

# LA GAZOTE

## La gazette de l'azote

SEPTEMBRE 2019 - DÉCEMBRE 2022 | ARTICLES EN GRAND EST



**PARTAGE**  
Pour boucler le cycle de l'azote

avec le soutien financier de



### SOMMAIRE

- Présentation du projet PARTAGE
- Azote et qualité de l'air
- Apports d'azote efficaces
- De l'azote gratuit grâce aux légumineuses
- Méthanisation : une nouvelle source d'azote
- Zoom sur la campagne 2022

### PRÉSENTATION DU PROJET PARTAGE

## L'azote cette ressource précieuse : comment gagner en autonomie et quelles perspectives pour les systèmes de culture ?

Le Programme Agronomique Régional pour la Transition Agro-écologique en Grand Est (PARTAGE) a tenté de répondre à cette problématique. Il a été élaboré avec 21 partenaires acteurs du territoire sous le pilotage de la Chambre régionale d'agriculture Grand Est dans le cadre d'un Partenariat Européen à l'Innovation (PEI).

**Le mot de Pascal Collard**  
Président du comité de pilotage PARTAGE

« Limiter la consommation d'énergie et les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) est un enjeu majeur pour notre agriculture. En effet, la fertilisation azotée est le premier poste responsable de ces émissions sur nos exploitations en Grand Est. Il est donc primordial, dans un contexte actuel de changement climatique, de limiter les pertes azotées dans l'eau et dans l'air de nos systèmes agricoles tout en renforçant la compétitivité de nos exploitations et en accompagnant les changements de pratiques dans le cadre de la transition agro-écologique. »



### Et la gazote dans tout ça ?

Retrouvez dans *La Gazote* l'ensemble du contenu des newsletters de notre PEI PARTAGE intitulée : La Gazote, la gazette de l'azote !

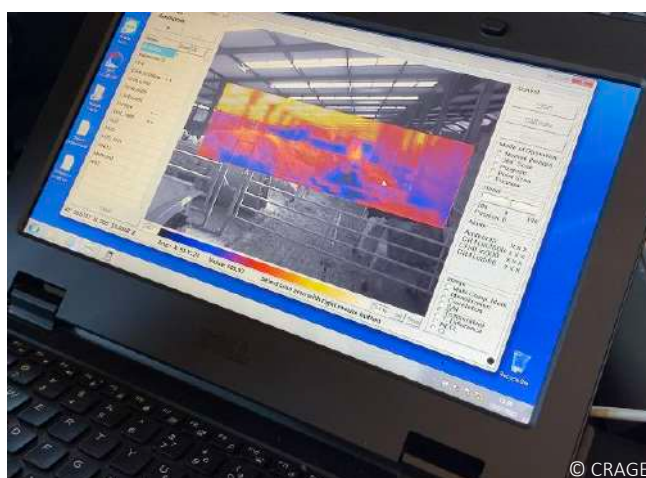
Au programme : partage d'expériences et de connaissances sur l'azote grâce à un réseau d'experts du Grand Est. Si vous souhaitez suivre les travaux partagés et approfondir vos acquis sur l'azote, vous pouvez vous inscrire en vous rendant au dos de cette Gazote afin de ne rien manquer.

### LIVING LAB



Les partenaires du projet PARTAGE ont travaillé avec une 60aine d'agriculteurs, retrouvez leurs témoignages au fil des pages !

Des conseillers qui tâtent le terrain avec vous :D



### EFFICIENCE DES SYSTEMES

Trouver des solutions innovantes pour limiter les pertes d'azote sur l'exploitation

### MATIÈRE ORGANIQUE



Gérer la matière organique à l'échelle territoriale : exemple de projets collectifs de méthanisation



### LÉGUMINEUSES

Produire de l'azote au champ par les légumineuses



On veille au grain avec nos légumineuses made in Grand Est ;)

avec le partenariat de



© Unsplash



# État des lieux de la qualité de l'air en Grand Est : quel lien avec l'agriculture ?

Comme différents secteurs d'activité, l'agriculture est concernée par le sujet de la qualité de l'air. Les interactions entre l'activité agricole et les émissions de polluants atmosphériques constituent un sujet montant en matière de réglementation. Le secteur agricole est notamment concerné par les émissions d'ammoniac, un précurseur de particules fines.

## Pollution de l'air : qu'en est-il en Grand Est ?

La baisse des émissions amorcée il y a plusieurs années, à la suite de la mise en place de différentes stratégies et plans d'actions au niveau de la région Grand Est, a permis une amélioration globale de la qualité de l'air. Depuis 2010, les niveaux en fond urbain dans le Grand Est pour le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) montrent une tendance générale à la baisse (de -35% à -50%), excepté pour l'ozone (O<sub>3</sub>), dont les niveaux dépendent, entre autres, des conditions d'ensoleillement et des niveaux de composés précurseurs de l'ozone dans l'air (Figure 1). Des dépassements de seuils réglementaires de qualité de l'air pour la protection de la santé humaine à court terme (épisodes de pollution en PM10 et O<sub>3</sub>) et long terme sont toutefois encore observés sur la région Grand Est.

Afin de poursuivre les démarches d'amélioration de la situation de la qualité de l'air dans le Grand Est, il est nécessaire d'agir sur les émissions de ces polluants réglementés, notamment sur les secteurs qui en sont les principaux émetteurs : NO<sub>2</sub> (trafic - 54 %) ; PM<sub>10</sub> (agriculture - 46%) ; PM<sub>2,5</sub> (résidentiel tertiaire - 59%) ; SO<sub>2</sub> (industrie - 66%).

Source : Atmo Grand Est - Invent'Air v2021 - Année de référence 2019

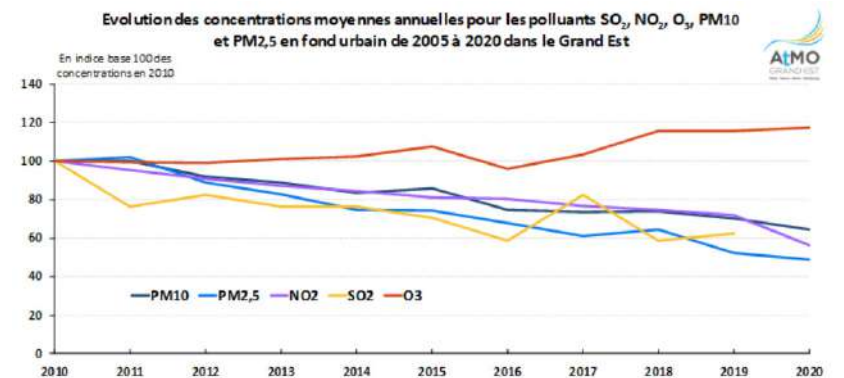
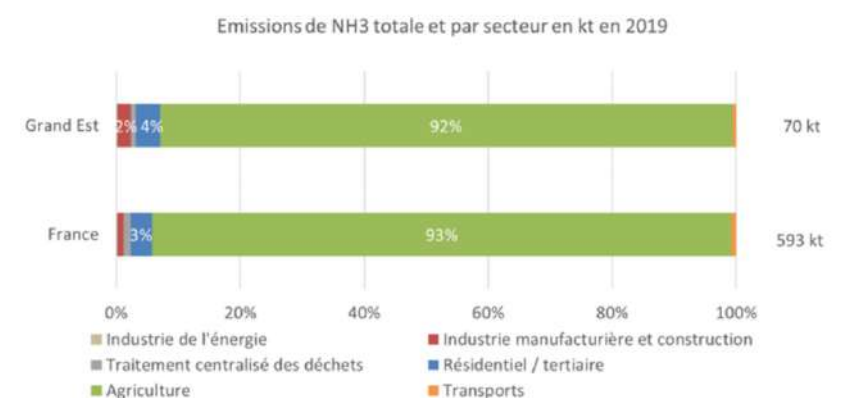


Figure 1 : Evolution des concentrations moyennes annuelles en Grand Est de différents polluants réglementés

## Et l'agriculture dans tout ça ?

Parmi les polluants atmosphériques, le NH<sub>3</sub> est à plus de 90% issu du secteur agricole, ce constat s'observe au niveau national et régional (Figure 2).

Le NH<sub>3</sub> fait partie des polluants atmosphériques ciblés dans le Plan national de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) découlant des directives européennes sur la réduction des émissions. Contrairement à d'autres polluants, les émissions de NH<sub>3</sub> dans l'air ne diminuent pas sur ces 15 dernières années (Figure 3).

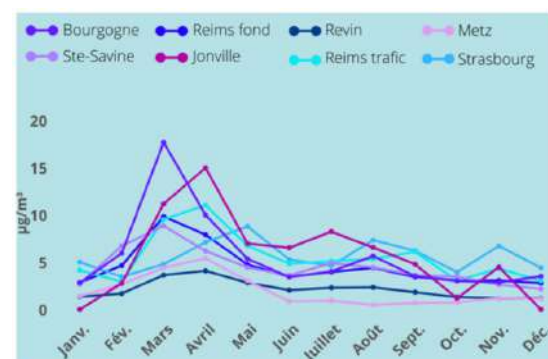


Source : CITEPA et ATMO Grand Est Invent'air V2021

Figure 2 : Répartition par secteur d'activité des émissions de NH<sub>3</sub> à l'échelle régionale et nationale

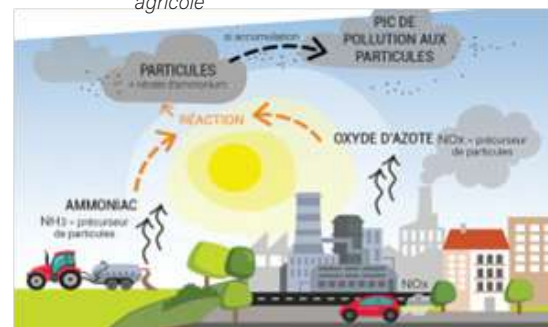
## Zoom sur le NH<sub>3</sub> et la composition des particules lors des pics de pollution

Le NH<sub>3</sub> présente une variation mensuelle marquée (Figure 4) : les niveaux sont plus élevés entre février et fin avril sur la région, période associée aux activités agricoles de fertilisation azotée. De plus à cette période, les températures sont froides la nuit et le matin. Avec l'apparition du soleil, l'atmosphère se réchauffe alors plus vite en altitude qu'au niveau du sol et l'air ne peut pas s'élever (car c'est l'air chaud qui monte !). Les polluants sont alors piégés dans la basse atmosphère que nous respirons.



Source : Figure 4 : Evolution des concentrations de NH<sub>3</sub> au cours de l'année

Figure 5 : Formation d'un épisode de pollution atmosphérique avec contribution du secteur agricole



Au printemps, cette présence importante de NH<sub>3</sub> dans l'atmosphère peut contribuer à la formation de particules fines. En effet, l'ammoniac va réagir avec l'acide nitrique, formé à partir des oxydes d'azote principalement émis par le trafic routier, pour former du nitrate d'ammonium. Ces particules s'ajoutent aux autres particules présentes dans l'atmosphère, ce qui peut conduire à des dépassements des valeurs limites. Durant ces épisodes de pollution printaniers, ce type de particules peut représenter jusqu'à 45 à 50% des PM<sub>10</sub> (Figure 5).

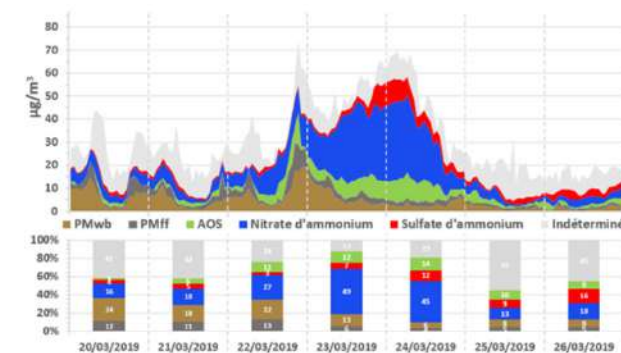


Figure 6 : Suivi temporel de l'estimation des composés majoritaires des particules PM10 lors d'un épisode de pollution de l'air du 23 au 24 mars 2019

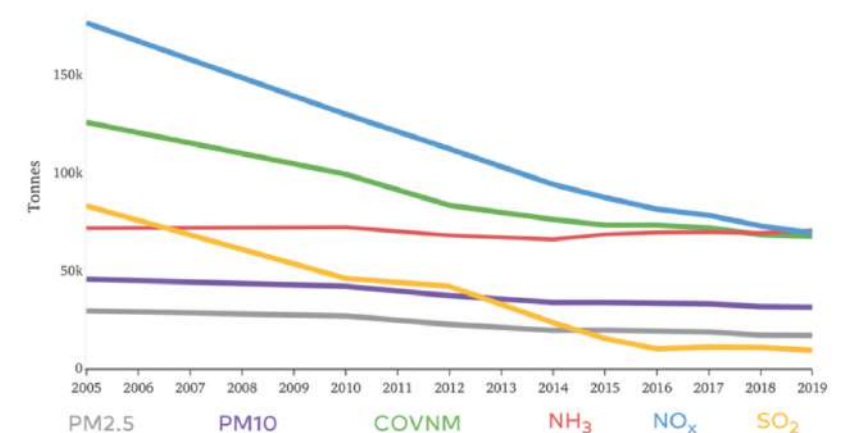


Figure 3 : Evolution des émissions des polluants atmosphériques dans le Grand Est (en tonnes).

Source : chiffres clés 1 clin oeil 2019 reg Grand Est.pdf (atmo-grandest.eu)

Lors d'un épisode de pollution atmosphérique, un arrêté inter-préfectoral prévoit des mesures à appliquer pour chaque secteur d'activité en cas de dépassement de seuil de concentration réglementaire. Suivant le type d'épisode, les mesures à appliquer peuvent cibler différents secteurs d'activités. Lorsque l'agriculture est concernée par un épisode, des mesures spécifiques aux activités agricoles sont appliquées.

Mélodie Chatain, Emmanuel Jantzen et Eve Chrétien d'ATMO Grand Est - Février 2022

# Météorologie : comment mesure-t-on la volatilisation de l'azote ?

Sur 3 sites expérimentaux en Grand Est (lycée agricole d'Obernai, plateforme de l'ALPA d'Haroué et Terrasolis Farm), 4 méthodes de mesures centrées sur les émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) sont déployées et combinées, pour répondre à un double objectif :

- Evaluer des pratiques dans différentes conditions pédoclimatiques de notre région
- Tester et croiser différentes méthodes de mesures afin de les adapter au secteur agricole

ÉPANDAGE



Figure 1 : Soucoupe contenant les badges alpha installés dans une parcelle de maïs à Haroué - © CRAGE

## Quels types de mesures ?

### Les badges ALPHA : faciles de mise en œuvre

Les badges ALPHA (Figure 1) sont des capteurs passifs installés en champs et mesurant la concentration de NH<sub>3</sub> par accumulation sur des filtres de papiers imprégnés d'acide sur une durée donnée. Les badges sont installés sur le lieu d'émission (mesure de proximité en milieu de parcelle) et aux alentours (bruit de fond).

Facile de mise en œuvre, les concentrations mesurées sont ensuite modélisées par l'INRAE pour obtenir une estimation des émissions à l'épandage à l'échelle de la parcelle (kg NH<sub>3</sub>/ha). Ce type de mesures a, par exemple, été utilisé dans notre région dans le projet Interreg Innov. AR.





**Les micro-capteurs : petits et mobiles**

Les micro-capteurs de gaz et particules (Figure 2) constituent des outils émergents permettant la mesure des concentrations avec un avantage de miniaturisation et de mobilité (alimentation par batterie). Le micro-capteur utilisé pour la mesure du NH<sub>3</sub> est un système intégré constitué d'une cellule de mesure haute performance de type électrochimique, d'un système de prélèvement d'air dynamique et filtration breveté. L'utilisation du micro-capteur permet de fournir des concentrations de NH<sub>3</sub> tous les ¼ d'heure en plein champ.

Figure 2 : Micro-capteurs © Atmo Grand Est



**ÉPANDAGE**



**Les télédétections infrarouges et thermiques : visualiser en 2D/3D les pertes d'azote**

Le dispositif utilisé couple un scanner de télédétection par émission infrarouge et 3 caméras thermiques haute résolution. Les 3 caméras localisent l'enveloppe du nuage de gaz. Ces signaux sont interpolés pour en donner une image en 3 dimensions. Le scanner infrarouge balaye l'enveloppe du nuage pour identifier et quantifier les différents composés gazeux présents. L'ensemble de ces signaux infrarouges et thermiques permet d'aboutir à une représentation et distribution en 3D instantanées, des différents composés gazeux présents dans le nuage (Figure 5).

**ÉPANDAGE**



**BÂTIMENT**



**STOCKAGE**



Figure 5 : Illustration de la télédétection par infrarouge lors d'un épandage de fumier © CNRS



Figure 3 : Prélèvement d'air en bâtiment bovin par la méthode simplifiée © CRAGE

Figure 4 : Tube doseur passif © IDELE

**BÂTIMENT**



**Méthode simplifiée : rapide et ponctuelle !**

Les mesures sont faites grâce à des prélèvements d'air ambiant de courte durée. L'air est prélevé au travers d'une pompe dans un sac d'échantillonnage étanche facilement transportable alors que l'expérimentateur circule dans les différentes parties du bâtiment (Figure 3). Ce sac permet le stockage de l'échantillon d'air prélevé jusqu'à son analyse. Pour échantillonner un air représentatif de l'ambiance du bâtiment, les prélèvements sont effectués à une hauteur de 2 m. L'air collecté est ensuite analysé soit en connectant les sacs à un analyseur automatique (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O ainsi que CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub> sont alors mesurés), soit en le prélevant du sac avec une pompe pour l'analyse directe d'un gaz spécifique (NH<sub>3</sub> dans notre cas) avec un tube doseur passif.

Dans le cadre de PARTAGE, le NH<sub>3</sub> et le méthane (CH<sub>4</sub>) seront recherchés cette année. Le couplage avec les autres systèmes de mesures permet une analyse quantitative du panache atmosphérique. Ce dispositif a été développé par le CNRS et c'est la 1ère fois qu'il est testé en milieu agricole.

Ces différents dispositifs sont donc déployés sur les sites expérimentaux afin d'évaluer :

- Des leviers d'action permettant de limiter les pertes gazeuses en bâtiment bovin et au stockage des effluents tels que l'influence de la fréquence de raclage, le taux de paille ;
- Des pratiques au champ dans différents contextes pédoclimatiques : comparaison d'application de différentes formes de fertilisants minéraux, d'épandage de différentes formes de matières organiques, dont des digestats, et/ou avec différents agroéquipements ou conditions d'application (par exemple, l'influence de la présence d'un couvert).

Laetitia Prevost (Chambre d'agriculture Grand Est), Xavier Verge (Idele), Eve Chrétien (Atmo Grand Est), Philippe De Donato (CNRS) - Janvier 2022

**APPORTS D'AZOTE EFFICACES**

**Choisir la forme de l'engrais minéral et optimiser l'efficacité de l'azote**

Toute fuite d'azote hors du système sol-culture diminue l'efficacité de l'engrais minéral azoté et conduit à devoir apporter davantage d'engrais pour obtenir un même rendement. Les pertes d'azote induisent donc des pertes économiques et des impacts environnementaux sur l'air et l'eau. Le choix de la forme de l'azote dans les engrais pour chaque situation (culture, période, conditions d'épandage) est important pour optimiser l'efficacité.

