponibilité en azote provenant de différentes sources organiques : minéralisation de la matière organique du sol, des résidus de récolte de légumineuse à graine, de culture intermédiaire, et d'engrais organique. Les essais réalisés ont permis à la fois d'apporter des références nouvelles sur l'effet des précédents "légumineuse à graine" et des cultures intermédiaires, et de confirmer des résultats d'expérimentations déjà observés sur l'effet des fertilisants organiques.

La disponibilité en azote diffère en fonction des sources organiques. Un dispositif conduit en agriculture biologique (voir encadré p.14) a été mis en place à la ferme de la Hourre (Gers) afin d'évaluer et de comparer la disponibilité en azote des sources organiques suivantes :

- le précédent cultural légumineuse à graine : féverole d'hiver et soja,
- l'implantation de culture intermédiaire plantes pièges à nitrates ou engrais : mélange vesce-avoine de printemps et culture de moutarde blanche,
- la forme de fertilisant organique : farines de plumes hydrolysées et vinasse de betterave.

Disponibilité en azote minéral : de la récolte du précédent au semis du blé

Sur le précédent féverole, la biomasse restituée est de 3,6 t MS/ha ce qui correspond à 47 kg d'N/ha (1,3% d'N dans les tiges). Sur le précédent soja, la biomasse restituée est de 1,7 t MS/ha ce qui correspond à 19 kg d'N/ha (1,1% d'N dans les tiges), sans compter toutes les feuilles tombées au sol préalablement.

Les résultats des quantités d'azote minéral retrouvées dans le sol, pour les deux précédents sont présentés à la figure 1. Pour le précédent féverole, une augmentation de la quantité d'azote minéral dans le sol liée à la minéralisation nette de l'humus et des résidus du précédent a été observée. Par contre la quantité d'azote

minéral est nettement plus faible sur les zones avec une culture intermédiaire, du fait de leur absorption d'azote. Ces mesures permettent de montrer que les cultures intermédiaires peuvent limiter la quantité d'azote minéral dans le sol en entrée hiver et donc diminuer les risques de pertes d'ions nitrate par lessivage hivernal. On peut aussi observer de fortes différences entre précédents : en novembre les reliquats après féverole sans culture intermédiaire atteignent en moyenne 118 kg d'N/ha sur

¹ CREAB Midi-Pyrénées : Centre Régional de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture biologique - LEGTA d'Auch-Beaulieu - Route de Mirande - 32020 AUCH cedex 09

Tél : 05 62 61 71 29 - Fax : 05 62 61 71 10
² INRA, UMR INRA-ENSAT ARCHE
Toulouse-Auzeville

³ Programme national agronomie : présentation et résultats dans Alter Aagri 79

Présentation du dispositif à la ferme de la Hourre

Deux parcelles distinctes, mais aux caractéristiques de sol proches, correspondant aux deux précédents légumineuse ont été utilisées. Chacune a été découpée en trois répétitions.

- Sur la parcelle précédent féverole (pailles enfouies), un dispositif en split-plot a été mis en place. Trois traitements ont été comparés :
 - 1) sans culture intermédiaire semée ;
 - 2) mise en place d'une moutarde (fin août-début octobre) entre la féverole et le blé ;
 - 3) mise en place d'un mélange de vesce/avoine (fin août-début octobre) entre la féverole et le blé.

Chacun de ces trois traitements a ensuite été divisé en trois modalités :

- a) une zone en sol nu pour suivre la dynamique de minéralisation en absence de tout prélèvement par les cultures (SN) ;
- b) une partie avec du blé non fertilisé (N0) ;
- c) une partie avec du blé fertilisé (N80) par des farines de plumes (80 kg N/ha prévu).

L'apport d'azote a été réalisé au stade épi 1 cm (début avril) en un seul passage. Sur ce dispositif la variété de blé tendre semée était Renan ;

- Concernant la parcelle sur précédent soja, l'effet variétal du blé a été étudié (variété Renan et variété Caphorn). Trois traitements ont été comparés pour les deux variétés :
 - blé sans apport d'engrais organique (N0) ;
 - blé ayant reçu des vinasses de betterave (VIN) ;
 - blé ayant reçu des farines de plumes (PLU).

