

LEVIERS MOBILISABLES POUR LA GESTION DE L'AZOTE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

L'azote joue un rôle déterminant sur le rendement des cultures et sur la qualité des productions. Les plantes puisent cet élément dans le sol sous forme minérale ou dans l'air pour le cas des légumineuses.

En Agriculture Biologique, l'enjeu est d'utiliser au mieux les processus naturels pour apporter de l'azote aux cultures : fixation de l'azote de l'air par les légumineuses, piégeage de l'azote en interculture par les couverts végétaux... Cet enjeu est prégnant dans les systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage, où les possibilités d'apporter des produits organiques sont limitées. La connaissance du cycle de l'azote est ainsi essentielle afin d'identifier les leviers pour introduire de l'azote dans les parcelles et en limiter les pertes.

Cycle de l'azote

Les processus en jeu sur une parcelle, décrits ci-après, produisent de l'azote sous différentes formes et concourent à rendre cet élément mobilisable par la plante ou au contraire à le rendre indisponible.

La fixation libre et la déposition atmosphérique ①

Ces processus permettent de capter une partie de l'azote de l'air :

- par les bactéries du sol qui le fixent et permettent ainsi son incorporation dans des composés organiques
- par les pluies et les particules se déposant au sol.

La fixation symbiotique ②

Il s'agit de la fixation du diazote de l'air (N_2) par les légumineuses.

La minéralisation ③

La minéralisation transforme l'azote organique (apporté par les fertilisants, les résidus de cultures ou issu de l'humus du sol) en ammonium (NH_4^+) sous l'effet de l'activité microbienne. Cependant, l'ammonium est moins facilement assimilable par la

plante que le nitrate (NO_3^-) car il se fixe sur les minéraux du sol alors que le nitrate est très mobile dans l'eau. Le nitrate va être produit par la nitrification ④ de l'ammonium par les bactéries du sol.

En l'absence d'oxygène (compactage du sol ou eau stagnante), des phénomènes de dénitrification ⑤ ont lieu, produisant du protoxyde d'azote (N_2O), du monoxyde d'azote (NO) ou du diazote (N_2) à partir de l'ammonium.

Un tiers de la minéralisation de l'azote du sol se produit à l'automne lorsque le sol est peu couvert. Cela entraîne un risque de perte d'azote important sur cette période.

La lixiviation ⑥

L'eau du sol peut entraîner le nitrate en profondeur, surtout en hiver lorsque la pluviométrie est importante.

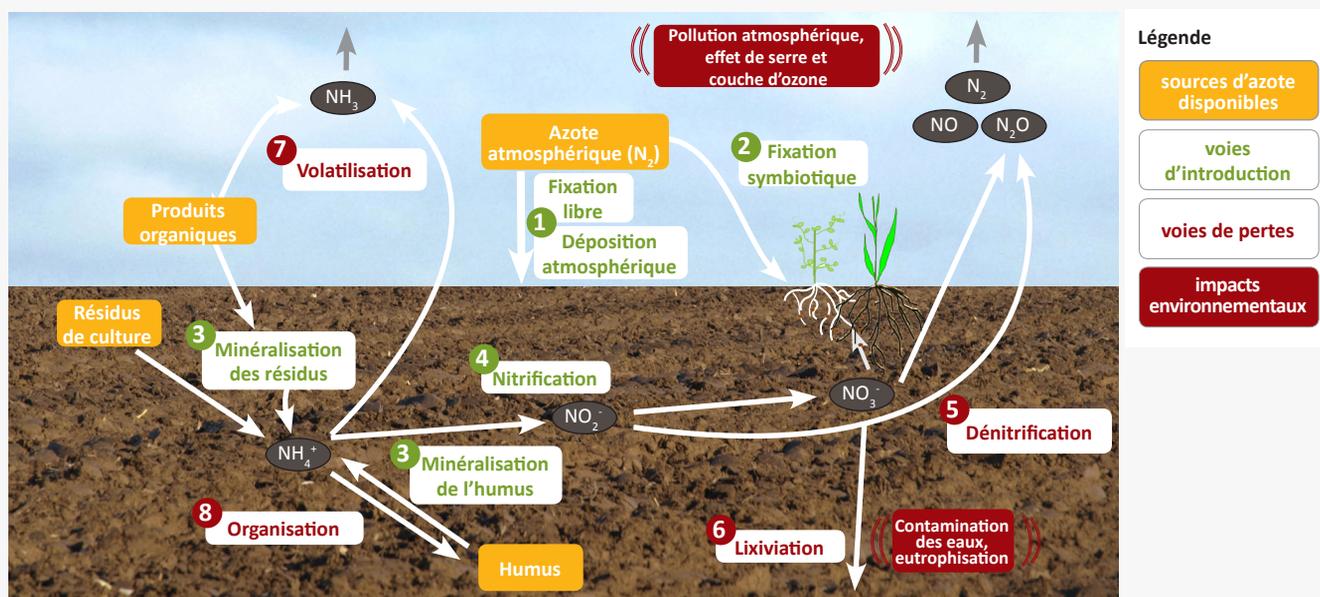
La volatilisation ⑦

Des pertes par voie gazeuse (NH_3) peuvent avoir lieu lors de l'application. Cela concerne en moyenne 20 % de l'azote ammoniacal des fumiers et des lisiers. Ce processus est favorisé par un pH du sol élevé et par un climat chaud.

L'organisation ⑧

Il s'agit de l'absorption de l'ammonium par les bactéries du sol. L'azote fixé sera reminéralisé sur des temps plus ou moins longs.