Le prix de la forme d'engrais est un facteur déterminant du choix. Généralement, la solution azotée est moins chère que les formes solides et la fabrication de l'urée est moins coûteuse que l'ammonitrate. En décembre 2021, le prix de l'unité d'azote en livraison Marne était de 2 € pour l'urée, 2,10 € pour la solution 39, 2,30 € pour l'ammonitrate 33,5 et 2,40 € pour l'ammonitrate 27. Les prix sont aussi à mettre en regard de l'efficacité de l'azote de l'engrais, c'est-à-dire la quantité absorbée par la culture par rapport à celle apportée par l'engrais. L'efficacité a en général un effet positif sur le rendement et parfois sur la qualité (protéines blé par exemple).

**Les formes ammoniacales volatiles et les formes nitriques lixiviables**

La forme uréique se transforme rapidement en ammoniac dès que la température du sol dépasse 10°C (Figure 1). La forme ammoniacale (ammoniac) est transformée en forme nitrique (nitrate) en sol neutre, aéré, humide et pour une température du sol supérieure à 15°C. Les plantes absorbent par les racines de préférence les nitrates, mais elles peuvent aussi prélever de l'ammoniac. L'ammoniac est volatilisé quand il est en contact avec l'air. Le nitrate, soluble, risque d'être lixivié en cas de lame d'eau drainante. Il existe aussi un risque de dénitrification, qui est la transformation du nitrate en protoxyde d'azote ou diazote en conditions d'excès d'eau dans le sol, ce qui entraîne une perte gazeuse également.

Il existe des engrais contenant des additifs pour modifier la vitesse des transformations chimiques des différentes formes. Ils peuvent être utilisés pour faire coïncider l'azote disponible dans le sol avec les besoins en azote de la culture, pour limiter les pertes. Les inhibiteurs d'uréase bloquent la transformation de l'urée en ammoniac pendant une à deux semaines, temps suffisant pour que l'urée, qui est soluble, soit entraînée dans le sol avec une pluie.

Les pertes d'ammoniac peuvent ainsi être limitées. Les retardateurs de nitrification limitent la vitesse de transformation de l'ammoniac en nitrate. Ils ont un effet de 6 à 8 semaines, dans le but de limiter lixiviation et dénitrification. Les engrais enrobés libèrent progressivement l'azote à travers la coque du granulé. Selon les produits, l'effet est de quelques semaines à quelques mois, dans le but de limiter la volatilisation et la lixiviation.

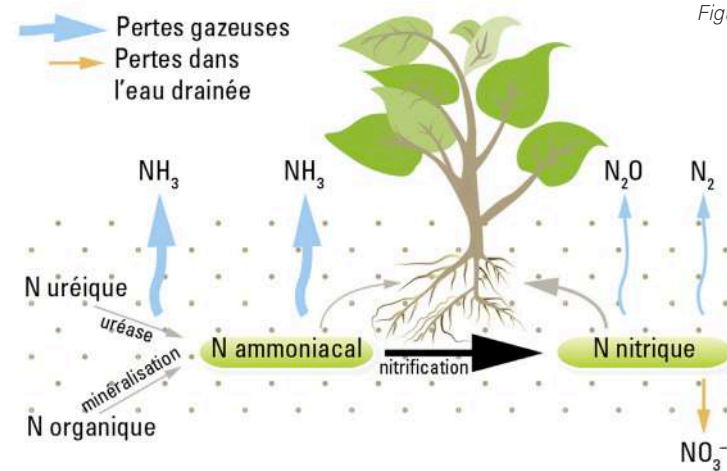


Figure 1

**L'ammonitrate, l'engrais le moins sujet à volatilisation**

Le risque de volatilisation de l'azote de la solution azotée est supérieur à celui de l'ammonitrate étant composé en proportion différente de forme ammoniacale et nitrique (Figure 1).

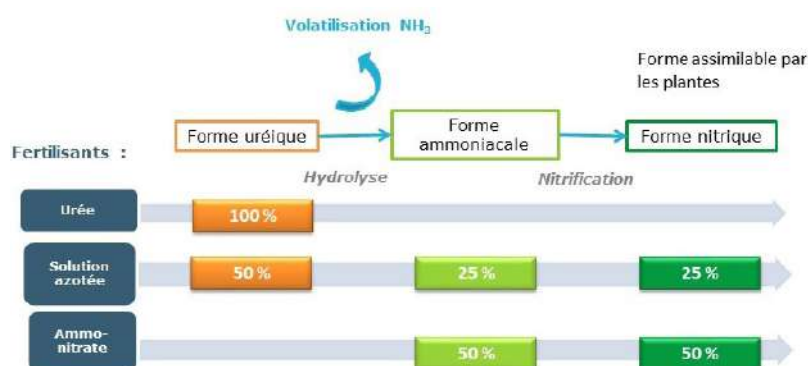


Figure 2 : Les différentes formes d'azote dans les fertilisants

Tableau 1 : Pertes potentielles par volatilisation de différents types d'engrais

Exemple : pour un apport de 80u sur blé			
Type d'engrais	% pertes potentielles d'azote sous forme NH <sub>3</sub>	kgN sous forme NH <sub>3</sub> potentiellement volatilisable /ha	Soit en €/ha
Urée 46	20%	16kg N-NH <sub>3</sub>	32 €/ha
Solution azotée 39	10%	8 kg N-NH <sub>3</sub>	18,4 €/ha
Ammonitrate 33,5	3%	2,4 kg N-NH <sub>3</sub>	5,5 €/ha

Prix de l'unité d'N :  
Urée : 2€/uN  
Solution azotée : 2,10€/uN  
Ammonitrate : 2,40€/uN  
Données moyennes partenaires PARTAGE.

Par conséquent l'ammonitrate est plus efficace que la solution, ce qui a été vérifié par des essais de plusieurs structures en Grand Est (Arvalis, coopératives...). A titre d'illustration, le tableau 2 montre l'écart de rendement du blé en faveur de l'ammonitrate par rapport à la solution azotée, ainsi que l'écart du taux de protéines, mesurés par Cérésia dans 15 essais. L'année 2018, plus humide lors de la fertilisation, conduit à un écart plus faible car la volatilisation a été limitée par la pluie qui a permis l'incorporation plus rapide de l'ammoniac dans le sol.



Le risque de volatilisation de l'azote de l'urée est supérieur à celui de l'ammonitrate particulièrement en sol calcaire. La figure 3 montre les courbes de réponse du rendement à l'azote, moyennes, obtenues sur 51 situations en rotation colza blé orge comparant ammonitrate et

Tableau 2 - Essais Cérésia

	2017	2018	2019	2020	2021
Ecart de rendement	+4,9 q	+1,6 q	+5,2 q	+6,1 q	+5,1 q
Ecart de taux de protéines	+1,1 %	+0, %	2,4 €/ha	+0,9 %	+1,5 %

urée. L'urée a un facteur de volatilisation supérieur à celui de la solution azotée, mais pour autant l'efficacité de la solution azotée est inférieure, liée a priori à la forme physique (liquide, solide).

L'effet des engrais avec additif est variable selon le produit et le contexte d'apport, notamment la culture, comme l'illustre le tableau 2.

Tableau 3 - Fiches « fertilisants » Arvalis (Nexen : inhibiteur d'uréase)

	Nexen/ammonitrate	Nexen/urée
Ecart de rendement blé	+0,7 q	+1,6 q
Ecart de taux de protéines blé	-0,02 % non significatif	+0,29 %
Ecart de rendement maïs		+1,9 q non significatif

L'ammonitrate est donc à privilégier pour les situations où le risque de volatilisation est élevé : sol calcaire, températures élevées, sol sec, sol nu. Compte tenu du surcoût des engrais avec additif, se référer par exemple aux fiches Arvalis pour connaître leur réelle efficacité. Les additifs à la solution azotée ont également fait l'objet d'expérimentations, mais leur effet est très limité.

**Quand apporter l'azote en saison et quel impact ?**

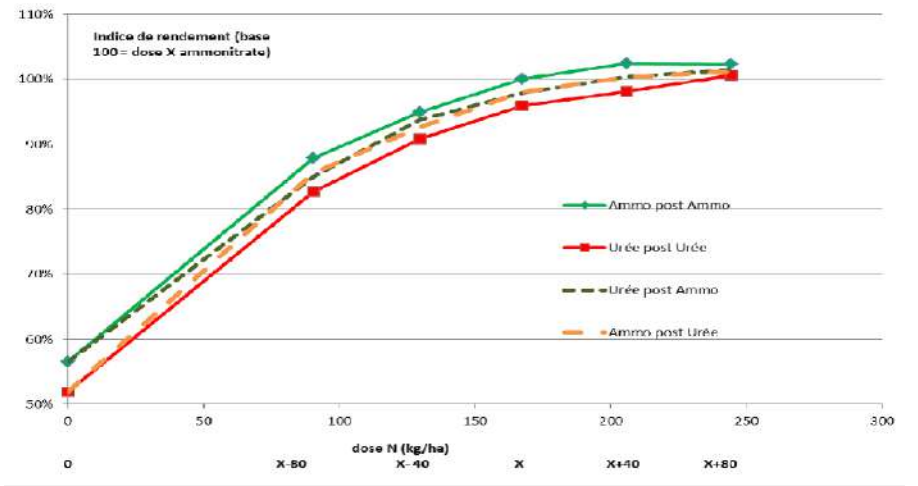
Les fuites d'azote impliquent des impacts environnementaux sur la qualité de l'eau et de l'air mais également des impacts économiques sur les exploitations. Les pertes par volatilisation peuvent être limitées par le choix de la forme de l'azote et la prise en compte des conditions d'apports (pH élevé, CEC faible et faible humidité de surface maximisent la volatilisation) et des conditions climatiques (températures élevées, vent fort et absence de précipitation dans les 3 jours suivant l'apport maximisent également la volatilisation).

Par exemple, sur un sol crayeux à pH de 8,3, c'est jusqu'à 26 unités d'azote qui peuvent être perdues pour 100 unités apportées en solution azotée.

Source Arvalis - Fiches Arvalis : [http://www.fiches.arvalis-infos.fr/liste\\_fiches.php?fiche=ferti&type=EA](http://www.fiches.arvalis-infos.fr/liste_fiches.php?fiche=ferti&type=EA)

Figure 3

Réseau 2003-2012 : 4 Modalités synthèse de 12 essais et 51 Situations selon la forme N sur 3 cultures



Légende Figure 3 - Lambert et al, 2013 :

- Vert : ammonitrate l'année de l'essai avec un passé de fertilisation d'ammonitrate chaque année
- Rouge : urée l'année de l'essai avec un passé de fertilisation d'urée chaque année
- Vert pointillé : urée l'année de l'essai avec un passé de fertilisation d'ammonitrate chaque année
- Orange pointillé : ammonitrate l'année de l'essai avec un passé de fertilisation d'urée chaque année

**Ainsi, pour être plus efficace, il faut actionner différents leviers :**

- Choisir les meilleures conditions « météo » au moment de l'apport
- Prévoir une partie de ses apports avec une forme moins sensible à la volatilisation (ammonitrate ou urée avec technologies « retard ») dans le cas où la pluviométrie est incertaine
- Être en adéquation avec les besoins des plantes (voir article sur le pilotage intégral de la fertilisation azotée du blé ci-dessous)



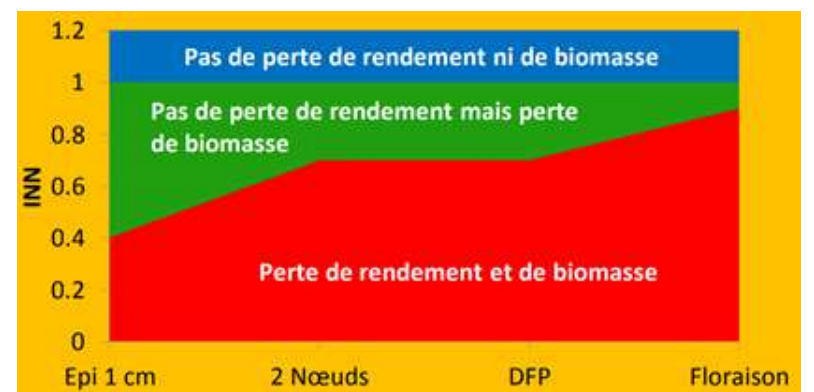
Anne Schaub, Gautier Guerle (Cérésia), Olivier Samson (EMC2), Philippe Gérard (Vivencia) - Janvier 2022

# Pilotage intégral de l'azote sur blé : plus d'efficacité pour moins de pertes

## Principe des méthodes de pilotage intégral

Pour apporter la bonne dose au regard des besoins de la plante, différentes méthodes de pilotage intégral de la fertilisation azotée se développent.

Citons par exemple la méthode INN (Indice de Nutrition Azotée) qui consiste à mesurer l'état de nutrition azotée des blés depuis la sortie hiver jusqu'à floraison. Ces mesures permettent de juger de la pertinence des apports.



Deux approches se développent aujourd'hui pour suivre cet indice et adapter la stratégie de fertilisation à partir du stade tallage : par modélisation avec le modèle CHN (Arvalis - Institut du Végétal, voir application de la méthode CHN dans l'article Zoom sur la campagne 2022), ou par des mesures au champ grâce à un capteur de chlorophylle (type pince N-Tester®) appelée méthode APPI'N. Ces deux approches se basent sur les travaux de thèse de Clémence Ravier ([consultable ici](#)).



Un réseau d'expérimentations s'est ainsi mis en place sur le Grand Est depuis 2018.

Encore en phase de calage, APPI'N repose sur un raisonnement dynamique, en se basant sur le suivi de l'INN et sur une trajectoire seuil d'INN à ne pas franchir, sous peine de perte de rendement (zone rouge du graphique). L'objectif de cette nouvelle méthode est de maximiser le CAU (pour minimiser les pertes azotées) en maintenant les performances de production tant en terme qualitatif que quantitatif. En effet, cette mesure d'INN est couplée à des prédictions climatiques basées sur l'analyse des données météorologiques des 20 dernières années. Les apports sont réalisés lorsque les conditions météorologiques sont favorables à l'assimilation de l'azote (pluie > 10 mm annoncée dans les 72h).

## Résultats en Grand Est

Sur 16 essais conduits par les Chambres d'Agriculture du Grand Est sur 2020 et 2021, cette méthode a permis de retarder le 1er apport d'une vingtaine de jours en moyenne par rapport à une pratique classique, et de supprimer ce 1er apport dans la moitié des situations (contre 25% dans la conduite classique). Le CAU a été amélioré par la méthode APPI'N avec une valeur moyenne de 74% contre 59% pour le pilotage classique, soit une réduction des pertes moyenne de 36 kg N/ha pour des rendements maintenus en moyenne comme on peut l'observer dans le tableau ci-dessous.

Date du 1er apport	15 à 25 jours plus tard
Nombre total d'apports	Bilan : 18% 2 apports / 75% 3 apports APPI'N : 37% 2 apports / 56% 3 apports
Dose total	Réduite de 25 kg N/ha
Rendement à 15%	Equivalent : Ecart de + 0,9 q/ha
Taux de protéine	Equivalent : Ecart de + 0,3 point
Marge partielle	Ecart de + 38 €/ha

Tableau : Synthèse de 16 essais en bandes agriculteurs de test de la méthode APPI'N dans le Grand Est en 2020 et 2021.



Retrouvez le détail des travaux sur la méthode APPI'N dans l'article suivant : <https://grandest.chambre-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/pilotage-integral-de-la-fertilisation-azotee-du-ble-dans-les-regions-centre-val-de-loire-et-grand-est/>

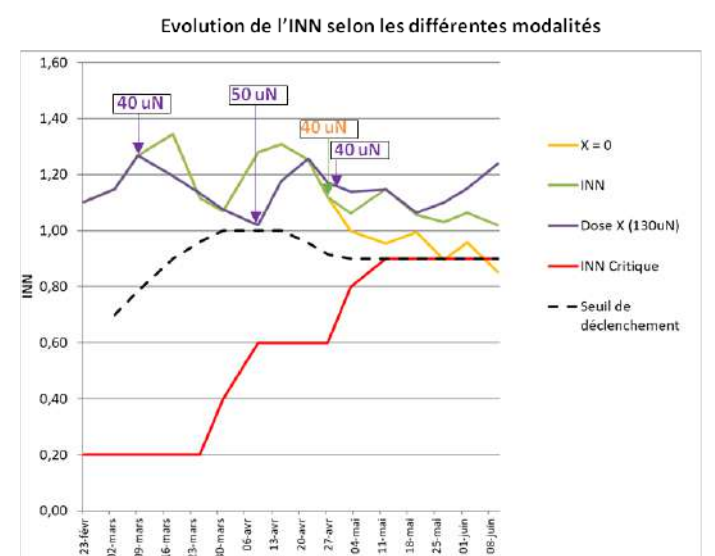
## Application de la méthode en situation de fort reliquat

La Chambre d'Agriculture Grand Est a mené un essai fertilisation azotée sur blé dans une parcelle de la ferme de l'ALPA à Haroué (54) au printemps 2021. Cet essai avait pour objectif de tester la méthode APPI'N, comparativement à une méthode de fertilisation azotée plus classique.

Pour le suivi de cet indice, des mesures au champ ont été effectuées toutes les semaines avec la pince N-tester®, depuis la sortie d'hiver (23 février), jusqu'à la fin de la floraison du blé (8 juin), permettant d'adapter en temps réel la stratégie de fertilisation (moment d'apport et dose apportée). Afin de comparer l'évolution de l'INN entre cette méthode et la méthode de pilotage de l'agriculteur, ces mesures ont été effectuées sur la modalité « INN » et la modalité « dose X », ainsi que sur un témoin 0 azote « X = 0 ». La parcelle de limons profonds légèrement hydromorphes disposait d'un RSH (Reliquat Sortie d'Hiver) important de 160 uN. Comme on peut voir sur le graphique, les valeurs mesurées sur l'ensemble des modalités, quel que soit leur niveau de fertilisation, suivent globalement la même tendance durant toute la durée de l'essai, et restent supérieures au seuil de déclenchement des apports d'azote (courbe pointillée). Seule la modalité « X = 0 » (courbe jaune) passe sous le seuil critique (courbe rouge) en fin de cycle.

Tous les apports se sont faits sous la forme ammonitrate.

La modalité « dose X » a reçu 130 uN fractionnées en trois apports. Concernant la modalité « INN », il a été décidé d'apporter 40 uN fin avril au stade 2 nœuds afin de s'assurer que l'INN reste au-dessus du seuil du déclenchement.





Compte tenu du RSH important, il n'y a pas de différence significative entre les rendements des modalités « dose X » et « INN » (70,5 et 71,4 qt/ha respectivement). L'effet azote (90 uN apportées en plus sur la modalité « dose X ») n'a donc pas différencié les rendements cette année sur cette parcelle. De plus, si l'on regarde le CAU (Coefficient Apparent d'Utilisation) – qui correspond à la fraction de l'azote total d'un fertilisant (minéral ou organique) qui est absorbé par les plantes jusqu'à la récolte –, il est plus élevé pour la modalité « INN » (53%) que pour la modalité « dose X » (38%), traduisant une meilleure valorisation de l'azote apporté pour la modalité « INN ». Cela induit des pertes d'azote plus faible pour cette modalité : -62 uN par rapport à la modalité « dose X ». Cependant, le taux de protéines est plus élevé pour la modalité « dose X ». Enfin, l'économie d'azote apporté sur la modalité « INN » permet la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> équivalent de 528 kg/ha, ainsi qu'un gain économique de 90€/ha (en considérant 1 uN ammonitrate = 1€).

	Dose X	INN
Quantité d'N apportée (uN)	130	40 ↘
Rendement (qt/ha)	70,5	71,4 →
Taux de protéines	12,4%	11,9% ↘
CAU*	38%	53% ↗
Pertes d'azote** (uN)	81	19 ↘
Emissions de CO <sub>2</sub> *** (kg éq/ha)	762	234 ↘

\* CAU = (NabsMin - NabsT0) / NMin  
 \*\* Pertes d'azote = (1 - CAU) \* quantité d'N apportée  
 \*\*\* 1 uN ammonitrate = 5,86 kg CO<sub>2</sub>/ha émis (fabrication et transport) - Source ADEME

Pour conclure, le pilotage de la fertilisation azotée dans une situation à fort RSH est intéressant : il permet de déterminer si des apports d'azote sont nécessaires, limitant les pertes économiques et réduisant les pertes dans l'environnement.