L'apport d'azote (80 kg N/ha prévu) a été réalisé au stade épi 1 cm (début avril) en un seul passage.

Analyse des fertilisants organiques

Analyses	Unités	Farine de plumes hydrolysées	Vinasse de betterave
Conditionnement		Bouchons	Liquide
Matière sèche à 105°C	(g/100g)	94,8	52,5
Matière organique (calcination)	(g/100g)	91,8	30,6
N total (Dumas)	(g/100g)	13,9	3,3
Ratio N minéral/N total	%	1,4	15,9
C/N		3,3	4,6
P2O5 total	(g/100g)	0,76	0,28
K2O total	(g/100g)	< 0,424	6,9
Soufre total (SO3)	(g/100g)	4,1	3,3
Quantité de produit épandu	(kg/ha)	530	2180
Azote réellement épandu	(kg/ha)	74	72

Sur tout le dispositif, trois opérations de désherbage mécanique (herse étrille) au cours de la culture (février, mars et avril) ont permis de contrôler la pression des adventices.

L'expérimentation et les prélèvements de sol ont débuté à la récolte du précédent cultural en 2004 et se sont poursuivis jusqu'à la récolte du blé tendre en 2005.

120 cm de profondeur (correspondant à la profondeur d'enracinement du blé suivant) alors que sur le précédent soja cette valeur est de seulement 60 kg/ha. Cela s'explique par une absorption du soja durant tout l'été et une date de récolte très différente de celle de la féverole.

Développement des cultures intermédiaires, précédent féverole

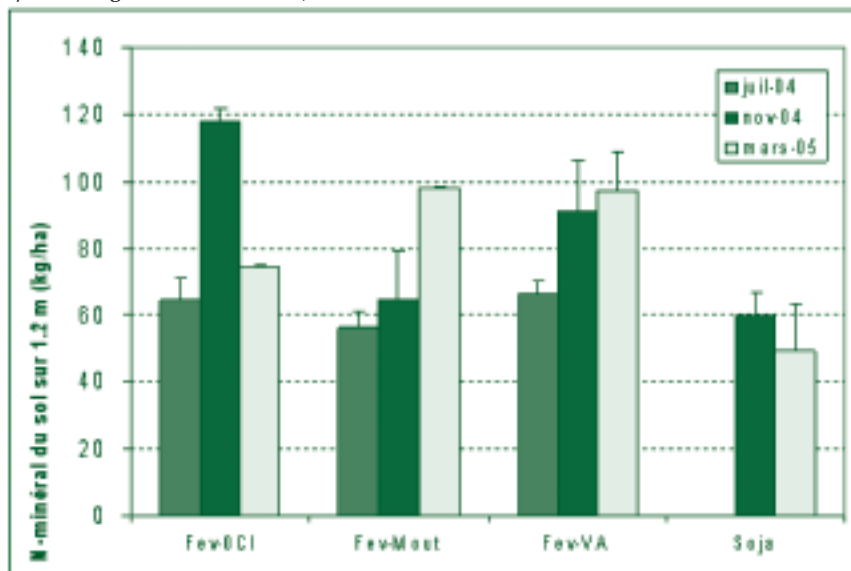
Le déchaumage du précédent féverole a eu lieu le 3 août, le semis des cultures intermédiaires a été réalisé le 25 août (semis en combiné avec semoir céréales en ligne). Le déficit de précipitations a entraîné un retard de levée, qui est intervenue le 17 septembre. Ainsi les cultures intermédiaires n'ont eu que deux mois pour se développer. Toutefois les biomasses et quantités d'azote absorbées ont été tout à fait satisfaisantes (tableau 1 page suivante), démontrant notamment les fortes capacités de croissance de la moutarde à l'automne.

Résultats blé tendre, précédent féverole

Au stade épi 1 cm, nous n'avons observé aucune différence entre traitements sur la culture du blé que ce soit pour les biomasses produites ou pour l'indice de nutrition azoté (INN). Par contre, l'incorporation des cultures intermédiaires en novembre avant le semis du blé a permis d'avoir des quantités d'azote disponibles supérieures à celles sans culture intermédiaire (figure 1). Ceci s'explique par la minéralisation rapide des résidus de cultures intermédiaires et/ou des pertes hivernales de nitrate moins importantes dues à l'absorption automnale d'azote des cultures intermédiaires.