Le cycle de l'azote : voies d'introduction, de transformation et de pertes en Agriculture Biologique d'après le COMIFER, 2013



Avec le soutien financier en 2016 :



Projet coordonné par Agro-Transfert Ressources et Territoires en partenariat avec :



En association avec :



Quelques ordres de grandeur (kg N/ha/an)

Fixation libre : 10 à 30 kg

Volatilisation : quelques kg
en fonction des conditions d'application

Dépôts atmosphériques : 5 à 15 kg

Dénitrification : 0 à 20 kg
(sols bien drainés)

Fixation symbiotique :
des dizaines voire des centaines de kg

Minéralisation nette
(minéralisation - organisation) :
une centaine de kg

Minéralisation des produits
organiques : des dizaines de kg

Lixiviation : quelques dizaines de kg en
fonction de la gestion de l'interculture

Impacts environnementaux

Les fuites d'azote vers l'environnement peuvent avoir des conséquences importantes sur les milieux.

- L'ammoniac (NH_3) joue un rôle dans l'**eutrophisation** et l'**acidification des milieux** et dans la formation de particules atmosphériques responsables de la **pollution de l'air**. 95 % des émissions d'ammoniac seraient d'origine agricole.
- Le protoxyde d'azote (N_2O) est un puissant **gaz à effet de serre**. 80 % de ces émissions seraient dues à l'agriculture.
- Le monoxyde d'azote (NO) participe à la **pollution de l'air**.
- Le nitrate (NO_3^-) contribue à l'**eutrophisation des eaux** et à l'émission de N_2O .

Leviers mobilisables

En Agriculture Biologique, l'objectif est de maintenir un bon niveau de fertilité azotée des sols en introduisant de l'azote dans le système et en minimisant les pertes aux différents moments du cycle.

Introduire de l'azote

- **Légumineuses** en cultures pluriannuelles (luzerne, trèfles...) ou annuelles (pois, féverole...) / en interculture (trèfles, vesce...) pour favoriser la fixation de l'azote de l'air (*fiches « légumineuses »*)



Luzerne

- **Apport de produits organiques** (compost, fumier, fientes, vinasses...) pour augmenter la teneur en matière organique du sol et donc le pool d'azote potentiellement minéralisable (*fiches « engrais organiques » et « long terme »*)



Compost

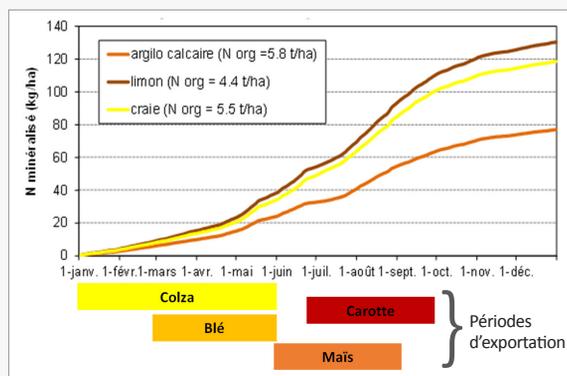
- **Gestion des résidus de cultures** et de **cultures intermédiaires** pour augmenter la teneur en matière organique du sol (*fiches « légumineuses », « long terme »*)

Limiter les pertes

- **Enfouissement des engrais organiques** (fumiers, fientes...) rapidement après épandage ou **fertilisation localisée** pour limiter les pertes par voie gazeuse (*fiche « engrais organiques »*)
- Gestion adaptée de l'interculture pour **limiter les pertes par lixiviation** (*fiche « pertes »*).

Ces leviers sont à combiner judicieusement à l'échelle du système de culture pour faire concorder besoins des cultures et disponibilité de l'azote, minimiser les pertes et ainsi favoriser l'autonomie en azote des systèmes de grande culture biologiques (*fiches « systèmes »*).

Périodes d'exportation des cultures rapportées à la minéralisation nette de l'azote organique du sol



D'après SAS Laboratoire, données issues de modélisation à partir des paramètres d'AZOFERT® pour un climat moyen Centre France.

Du fait de la dynamique de minéralisation de l'azote organique, les cultures implantées au printemps valorisent mieux l'azote du sol que les cultures d'automne.

© Agro-Transfert Ressources et Territoires

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

J. A. Bertholon ; 2015. Agriculture biologique et qualité des ressources en eau dans le bassin de la Seine : caractérisation des pratiques et applications territorialisées. Sciences de la Terre. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
COMIFER ; 2013. Calcul de la fertilisation azotée - Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales - Cultures annuelles et prairies.

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer ; 2015. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Impacts-sante-et-environnement,41865.html>
J.-L. Peyraud, P. Cellier, C. Donnars, O. Réchauchère (éd.) ; 2012. Les flux d'azote liés aux élevages - réduire les pertes, rétablir les équilibres. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport, INRA.

LES LÉGUMINEUSES POUR APPORTER DE L'AZOTE DANS LA ROTATION

Les légumineuses sont des espèces intéressantes en Agriculture Biologique car elles permettent de fixer l'azote de l'air, introduisant ainsi des quantités non négligeables d'azote dans les systèmes agricoles à moindres coûts.

En France en 2009, ce processus a ainsi apporté l'équivalent du quart des engrais chimiques utilisés tous types de production confondus.

Cette capacité à fixer l'azote leur est conférée par leur association avec des bactéries du genre *Rhizobium* via la formation de nodosités.



Favoriser la fixation symbiotique

Facteurs en jeu

- Présence des bactéries dans le sol**

Les bactéries capables de s'associer avec les légumineuses sont naturellement présentes dans le sol pour le pois et la féverole, mais **des inoculations de bactéries sont nécessaires dans certains cas** : première implantation de soja, implantation de luzerne en sols acides, parcelle n'ayant pas reçue de légumineuses depuis une longue période...