Honorine Gabriel, Thiébaud Simon, Maëva Weens, Nathael Leclech (Chambre d'agriculture Grand Est)

## Limiter les pertes par volatilisation des effluents d'élevage et des digestats de méthanisation

### Répartition des émissions d'ammoniac sur l'atelier d'élevage

L'illustration suivante (figure 1) présente la contribution des quatre grands lieux d'émission associés à l'élevage.

Ce sont des valeurs moyennes qui englobent plusieurs pratiques qui sont plus ou moins émettrices. Comment s'y retrouver ? Il faut alors considérer les facteurs qui contrôlent ces émissions.

Les émissions de NH<sub>3</sub> sont influencées par :

- Augmentation de l'azote non digéré dans les rations animales (et donc dans les déjections),
- Augmentation de la surface et du temps de contact déjection liquide / air (et de la vitesse du vent également), mais aussi,
- Augmentation de la température et du caractère basique des déjections (réactions chimiques favorisant les émissions de NH<sub>3</sub>).

Pour éviter ces émissions, différents leviers peuvent être mobilisés :

- Contrôler les rations alimentaires, tout particulièrement en maîtrisant les apports de Matières Azotées Totales (MAT ou protéines brutes),
- Couvrir les éléments de stockage et notamment les fosses à lisier,
- Favoriser le pâturage,
- En bâtiment, augmenter la fréquence de raclage (notamment pour assécher les sols rapidement) et/ou favoriser la séparation urine (rapidement évacuée) / fèces (avec sols drainants par exemple),
- Epandre dans les bonnes conditions (éviter les périodes chaudes et ventées,) et utiliser du matériel limitant la volatilisation (éviter la buse palette par exemple pour les effluents liquides – À noter qu'elle sera proscrite en 2025).

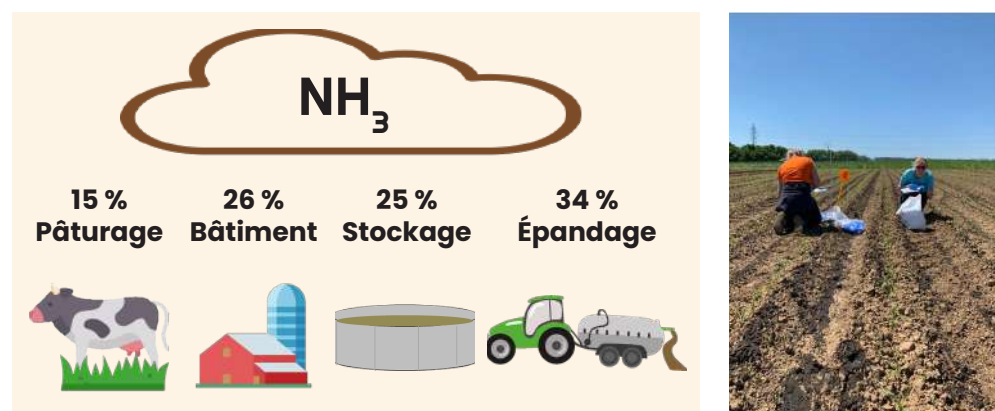


Figure 1: Répartition des émissions d'NH<sub>3</sub> à la ferme

<sup>1</sup> 4,9 kg N total / t de fumier dont 0,7 kg N ammoniacal/t de fumier  
<sup>2</sup> D'après le document « Fumiers et lisiers : composition et valorisation sur cultures en Lorraine », un lisier est composé de 47% d'azote sous forme minérale et de 53% sous forme organique. Pour le fumier frais, la proportion est de 14% sous forme minérale et 86% sous forme organique.

## TÉMOIGNAGE

### Stratégie de fertilisation du blé :

#### Rencontre avec Gilles Collignon, agriculteur au sud de Metz (57)

Gilles Collignon (GC) est céréalier et son exploitation est composée de 250 ha de terres labourables et 90 ha de blé.

Témoignage recueilli le 10 janvier 2022 par Claude Rettel (CR), Agronome à la Chambre départementale d'Agriculture de Moselle (57).



Gilles, super-hero du blé !

#### CR : « Comment tu gères ton premier apport sur le blé d'hiver ? »

GC : « Je me pose souvent la question de l'intérêt du premier apport, comme on l'attend : une petite dose apportée de manière précoce. Mon regard a changé avec l'évolution de mon système de culture. J'ai quasiment la moitié de ma sole en tournesol et en maïs, ce sont donc mes précédents blé. Je couple à cela des semis plutôt tardifs, il est rare que je sorte le semoir pour mes blés avant le 15 octobre. En conséquence j'ai des champs propres et des blés peu développés, qui n'ont ni concurrence, ni de gros besoins en sortie d'hiver. »

#### CR : « Tu fais quand même une première intervention en azote ! Tu la déclenches quand ? »

GC : « S'il faut donner une date, on dira à partir du premier mars. Mais c'est la climato qui donne le la. C'est compliqué de désigner une période unique, il n'y a pas 2 années pareilles. J'attends dans tous les cas que la reprise de végétation soit bien marquée. Je repère ça sur le système racinaire et le développement des petites racelles blanches. »

#### CR : « Est-ce que tu tiens compte de la biomasse du blé ? »

GC : « Oui bien sûr, mais de manière empirique avec l'expérience. Je tiens compte aussi du type de sol, dans les terres froides je suis encore plus patient ! »

#### CR : « Et c'est quoi la dose que tu apportes après le 1er mars ? »

GC : « Rarement plus de 40u, je crains le lessivage. J'ai pris le pli de biberonner mes blés, je passe 3 ou 4 fois avec des doses jamais supérieures à 60 kg d'azote à l'hectare. Je rentre toujours un camion d'ammo., que j'épands si les conditions d'apport sont limites, ou pour les derniers apports. »

#### CR : « Tu utilises des outils d'aide à la décision pour piloter ces apports ? »

GC : « Si tes conseils sont des OAD, oui j'utilise des outils, sinon c'est le visuel, et la météo, avec toujours l'espoir de la pluie utile derrière l'apport ! »

« De toute façon je ne mets jamais plus de 150 unités sur mes blés en engrais minéral. En engrais organique, il y a tous les 3-4 ans dans la rotation un épandage de boues de step de la ville de Metz. Je me suis fait mon idée avec « les réseaux zéro azote », les essais ferti et les résultats de notre groupe de comparaison des itinéraires que tu nous présentes chaque année. En mettant tout ça dans mon « shaker » j'en suis arrivé à cette conclusion 150 unités maxi en 3 ou 4 apports optimisés »

### Limiter les pertes d'azote à l'épandage de matières organiques

#### Connaître ses matières organiques

Lors des épandages de matières organiques, ceux-ci peuvent générer des pertes d'azote sous forme d'ammoniac. Connaître la composition azotée de son effluent peut permettre de limiter ces pertes. Un lisier, d'après les références lorraines, est composé de 47% d'azote sous forme minérale et 53% sous forme organique. Un fumier frais quant à lui, est composé de 14% d'azote sous forme minérale, le reste sous forme organique<sup>1</sup>. C'est la part de l'azote sous forme minérale dans l'effluent qui est potentiellement volatilisable.

#### Enfouir dans les 24h :

Lors de l'épandage d'un fumier frais<sup>2</sup>, au contact de l'air, il est possible de perdre jusqu'à 20 uN sur les 147 uN d'un apport de 30T/ha (Fig 2) par volatilisation. Enfouir son apport le plus rapidement possible, au plus tard dans les 24 h permet de limiter ces pertes

Pour un maïs, l'apport peut être réalisé et enfoui bien avant le semis pour permettre à l'azote sous forme organique de commencer à se transformer sous forme nitrate, forme assimilable par la culture.

#### Matériel d'épandage plus efficace

Pour les effluents liquides, plus sensibles à la volatilisation de l'azote, il est préférable d'utiliser des pendillards ou des enfouisseurs qui vont permettre de limiter le contact effluent-atmosphère et ainsi éviter jusqu'à 25 à 33 uN/ha de pertes pour un apport de 30m<sup>3</sup> de lisier de bovins par rapport à un épandage par buse-palette.





## Retour sur le suivi réalisé à Obernai (67)

En 2021 et 2022, dans le cadre du programme PEI PARTAGE, des suivis de volatilisation d'ammoniac selon différentes formes de fertilisants minéraux (urée, urée avec inhibiteur, solution azotée, ammonitrate), différents types de digestats, etc. ont eu lieu sur l'essai expérimental Dige'O. L'objectif est de mieux connaître les pertes d'azote dans l'air selon les pratiques agricoles dans différents contextes pédo-climatiques de notre région.

Au lycée agricole d'Obernai, en juin 2021, sur sol argilo-limono-calcaire dans la plaine d'Alsace, différentes modalités d'apport de digestats ont été suivies :

- Un digestat (de ration lisier de vaches laitières + cannes de maïs) : 78 uN total<sup>3</sup>
- Un digestat (de ration fumier de taurillons + déchets agro-alimentaires) : 78 uN total<sup>4</sup>
- Un digestat (de ration fumier de taurillons + déchets agro-alimentaires) avec ajout d'argile fixatrice d'azote : 78 uN total<sup>7</sup>
- Un digestat (de ration fumier de taurillons + déchets agro-alimentaires) enfoui : 78 uN total
- Un témoin en fertilisation minérale avec de l'ammonitrate : 77 uN

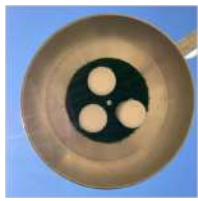
Les digestats ont été apportés avec un pendillard sur le maïs (stade 3 à 6 feuilles). Pour chaque modalité, trois parcelles ont été mises en place (répétitions). Le jour de l'épandage, l'amplitude des températures a varié de 8 à 26 °C avec en moyenne journalière 17°C, et avec des rafales de vent dépassant 17 km/h. Durant le suivi qui a duré 21 jours, les précipitations cumulées sur la période ont été de 64 mm.

Les mesures de concentration d'ammoniac ont été réalisées par capteurs passifs (se référer à l'article page 2, Métrologie : comment mesure-t-on la volatilisation de l'azote ?) localisés sur les parcelles où ont eu lieu les apports et aux alentours.

<sup>3</sup> 762 kg N total / t de digestat dont 1,2 kg N ammoniacal/t de digestat, soit 16 % de l'azote total sous forme ammoniacale

<sup>4</sup> 4,62 kg N total / t de digestat dont 0,62 kg N ammoniacal/t de digestat, soit 13 % de l'azote total sous forme ammoniacale

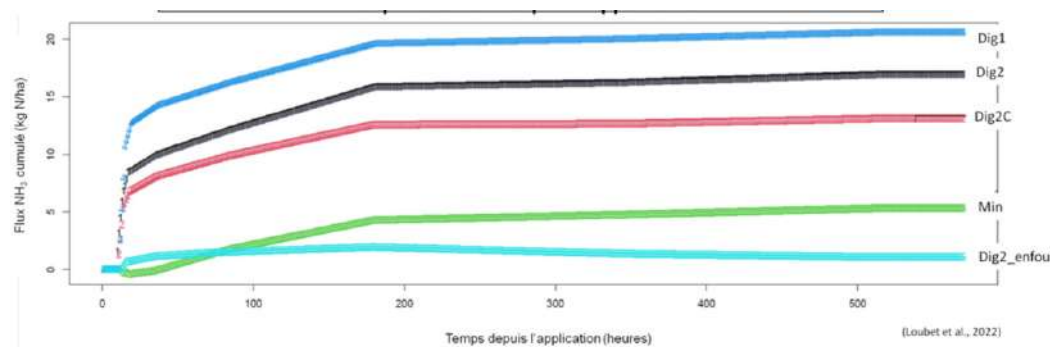
<sup>5</sup> 4,62 kg N total / t de digestat dont 0,71 kg N ammoniacal/t de digestat, soit 15 % de l'azote total sous forme ammoniacale



Ces concentrations ont ensuite été utilisées pour estimer les flux d'ammoniac sur chaque modalité à l'aide de méthode d'inversion et d'un modèle de transfert atmosphérique. Ce travail est réalisé en collaboration avec l'UMR INRAE AgroparisTech EcoSys et INRAE Transfert EnVisaGES (contact : anne-sophie.lissy@inrae.fr). Voici les flux mesurés exprimés en kg N-NH<sub>3</sub> :

Capteurs passifs installés

Flux de volatilisation d'ammoniac cumulés en kg N ha<sup>-1</sup> en fonction du temps en heures depuis l'application



Note :

Dig 1 : digestat (ration lisier de vaches laitières + cannes de maïs)

Dig 2 : digestat (ration fumier de taurillons et déchets agro-alimentaires)

Dig 2C : digestat (ration fumier de taurillons et déchets agro-alimentaires) avec ajout d'argile fixatrice d'azote

Dig 2 enfoui : digestat (ration fumier de taurillons et déchets agro-alimentaires) enfoui

Min : témoin fertilisation minérale - ammonitrate

Les flux d'ammoniac cumulés présentés ci-dessus montrent des dynamiques d'émission typiques des engrais organiques et minéraux :

- Les 3 digestats non enfouis montrent une émission forte le premier jour, suivie d'une diminution d'intensité les jours suivants et un flux quasiment nul à partir de 10 jours. Le digestat Dig1 présente plus de volatilisation par rapport aux autres digestats du fait de sa proportion plus importante d'azote sous forme ammoniacale dans l'azote total
- L'ammonitrate montre une émission plus faible que les 3 digestats non enfouis qui est maximale au bout de 10 à 15 jours puis un dépôt d'ammoniac sur le sol (cumul qui diminue).
- Le digestat enfoui montre l'émission d'ammoniac la plus faible dès le premier jour et un cumul qui diminue dans le temps.

Un dépôt d'ammoniac sur le sol se voit par la baisse du cumul des émissions ammoniacales et uniquement dans les modalités qui sont les moins émettrices : le digestat enfoui et le minéral.

Les émissions ammoniacales les plus élevées sont celles des trois digestats non-enfouis le premier jour du suivi. Elles sont en partie expliquées par les conditions climatiques du jour de l'épandage qui favorisent la volatilisation : très chaud et venteux.

En moyenne sur la période de suivi, les pertes d'azote sous forme d'ammoniac varient de 15 à 22 kg N/ha pour les modalités non enfouies, soit entre 19 et 28 % de l'azote total. Pour la modalité digestat enfoui, la perte d'azote moyenne mesurée est de 1,7 kg N/ha. Enfin, pour la modalité fertilisation minérale sous forme d'ammonitrate, les pertes moyennes sont de 5,7 kg N/ha.

Ces mesures de volatilisation ammoniacale à Obernai viennent compléter un essai qui vise plus globalement à mieux connaître le potentiel fertilisant des digestats et évaluer les éventuelles pertes d'azote (eau, air) de façon à sensibiliser sur les pratiques les plus favorables.

Pour en savoir plus :

<https://www.exploitation-d-obernai.fr/nos-essais/dig%C3%A9-a9-o/>



## Valoriser au mieux l'azote organique : une pratique « bas carbone »

Les apports azotés ont également une empreinte carbone et énergétique. Reprenons les exemples précédents : pour 30T/ha de fumier enfoui dans les 12h (au lieu de plus de 24h après l'épandage), les 10 unités d'azote conservées dans le système grâce à la limitation de ces pertes dans l'air, équivalent à 15 EQF<sup>7</sup>/ha et 130 kg équivalent CO<sub>2</sub>/ha économisés<sup>8</sup>.

De même, pour l'utilisation d'un pendillard comparativement à une buse palette, pour épandre 30 m<sup>3</sup> de lisier, les unités supplémentaires valorisées représentent 38 EQF/ha et 315 kg équivalent CO<sub>2</sub>/ha économisés... un levier intéressant pour améliorer son bilan carbone !

Pratique	Pertes d'azote par volatilisation évitées	Conso. d'énergie	Emissions de GES	Economies en €
Enfouissement de 30 T/ha de fumier dans les 12h VS Enfouissement de 30T/ha de fumier 24h après épandage	10 uN de pertes en moins	- 15 EQF/ha	- 130 kg éq CO <sub>2</sub> /ha	8 € /ha
Epandage de 30m <sup>3</sup> de lisier par pendillard VS buse palette	25 uN de pertes en moins	- 38 EQF/ha	- 315 kg éq CO <sub>2</sub> /ha	20 €/ha

<sup>7</sup> EQuivalent litre de Fioul = Pouvoir Calorifique d'1 L de fioul

<sup>8</sup> Pour se représenter : un français émet environ 30,6 kg de CO<sub>2</sub> chaque jour (émissions directes et indirectes résultant de la fabrication des biens et services consommés) (source : SDES 2019)

Margaret Johnson (EPL Obernai), Véronique Stangret (EPL Obernai), Anne-Sophie Lissy (INRAE Transfert EnVisaGES), Benjamin Loubet (INRAE), Laetitia Prévost (Chambre d'agriculture Grand Est) - Avril 2022

## Fertiliser les CIVE d'été à bon escient

L'azote peut être facteur limitant de la biomasse des CIVE d'été, mais pas systématiquement. La fertilisation doit donc se réfléchir au cas par cas pour être rentable. Une fertilisation de 30 à 60 kgN/ha ne s'envisage que sur les CIVE bien implantées.

Toute fertilisation apportée sur une CIVE qui n'est pas suffisamment dense s'expose à être perdue par lessivage des nitrates dans l'hiver. La culture d'hiver qui suit la CIVE n'a pas une croissance suffisante pour absorber l'excédent pendant la période de risque de drainage.

Une Culture Intermédiaire à Vocation Energétique (CIVE) est implantée entre deux cultures principales d'hiver et récoltée en début d'automne pour alimenter un méthaniseur. Ce sont des cultures capables de produire de la biomasse en été sur un cycle court d'environ 3 mois : sorgho, maïs, tournesol, moha.

Pour produire une forte biomasse, la CIVE doit avoir accès à suffisamment d'azote disponible, provenant de reliquats post-récolte, de la minéralisation d'été et d'une fertilisation minérale ou organique si besoin. En cas de facteur limitant autre que l'azote, cet apport n'a pas d'effet sur le rendement et augmente le coût de production de la CIVE. Les facteurs limitants d'une bonne levée et croissance peuvent être le manque d'eau comme en 2020, la compaction du sol, comme 2021 suite aux récoltes en mauvaises conditions, le salissement, avec des vulpins ou des repousses qui certes forment une biomasse mais non récoltable car trop basse. La photo montre un sorgho mal implanté. Semé le 15 juin 2021 en sol tassé, le sorgho s'est mal développé, les racines étant asphyxiées par l'excès d'eau qui ne pouvait pas percoler verticalement et s'évacuer en cette année particulièrement humide (240 mm de pluie en juillet). De plus, des repousses d'orge par bandes l'ont concurrencé.

Un apport d'azote sur une CIVE d'été alors qu'elle est mal implantée n'est pas toujours rentable et provoque de plus un risque accru de lessivage de nitrates l'hiver qui suit. Un blé absorbe 15-20 kgN/ha jusqu'à la sortie d'hiver et jusqu'à 50 kgN/ha au maximum. Si le reliquat entrée hiver est plus élevé parce que la CIVE n'a pas pu absorber l'azote apporté, le blé ne sera pas en capacité d'absorber la totalité des reliquats et le risque de pertes par lessivage augmentera.