A la floraison l'analyse statistique indique un effet favorable significatif des cultures intermédiaires par rapport à la zone sans culture intermédiaire (INN culture intermédiaire = 0,66 contre 0,57 sans culture intermédiaire). A ce stade, nous avons également observé une différence significative liée à la fertilisation (INN N0 = 0,61 ; INN N80 = 0,65).

Figure 1 - Évolution de la quantité d'azote minéral du sol à trois périodes clés (récolte du précédent, "entrée hiver - début drainage" en novembre au semis du blé et "sortie hiver - fin drainage" en mars sous blé).



Légende :

Fev+Mout = précédent féverole suivi d'une culture intermédiaire de moutarde

Fev+VA = précédent féverole suivi d'une culture intermédiaire de Vesce Avoine

Féverole = précédent féverole sans culture intermédiaire

Soja = précédent soja sans culture intermédiaire

Tableau 1 - Résultats des cultures intermédiaires précédent féverole

Culture intermédiaire	Moutarde	Vesce-avoine
Date semis	25 août 04	25 août 04
Densité semis	12 kg/ha	30 + 40 kg/ha
Date de levée	17 septembre	17 septembre
Date de destruction	15 novembre	15 novembre
Biomasse aérienne (kg MS/ha)	Moutarde 1 041 kg Féverole 50 kg Total = 1 091 ± 220 kg	Vesce 26 kg Avoine 151 kg Féverole 138 kg Adventices 174 kg Total = 490 ± 158 kg
Teneur en azote (%)	Moutarde = 4,2 % Féverole = 4,4 %	Vesce = 3,6 % Avoine = 4,3 % Féverole = 4,0 % Adventices = 4,5 %
N absorbé (kg/ha) parties aériennes	Total = 44,9 ± 8,2 kg/ha	Total = 21,6 ± 7,8 kg/ha

Toutefois, à la récolte, ces différences n'ont plus été retrouvées. Le rendement moyen aux normes a été de 41,2 q/ha sans effet significatif dû à la fertilisation organique après cultures intermédiaires (moutarde ou vesce-avoine). De plus, la culture intermédiaire de vesce-avoine a permis d'obtenir les meilleurs rendements.

Pour les teneurs en protéines, la moyenne générale a été de 12,1%. L'analyse statistique montre un effet significatif de la fertilisation (+0,9%), mais égale-

ment un effet favorable de la culture intermédiaire de vesce-avoine après féverole. Du point de vue des quantités d'azote minéral retrouvées dans le sol à la récolte, on n'observe pas de différence significative entre traitements, ce qui indique que les blés ont prélevé quasiment tout l'azote minéral qui était à leur disposition, qu'il ait été fertilisé ou non. Ceci indique que des pertes d'azote se sont produites aux dépens de l'engrais organique.

Résultats blé tendre, précédent soja

Au stade épi 1 cm, aucune différence n'a été observée entre traitements pour la biomasse et l'INN du blé, quelle que soit la variété analysée.

A la floraison, il n'y a pas de différence entre traitements pour les biomasses produites, mais par contre pour l'INN et les quantités d'azote absorbées nous avons observé :

- Une différence variétale significative : INN Renan = 0,42 et INN Caphorn = 0,48, cette différence ne s'est pas retrouvée au niveau des quantités d'azote absorbées.

- Une différence significative pour la fertilisation : INN N0 = 0,35 et INN N80 = 0,5. Pour les quantités d'azote absorbées, des différences ont été mises en évidence selon le fertilisant employé (mais sans différence variétale), avec des différences significatives d'azote absorbé : N0 = 53 kg/ha ; PLU = 68 kg/ha et VIN = 86 kg/ha.

A la récolte, le rendement moyen est de 39,5 q/ha, sans différence significative entre les deux variétés. Par contre, nous avons observé des différences significatives pour la fertilisation et le fertilisant organique : RDT N0 = 31,0 q/ha ; RDT PLU = 40,2 q/ha et RDT VIN = 47,3 q/ha. Il en est de même pour les teneurs en protéines où nous avons observé des différences significatives selon la variété et la dose d'azote mais pas selon la nature du fertilisant.