- Quantité d'azote minéral présent dans le sol**

La formation de nodosités n'a lieu que lorsque l'azote du sol devient limitant (moins de 50 kg/ha). Dans le cas inverse, les légumineuses absorbent préférentiellement l'azote du sol car ce processus est moins coûteux en énergie pour la plante que la fixation de l'azote de l'air.

Le nombre de nodosités produit est proportionnel aux besoins en azote de la plante pour sa croissance. **Pour valoriser au mieux leur rôle, les légumineuses sont donc à implanter lorsque l'azote est peu disponible.**

- Teneur en oligo-éléments dans le sol**

Le phosphore est un élément indispensable car impliqué dans le processus de fixation de l'azote de l'air.

D'autres éléments tels que le bore, le molybdène, le fer et le manganèse sont à apporter si des manques sont détectés dans les analyses de sol.

Le potassium favorise quant à lui la circulation de la sève contenant les éléments nutritifs nécessaires au *Rhizobium*, et est donc indispensable au bon fonctionnement de la symbiose.

Valeurs d'exportation des récoltes (d'après COMIFER, 2013)

	Phosphore	Potassium	Magnésium
Pois (grain)	0,80	1,15	0,18
Féverole (grain)	1,20	1,30	0,23
Lupin	0,75	1,05	0,25
Soja (grain)	1,00	1,60	
Luzerne (déshydratation)	5,80	31,80	2,20

- Conditions de sol**

Le tassement défavorise l'enracinement de la légumineuse et les nodosités. Par ailleurs, les légumineuses se développent mieux en pH neutre ou alcalin, le pH acide défavorisant l'activité des bactéries associées à la plante.

Seule exception, le lupin qui est très sensible à la présence de calcaire actif. Il préfère donc les sols acides qui en sont moins pourvus.

De manière générale, tout élément pouvant perturber la croissance de la plante (ravageurs, maladies, concurrence des adventices, excès ou déficit hydrique...) a un impact sur l'installation des nodosités ou leur fonctionnement, et donc la quantité d'azote fixée.

Différences entre espèces

Le taux de fixation symbiotique correspond à la part d'azote de l'air fixée par rapport à celle qui est prélevée dans le sol. Il diffère d'une légumineuse à l'autre, comme l'illustre le tableau suivant :

	Taux de fixation symbiotique
Haricot	40 %
Pois, lentille, soja	60 - 70 %
Féverole, lupin	75 %
Légumineuses fourragères (trèfle, luzerne, prairies)	90 %

Avec le soutien financier en 2016 :



Projet coordonné par Agro-Transfert Ressources et Territoires en partenariat avec :

En association avec :

Valoriser au mieux l'azote après une légumineuse

Variabilité du surplus azoté

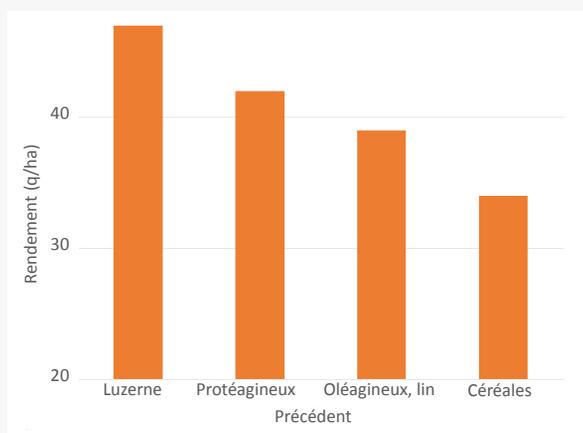
L'azote de l'air fixé par les légumineuses est restitué à la culture suivante via la **décomposition des résidus de culture (parties aériennes et souterraines)**. Les résidus les plus facilement dégradables (feuilles, tiges peu ligneuses au rapport C/N faible), vont se décomposer et libérer de l'azote en quelques semaines, alors que les parties ligneuses (tiges, racines) vont minéraliser plus lentement.

La quantité d'azote libérée au cours de la campagne suivant la destruction d'une légumineuse annuelle est très variable : la méthode des bilans chiffre le surplus lié à un **précédent légumineuse annuelle à 30 kg N/ha** par rapport à un précédent céréale, mais il peut monter à **80 kg N/ha** dans les situations optimales.

Après **une luzerne ou un trèfle**, la minéralisation peut se prolonger sur 2 années et entraîner un surplus de **plusieurs dizaines voire centaines de kg**.

Compte-tenu de la variabilité de ce surplus, **la réalisation d'un reliquat sortie hiver est nécessaire pour estimer les quantités d'azote réellement disponibles** pour la culture suivante.

Cet azote supplémentaire se traduit par des rendements accrus derrière légumineuses et de meilleurs taux de protéines.



Rendements du blé en AB en fonction du précédent

D'après les résultats technico-économiques pluriannuels des chambres d'agriculture de Seine-et-Marne et d'Île-de-France. Taux de protéines en moyenne supérieurs sur blés de légumineuses (12 % soit 0,5 % de plus).

Limitation de la lixiviation

Le surplus d'azote engendre un **risque de lixiviation** important, d'autant plus que l'enfouissement des résidus se fait précocement par rapport aux besoins de la culture suivante. Un travail du sol réduit peut néanmoins permettre de ralentir la minéralisation des résidus. **L'agencement des cultures dans la succession** apporte des leviers supplémentaires : implantation d'une culture intermédiaire rapidement après récolte ou destruction, implantation de cultures exigeantes en azote (colza, betterave rouge...) après légumineuses...