Quand la CIVE est bien implantée, il est important de bien calibrer l'apport en comptabilisant la fourniture en azote par le sol, qui peut être élevée notamment en cas d'apports organiques réguliers. L'encart présente un exemple de calcul de fertilisation d'une CIVE d'été qui s'appuie sur le référentiel régional de fertilisation azotée.

Bien ajuster la fertilisation de la CIVE d'été est bon pour le porte-monnaie, mais c'est aussi un geste pour la qualité de l'eau.

### Exemple de calcul de fertilisation d'une CIVE d'été bien implantée :

**Type de CIVE** : mélange maïs et sorgho, implanté après escourgeon (pailles enlevées)

**Contexte pédo-climatique** : sol de craie, dans les Ardennes

Au vu de l'implantation réussie, l'agriculteur prévoit un rendement de 4 TMS/ha, soit environ 2,5 T de maïs et 1,5 T de sorgho. Pour calculer une dose d'azote ajustée, il calcule les besoins en azote d'un côté (85 kgN/ha) et les fournitures de l'autre (60 kgN/ha). La dose à apporter est la différence entre les deux, soit 25 kgN/ha.



Besoins	N absorbé par la culture à la récolte	55	=2,5 x 14 + 1,5 x 13 14 kgN/T MS pour le maïs et 13 pour le sorgho
	Azote non utilisable	30	
Fournitures	Azote déjà absorbé par la culture en fin d'hiver	0	
	Minéralisation de l'humus	30	= 60 - 30 60 pour un maïs en culture principale ; moins sur un cycle plus court de CIVE
	Minéralisation due au retournement de prairie	0	Pas de retournement de prairie récent
	Minéralisation des résidus du précédent	0	Pailles d'escourgeon enlevées
	Minéralisation des résidus de la culture intermédiaire	0	Pas de culture intermédiaire précédant la CIVE
	Azote apporté par l'eau d'irrigation	0	Pas d'irrigation
	Azote efficace apporté par les fertilisants organiques	0	Pas d'apport organique
	Reliquat d'azote	30	Après la récolte de l'escourgeon



Sorgho mal implanté

Calculs réalisés selon les prescriptions du référentiel régional de fertilisation azotée (arrêté du 30/08/2019)



Anne Schaub (Chambre d'agriculture Grand Est), Olivier Samson (EMC2), Antoine Letinois (Chambre d'agriculture Ardennes) - Octobre 2021

## Fertiliser ses cultures biologiques : bonne ou mauvaise idée ?

L'offre des produits utilisables en AB se développe et avec l'augmentation récente du coût de l'engrais minéral azoté, la demande sur les matières organiques s'est accrue. Il devient encore plus important de bien cibler les situations où la fertilisation sera valorisée et rentable sans oublier d'utiliser en priorité tous les leviers agronomiques.

### Une bonne vie du sol pour une bonne valorisation des apports organiques

Les éléments nutritifs, issus de la minéralisation de la matière organique, sont acheminés jusqu'aux plantes grâce à la circulation de l'air et de l'eau dans la fraction solide du sol, à condition que cette dernière présente des porosités.

L'apport de matières organiques ne suffit donc pas. Veiller à une bonne porosité et activité du sol est indispensable : éviter les excès et manques d'eau, maintenir le pH, apporter de la matière organique, éviter de tasser son sol, utiliser les engrais verts pour booster la vie microbienne, travailler le sol...

### Prioriser les leviers de la rotation

Les relais azotés et couverts à base de légumineuses ramènent de l'azote « gratuit » dans le système de culture. Les essais menés en Ile de France montrent que la fertilisation ne compense pas un mauvais précédent : apporter de la fertilisation sur un blé derrière paille, même au-delà de 100 uN, ne permet pas d'obtenir un rendement équivalent à un blé derrière luzerne non fertilisé.

Placer les cultures exigeantes en azote derrière les légumineuses permet de valoriser au mieux l'azote libéré. Il convient de prévoir au moins un tiers de légumineuses dans la rotation.

La luzerne est la légumineuse qui fixe le plus d'azote (en moyenne 250 kg/ha), suivie par la féverole (180) et le trèfle (160). Par ailleurs, la luzerne libère de l'azote sur 2 ans, il faut donc prévoir, en 2ème année après la luzerne, une culture qui va piéger l'azote dès l'automne (colza, couvert...) pour éviter le lessivage de l'azote.

**?** Pour en savoir plus, rendez-vous à la rubrique « De l'azote gratuit grâce aux légumineuses » p. 8

### Penser à la coopération avec les éleveurs

Echanger sa paille ou son fourrage contre du fumier est une solution à envisager. Pour 1t de paille, il est possible de récupérer environ 2t de fumier. La règle d'échange varie selon si la paille est pressée et transportée par le céréalier ou l'éleveur et si le fumier est transporté et épandu par le céréalier ou l'éleveur. Sur cette base, et en considérant qu'une parcelle de céréales en AB produit 2t/ha de paille, le céréalier pourra mettre 20t/ha de fumier tous les 5 ans.

### Limiter les pertes

Un levier qu'il ne faut pas négliger est le fait de limiter les pertes par lessivage, volatilisation et dénitrification : couvrir le sol en hiver, limiter le travail du sol si la culture qui sera implantée est peu exigeante en azote, enfouir les matières épandues dans les 24 heures (avec herse étrille) et couvrir les effluents au stockage.

### Résultats d'essais 2021 sur blé : un effet sur le rendement mais pas sur le taux de protéine

Les essais fertilisation menés en AB sur blé d'hiver sont synthétisés au niveau national. En 2021, 8 essais lorrains menés par les Chambres d'agriculture sont venus compléter les 31 essais du réseau, majoritairement menés en micro-parcelles. Les principaux engrais testés sont les fientes (75€/t sec pour 35kgN/t soit 2,14€/kgN), les bouchons de Protéines Animales Transformées PAT (350€/t pour 95kgN/t soit 3,68€/kgN) et les engrais végétaux perlés (485€/t pour 35kgN /t soit 3,88€/kgN).



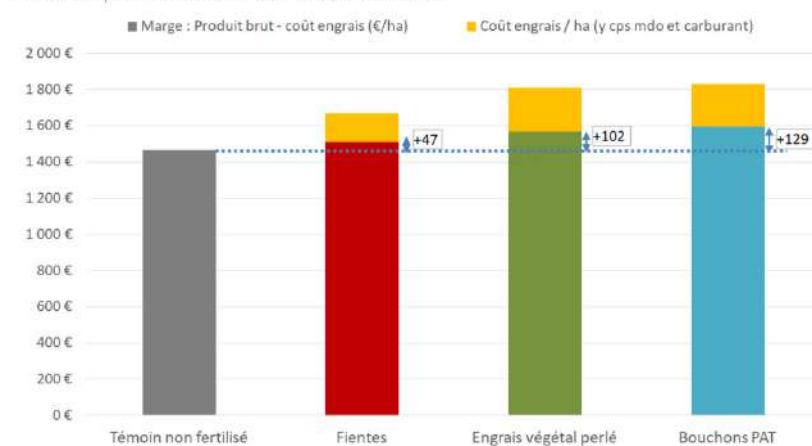
ORGALIZ F : un exemple de PAT à base de poudre de plumes

Avec un apport de 60uN fin tallage, les engrais perlés montrent une meilleure efficacité d'environ 10q/ha par rapport au témoin alors que les fientes et bouchons, avec environ 4 q/ha de plus que le témoin, ne présentent pas une différence significative. L'effet sur les protéines n'est pas significatif malgré une légère tendance en faveur des bouchons.

En tenant compte du coût de l'épandage et en prenant un blé panifiable à 450 €/t (prix différenciés dans chaque essai en fonction du taux de protéine), les marges brutes sont supérieures au témoin. Les bouchons arrivent en tête en termes de marge semi-nette malgré une efficacité équivalente aux fientes sur le rendement et un coût proche de celui de l'engrais végétal perlé. L'effet sur le taux de protéines a permis de moins souvent déclasser les blés des modalités bouchons en blé intermédiaire ou fourrager.

### BTH bio - Marge selon la forme d'engrais

Réseau multipartenaires 2021 - Fertilisation azotée sur blé bio



Avec une hypothèse d'augmentation du coût des engrais de 0,5€/kgN pour les bouchons et les fientes et de 1€/kgN pour les engrais végétaux perlés, le gain de marge par rapport au témoin diminue de 30 à 55 €/ha et reste le plus intéressant pour les bouchons PAT.

### Dans quelles situations fertiliser ?

Il faut s'assurer de se mettre en conditions où l'apport sera efficace et rentable. L'élément principal influençant l'efficacité des engrais organiques est la situation de la parcelle. Il faut s'assurer d'être dans de bonnes conditions pour que le sol valorise au mieux les apports organiques c'est-à-dire des sols qui en ont besoin et qui savent les valoriser par leur activité biologique.

Généralement, dans les rotations avec des effluents d'élevages, les besoins en NPKS sont bien pourvus. Après un bon précédent, les apports ne seront pas efficaces.

En situation sans effluent et après un mauvais précédent, il faut se poser la question de faire des apports extérieurs. Tous les sols n'auront pas la même capacité à valoriser les apports : les terres profondes minéralisent mieux que des terres calcaires, humides ou à l'inverse très séchantes qui ont une faible activité et ont tendance à accumuler la matière organique. Par ailleurs, d'autres facteurs limitent la minéralisation : la période de besoins de la culture, l'enherbement, la structure du sol, ... Les apports sont donc à éviter sur des parcelles sales, des parcelles avec bon précédent ou sur un sol resserré.

Enfin, il faut cibler des apports sur des cultures exigeantes en azote et rémunératrices (blé, colza, maïs) pour assurer une rentabilité économique.

### Apporter au bon moment

Le niveau de minéralisation dépend de l'état du sol (porosité) mais également de la température qui influence l'activité biologique du sol. Sur cultures d'été, les besoins des plantes sont concomitants avec une forte activité biologique : les engrais apportés à cette période seront alors bien valorisés. Ce n'est pas le cas des céréales, où les besoins sont plus tôt au printemps, période où l'activité biologique du sol est encore faible. Il faudra donc privilégier des produits à ISMO très faible pour les céréales.

Les apports d'automne sont beaucoup plus aléatoires car tout dépend de l'hiver qui va suivre (plus ou moins lessivant).



## Combien apporter ?

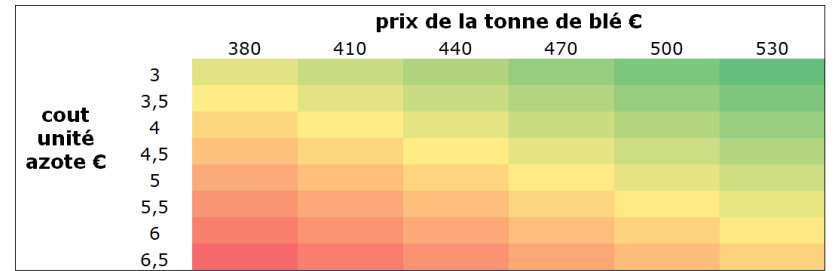
Tout dépend du prix du blé et de celui du produit organique.

La dose d'azote a une influence directe et linéaire mais qui peut avoir un effet contre-productif si l'enherbement est important. D'après les essais ferti blé menés au niveau national, notamment par les Chambres d'agriculture, il existe une corrélation entre l'enherbement et la fertilisation dès 50 uN pour les adventices nitrophiles et au-delà de 100 uN pour les autres. Il faut privilégier les produits avec un ISMO faible (<0,4) pour avoir un effet rapide et ne pas dépasser 50 uN. Engager 30 uN permet de s'assurer un retour sur investissement en limitant le coût à l'ha. Au-delà, le gain est moins évident et sera réservé aux situations favorables. Pour le phosphore, les produits du commerce ne sont pas solubles. Les effluents seront donc plus appropriés.

Pour la potasse, les besoins sont plus importants sur les prairies et maïs (90 à 120 unités) que sur d'autres cultures (40 à 60 unités).

Le soufre est également un élément à ne pas négliger notamment en terres superficielles sur cultures exigeantes (colza). Sur céréales, les essais menés ces dernières années ne mettent pas en évidence un gain significatif.

En se donnant un objectif de gain à 8q/ha avec l'apport de 50uN, voici la matrice de gain en marge brute (€/ha - hors épandage) en fonction du prix du blé et du coût de l'azote.



Avec la conjoncture actuelle (augmentation prix des engrais, stagnation voire baisse des prix des céréales bios), les relais azotés, couverts et autres leviers de la rotation sont d'autant plus importants à activer avant de recourir aux achats de produits organiques.

Ensuite, privilégier les effluents produits localement (coopération avec un éleveur, digestat...) permet de limiter le coût de la fertilisation. Bien cibler les parcelles qui valoriseront le mieux les apports organiques garantit une efficacité de la fertilisation. Enfin recourir à l'achat de produits s'envisage si le gain de rendement est assuré et suffisant pour couvrir plus que la charge du produit et de l'épandage.

### Fertiliser avec de la luzerne ensilée ou fraîche

Une pratique encore très peu répandue : ensiler sa luzerne et l'épandre à l'automne en frais ou après fermentation en silo. Les premiers essais montrent que cela apporterait 10% de rendement en plus. La teneur en azote des parties aériennes de la luzerne est d'environ 30uN/tMS.

L'intérêt économique n'est pas évident étant donné le coût de l'ensilage : tout dépend de la valorisation possible de la luzerne à la vente et du cours de l'azote. Avec des demandes en luzerne qui diminuent et le prix des matières organiques qui augmente en ce moment, cette technique pourrait peut-être gagner en intérêt.



Pour aller plus loin, retrouvez ici les résultats d'essai fertilisation des blés présentés lors de la journée InnovAction Bio le 21 juin 2022

<https://grandest.chambre-agriculture.fr/productions-agricoles/agriculture-biologique-en-grand-est/innovaction-bio-2022/grandes-cultures/>



Sophie Rattier  
(Chambre d'agriculture Grand Est) - Avril 2022

## DE L'AZOTE GRATUIT GRÂCE AUX LÉGUMINEUSES

# Légumineuses, une entrée d'azote dans les systèmes : comment ça marche ?

L'introduction de légumineuses dans la succession culturale permet de capter l'azote de l'air et donc d'assurer une entrée de l'azote renouvelable dans le système de production et de fournir par la suite de l'azote à l'agrosystème et des protéines dans les produits de la récolte.

Pour bénéficier pleinement des services que peuvent rendre les légumineuses (apport et fourniture d'azote, rupture des cycles des bio-agresseurs, moindre acidification et moindre émission de gaz à effet de serre), il s'agit d'abord de réussir la croissance maximale de la plante et donc d'avoir une nutrition azotée satisfaisante. Or les légumineuses sont capables de compléter ou suppléer l'absorption racinaire d'azote minéral par la fixation symbiotique de l'azote de l'air.

Par rapport à l'assimilation du nitrate, le processus de fixation biologique est plus sensible aux conditions rencontrées selon la combinaison du climat ou des pratiques agricoles. Les cultures annuelles comme le pois et la féverole ont connu des coups de chaud ou de sec ou des excès d'eau lors des campagnes 2020 et 2021. Comment favoriser la bonne expression de cette fonction centrale pour ces cultures ?

### L'implantation est cruciale pour des nodosités fonctionnelles

Avoir une structure aérée pour le lit de semence et un sol bien ré-essuyé sont des conditions essentielles pour l'implantation d'une légumineuse afin d'assurer l'enracinement et l'installation correcte des nodosités, siège de la fixation azotée symbiotique (encadré).

La bonne nutrition azotée des légumineuses repose essentiellement sur des nodosités fonctionnelles. L'alimentation de la culture sera assurée s'il y a un nombre suffisant de nodosités installées lors de la phase végétative d'une culture de légumineuse annuelle.

Pour le cas du pois, pour lequel une courbe de dilution existe, on sait qu'un **indice de nutrition azoté (INN) supérieur à 1 à début de floraison est une condition nécessaire pour atteindre les meilleurs potentiels de rendement.**

Des résultats de premières mesures faites sur les nodosités de pois un peu avant floraison dans des essais de Terres Inovia en 2016 et 2017 (deux années contrastées au niveau climatique) ont souligné une corrélation entre un nombre élevé de nodosités et des rendements également élevés.

### La part d'azote fixé différente selon les espèces et modes d'insertion

L'entrée d'azote renouvelable est variable selon les espèces de légumineuse. En effet le pourcentage de fixation symbiotique par rapport au prélèvement total d'azote (%Ndfa) est une caractéristique intrinsèque de chaque espèce (figure) qui, combinée avec le rendement obtenu, va déterminer la quantité d'azote fixée (QNdfa) qui rentre dans le système. Le haricot a le taux de fixation le plus faible (%Ndfa moyen de 40%) alors que la féverole, le lupin ou le soja ont des taux élevés d'azote fixé (%Ndfa de 65 à 90%). Les pois chiches, lentille et le pois ont un taux de fixation moyen de 55-75%. Le trèfle et la luzerne ont un taux de fixation moyen de 90%.

Le mode de culture a également une influence. Le taux de fixation est en effet plus fort dans le cas des légumineuses en association de culture ; l'autre partenaire utilisant l'azote du sol, cela oblige la légumineuse à renforcer la part d'azote fixé symbiotiquement.

### Fixation symbiotique de l'azote : Comment ça marche ?

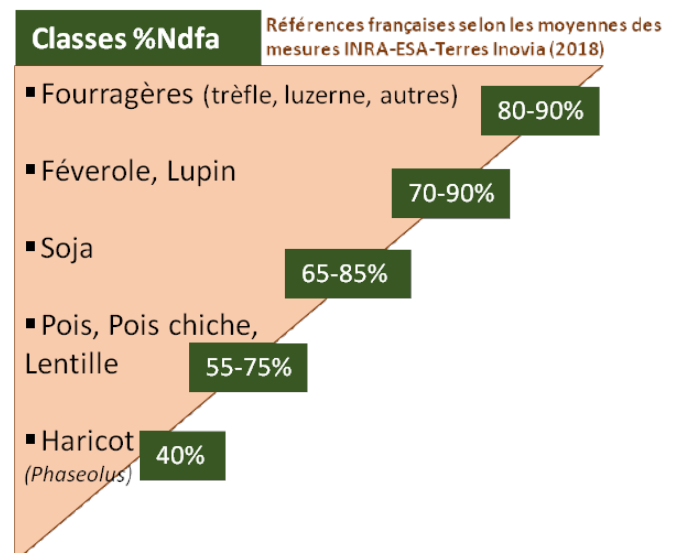
La fixation azotée symbiotique est le processus biologique qui permet de convertir l'azote de l'air ambiant (N<sub>2</sub>) en azote minéral intermédiaire (azote ammoniacal, NH<sub>3</sub>) qui est alors assimilable par les organismes vivants pour constituer les molécules organiques (notamment les protéines). Pour la légumineuse, tout part d'un dialogue moléculaire entre la plante hôte qui sécrète des flavonoïdes et des bactéries du sol, du genre Rhizobium (ou parfois Bradyrhizobium), dont les facteurs Nod sont reconnus par la plante, ce qui déclenche le processus d'infection et la formation de petites excroissances sur les racines : les nodosités. Puis la symbiose se traduit par des échanges réciproques de nutriments entre la plante et le rhizobium hébergé et transformé en bactéroïde dans la nodosité : la plante fournit sucres et énergie et elle bénéficie de l'azote minéral produit par le bactéroïde par fixation de l'air ambiant.

Les bactéries étant en général présentes dans tous les sols français, l'inoculation est inutile sauf pour le cas du soja, où elle est quasi systématique, et elle peut s'avérer nécessaire dans des conditions spécifiques pour certaines espèces comme dans le cas du lupin en sols basique ou la luzerne et le pois chiche en sols acides.