Renan (11,0%) a eu une teneur supérieure à Caphorn (10,4%).

La fertilisation a permis un gain moyen de 0,5% de protéines par rapport au témoin non fertilisé.

Effet du précédent cultural (féverole et soja)

Pour étudier l'effet du précédent, n'ont été analysés que les traitements identiques, soit : absence de cultures intermédiaires, variété Renan et fertilisation avec des plumes hydrolysées. Les principaux résultats sont présentés dans le tableau 2. Le précédent féverole est bien plus favorable que le précédent soja pour l'ensemble des

variables analysées, à savoir : l'indice de nutrition azotée, la quantité d'azote absorbée, le rendement et la teneur en protéines. Ceci s'explique principalement par des quantités d'azote minéral du sol nettement plus élevées à la date de semis du blé pour la féverole que pour le soja ; ce résultat est cohérent avec les observations faites depuis quelques années à la ferme de la Hourre.

Tableau 2 - Effet du précédent cultural sur la nutrition azotée, le rendement et la qualité du blé

Précédent & culture intermédiaire	Unités	RDT à 15% (q/ha)	Protéines (%)
Féverole	N0	38,4	10,3
moutarde	N80	38,8	10,8
Féverole	N0	44,8	12,3
vesce-avoine	N80	46,2	12,9
Féverole	N0	38,7	10,1
sans culture intermédiaire	N80	41,0	12,2
Féverole moyenne sans culture intermédiaire			
		39,9	11,2
Soja			
sans culture	N0	31,6	9,3
intermédiaire	N80	39,7	10,3
Soja Moyenne			
		35,6	9,8

Effet du fertilisant organique

L'efficacité d'un même produit (farine de plumes) sur une même variété (Renan) s'est avérée très différente selon le précédent. Après féverole (sans culture intermédiaire), l'apport de farine de plumes n'a pas eu de conséquence significative sur le rendement, mais a permis un gain de 1,3% de protéines. Par contre sur le précédent soja, l'apport de farine de plumes a permis un gain significatif et important de 8,1 q/ha, et une augmentation non négligeable de 0,6% de la teneur en protéines.

Si l'on compare les deux fertilisants utilisés sur le précédent soja (vinasses et farine de plumes), on observe une différence d'efficacité importante. Pour les deux variétés confondues les résultats moyens des blés fertilisés ont été de : 40,2 q/ha pour les

farines de plumes contre 47,4 q/ha pour les vinasses pour une teneur en protéines non significativement différente. Cela indique une meilleure efficacité des vinasses comme illustré par un meilleur CAU (Coefficient Apparent d'Utilisation de l'engrais) des vinasses de 67,5% par rapport aux plumes avec 33,6% seulement et surtout davantage de variabilité spatiale de l'efficacité (figure 2).

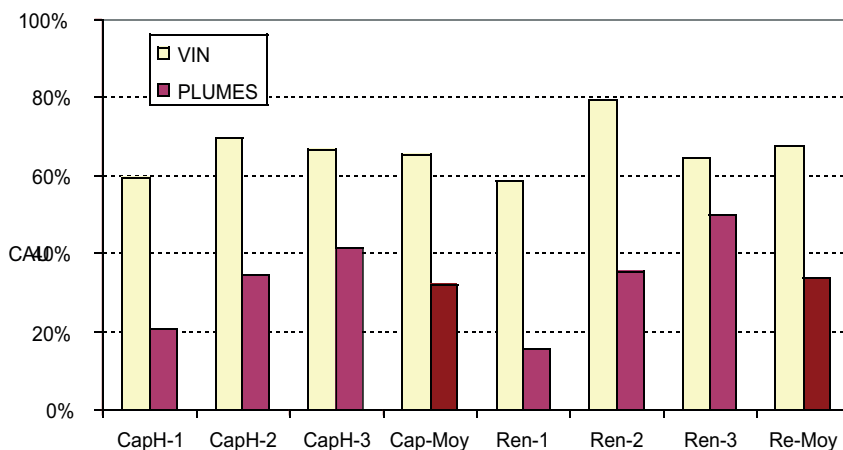


Figure 2 - Comparaison vinasse/plumes - prec. soja

Cette différence peut provenir : d'une plus forte proportion d'azote minéral (ammoniacal) dans les vinasses (16%) contre 1,4% pour les farines de plumes. De plus, le conditionnement liquide des vinasses s'est avéré être un avantage par rapport aux bouchons de farines de plumes qui nécessitent des précipitations conséquentes pour être délités. Cette différence d'efficacité peut également s'expliquer par une différence au niveau des pertes par volatilisation d'ammoniac (hypothèse à vérifier).