Raisonner l'introduction des légumineuses dans la rotation

Diversité des modes d'implantation des légumineuses dans la rotation



En culture principale
(Ex. : féverole en pur)



En interculture, semée sous-couvert ou après moisson
(Ex. : trèfle blanc semé sous-couvert)



En plante de service
(Ex. : lentille dans le colza)



En association avec une non légumineuse
(Ex. : pois + triticales)



En culture pluriannuelle
(Ex. : luzerne)

L'introduction de légumineuses dans la rotation doit s'accompagner de **précautions** : l'abondance de légumineuses à graines peut entraîner une « fatigue des sols », due à des pathogènes communs à ces cultures (champignons, nématodes...).

De plus, les légumineuses sont des cultures exigeantes en phosphore et potassium. Dans les systèmes avec des légumineuses pluriannuelles exportées telles que la luzerne, il est donc nécessaire de **surveiller les taux de ces éléments dans le sol** et de compenser les exportations par des apports quand nécessaires.

© Agro-Transfert Ressources et Territoires

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agridea; 2011. Dossier fumure azotée des grandes cultures bio sans bétail.
A. Schneider, C. Huyghe, coord. ; 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Ed. Quae COMIFER; 2007. Teneur en P, K, Mg des organes végétaux récoltés pour les cultures de plein champ et les principaux fourrages.

F. Vertès, M.-H. Jeuffroy, E. Justes, P. Thiébeau, M. Corson ; 2010. Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation. Innovations Agronomiques 11, 25-44.

OPTIMISER LA CONDUITE DES LÉGUMINEUSES À GRAINES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

LÉGUMINEUSES
EN CULTURE

Les légumineuses à graines sont des cultures annuelles bénéficiant de la fixation de l'azote de l'air par symbiose. Trois groupes d'espèces se distinguent : les protéagineux (pois sec, féverole, lupin), le soja, classé parmi les oléagineux et les légumes secs (lentille, pois chiche). Cette fiche concerne surtout le pois et la féverole, protéagineux les plus représentés en région Hauts-de-France.

Légumineuses en culture pure

Intérêts des légumineuses à graines

Les légumineuses à graines présentent de nombreux intérêts agronomiques, dont l'apport d'azote au système. Leurs effets sont toutefois variables. Cela se traduit par des rendements plus élevés derrière ces cultures : on observe en moyenne après un précédent pois 6 à 12 q/ha de plus sur blé et jusqu'à 3 q/ha de plus sur colza, par rapport à un précédent blé.

Surplus d'azote attendus après légumineuses (COMIFER, 2013)

Féverole	+ 30 kg N/ha
Pois, haricot et soja	+ 20 kg N/ha

Les légumineuses en culture pure : points-clés

D'après les fiches techniques de l'ITAB.

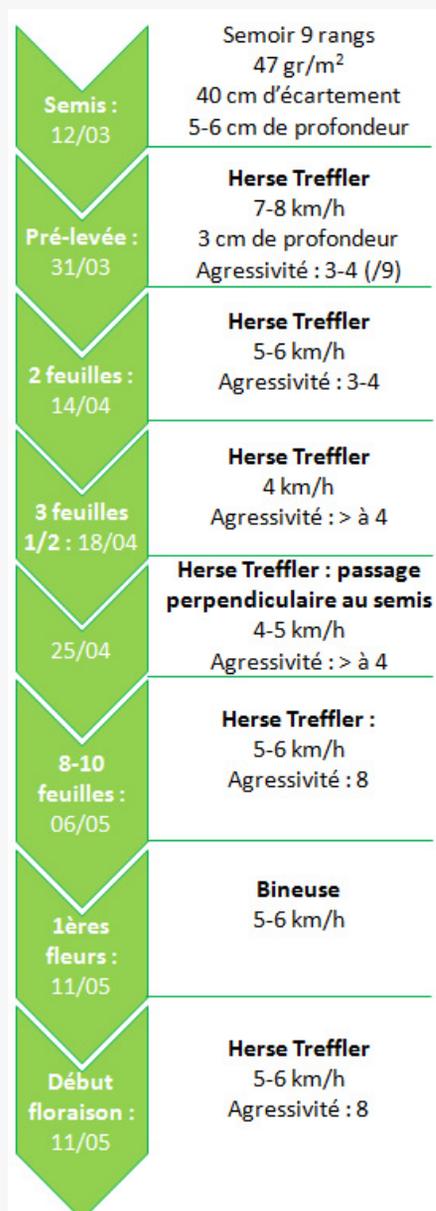
- ☑ Délai de retour d'au moins 5 ans
- ☑ Implantation en situation à faibles reliquats pour optimiser la fixation de l'azote de l'air
- ☑ Implantation sur sol bien structuré pour favoriser les nodosités
- ☑ Des variétés d'hiver plus sensibles aux maladies et au gel que les variétés de printemps, mais moins sensibles aux stress thermique et hydrique
- ☑ Profondeur de semis de 5 à 8 cm pour la féverole d'hiver pour limiter les dégâts de gel
- ☑ Passages de désherbage mécanique répétés : à l'aveugle puis plusieurs passages en fonction du salissement. Binage possible sur féverole (écartement 30-45 cm).

Dans le contexte « Nord » de la France, l'enjeu est de maîtriser l'enherbement. Les légumineuses sont en effet peu couvrantes au démarrage. Le désherbage mécanique apporte des solutions, mais demande de revenir *a minima* 3 fois sur la parcelle pour être efficace et nécessite une bonne maîtrise technique.