Photo de nodosités sur des racines de féverole. La souche de rhizobium et la taille des nodosités sont différentes selon les espèces de légumineuses. La couleur rosée des nodosités, bien visible lorsqu'on les coupe en deux, est un signe de bon fonctionnement (présence de leghémoglobine).



© A. Schneider



La part d'azote fixé symbiotiquement par la légumineuse (le reste étant la part issue de l'absorption racinaire de l'azote minéral du sol).





## A chaque espèce sa flexibilité entre les deux voies de nutrition

Au-delà de ces taux moyens par espèce, la part d'azote fixé connaît une plage de variation car elle est fortement réduite, en faveur de l'absorption racinaire, lorsque le sol a une teneur élevée d'azote minéral. Si cette diminution est toujours proportionnelle à la disponibilité en nitrate du sol, les espèces de légumineuses ne connaissent pas la même sensibilité.

Selon une thèse co-financée par Terres Inovia (Guinet 2019), le taux de fixation de l'espèce est réduit de moitié lorsque la teneur en azote minéral du sol au semis passe de 0 à 80 kgN/ha pour le haricot, ou est supérieure à 140 kgN/ha pour le pois et à 280 kgN/ha pour la féverole. A 370kg d'azote minéral dans le sol au semis, la fixation symbiotique est maintenue, respectivement pour la féverole et le lupin, à 45% et 30% de l'ensemble de leur nutrition azotée, alors qu'elle est complètement inhibée pour le reste des espèces (comme le pois ou la lentille ou le haricot). Chez la féverole et le pois, la fixation couvre en majorité les besoins azotés de la plante.

Pour le pois, en condition moyenne française, la proportion d'azote fixée varie entre 50 et 70%, mais peut descendre à 30% dans un sol riche en azote minéral (reliquat à la récolte de la culture précédente de 60-120 kgN/ha), ou dépasser les 80% dans des sols pauvres en nitrates comme des sols sableux peu fertilisés, si les conditions favorables à la fixation sont par ailleurs réunies.

Cependant, en conditions défavorables, pour chaque espèce, des pourcentages de fixation plus faibles que ceux prédits par la disponibilité en nitrate peuvent être observés et peuvent conduire à des situations de carence en azote.

Anne Schneider et Véronique Biarnès (Terres Inovia) - Avril 2021

## Des situations de carence à éviter, un diagnostic à poser

Les conditions défavorables entraînant notamment un nombre faible de nodosités en début de cycle peuvent être liées à différents facteurs : tassement du sol, présence d'aphanomyces (source de maladie racinaire) ou attaques de sitones, stress hydrique précoce ou excès d'eau, manque de phosphore, pH du sol pour certaines espèces.

Afin d'identifier les facteurs en jeu dans le cas des difficultés rencontrées dans le Grand Est pour le pois et la féverole, les partenaires du projet PARTAGE engagent des diagnostics agronomiques en parcelle agricole sur la base d'un suivi d'un nombre ajustable d'indicateurs en cours de campagne, y compris avec des observations des nodosités. Ce diagnostic sera particulièrement utile pour comprendre a posteriori les facteurs limitants qui ont agi sur les processus d'élaboration du rendement de la culture et ainsi progresser pour la réussite des pois et féveroles selon les contextes. En parallèle les partenaires réfléchissent aux leviers à tester pour assurer une meilleure implantation et renforcer la robustesse de ces cultures d'intérêt pour les filières de protéines végétales et pour la diversification des cultures en bas intrants.

## Une entrée à valoriser aussi pour le système

Ainsi, la première condition pour bénéficier de l'azote des légumineuses est d'assurer une bonne nutrition de la plante. Avec une culture de légumineuse réussie, présentant un rendement élevé et une bonne teneur en protéines des graines, l'agriculteur bénéficiera ensuite d'un effet du précédent cultural plus intéressant pour les cultures suivantes, à condition de bien concevoir la succession culturale et les pratiques associées afin d'éviter les pertes par lixiviation et de synchroniser les restitutions d'azote avec les besoins de la culture suivante. En bonus, pour tous, une meilleure qualité de l'air et moins de gaz à effet de serre.

# Observatoires légumineuses à graines dans le Grand Est en 2021

En 2021, un réseau de parcelles de pois et de féverole de printemps a été suivi au sein du projet PEI PARTAGE. Il a également été complété par un réseau lentille et soja irrigué via le projet Cap Protéines. Retour sur cette première année de suivi sur pois et féverole.

L'objectif de l'observatoire des parcelles de pois et féverole est de mieux comprendre les états clés de réussite de ces cultures, d'identifier les principaux freins et d'alimenter un futur tableau de pilotage de « légumineuse robuste ». Cet objectif s'inscrit dans la volonté de redonner de la compétitivité économique à ces cultures, qui jouent un grand rôle dans l'autonomie de l'azote des exploitations mais qui sont souvent malmenées par les pressions climatiques et les bioagresseurs, freinant leur insertion dans les exploitations du Grand Est.

## Des voies d'amélioration encore possibles dans les itinéraires techniques

En plus de mesures réalisées au sein des parcelles, des informations concernant l'itinéraire technique de la culture ont été compilées. L'accès à une génétique variétale plus récente a été identifié comme une des voies de progrès. La majorité des parcelles de pois de printemps présente en effet des variétés ayant parfois plus de 10 ans. Si ces anciennes variétés telles que Kayanne (inscrite en 2008) donnent des performances moyennes dans les réseaux variétaux, elles sont loin d'apporter le gain de rendement des nouvelles génétiques ni le progrès agronomique qui tend toujours à s'améliorer, avec notamment une meilleure tenue de tige et une teneur en protéines plus élevée.

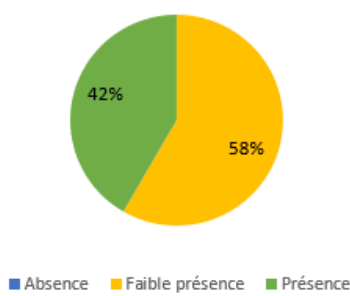
L'implantation est également une étape clé améliorable. Ainsi, des densités excessives par rapport aux préconisations sont encore pratiquées et ce même avec des semences certifiées. La féverole présente également des profondeurs de semis parfois trop superficielles (3-4 cm contre 5-6 cm recommandé) pouvant l'exposer à des stress hydriques précoces.

## L'autonomie en azote, une voie d'amélioration de la productivité ?

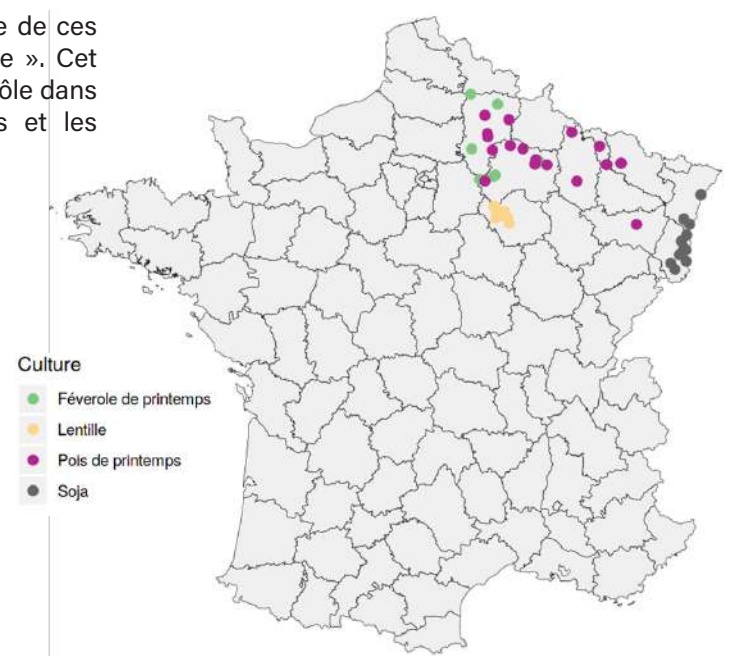
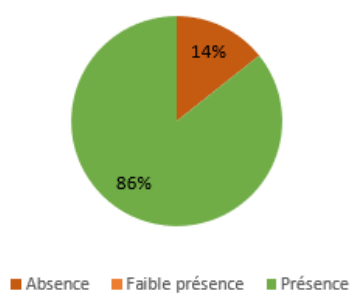
La nodulation ainsi que la nutrition azotée des pois à floraison ont été particulièrement étudiées au cours du suivi des parcelles. L'état de la nodulation a été observé en végétation (5-6 feuilles), et à début floraison. Des mesures de matière sèche et de teneur en azote dans la plante ont permis de calculer l'indice de nutrition azoté (INN) à début floraison. Cette étude fut complétée par des mesures nationales pour consolider les données.

On constate dans la plupart des situations que le pois se trouve dans des situations de sous nutrition azotée notamment dans le contexte des sols calcaires du Grand Est : points rouges en dessous de la courbe de la figure ci-dessous.

Etat des nodosités des pois de printemps en végétation



Etat des nodosités des féveroles de printemps en végétation



En pois, lorsqu'on observe la dynamique de mise en place des nodules, on constate que la nodulation n'est pas toujours optimale en végétation. Son état semble s'améliorer début floraison mais suppose une mise en place plus tardive. Différentes hypothèses sont avancées face à cette nodulation « tardive » : effet « sols calcaires », pression forte en sitones, compaction, ou autres facteurs.

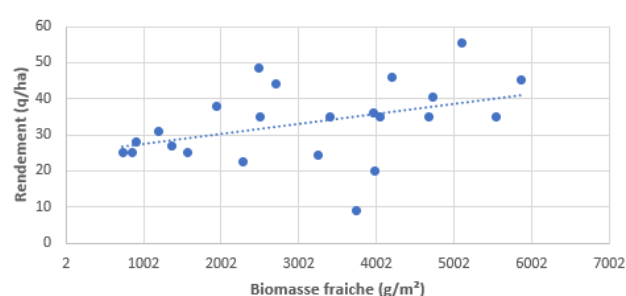
A l'inverse, la féverole montre une nodulation plus optimale en végétation. Son système racinaire à pivot ainsi que le choix de terres limoneuses et argileuses profondes pour sa culture sont deux facteurs qui peuvent expliquer la meilleure

installation des racines et des nodosités de la féverole. Rappelons par ailleurs que la fixation de l'azote a une part plus importante dans la nutrition de la féverole par rapport au cas du pois : pour la féverole, 70 à 90% de l'azote de la plante provient de la fixation symbiotique de l'azote de l'air et non de l'absorption racinaire de l'azote minéral du sol, contre 55-75% dans le cas du pois. De plus, la fixation symbiotique fonctionne de façon plus indépendante de l'azote présent dans le sol chez la féverole par rapport aux autres espèces de légumineuses.

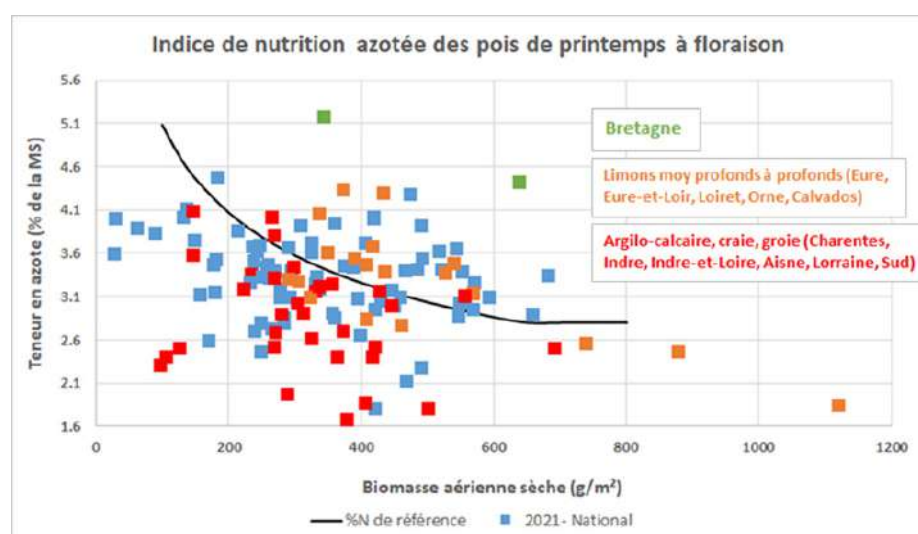
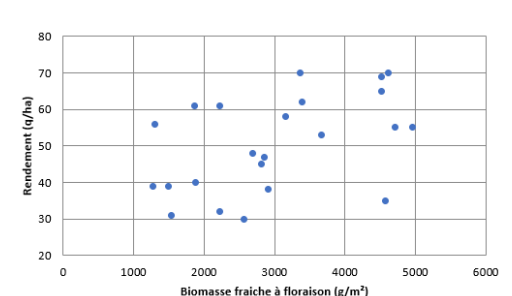
## De premiers indicateurs pour estimer le potentiel de sa légumineuse ?

De nombreux indicateurs ont été mesurés afin de faire un lien avec le rendement final. Parmi les indicateurs d'intérêt, le poids frais à début floraison semble pertinent avec une nette amélioration passés les 3.5-4 kg/m<sup>2</sup> de biomasse aérienne en pois et 3 kg/m<sup>2</sup> en féverole.

Relation entre le rendement et la biomasse fraîche à floraison : pois de printemps



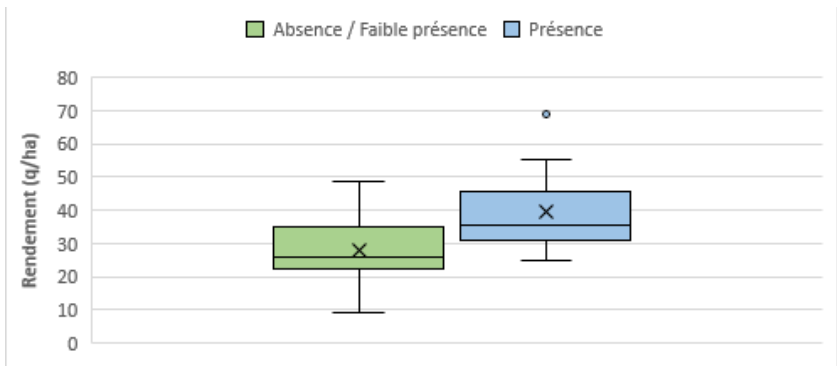
Relation la biomasse floraison et le rendement : féverole





La notation qualitative de la nodulation en végétation des pois présente également une nette influence sur le rendement final. Cette tendance est moins marquée en féverole qui dans l'ensemble présente une bonne nodulation en végétation au sein de l'observatoire.

Relation entre le rendement et la présence de nodosités en végétation



D'autres indicateurs sont en cours d'analyse, tels que la compaction du sol ou encore l'enracinement.

Bastien Remurier (Terres Inovia) - Mai 2022

## Quels intérêts l'agriculteur retire de l'insertion d'une légumineuse à graine ?

### Exemple de 2 fermes-types

Au printemps 2021, Terres Inovia a étudié les impacts technico-économiques et environnementaux de l'insertion d'une légumineuse à graines (LAG) historiques (pois protéagineux ou féverole) dans des systèmes de culture caractéristiques du nord-est de la France. Cinq fermes représentatives de quatre contextes pédo-climatiques de cette région ont été caractérisées à l'aide d'experts et d'enquêtes (conseillers, agriculteurs). L'étude a été menée par Laurine Brillault dans le cadre de son stage de fin d'étude d'ingénieur agronome à l'aide de l'outil SYSTERRE®.

L'insertion des LAG s'est toujours réalisée avant un blé pour une meilleure représentativité des pratiques et pour permettre de prendre en compte des effets de gains d'azote et de rendements déjà bien connus sur cette succession. A noter que l'insertion d'une LAG permet en conséquence de rajouter un blé supplémentaire à la rotation. A partir de ces rotations, divers indicateurs économiques, environnementaux et sociaux ont été calculés. Voici quelques exemples issus de l'étude.

### Cas de la ferme Champagne crayeuse

La ferme-type champagne crayeuse se définit par des cultures à haut potentiel (blé de colza : 93q/ha). Le pois d'hiver a été préféré suite au regain d'intérêt de la culture ces dernières années sur ce bassin de production historique. D'une rotation de 5 ans, l'insertion du pois a permis d'amener un blé supplémentaire allongeant à 7 ans.

Indicateurs	Variable calculée à l'ha de SAU	Ferme-type Champagne crayeuse	
		Sans pois d'hiver	Avec pois d'hiver
Economique	Chiffre d'Affaire (€/ha)	1 473	1 415
	Produit brut (€/ha)	1 710	1 673
	Charge totale en intrants (€/ha)	559	510
	Marge Brute hors aides (€/ha)	914	904
	Charges de mécanisation (€/ha)	327	312
	Marge Nette hors aides (€/ha)	88	93
	Marge Nette avec aides (€/ha)	325	351
Energétique	Production d'énergie brute (MJ/ha)	163 320	147 929
	Consommation d'énergie primaire (MJ/ha)	15 437	13 842
	Efficacité énergétique	10,6	10,7
Protéique	Production de protéines végétales (kg/ha)	730	787
	Part des MRP au sein des protéines végétales (%)	27	33
Social	Temps de traction moyen (h/ha)	3,96	3,79
	Quantité d'azote minéral apporté (kg/ha)	169	147
Environnemental	IFT Total (TS inclus)	6,61	6,06
	Emissions de GES total (kgéqCO2/ha)	2 578	2 309
	-5% ≤ Variation ≤ +5%		Amélioration de l'indicateur



## TÉMOIGNAGE

### Comment évaluer les performances azotées des systèmes de culture ?

#### Travaux menés par Honorine Gabriel lors de son stage de fin d'études



Je suis arrivée à la Chambre d'agriculture Grand Est en 2021, pour réaliser mon stage de fin d'étude d'ingénieur agronome.

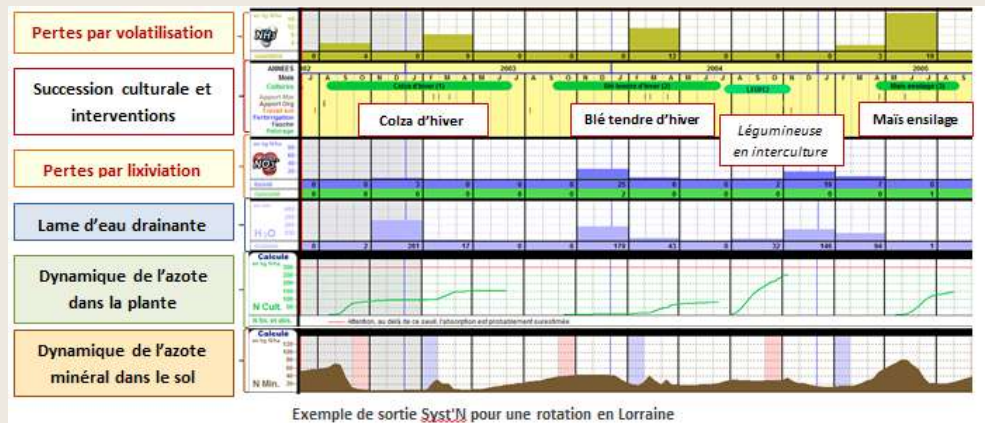
Honorine, meilleure stagiaire de l'univers !

« Mon stage s'est inscrit dans le cadre du PEI PARTAGE et avait pour principal objectif d'évaluer la performance des systèmes de culture des agriculteurs suivis dans le cadre du projet en termes d'autonomie et de pertes azotées, et d'accompagner les conseillers dans ces évaluations.

Pour ce faire, j'ai mobilisé le logiciel de simulation Syst'N qui quantifie les pertes (par lixiviation, volatilisation et dénitrification) au cours de la succession des cultures, en fonction des ITK pratiqués, selon les sols et les climats des zones étudiées. Il vise in fine à relier les pertes aux pratiques et combinaisons de pratiques qui les ont engendrées et à identifier les leviers d'action susceptibles de les diminuer.