Dynamique de minéralisation en azote du sol avec et sans culture intermédiaire

Les zones en sol nu (absence de prélèvement par les cultures) ont permis de calculer la dynamique de minéralisation en azote du sol sur la base de l'évolution des quantités d'azote minéral dans le profil de sol (figure 3). Sur environ un an, la minéralisation est d'environ

120 kg N/ha pour la parcelle après féverole, ce qui est conséquent mais en accord avec le niveau attendu en fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol. Par contre, la minéralisation de la parcelle après soja est plus faible avec environ 70 kg N/ha en neuf mois, mais la minéralisation estivale n'a pas été mesurée, ce qui devrait représenter environ 40 kg N/ha supplémentaires pour arriver à un niveau

proche de la parcelle ayant reçu le précédent féverole. La figure 3 montre également que la vitesse de minéralisation en azote a été supérieure après l'incorporation de vesce-avoine et plus encore de moutarde par rapport au sol sans culture intermédiaire. Par différence entre les traitements avec et sans culture intermédiaire, on peut estimer le surplus de minéralisation à 22 kg N/ha après moutarde et à 12 kg N/ha après vesce-avoine. Ce résultat explique en grande partie pourquoi le rendement et la teneur en protéines du blé sont supérieurs après culture intermédiaire.

Conclusions

- La féverole d'hiver laisse des quantités d'azote dans le sol en entrée d'hiver bien supérieures au soja : 120 kg d'N/ha contre 65 kg d'N/ha après soja dans notre essai. Cette différence s'est traduite par un rendement supérieur de 7,1 q/ha et une teneur en protéines de Renan plus élevée de 0,6% en faveur du précé-