Conduite du désherbage mécanique de la féverole en culture pure

Observations 2014 sur une parcelle du réseau Agri-Bio dans une situation avec une pression en adventices forte.

Moyenne sur les années précédentes : 4 interventions.



Règle de décision :
intervenir tant
qu'il y a des levées

Vue de la féverole
en juillet 2015



© G. Salitot

Efficacité globale
du désherbage :
Renouées > 98 %
Folle avoine > 95 %

Avec le soutien financier en 2016 :



Projet coordonné par Agro-Transfert Ressources et Territoires en partenariat avec :



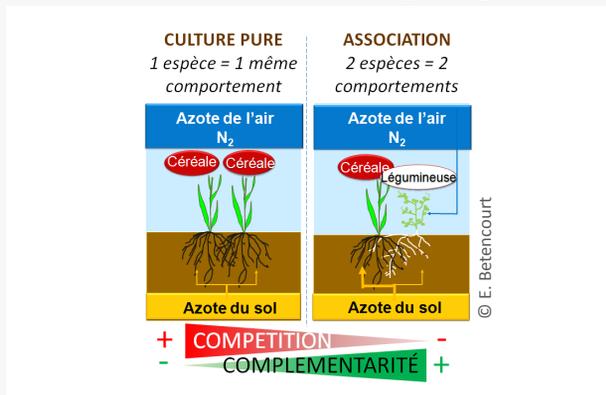
En association avec :



Les associations de cultures, une solution alternative pour la maîtrise du désherbage

Le principe d'une association de cultures est de **maximiser les interactions entre les plantes pour favoriser leur complémentarité** : utilisation de ressources différentes pour la nutrition azotée, modes d'exploration du sol, de couverture du sol et d'accès à la lumière contrastés... La conduite de l'association de cultures va jouer sur cette complémentarité.

Complémentarités pour l'alimentation azotée : cas d'une association céréale + protéagineux



Intérêts des associations de cultures

- Une **diminution de la pression adventices** par rapport à la légumineuse pure, due à une couverture du sol plus rapide et à une compétitivité accrue du couvert.
- Une **productivité plus élevée** : il faudrait en moyenne 1,3 ha de cultures pures pour obtenir la même production qu'1 ha en association.
- Des **taux de protéines en moyenne plus élevés** sur la céréale associée (11,1 % contre 9,8 %).
- Une **sécurisation du revenu** : la présence de la culture associée permet une récolte lorsque le climat est défavorable au protéagineux.



Couverture du sol sur féverole
Observations dans l'Oise en mai 2015

Féverole pure
8 à 10 % de vert



Féverole associée avec de l'avoine en plein
44 % de vert

© Gilles Saltot

Conduite des associations protéagineux + céréales pour sécuriser la production des protéagineux

Premières recommandations tirées des expérimentations sur la conduite des cultures associées.

Place dans la rotation	Privilégier les situations à faibles reliquats pour limiter le développement des céréales Peu de références sur les délais de retour (réduit par rapport au protéagineux pur ?)
Choix des espèces	Favoriser les céréales les moins compétitives pour le protéagineux : triticale ou blé avec féverole, orge ou blé avec pois.
Choix variétal	Variétés de céréales précoces, dont la maturité correspond à celle du protéagineux Variétés de protéagineux qui vont pouvoir attendre sans grainer/germer.
Semis	Dates : mêmes préconisations que sur protéagineux purs. Densités : au moins 80 % de la densité habituelle du protéagineux ; 30 % de la densité habituelle des céréales (à adapter : 20 % si RSH élevé; 40 % si pression adventices élevée) Modalités : semis simultané sauf sur féverole d'hiver pour enterrer la graine. En région Hauts-de-France : Féverole : hiver 30 gr/m ² , printemps 40 gr/m ² Pois protéagineux : hiver 60 gr/m ² , printemps : 70 gr/m ² Orge : 100 gr/m ² - Triticale : 100 gr/m ² Blé : 120 gr/m ²
Désherbage	1 à 2 passages de houe et/ou de herse étrille selon le salissement
Tri	Pour valoriser la récolte plus facilement, certains producteurs effectuent un pré-tri voire le tri à la ferme. Quelques coopératives collectent toutefois la production non triée.

Quelques limites aux associations de cultures

- Pour un même mélange, **la part de chaque culture à la récolte varie selon l'année**. Des ajustements au semis en fonction du reliquat azoté permettent d'orienter *a minima* la composition de la récolte.
- Le reliquat azoté suivant une association est en général plus faible que suivant un protéagineux pur, voire équivalent à une céréale pure en fonction des proportions à la récolte. L'intérêt de l'association réside dans la réponse à la demande de la filière en protéagineux et dans les taux de protéines plus élevés chez la céréale associée.

© Agro-Transfert Ressources et Territoires

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

L. Bedoussac, E.P. Journet, H.Hauggaard-Nielsen, C. Naudin, G. Corre-Hellou, E. S. Jensen, L. Prieur, E. Justes ; 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercropping in organic farming. A review. Agron. Sustain. Dev. COMIFER; 2013. Calcul de la fertilisation azotée - Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales - Cultures annuelles et prairies.

ITAB ; 2011. Fiches La culture des associations céréales/protéagineux en AB ; La culture de la féverole en AB ; Le pois protéagineux en AB.
Réseau APCA Grandes Cultures ; 2016. Sécuriser la culture des protéagineux en agriculture biologique.
A. Schneider, C. Huyghe, coord. ; 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Ed. Quae.

GESTION DE L'AZOTE EN INTERCULTURE PAR DES COUVERTS DE LÉGUMINEUSES

Les légumineuses permettent de mettre à profit la période d'interculture pour introduire des nutriments, notamment de l'azote, dans les systèmes de culture.