Ces modélisations viennent compléter les mesures et évaluations des pertes et performances des apports réalisés sur le terrain par les conseillers accompagnant les agriculteurs.

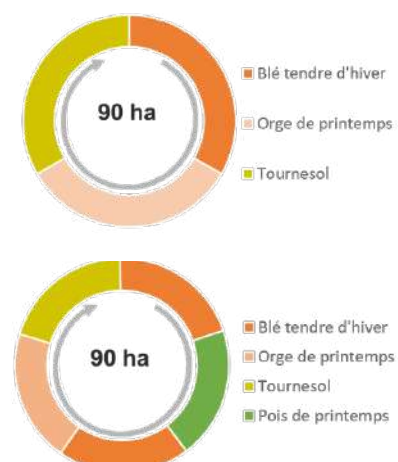
De cette manière, les résultats synthétisés ont permis aux conseillers et agriculteurs de visualiser les moments les plus « à risque » de la succession culturale et ont été un appui pour la conception de systèmes plus performants. »



### Cas de la ferme Barrois

La ferme-type barrois se définit par des sols argilo-calcaires superficiels, une rotation plus courte et des potentiels moindres (blé de colza : 67q/ha). Le pois de printemps, plus présent historiquement a été inséré permettant d'allonger la rotation et d'apporter un peu de diversification. La ferme-type se sépare en 2 ilots afin d'illustrer la baisse du colza ces dernières années, souvent remplacé par du tournesol.

Indicateurs	Variable calculée à l'ha de SAU	Ferme-type Barrois	
		Sans pois de printemps	Avec pois de printemps
Economique	Chiffre d'Affaire (€/ha)	967	958
	Produit brut (€/ha)	1196	1197
	Charge totale en intrants (€/ha)	397	379
	Marge Brute hors aides (€/ha)	590	580
	Charges de mécanisation (€/ha)	238	240
	Marge Nette hors aides (€/ha)	-43	-55
	Marge Nette avec aides (€/ha)	166	182
Energétique	Production d'énergie brute (MJ/ha)	86867	83 765
	Consommation d'énergie primaire (MJ/ha)	12295	11004
	Efficacité énergétique	7,07	7,61
Protéique	Production de protéines végétales (kg/ha)	557	612
	Part des MRP au sein des protéines végétales (%)	26	35
Social	Temps de traction moyen (h/ha)	3,43	3,39
	Quantité d'azote minéral apporté (kg/ha)	131	107
Environnemental	IFT Total (TS inclus)	5,05	4,81
	Emissions de GES total (kgéqCO2/ha)	1974	1720
	-5% ≤ Variation ≤ +5%		Amélioration de l'indicateur



Rotations initiales : Barrois

Rotations avec insertion du pois : Barrois



## Conclusions de l'étude

Ces premières analyses ont permis de montrer que les LAG apportent un réel intérêt économique dans certaines situations tel que les terres de craie ou les sols argilo-calcaires superficiels. Dans d'autres situations, elles n'apportent ni gain ni perte significative comme c'est le cas du pois de printemps dans les secteurs argilo limoneux de Lorraine et de la Champagne humide. Dans tous les cas, les indicateurs environnementaux dont l'azote et les GES sont améliorés. Cependant, cette robustesse économique face à la rotation initiale peut être affectée selon divers facteurs :

- **Insérer une LAG la mieux adapté au contexte** : selon les risques climatiques, certaines espèces semblent mieux s'en sortir que d'autres. Exemple de la Brie ou la féverole de printemps manque de robustesse par rapport à un pois d'hiver.
- **S'assurer d'un prix attractif** : Selon les débouchés, les prix varient et peuvent influencer la marge nette de la rotation avec LAG selon les fermes-types. La ferme-type craie présente une bonne robustesse quel que soit le prix de vente (de 193 €/t à 263€/t). La ferme-type Barrois affiche une marge nette plus faible passé les 200€/t.
- **Améliorer et/ou sécuriser le potentiel** : pour un prix de vente identique en pois (210 €/t), le rendement influence plus ou moins la marge nette par rapport à la rotation initiale. Dans le cas du Barrois, passé les 29q/ha, la marge nette est plus faible que l'initial. La maîtrise du potentiel sur ces cultures est un enjeu fort.

Cette première étude permet de mettre en avant les points de vigilances et les atouts de l'insertion des LAG dans les contextes du Grand Est. L'insertion des LAG apporte d'autres bénéfices qui n'ont pu être pris en compte dans l'étude tel que les bénéfices sur un futur marché carbone ou encore les bénéfices agronomiques au sein de la rotation (diminution IFT, travail du sol, etc). Cette première étude pourra être approfondie à d'autres cas-types et cultures (ex soja, luzerne, etc).

Laurine Brillault et Bastien Remurier (Terres Inovia) - Octobre 2021

# Considérer les restitutions en azote des légumineuses

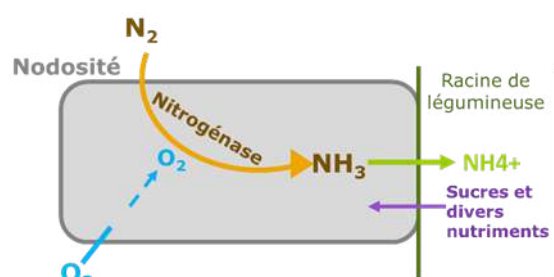
Avec un contexte de prix de l'azote élevé et une incertitude sur l'arrivée des dernières commandes, le raisonnement de l'azote est plus que primordial afin d'effectuer des économies tout en préservant les performances de ses cultures. Parmi les leviers à disposition, l'insertion des légumineuses est une solution pertinente pour revoir ses doses à la baisse sur son exploitation tout en apportant de la diversification.

Par son système de nodulation (symbiose avec des bactéries fixatrices de l'azote de l'air), les légumineuses sont autonomes en azote et tirent une grande partie de leur azote directement de l'air, permettant de ramener de l'azote dans le système autrement que par des apports organiques ou minéraux.

% de l'azote issu de la fixation symbiotique selon l'espèce de légumineuse

% Ndfa	Espèces
80-95	Trèfle, luzerne, prairie
70-80	Féverole, lupin
60-70	Pois, pois chiche, lentille, soja
40	Haricot

Schéma simplifié du processus de fixation symbiotique de azote de l'air



## Une diminution nette de l'azote à l'échelle de la rotation

L'insertion de légumineuses permet de diminuer de plus de 20 kg d'N/ha à l'échelle d'une rotation comme l'illustre l'étude de divers cas-type avec introduction du pois ou de la féverole (cf. tableau). Cette diminution se traduit par la restitution de l'azote fixé via les nodosités mais également par une meilleure structuration du sol par certains systèmes racinaires comme c'est le cas de la féverole, facilitant l'exploration des racines des autres cultures.

	Fertilisation azotée (kg N /ha)	Emissions de GES (%)
Ferme-type Champagne crayeuse Avec pois d'hiver	-22	-10
Ferme-type Barrois Avec pois de printemps	-24	-13
Ferme-type Champagne humide Avec pois de printemps	-20	-9
Ferme-type Brie Avec féverole de printemps	-23	-11
Ferme-type Brie Avec pois d'hiver	-23	-11
Moyenne des fermes types	-22 kg N /ha	-11 %

## Une diminution nette de l'azote sur les précédents et associations de légumineuses

Il est important de bien considérer la présence d'un précédent ou d'une association de légumineuse dans le calcul de l'azote de sa culture au printemps. Dans la plupart des successions tel que pois-blé, un gain notable de 20 à 60 kg/ha d'azote est possible. De même, pour un colza associé à des légumineuses, il est possible de diminuer sa dose de 30u au printemps.

Exemples de diminutions d'azote observées pour certaines successions avec légumineuses

Succession	Blé de pois	Colza de pois	Maïs de soja
Diminution de la dose d'azote possible	-20 à -60 kg/ha	-30 à -60 kg/ha	-30 à -50 kg/ha

N'hésitez pas à appliquer les préconisations de diminution de sa dose X selon les outils utilisés et les références de l'arrêté régional azote en vigueur.

## Une marge attractive des légumineuses, non influencée par le cours de l'azote

Le prix de vente des légumineuses à graine suit l'inflation des cours agricoles. Pour l'exemple du pois, celui-ci voit son prix de vente (Départ Rouen) atteindre les 325 euros/t contre un prix de 190 euros/t habituellement (débouché alimentation animale), soit une augmentation de 135 euros/t. Cette tendance est également identique pour la féverole ou le soja.

Sans la charge de l'azote qui est également élevée, la marge brute est améliorée et reste compétitive.

### Sol à faible potentiel - Barois

Cultures	Blé de colza (64 q/ha)	Colza (30 q/ha)	Pois de printemps (32 q/ha)
Prix de vente 2022	260€/t (rendu Rouen)	800€/t (rendu Moselle Fob)	325€/t (rendu Rouen)
Progression de la marge brute par rapport à 2016-2020	+85%	+195%	+101%

### Sol à bon potentiel - Champagne Crayeuse

Cultures	Blé de colza (96 q/ha)	Colza (32 q/ha)	Pois d'hiver (46 q/ha)
Prix de vente 2022	260€/t (rendu Rouen)	800€/t (rendu Moselle Fob)	325€/t (rendu Rouen)
Progression de la marge brute par rapport à 2016-2020	+80%	+234%	+92%

Charges intrants issues de l'étude des Fermes-types Barois et Champagne Crayeuse  
Prix de l'azote de 0.8€/u en 2021 et 1.2€/u en 2022  
Prise en compte de l'aide protéagineux de 149€/ha

Bastien Remurier (Terres Inovia) - Janvier 2022

## TÉMOIGNAGE

**Le PEI PARTAGE :  
Un catalyseur d'innovations  
au service des agriculteurs**

**Retour sur la démarche  
avec Etienne Mignot**



Etienne, agronome innovant !

C'est le 05 février 2021 que les agriculteurs, membres du PEI Partage chez Vivescia se sont retrouvés pour la première fois lors d'un atelier de co-conception et ont eu de nombreux échanges sur l'azote.

« Chez Vivescia, je suis référent sur la culture du colza, j'ai aussi la responsabilité avec un collègue de l'animation de notre club Vivescia Agrosol regroupant pas loin de 350 agriculteurs engagés dans les techniques de l'agriculture de conservation.

Nous avons rejoint le PEI Partage avec un groupe de 4 exploitations agricoles situées entre l'Aisne et les Ardennes.

Certains parmi ces agriculteurs sont céréaliers, d'autres ont des rotations plus complexes d'autres encore possèdent des ateliers d'élevages. Grâce aux entretiens individuels réalisés durant le mois de décembre, j'ai pu mettre en avant des différences sur leurs gestions de l'azote, avec des usages très diversifiés sur les formes d'azote et les stratégies d'apports.

Lors de notre journée d'échange, les agriculteurs ont pu échanger sur ces différents points et chacun a pu proposer des actions pour faire évoluer les pratiques. Nous avons aussi profité de cette journée pour réfléchir aux actions à mener pour la suite de ce projet : semis de couverts avant moisson, analyse de sol, efficacité des apports organiques... »







# Colza associé à des légumineuses, pour plus de robustesse et moins d'azote

Depuis une dizaine d'années de travail avec des agriculteurs, les bénéfices se confirment et les conditions de réussite sont maintenant bien connues : semer des cultures compagnes associées au colza permet de rendre le colza plus robuste et aussi de réduire la dose N apportée.

Cette pratique, initialement développée dans les zones difficiles du Berry et de l'Yonne, est désormais pratiquée sur l'ensemble du territoire français pour répondre aux enjeux de l'azote mais également des ravageurs. Les avantages sont multiples :

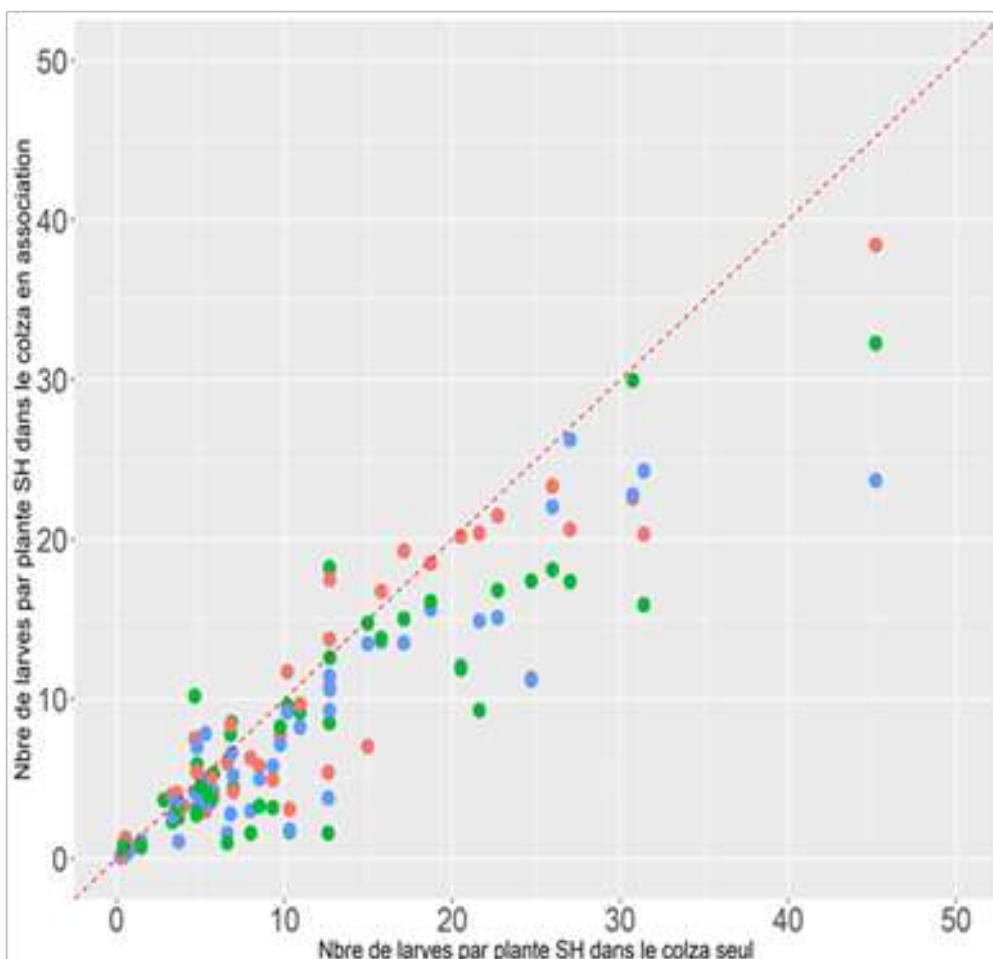
- **Amélioration de la nutrition azotée et du fonctionnement du colza** : meilleur statut azoté à l'entrée de l'hiver, restitution d'une partie de l'azote des légumineuses au printemps et meilleure efficacité d'utilisation de l'azote minéral, rendement du colza maintenu avec moins d'azote et parfois déplafonné
- **Contribution à la réduction des dégâts d'insectes d'automne** : effet direct de réduction du nombre de larves sous réserve d'une biomasse des couverts supérieure à 200g/m<sup>2</sup> en entrée de l'hiver et effet indirect de l'amélioration de la dynamique de croissance du colza à l'automne
- **Augmentation de la concurrence vis-à-vis des adventices** grâce au supplément de biomasse produit et la complémentarité de port des plantes
- **Contribution à l'amélioration de la fertilité des sols** : restitution de carbone et d'azote au sol, bénéfices à court et long terme

A gauche de la photo : colza mal implanté, non associé, détruit par les dégâts de larves d'insectes. À droite, colza robuste, associé à la féverole, qui a résisté aux dégâts d'insectes (Yonne 2016)



## Diminution du nombre de larves des ravageurs d'automne

L'association du colza avec des légumineuses permet de faire diminuer le nombre de larves d'insectes en sortie d'hiver et donc de ports buissonnants. Ainsi, c'est un véritable levier agronomique pour sécuriser son potentiel. Cet effet est valable quelles que soient les espèces de légumineuses associées, à conditions qu'elles soient développées, atteignant au moins 200g/m<sup>2</sup> à l'entrée de l'hiver.



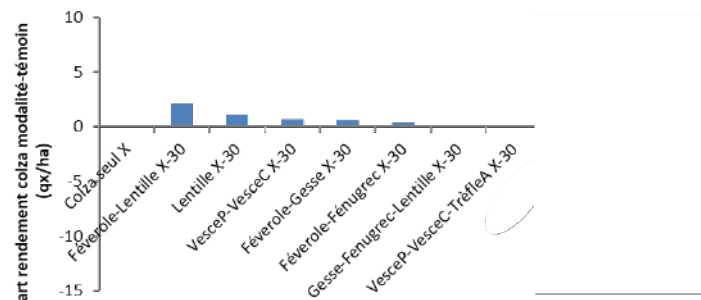
- Colza - féverole
- Colza - lentille - fénugrec - gesse
- Colza - lentille - fénugrec - trèfle d'Alexandrie

## Diminution de la dose X d'azote au printemps

L'association avec des légumineuses gélives permet de diminuer les apports d'azote au printemps sur le colza. Ce bénéfice d'azote est lié à 2 mécanismes :

- **A l'automne**, la légumineuse va améliorer l'exploration racinaire du colza, lui permettant de mieux assimiler les éléments du sol dont l'azote. Également, par un phénomène de concurrence positive, le colza présente une croissance continue et présente généralement plus de biomasse en sortie d'hiver et donc d'azote, diminuant de ce fait ses besoins en azote dans le calcul au printemps.
- **Au printemps**, la légumineuse en se dégradant suite au gel, restitue son azote, permettant de diminuer de 30u sa dose sans dépréciation du rendement.

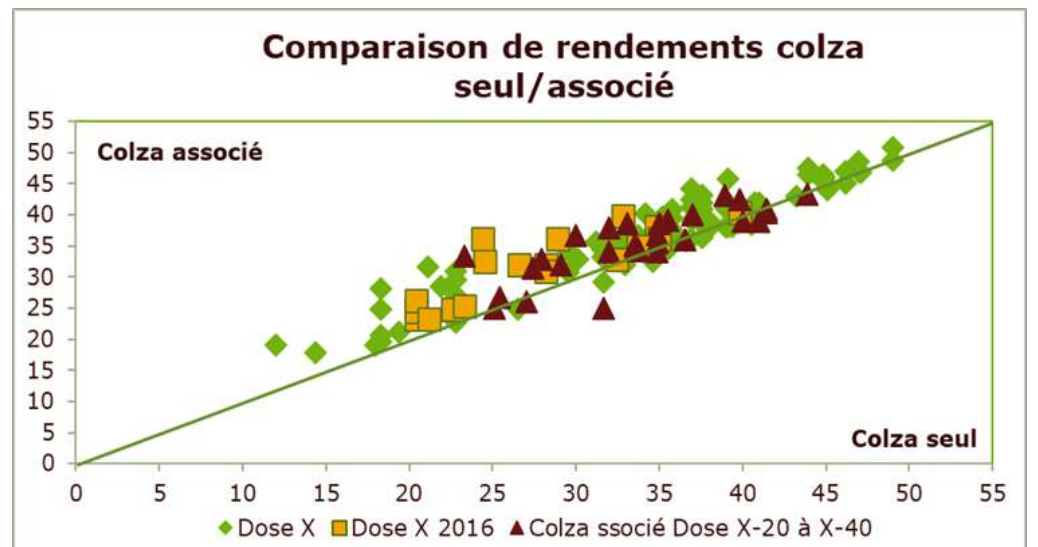
Baisse de 30u de la dose X sans dépréciation sur le rendement quelle que soit la légumineuse



Synthèse de 15 essais Terres Inovia de 2012 à 2014

## Gain de rendement et de marge

L'association de légumineuses gélives permet d'améliorer le rendement par rapport à la pression insecte mais aussi par l'amélioration de l'alimentation du colza. De plus, par le moindre investissement en azote mais également la possibilité de réduire les pesticides, la marge nette se voit améliorée même si une charge s'ajoute, liée à la semence de légumineuses.