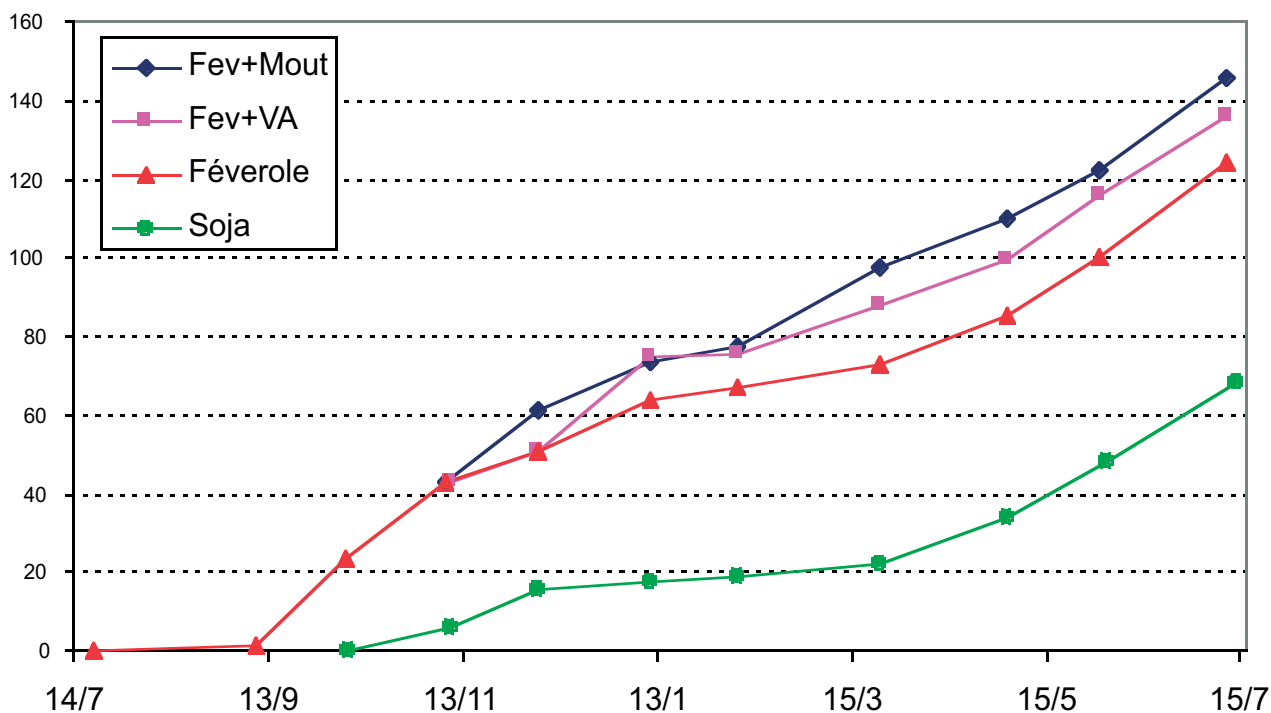


Figure 3 - Dynamique de la minéralisation nette en azote du sol calculée par bilan d'azote sous sol nu après différents précédents (légende : voir Figure 1).

dent féverole, ce qui est considérable. Le précédent cultural est donc le premier levier, et sans doute le plus important à prendre en compte (vis-à-vis de l'azote), pour améliorer le rendement et la teneur en protéines des blés en AB.

- Les cultures intermédiaires ont permis de limiter fortement le reliquat azoté en entrée d'hiver tout en le maximisant en sortie d'hiver grâce à la minéralisation des cultures intermédiaires et/ou à une perte plus faible par lixiviation durant l'hiver. Les cultures intermédiaires constituent le second levier pour gérer les ressources en azote car il est important de ne pas perdre d'azote minéral du sol durant l'hiver issu de la minéralisation du sol et de l'azote résiduel à la récolte du précédent cultural.
- L'effet du fertilisant s'est avéré être en interaction avec le précédent. Il a permis un gain de la teneur en protéines, mais son effet sur le rendement n'a pas été significatif lorsque les disponibilités en azote du sol se sont avérées importantes comme c'est le cas après féverole. Par contre, il existe une forte différence d'efficacité entre les farines

de plumes hydrolysées et les vinasses de betterave, ces dernières présentant un coefficient apparent d'utilisation supérieur à celui des plumes, d'où un gain de rendement ou de la teneur en protéines significatif.

Les différences observées entre les variétés Renan et Caphorn après soja, ne se sont traduites que par une teneur en protéines plus élevée de 0,6% pour Renan. Ces différences proviennent surtout de leur potentialité génétique, comme déjà montré par ailleurs.

Ceci s'expliquerait par une différence de quantité d'azote absorbé à la floraison, supérieure pour Caphorn par rapport à celle de Renan, expliquant un meilleur potentiel de rendement. Par contre, à la récolte c'est Renan qui a finalement absorbé plus d'azote grâce à une meilleure absorption post floraison dont on connaît l'importance vis-à-vis de la teneur en protéines des graines.

En conclusion, on ne saurait trop insister sur l'importance de la nécessaire gestion intégrée des ressources en azote à l'échelle de la rotation et qui commence d'abord par le choix du précédent cultural au blé, précédent qui n'a pas la même valeur "azote", fut-il de légumineuses à

graines. Les cultures intermédiaires et engrais verts constituent également un moyen a priori efficace pour augmenter les ressources en azote pour le blé suivant. Cet effet positif ne semble pas plus aléatoire que l'efficacité des plumes hydrolysées ; l'efficacité de cet engrais organique étant rarement supérieure à 35%, comme en attestent les résultats obtenus au CREAB depuis quelques années et issus d'autres essais en France. Enfin, il est important d'insister sur le fait que les cultures intermédiaires ou engrais verts ne doivent pas forcément avoir des durées de cycle trop longues pour avoir une efficacité vis-à-vis des fournitures d'azote. Ainsi, contrairement à une idée répandue, un cycle court de deux à trois mois peut être suffisant pour modifier sensiblement la disponibilité en azote du blé suivant ; car l'important c'est d'incorporer de la biomasse avec une forte teneur en azote et non des organes trop lignifiés. Il n'est donc pas utile de les semer trop tôt en été car il faut s'assurer que la levée soit rapide et homogène ; le semis doit donc être réalisé seulement après le 15 août pour bénéficier des premières pluies automnales. ■