Différentes espèces peuvent être utilisées : pois, vesce, féverole, trèfle, lentille, gesse...

Intérêts des légumineuses en interculture



Trèfle incarnat

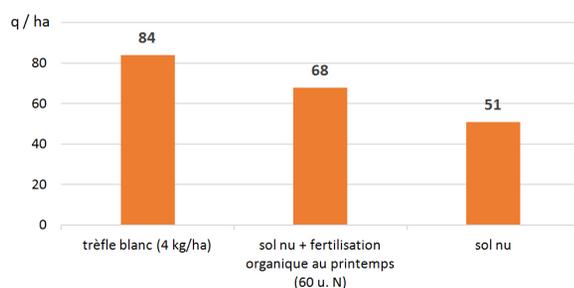
Apport d'azote au système (effet « engrais vert »)

Une tonne de biomasse de légumineuses en interculture restitue en moyenne 10 à 30 unités d'azote après destruction, contre 10 à 20 unités pour les crucifères et 5 à 15 unités pour les graminées (GREN, 2013).

Cette restitution peut s'élever à plus de 100 kg N/ha en cas d'implantation précoce et de destruction tardive. Cela se traduit par un **rendement accru pour la culture suivante**.

L'insertion de couverts a également un effet sur le long terme : une expérimentation de 13 ans en Champagne crayeuse intégrant des couverts chaque année a montré une **augmentation de la teneur en azote organique** de l'horizon labouré et un **surplus de minéralisation** de plus de 36 kg N/ha/an au terme de l'essai. Cette augmentation est toutefois moins rapide pour les légumineuses en lien avec le rapport C/N plus faible de leurs résidus.

Rendements obtenus sur maïs en fonction de la gestion de l'interculture
essais réalisés par la Chambre d'agriculture de l'Oise, 2008-2010)



Intérêts des pesées de biomasse du couvert

Les quantités d'azote disponibles pour la culture suivante peuvent être estimées à partir d'une mesure de la biomasse de chaque espèce du couvert à sa destruction. L'outil MERCI (Chambre d'Agriculture de Poitou-Charentes) a été conçu dans cet objectif.

Limitation des fuites de nitrate (effet « piège à nitrate »)

Avant de fixer l'azote de l'air, les légumineuses captent l'azote du sol : cela permet de **réduire le stock d'azote** lixiviable d'au plus 50 kg N/ha. Leur effet est cependant moindre que celui d'autres espèces (90 kg N/ha pour les crucifères).

Les **mélanges** de légumineuses avec des crucifères ou des graminées sont intéressants car ils ont un effet équivalent aux non légumineuses pour le piégeage de l'azote et un apport d'azote à hauteur de 80-90 % d'une légumineuse pure.

Évolution du stock d'azote minéral du sol au cours du temps pour différents couverts en interculture longue

D'après G. Véricel, 2009, compilation d'essais



- Piégeage de l'azote du sol :**
 - Effet moindre des légumineuses
 - Effet des mélanges équivalent aux non légumineuses à la destruction du couvert
- Libération d'azote pour la culture suivante**
 - Effet supérieur des légumineuses
 - Effet des mélanges proche de celui des légumineuses

Avec le soutien financier en 2016 :



Projet coordonné par Agro-Transfert Ressources et Territoires en partenariat avec :



Éléments de conduite

La conduite du couvert peut être optimisée pour maximiser les services rendus par les légumineuses.

Choix du couvert

- **En fonction de l'historique de la parcelle :** pas de pois, de vesce ou de lentille si historique aphanomyces ; délai de 2 à 3 ans entre légumineuses en interculture et légumes pour minimiser le risque sclérotinia (recommandations FIBL/BioSuisse)

- **En fonction de la durée de l'interculture :** en interculture courte (par exemple de juillet à octobre), favoriser les espèces à développement rapide (vesce, trèfle d'Alexandrie, pois). Inversement, en interculture longue, les espèces ayant un cycle de développement long (trèfles blanc, violet) sont intéressantes pour éviter les grenaisons.

En zone vulnérable (directive cadre sur l'eau), les légumineuses ne sont autorisées qu'en mélange. Des dérogations sont possibles en Agriculture Biologique.

Période de semis

Pour optimiser la fourniture d'azote à la culture suivante, privilégier un **semis précoce** favorisant le développement du couvert.

- **Semis sous-couvert :** après ou avec le dernier passage de désherbage mécanique, au stade tallage/début de montaison. Adapté uniquement pour les espèces à développement lent, qui ne vont pas monter à graines dans la culture, et pour des espèces à petites graines ne germant pas en profondeur (cas du trèfle blanc nain). Attention aux plantes trop concurrentielles. A éviter si climat sec au printemps (risque de mauvaises levées).

- **Semis d'été :** travailler le sol rapidement après la moisson puis semer aussitôt pour éviter le dessèchement et permettre un développement suffisant du couvert. Plutôt pour les légumineuses à grosses graines (vesce, pois, féverole, lentille) ou trèfles à installation rapide (trèfle d'Alexandrie). Au Nord de la Loire, semis **autour du 15 août** pour un développement correct.

Profondeur de semis

Les espèces à grosses graines (vesce, pois, féverole, lentille) doivent être enfouies à 3-4 cm de profondeur pour favoriser leur germination. Les espèces à petites graines (trèfles blanc et violet) peuvent être semées à la volée, avec cependant un risque de développement non homogène du couvert.

Modalités de destruction

- **Éviter la lignification du couvert** pour ne pas avoir d'effet dépressif (« faim d'azote ») sur la culture suivante. S'il est trop vigoureux, le faucher lorsqu'il atteint le stage bourgeon ou première fleur.