## Comment réussir son association ?

Il est nécessaire d'avoir une implantation réussie et une levée précoce. Afin que la légumineuse ait le temps de se développer pour jouer son rôle, privilégier les semis précoces de mi-août. Attention aux parcelles avec de très fortes pressions adventices en début de cycle. Si des solutions efficaces de rattrapage existent à l'entrée d'hiver, il faut rester vigilant à ce que les adventices ne concurrencent pas l'association dès le début de cycle, les solutions chimiques étant plus légères à ce moment pour éviter tout impact sur la légumineuse. En cas de parcelles sales, réaliser l'implantation sans travail préalable et avec un semis direct sans flux de terre évitant les levées d'adventices.

## Les points clés de la conduite d'un colza associé à des légumineuses gélives

- **Choix couvert associé** : mélanger plusieurs espèces complémentaires. Critères de choix : comportement hivernal, bénéfices recherchés et risque bioagresseurs à la rotation.
- **Implantation colza** : une bonne levée avant fin août permet de maximiser les avantages de l'association. Plus le stade des légumineuses est avancé en entrée d'hiver, plus elles sont sensibles au gel.
- **Gestion des adventices** : adapter la stratégie de désherbage pour ne pas occasionner de phytotoxicité sur les légumineuses et valoriser leur pouvoir couvrant.
- **Gestions des ravageurs** : pas de modification des règles de décision habituelles. Les couverts de légumineuses gélives contribuent à réduire le nombre de larves d'insectes d'automne (féverole) et à maintenir la dynamique de croissance du colza. Ils sécurisent l'impasse d'insecticide d'automne.
- **Gestion de l'azote** : si la levée des couverts associés est précoce et satisfaisante, leurs bénéfices vis-à-vis de l'alimentation azotée du colza au printemps justifient une réduction forfaitaire de 30 unités d'azote par rapport à la dose bilan.





Terres Inovia a publié une brochure technique « Colza associé à un couvert de légumineuses gélives » qui synthétise l'ensemble des connaissances disponibles pour comprendre les points clés de la culture et pouvoir ajuster l'itinéraire technique à chaque situation. La brochure est disponible à ce lien :

<https://www.terresinovia.fr/p/colza-associe-a-un-couvert-de-legumineuses-gelives-point-technique>



### Une technique à l'épreuve des agriculteurs du Sud-Ouest : 10 retours d'expérience partagés

11 structures du Sud-Ouest de la France se sont regroupées depuis 2018 dans le but d'acquérir des connaissances opérationnelles sur la pratique du colza associé à des légumineuses, adaptées à leur contexte au profit des producteurs et des systèmes de cultures locaux. Le groupe s'est intéressé à l'association de légumineuses dans des modes de production rencontrés dans la région tels que le colza semence ou le colza en agriculture biologique. Animé par Terres Inovia et s'appuyant sur un réseau d'agriculteurs pionniers, ce collectif a produit pour chaque situation où la technique a été mise en œuvre, une fiche témoignage décrivant en détail la campagne 2020 et laissant une large place à l'expression des agriculteurs.

#### Brochure CASO :

Pour chaque retour d'expérience, la fiche détaille : le contexte de production, les bénéfices recherchés, le contexte météo, les interventions réalisées en amont et tout au long de la campagne, les principaux résultats obtenus et les enseignements à en retenir. Une analyse globale de ces situations complète les 10 retours d'expérience et propose une synthèse des pratiques mises en œuvre dans le sud-ouest par 10 agriculteurs pour réussir leur colza associé.

Brochure disponible à ce lien :

<https://www.terresinovia.fr/-/benefices-et-conduite-du-colza-associe-a-des-legumineuses?inheritRedirect=true&redirect=%2Frecherche%3Fq%3DCASO>



### Et quid de l'association du colza avec des couverts pérennes ? Des spécificités à prendre en compte

L'intérêt pour les couverts permanents est croissant. S'il est risqué d'implanter un colza dans un couvert en place (sol asséché par le couvert), l'implantation simultanée avec le colza est pertinente.

#### Intérêts

Les légumineuses pérennes (lotier, trèfle blanc, trèfle violet, luzerne, etc.) se développent pas ou peu à l'automne. Elles ne fourniront pas de service au colza. Leur intérêt sera de couvrir le sol et de produire de la biomasse dès la récolte du colza et éventuellement d'apporter différents services à la ou les cultures suivantes. En général, il est possible d'entretenir ces couverts dans les céréales qui suivent. Il est possible d'y joindre des légumineuses gélives pour apporter le bénéfice ravageur à l'automne.

#### Points d'attention

##### 1. Choix du couvert :

Lotier et trèfle blanc sont les espèces qui présentent le moins de risque de concurrence du colza au printemps ;

##### 2. Gestion délicate du désherbage :

Les légumineuses pérennes ne contribuent pas à étouffer les adventices alors qu'une réduction de dose d'herbicide est nécessaire et les rattrapages d'entrée hiver à proscrire pour ne pas les détruire. Il est donc recommandé (i) d'éviter les parcelles à forte pression en adventices dicotylédones et (ii) d'associer des légumineuses gélives ayant une bonne capacité de couverture du sol précoce : trèfle d'Alexandrie mono-coupe ou lentille.

Bastien Remurier (Terres Inovia) - Juin 2022

Famille	Espèce	C/N	Taux de restitution l'année en cours (%)	Délai de restitution
Légumineuses	Féverole	<15	50	2 à 2,5 mois
	Trèfle	<15	50	2 à 2,5 mois
	Vesce	<15	50	2 à 2,5 mois
Crucifères	Colza (repeusses)	[15-20[	40	3 à 4 mois*
	Radis fourrager	[20-25[	30	4 mois*
	Moutarde	>25	<25	+ de 4 mois*
Asteracées	Nyger	[15-20[	40	3 à 4 mois*
	Tournesol	>25	<25	+ de 4 mois*
Graminées	Avoine	[15-20[	40	3 à 4 mois*
	Seigle	[15-20[	40	3 à 4 mois*
Hydrophyllacées	Phacélie	[15-20[	40	3 à 4 mois*
Mélange sans légumineuse		[20-25[	30	4 mois*
Mélange avec légumineuses		[15-20[	40	3 à 4 mois
Mélange de légumineuses		<15	50	2 à 2,5 mois

Figure 2 : Taux et délais de relargage d'azote par différentes espèces en couvert  
Source : essais CA36 2003-2012

Dans un mélange d'espèces, les légumineuses vont permettre de réduire le C/N grâce à une teneur en azote élevée. Afin de maintenir un C/N inférieur à 20 lors de la destruction, il convient d'avoir une forte proportion de légumineuses dans son couvert. Une interculture composée par 100% légumineuses n'est pas un choix pertinent mais il ne faut pas tomber dans l'extrême inverse et passer en dessous des 50% de graines de légumineuses dans la composition de son mélange pour garantir une biomasse à forte teneur en azote (Figure 2).

Maëva Weens (Chambre d'agriculture Grand Est), Etienne Mignot (Vivescia) 6 Octobre 2021

# Optimiser la production d'azote de son couvert

Les couverts sont une opportunité pour ramener de l'azote dans son système. Pour cela, le couvert doit être riche en légumineuses et avoir un rapport C/N inférieur à 20 lors de sa destruction. Faisons un point rapide sur les couverts dont l'objectif est la production d'azote.



Figure 1 - Nodosités sur une féverole

Les légumineuses ont l'intérêt de mettre en place une symbiose avec des bactéries de type rhizobium naturellement présentes ou non dans le sol. Les nodosités qui se forment sur les racines de la plante sont un lieu d'échange pour

le carbone fourni par la fabacée et l'azote que les bactéries ont fixé dans l'air. Ces nodosités se mettent généralement en place entre 400 et 600 degrés jours après la germination de la légumineuse.

Lors de la destruction d'un couvert, il est possible d'estimer la quantité d'azote (mais aussi d'autres éléments minéraux) restituée au sol en faisant le lien entre la biomasse du couvert et sa composition.

Pour que cet azote soit disponible, il faut impérativement détruire, au moins en partie, le couvert. C'est lors de la dégradation du couvert que les éléments minéraux pourront être mis à disposition de la culture suivante. La date de destruction de son couvert est donc à mettre en lien avec la culture qui suit. Si un couvert avec un C/N inférieur à 20 peut être détruit la veille d'un semis sans faire courir le risque d'une faim azotée, dès lors que le C/N du couvert est supérieur à 20, il vaut mieux anticiper sa destruction afin d'avoir 2 mois durant lequel le couvert peut commencer à être dégradé par les organismes du sol et limiter le risque d'immobilisation de l'azote par le carbone contenu dans le couvert.

## MERCI

L'outil MERCI (Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaire), développé par différents acteurs du milieu agricole, est simple et rapide d'utilisation.

Accessible sur internet, cet outil contribue à démontrer l'intérêt agronomique, économique et environnemental des cultures intermédiaires multi-services sur le recyclage et la mise à disposition des éléments minéraux. La méthode repose sur le couplage entre des références « terrain » permettant d'estimer les teneurs N, P, K et S et Mg de la majorité des espèces de cultures intermédiaires et des références obtenues par simulation avec le modèle de culture STICS de l'INRAE pour définir, après destruction, la quantité d'azote disponible pour la culture suivante dans différents contextes pédo-climatiques de France Métropolitaine.

L'utilisateur procède en 2 étapes :

1. réalisation et pesée d'un prélèvement au champ,
2. saisie des informations dans l'application internet pour obtenir les résultats

Simple à mettre en œuvre, elle permet d'évaluer concrètement l'intérêt d'implanter un couvert végétal et diminuer, le cas échéant, la fertilisation de la culture suivante (ou en place dans le cas de la vigne).

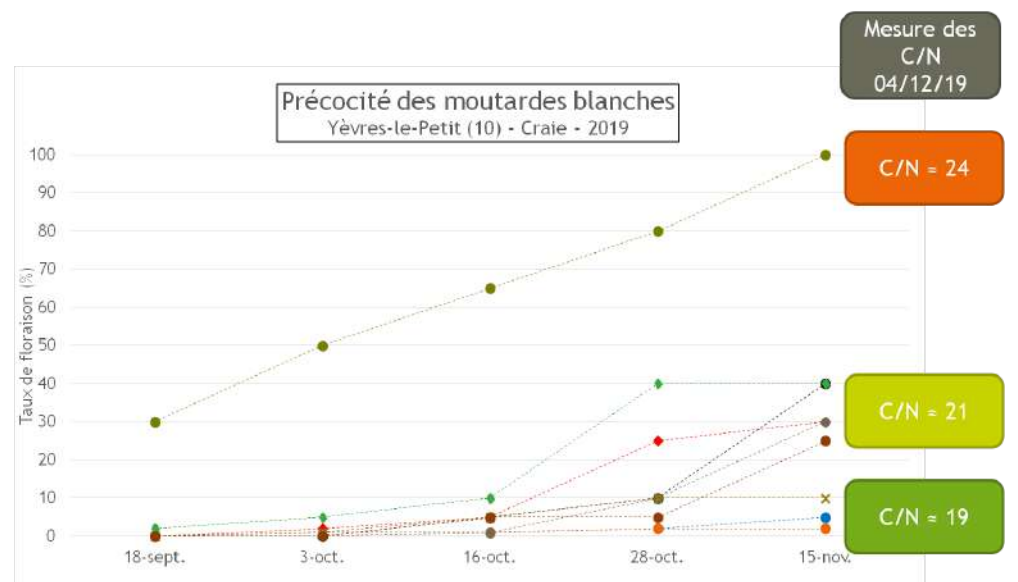


Figure 3 : Lien entre précocité à floraison des moutardes blanches et C/N

Aux fabacées peuvent être ajoutées des brassicacées (ex : colza, radis fourrager, moutarde), graminées (ex : avoine, seigle), hydrophyllacées (ex : phacélie), astéracées (ex : nyger, tournesol) ou d'autres familles de plantes pour répondre à divers enjeux : structuration, réduire les pertes d'éléments minéraux y compris azotés, favoriser la biodiversité, réduire l'érosion, produire de la biomasse... D'autre part, l'un des éléments clés est de maîtriser la date de floraison des espèces autres que les légumineuses. En effet, une fois la floraison atteinte, toutes les espèces ont tendance à se lignifier. Choisir des variétés à floraison tardive permet de retarder cette augmentation du C/N (Figure 3). Cela est vrai pour les brassicacées, comme pour les graminées, astéracées, hydrophyllacées... Les fabacées quant à elle possèdent généralement des C/N compris entre 10 et 15 après 3 mois de croissance. D'où l'intérêt d'un mélange bien fourni en légumineuses !





## TÉMOIGNAGE

**Viser la multiperformance de son système de culture : la trajectoire de Jean-François Verdenal, polyculteur-éleveur à Igney (54)**

« Polyculteur-éleveur investi dans un méthaniseur collectif, j'ai engagé mon exploitation dans une MAEC (Mesure Agro-environnementale climatique) pendant 5 ans, et viens de la renouveler pour cette année. La MAEC a nécessité une implantation massive d'herbe, entraînant donc une proportion de prairies temporaires importante dans mon assolement, et parallèlement une diminution progressive de mes surfaces de maïs.

« J'ai également eu l'occasion de cultiver du pois par le passé mais les résultats n'étaient pas au rendez-vous. Initialement éleveur laitier, je convertis mon atelier d'élevage vers une production allaitante, et le passage en BIO est déjà en réflexion depuis quelques années. La MAEC m'a d'ailleurs permis de bien diminuer mes IFT ce qui pourrait m'aider vers une transition.

Cependant, l'activité de méthanisation nécessite d'avoir une production annuelle sécurisée, ce qui peut représenter un frein pour moi à la conversion BIO, bien qu'il ne soit pas insurmontable à terme.

L'insertion de prairies dans mes rotations me permet de mieux gérer le désherbage (notamment vulpins) ainsi que la fertilisation azotée de mes cultures. Différentes pistes peuvent encore être explorées sur l'exploitation, notamment l'insertion de cultures de printemps, la bonne valorisation de l'azote des digestats de méthanisation ainsi que l'utilisation de matériel adapté pour l'apport de digestats au bon moment sur céréales. »



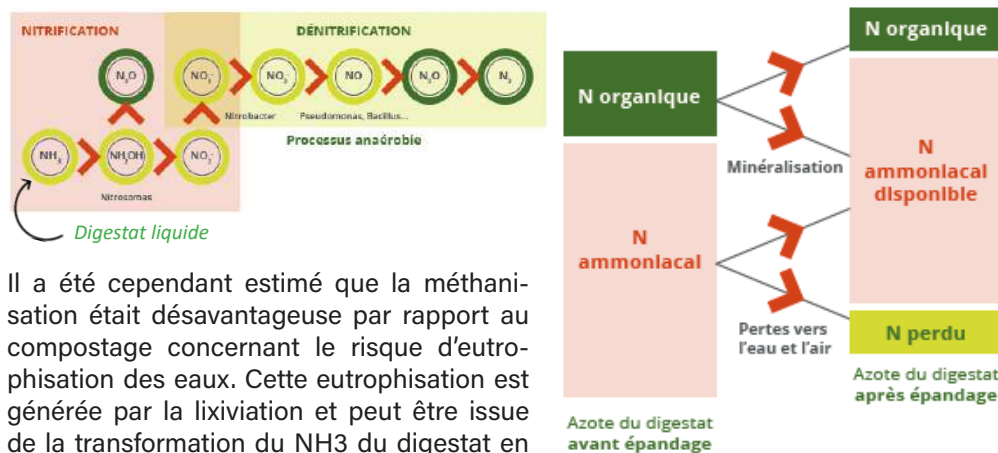
Jean-François, agri multiperformant !

**MÉTHANISATION : UNE NOUVELLE SOURCE D'AZOTE****L'azote dans la méthanisation**

L'acquisition de références nous permet de mettre à jour les bonnes pratiques de l'épandage du digestat pour une meilleure valorisation de l'azote. Mais que se passe-t-il dans les méthaniseurs pour aboutir à des risques de volatilisation, de lixiviation et d'émission de protoxyde d'azote ? Pour pouvoir agir en amont de ces risques, il est indispensable de connaître les origines de la formation de l'azote ammoniacal  $NH_3/NH_4^+$ .

La comparaison des systèmes pouvant générer l'émission de gaz à effet de serre a mis en évidence que la méthanisation avec valorisation énergétique a un impact moindre que le compostage, bien que le digestat émette 1,5 fois plus de  $N_2O$  au stockage que le compost. Les pertes d'azote sous forme de  $N_2O$  sont potentiellement plus fréquentes en hiver et au printemps et passent par divers processus de transformation naturelle présentés dans le schéma ci-dessous.

Réaction de transformation de l'azote dans le sol donnant lieu à des émissions de  $N_2O$  - Cellier et al., 2012



Composition du digestat en azote avant et après épandage

Donc, tout est lié à la formation de  $NH_3$  dans le méthaniseur, l'azote ammoniacal lui-même étant incriminé dans le cas de la volatilisation de l'azote lors de l'épandage du digestat.

**Mais quelles sont les origines de la formation de l'azote ammoniacal dans les méthaniseurs ?**

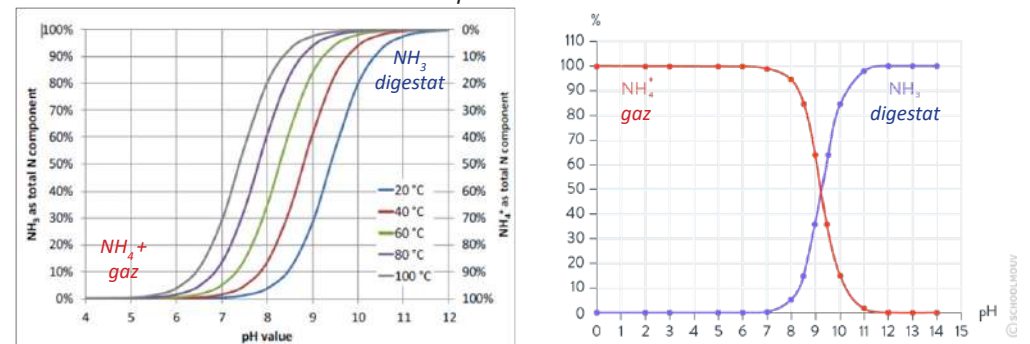
Certaines matières qui vont rentrer dans la composition de la ration d'un méthaniseur ont potentiellement plus de chance d'apporter de l'azote que d'autres. A titre d'exemple, on peut citer en particulier les effluents d'élevage. On dit alors qu'ils apportent un pouvoir tampon à la digestion tout en garantissant une augmentation du pH du mélange et ainsi facilitent le développement des microorganismes responsables de la dernière étape de la transformation de la matière en méthane : la méthanogénèse.

Parmi les effluents d'élevage, ce sont les fientes de volaille qui apportent le plus d'azote mais également de soufre dont les apports aux méthaniseurs doivent être limités au maximum (pour des questions de sécurité, de biologie et de coût pour le traitement du produit de la dégradation des matières soufrées, le  $H_2S$  qui est un gaz toxique et corrosif).

C'est généralement le cas, dans une moindre mesure, d'autres matières qui peuvent également apporter de l'azote au méthaniseur : la luzerne, le trèfle, l'herbe, le lait, etc.