- **Date de destruction à raisonner pour faire correspondre la minéralisation des résidus avec l'absorption de la culture et limiter les pertes.** Dans le cas d'une légumineuse, la minéralisation se fait rapidement : **favoriser une destruction tardive** (1 à 2 mois avant le semis).

- **Adapter la date de destruction au type de sol :** sur sol lourd, la minéralisation est ralentie, une destruction précoce est donc recommandée, et inversement sur sols légers.

Remarque : comme la luzerne, le trèfle blanc et le trèfle violet libèrent de l'azote jusqu'à deux ans après la destruction. Des précautions sont à prendre pour gérer le surplus d'azote généré (voir fiche «pertes»).

Conduite d'un trèfle blanc nain semé sous couvert - Observations sur le réseau Agri-Bio en 2014



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agridea ; 2011. Dossier fumure azotée des grandes cultures bio sans bétail.
ITAB ; 2013. Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB.
A.Schneider,C.Huyghe,coord.;2015.Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Ed. Quae.
ITAB/Arvalis Institut du végétal ; 2009. Actes de la journée technique «Grandes Cultures biologiques».

G. Véricel ; 2013. Utilisation de légumineuses comme couverts pendant la période d'interculture : étude de leurs impacts environnementaux, agronomiques et économiques. Mémoire de fin d'études.
E. Justes, N. Beaudoin, P. Bertuzzi, R. Charles, J. Constantin, et al. ; 2013. Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable. Ed. Quae.

OPTIMISER LES APPORTS D'ENGRAIS ORGANIQUES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Les produits résiduels organiques (PRO) constituent une source importante d'azote en AB. Ils ont diverses origines : effluents d'élevage (fumier, lisier), co-produits de l'industrie agro-alimentaire (farines de viande ou de plumes; vinasses; digestats de méthanisation), déchets urbains (composts de déchets verts, d'ordures ménagères). Ils peuvent avoir subi des traitements : compostage, conditionnement sous forme de bouchons pour les fientes... et sont soumis à des procédures de contrôle (guide de lecture INAO).

L'enjeu en AB est d'optimiser les apports des PRO pour répondre aux besoins de la culture, ce qui est d'autant plus complexe que la quantité d'azote réellement présente dans l'engrais et sa dynamique de libération sont difficiles à estimer. En effet, dans les PRO, une part de l'azote est sous forme organique nécessitant d'être minéralisée pour être utilisable par la plante. La proportion d'azote ammoniacal, facilement assimilable, varie de 0 à 80 % en fonction des produits.

Engrais ou amendements organiques ?

Effet long terme ou court terme

Les produits organiques peuvent être distingués en fonction de leurs effets sur la parcelle. Les **engrais organiques** libèrent de l'azote à **court terme** : 30 à 80 % de l'azote du produit sera utilisable l'année qui suit l'apport. Les **amendements organiques** ont des effets fertilisants sur le **long terme**, ainsi que des effets positifs sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. La fraction azotée est fortement organisée et ne se libère que très progressivement (10 à 15 % l'année de l'apport). Ces produits ont donc des **effets complémentaires**, à combiner à l'échelle de la rotation.

Les produits organiques introduisent dans les parcelles en AB des éléments autres que l'azote : phosphore, potassium et autres oligoéléments. Des apports raisonnés en fonction de la rotation permettent d'éviter les carences.

Caractérisation des produits

Pour évaluer la valeur amendante ou fertilisante d'un produit, le rapport C/N total est couramment utilisé. Il n'est pas le seul indicateur à retenir car il ne prend pas en compte les formes dans lesquelles le carbone et l'azote se trouvent. Deux autres caractéristiques sont ainsi à considérer pour expliquer la vitesse de minéralisation :

- la **stabilité de la matière organique du produit**, liée à sa teneur en lignine, cellulose, hémicellulose et en sucres solubles

- sa **teneur en azote organique et minéral**

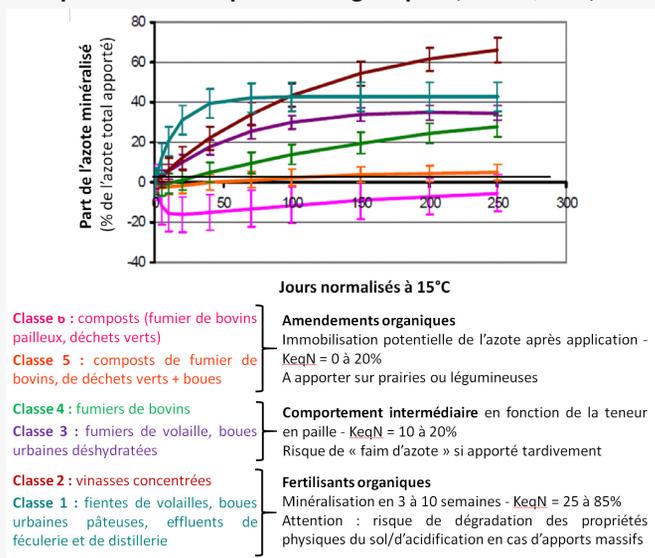
La connaissance de la **dynamique de minéralisation** est essentielle pour optimiser la gestion de la fertilisation.

Si des courbes de référence existent (voir ci-dessous), **seule une analyse permettra de déterminer les caractéristiques réelles du produit.**

L'Indice de Stabilité de la Matière Organique (ISMO)

Cet indice a été étalonné sur un large panel de produits. En plus de la caractérisation biochimique du produit, il prend en compte sa minéralisation après trois jours d'incubation en conditions contrôlées. Il permet de prédire le comportement de la plupart des amendements organiques.

Dynamique de minéralisation de l'azote pour différents produits organiques (Bouthier, 2009)



Mesures réalisées au champ sous sol nu - KeqN : coefficient d'équivalence engrais azotés.

Les produits de classes 1 et 2 se minéralisent rapidement dans les deux mois suivant application, alors que les produits de classes 5 et 6 minéralisent sur plus d'une année et ont tendance à immobiliser l'azote du sol. Par ailleurs, certains produits contiennent des quantités d'azote proches mais ont des cinétiques de minéralisation différentes ; de ce fait l'azote libéré sera disponible à des moments différents (cas des fientes par rapport aux fumiers de volaille).

Optimiser la fertilisation par les engrais organiques

L'effet fertilisant du produit dépend de ses caractéristiques, mais aussi du contexte pédoclimatique et des conditions d'application.



Compost

Caractéristiques du sol

Les sols argileux et/ou calcaires possèdent des potentiels de minéralisation de l'azote plus faibles que les sols limoneux et sableux. Les dates et formes d'apport sont donc à raisonner en fonction du type de sol. De plus, les pH inférieurs à 5,5 inhibent la minéralisation de l'azote. La **correction de l'acidité du sol** permet de solutionner ce problème.

Forme d'apport

Plus l'engrais est fin, plus sa minéralisation sera rapide : les formes liquides minéralisent plus vite que les farines qui elles-mêmes minéralisent plus vite que les granulés. Par ailleurs, le séchage, la déshydratation ou les traitements des digestats diminuent la valeur fertilisante du produit : pertes d'ammonium dans la phase liquide, par volatilisation et organisation de l'azote au cours du compostage.

Période d'apport

Elle est à optimiser pour **faire concorder le pic de minéralisation avec les besoins de la culture** : application des produits à libération rapide au printemps, application précoce des fumiers (à la fin de l'été sur couverts, au printemps sur cultures à implantation tardive), composts à appliquer plutôt sur prairie ou légumineuses (risque d'immobilisation de l'azote).

Matériel d'épandage

Privilégier la **précision du matériel** pour obtenir la dose voulue sur la parcelle et avoir une répartition homogène. Une certification « éco-épandage » existe depuis 2014 pour garantir la précision du matériel et la protection du sol contre le tassement. Elle reste toutefois peu répandue.

Incorporation du produit

Les fumiers, lisiers et digestats liquides sont à incorporer immédiatement après épandage pour ne pas perdre d'azote par **volatilisation** (pertes allant jusqu'à 60 % en 8 jours).

Les fumiers et composts appliqués post-récolte doivent également être incorporés pour limiter le risque de pollution par **ruissellement**. Sur les sols compactés, privilégier une incorporation superficielle pour éviter une asphyxie du sol.

Gestion post-récolte

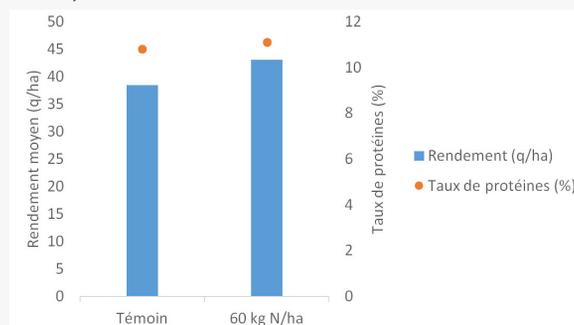
L'implantation d'un **couvert** sur l'interculture suivant l'application d'un produit organique est nécessaire pour éviter de perdre l'azote minéralisé. La minéralisation se poursuit en effet jusqu'à l'automne et les quantités d'azote libérées à l'interculture sont importantes, surtout si le printemps a été sec.

Intérêt économique de la fertilisation

L'utilisation de fertilisants organiques n'apporte pas systématiquement de gains de rendements. Il est nécessaire d'intégrer dans le raisonnement des apports les facteurs limitants comme la présence des adventices. Le gain de rendement, s'il existe, ne compense pas forcément le prix d'achat des engrais organiques. Par ailleurs, l'augmentation du taux de protéines suite aux apports reste limitée. La minéralisation des précédents comme les légumineuses constitue une source d'azote plus accessible pour les plantes.

Effet moyen d'un apport d'azote sur blé au tallage

Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne, synthèse de 49 essais en AB de 1999 à 2014



L'outil Decid'Org, conçu la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne, aide à évaluer l'intérêt d'un apport de produit organique sur blé : en fonction du contexte de la parcelle (sol, climat, reliquat sortie hiver, pression adventice) et du coût des engrais organiques, il estime la rentabilité d'un apport au printemps et la dose à apporter. Il est adapté aux sols limoneux et argilo-calcaire sans irrigation.

© Agro-Transfert Ressources et Territoires

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agridea ; 2011. Dossier fumure azotée des grandes cultures bio sans bétail.
L. Fontaine, A.-L. Toupet (coord.) ; nov-déc 2015. Dossier : Optimiser l'azote en Grandes cultures Bio, AlterAgri.
INAO, MAAF ; avril 2016. Guide de lecture des règlements communautaires européens n° 834/2007 et du RCE n° 889/2008.

S. Houot, M.-N. Pons, M. Pradel, E. Savini, A. Tibi ; 2014. Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier - Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Synthèse de l'expertise scientifique collective. INRA, DEPE.
ITAB/Arvalis Institut du végétal ; 2009. Actes de la journée technique «Grandes Cultures biologiques».

Document issu du projet Agri-Bio : de la connaissance à la performance