Comme pour le domaine de la nutrition, tout est question d'équilibre. Aussi, trop d'azote peut amener à provoquer un dysfonctionnement de la biologie du méthaniseur et faire chuter les rendements de production de biogaz.

Equilibre à 37°C



Pour limiter les pertes d'azote au niveau du stockage et de l'épandage, il est donc conseillé de maintenir un pH légèrement basique stable (entre 7,5 et 8,5) ainsi qu'une température stable afin de conserver un équilibre  $NH_3/NH_4^+$  optimum dans les digesteurs.

Afin de mieux gérer l'azote de son digestat, il est également recommandé de redéfinir la taille de ses stockages en vérifiant les capacités agronomiques de son exploitation. En général, on considère qu'il faut entre 6 et 9 mois de stockage afin de préserver une souplesse sur la période hivernale et pouvoir favoriser un épandage au printemps. Une couverture du stockage peut s'avérer indispensable pour limiter les pertes par volatilisation qui peuvent s'élever jusqu'à près de 10% de l'azote total perdu.

La couverture permet également de valoriser au maximum le biométhane produit au niveau du stockage. Tel que présenté dans les tableaux ci-dessous, l'épandage reste le premier générateur de perte d'azote sur l'ensemble du processus de méthanisation.

Flux d'azote du scénario culture

Tableau 80 Flux d'azote vers l'environnement

g N	Total	Séparation des phases du digestat	Stockage du digestat	Epandage du digestat	Production des CIVE	Stockage du lisier
Ammoniac	1,35	0,05	0,13	1,08	0,06	0,025
Nitrate	0,61	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00
Nitrogen oxides	0,16	0,00	0	0,08	0,08	0,00
Dinitrogen monoxide	0,10	0,00	0,01	0,07	0,02	0,00

Tableau 81 Apports d'azote par les engrais et par les substrats

Type d'apports	g N
apport engrais CIVE	2,39
quantité fumier	2,44
quantité lisier	0,69
quantité résidus de culture	1,13
quantité CIVE	2,21

Flux d'azote du scénario élevage

Tableau 82 Flux d'azote vers l'environnement

g N	Total	Séparation des phases du digestat	Stockage du digestat	Epandage du digestat	Production des CIVE	Stockage effluents
Ammoniac	2,52	0,19	0,26	1,97	0,03	0,065
Nitrate	0,31	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00
Nitrogen oxides	0,18	0,00	0	0,13	0,04	0,00
Dinitrogen monoxide	0,17	0,00	0,02	0,13	0,01	0,00

Tableau 83 Apports d'azote par les engrais et par les substrats

Type d'apports	g N
apport engrais CIVE	1,24
quantité fumier	4,85
quantité lisier	5,92
quantité résidus de culture	1,22
quantité CIVE	1,15



# Évaluation intégrée du système exploitations agricoles et méthaniseur de Landres

Le développement d'une méthanisation agricole durable en France passe par la conception d'une gestion vertueuse du système exploitations agricoles-méthaniseur. MAELIA-biogaz est un outil informatique qui permet d'évaluer finement les impacts environnementaux, économiques et sociaux de projets de méthanisation agricole et ainsi limiter les transferts de fertilité, fuites d'azote...

## Pourquoi étudier la méthanisation ?

Afin d'aider à la valorisation des effluents d'élevage et des cultures intermédiaires, tout en diminuant les émissions de gaz à effet de serre, les exploitations agricoles peuvent miser sur la méthanisation. Les méthaniseurs agricoles peuvent permettre de réduire la dépendance en fertilisants minéraux grâce à la production de digestat et produisent du biogaz qui est une énergie renouvelable substituable aux énergies fossiles. Cependant, la méthanisation peut dans certains cas, entraîner des problèmes de fertilité du sol, d'émissions de polluants ou d'augmentation de la circulation des camions aux abords du méthaniseur. Les transferts de biomasses entre les parcelles et le méthaniseur peuvent potentiellement causer des déséquilibres à long terme. Afin d'aider à identifier des modalités de gestion vertueuse du système exploitations agricoles-méthaniseur, nous proposons un outil pour conduire l'évaluation intégrée de ce système.

## La plateforme de modélisation MAELIA-biogaz

MAELIA-biogaz est une plateforme de modélisation permettant d'évaluer les impacts environnementaux, économiques et sociaux des changements combinés de systèmes de culture et de modes de transformation et recyclage des biomasses.

MAELIA-biogaz s'appuie sur de nombreuses données géolocalisées telles que celles sur les sols, le climat, la structure du parcellaire des exploitations, les pratiques agricoles, le réseau routier et la localisation des unités de transformation des biomasses. Cet outil reproduit les décisions d'agriculteurs relatives à la conduite des cultures tels que le travail du sol, le semis, la fertilisation. Elle permet ainsi de simuler la dynamique des systèmes de culture et des cycles biogéochimiques dans chacune des parcelles d'un territoire.

Le modèle de méthaniseur dans MAELIA représente la transformation des substrats entrants en biogaz, en digestat brut, solide ou liquide et en émissions de gaz à effet de serre et ammoniac. Les propriétés fertilisantes du digestat sont calculées par le modèle et le digestat est ensuite épandu dans les parcelles des exploitations.

MAELIA-biogaz permet ainsi de simuler le fonctionnement de ce système complexe sur plusieurs années afin de quantifier et d'évaluer la variabilité d'un panel d'indicateurs économiques (rendement et marge semi-nette), environnementaux (cycle de l'eau, azote et carbone, émissions de gaz à effet de serre) et sociaux (charge de travail, augmentation du trafic aux abords du méthaniseur).

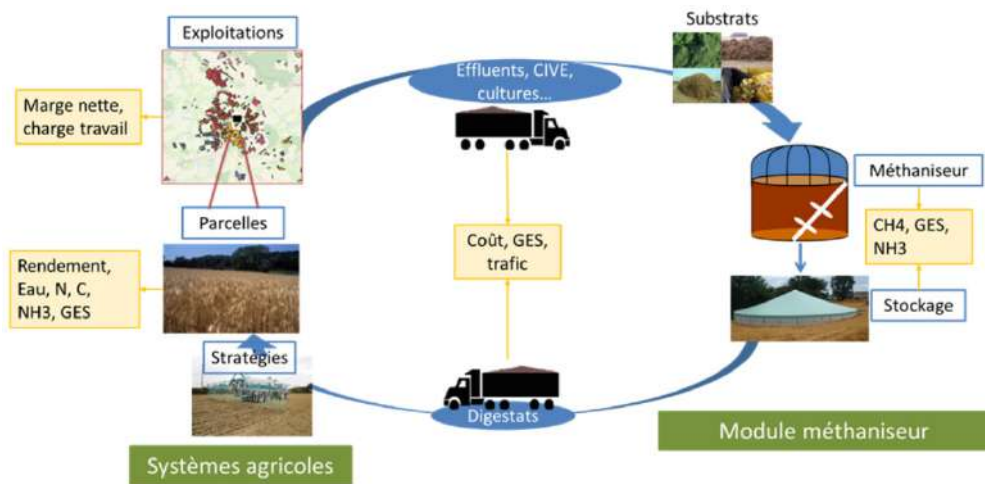


Figure 1 : Représentation d'un système de méthanisation agricole dans la plateforme MAELIA et les indicateurs calculés aux différentes échelles.

## Les premiers résultats de l'évaluation d'un méthaniseur

Dans le cadre du PEI Partage nous avons appliqué MAELIA-biogaz sur différents types de méthaniseurs agricoles dans le Grand-Est : un méthaniseur géré par la coopérative agricole EMC2 pour un groupement de 18 agriculteurs et des méthaniseurs gérés directement par quelques agriculteurs suivis par les Chambres d'agriculture des Vosges et de la Meuse. Les premiers résultats des simulations sur 20 ans sur le cas du méthaniseur EMC2 de Landres ont été comparés avec les analyses effectuées par EMC2 sur le méthaniseur (Tableau 1). Les résultats de MAELIA-biogaz montrent des propriétés de digestat similaires aux analyses d'EMC2 pour les digestats liquide ou solide. Concernant la production de méthane, il y a une différence entre le modèle et la production réelle du méthaniseur, le modèle a estimé une production de 133 Nm<sup>3</sup>/h alors que lors de ses premiers mois de fonctionnement le méthaniseur a produit 175 Nm<sup>3</sup>/h. Cet écart s'explique par le fait que les successions de culture, représentées dans MAELIA ne sont pas encore celles mises en œuvre par les agriculteurs, tandis que pour le digestat, nous utilisons bien la recette appliquée par le méthaniseur dans les simulations.

Tableau 1 : Résultats des simulations réalisées par MAELIA-biogaz et des analyses du digestat du méthaniseur de Landres (données EMC2). Le méthaniseur est en activité depuis moins d'un an, tandis que le modèle calcule des propriétés de digestat à l'équilibre et stabilisé depuis plusieurs années.

	Production méthane Nm <sup>3</sup> /h CH <sub>4</sub>	Digestat solide		Digestat liquide			
		C/N	Azote NH <sub>4</sub> gN/kg	Azote total gN/kg	C/N	Azote NH <sub>4</sub> gN/kg	Azote total gN/kg
<b>MAELIA biogaz</b>	133	18.2	1.2	8.3	6.6	2	4.9
<b>Données du méthaniseur de Landres</b>	175	17.4	1	5.3	5.5	1.6	3.8

## Conclusion

C'est un premier aperçu de ce qu'il est possible de faire avec MAELIA-biogaz. Cet outil permettra d'accompagner des conseillers agricole et énergie dans l'évaluation des systèmes exploitations agricoles-méthaniseur durables.

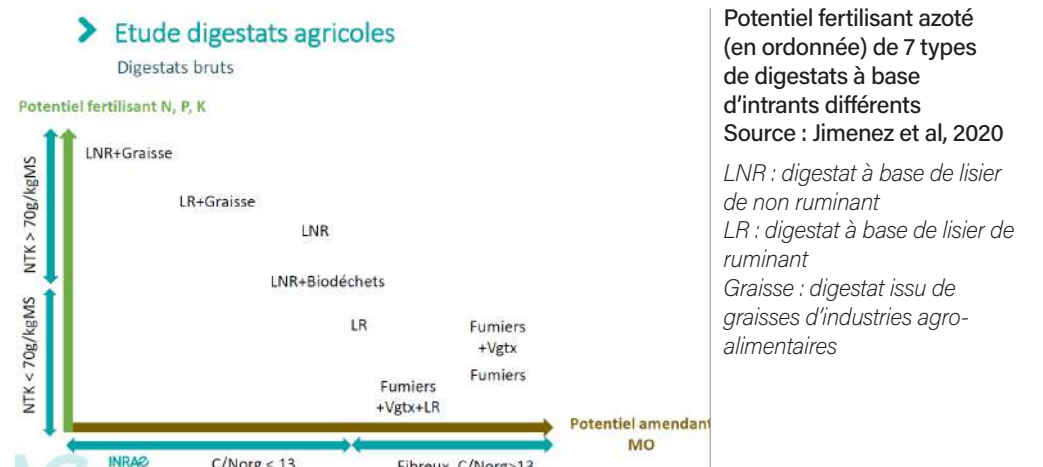
Floriane Colas (INRAE) - En partenariat avec EMC2 - Avril 2022

# Non pas UN mais DES digestats

Pour bien valoriser l'azote du digestat, connaître sa composition et maîtriser les pertes sont les clés du succès. La composition dépend à la fois des matières entrantes dans le méthaniseur et aussi des processus de méthanisation et de post-traitement (séparation de phase, stockage). Au-delà de la composition du digestat, la quantité d'azote effectivement prélevée par la culture dépend aussi des conditions d'épandage et des pertes associées.

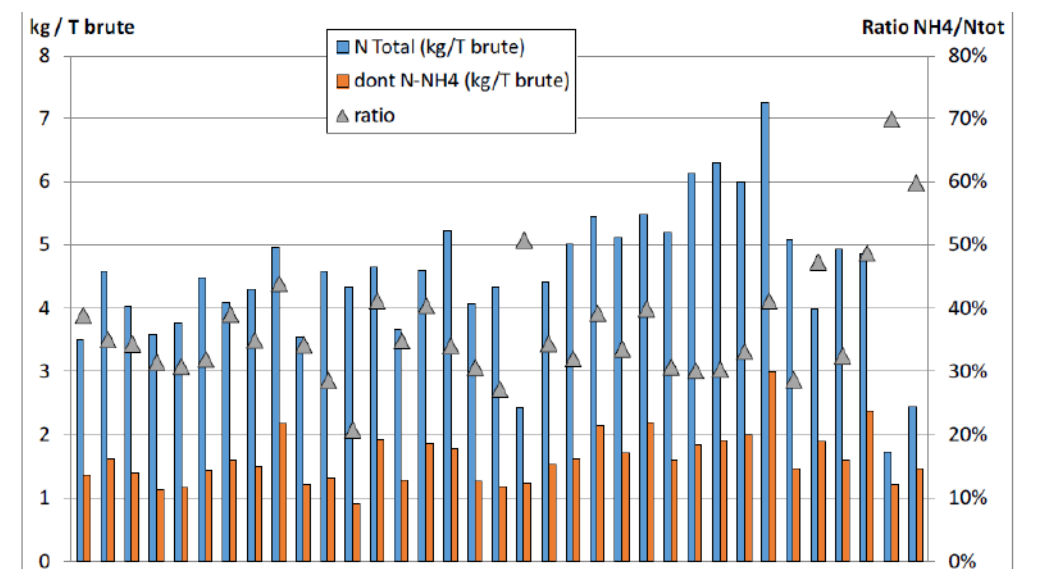
## Une analyse pour bien connaître ses digestats

Excellent fertilisant azoté, la quantité d'azote du digestat disponible pour la culture dépend de sa composition. La quantité d'azote est conservée pendant le processus de méthanisation ; sa forme se modifie sous l'action des microorganismes anaérobies, notamment la proportion d'azote minéral augmente. La composition du digestat en termes d'azote total et de forme d'azote est donc fortement dépendante des matières entrantes dans le méthaniseur. La diversité d'intrants d'un méthaniseur à un autre, conduit à une grande diversité de compositions et par conséquent de valeurs azotées.



Potentiel fertilisant azoté (en ordonnée) de 7 types de digestats à base d'intrants différents  
Source : Jimenez et al, 2020  
LNR : digestat à base de lisier de non ruminant  
LR : digestat à base de lisier de ruminant  
Graisie : digestat issu de graisses d'industries agro-alimentaires

Les processus de méthanisation et de post-traitement (séparation de phase, stockage) ont également une influence sur la composition du digestat, ce qui augmente encore leur variabilité. Les pertes d'azote sont faibles au stockage du digestat, sauf en cas de digestat liquide sans couverture : les pertes peuvent alors atteindre 25%. Dans ce cas, le digestat est alors moins riche en azote et la proportion de N-NH<sub>4</sub> est plus faible. Le stockage de phase solide organise une partie de l'azote minéral qui diminue au profit de l'azote organique.



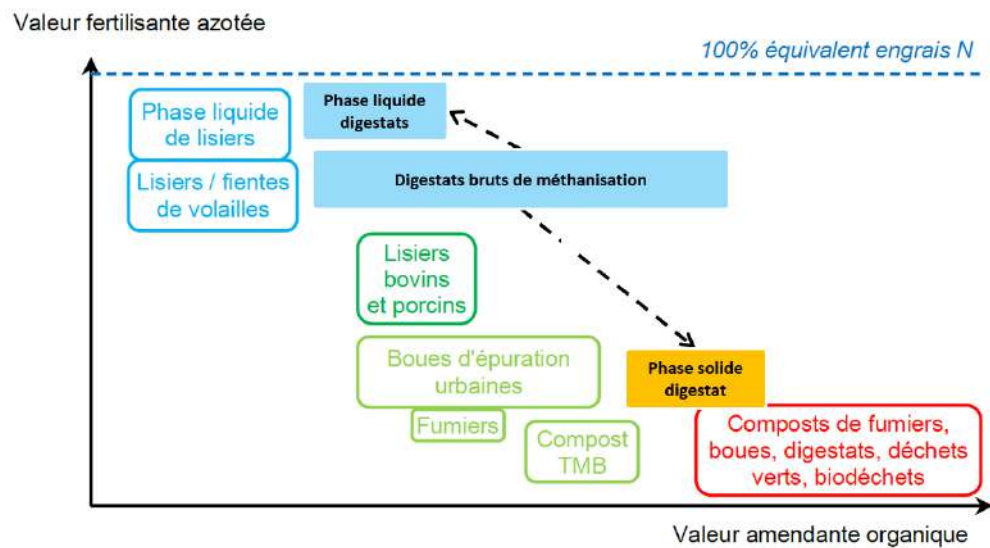
Variabilité des teneurs en azote total et ammoniacal dans des digestats lorrains : 36 analyses mesurées sur 16 installations. Ces unités présentent des ratios d'approvisionnement fortement chargées en effluents (55 à 97%), principalement fumiers et lisiers de bovin, complétées essentiellement par quelques résidus de cultures CRAGE, (2019). Même avec des unités avec des ratios assez proches, il existe une certaine variabilité.

Il est donc essentiel d'avoir une analyse du digestat épandu pour piloter au mieux son épandage.



## Utiliser le digestat brut ou la phase liquide comme un engrais minéral et être vigilant sur la volatilisation d'ammoniac ; et le digestat solide comme un engrais organique azoté et un amendement.

Lors de la séparation de phase, l'azote, majoritairement soluble, est concentré dans la phase liquide, et ce d'autant plus que la séparation est efficace, par exemple avec une centrifugeuse (par rapport à une presse à vis).



Valeur fertilisante azotée de différents produits organiques (en ordonnée), dont le digestat brut, la phase liquide et la phase solide - Source : Girault, 2021, modifié d'après Esco MAFOR, 2014

Le digestat brut et la phase liquide après séparation contiennent souvent de fortes proportions d'azote minéral qui se trouve sous forme ammoniacale. C'est une forme disponible, mais qui est sensible aux pertes gazeuses à l'épandage et dans les heures ou jours qui le suivent, qui peuvent atteindre 50% en mauvaises conditions.

Les conditions d'épandage doivent minimiser ces pertes en limitant le contact entre le digestat et l'air, c'est à dire :

- Enfouir à l'épandage avec des coutres, ou dans les 24h avec un autre matériel
- Épandre dans des conditions favorables : sans vent, en végétation, en évitant les fortes chaleurs

L'épandage doit aussi avoir lieu quand la culture est capable d'absorber rapidement l'azote.



La phase solide quant à elle, se comporte davantage comme un engrais organique qui apporte de l'azote à la culture, mais de façon plus lente et avec un risque de volatilisation moindre. C'est aussi un amendement organique qui apporte de la matière organique stable au sol.

Le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée en zones vulnérables aux nitrates fournit les coefficients équivalent-engrais azoté de synthèse (« Keq ») pour les différents produits organiques, à prendre en compte dans les plans prévisionnels de fumure.

Il ne prend pas encore en compte le type de digestat (type d'intrant, process, post-traitement), à l'exception des Keq des départements de Champagne-Ardenne qui distinguent digestat brut, liquide, solide, avec par exemple 90% de l'azote apporté par un digestat brut injecté au printemps disponible pour la betterave et 30% pour un apport de phase solide de digestat.

Des travaux sont en cours pour affiner les Keq (grilles du COMIFER en cours de révision, rédaction d'un guide de fertilisation avec des digestats dans le cadre du projet Ferti-Dig...).

Anne Schaub (Chambre d'agriculture Grand Est) - Juin 2021

## Positionner ses apports pour valoriser l'azote et limiter les pertes

Le prix des engrais a explosé. Le digestat contient de l'azote dont l'efficacité varie selon le type de digestat, les cultures, les périodes et modalités d'épandage et les conditions météorologiques. Valoriser l'azote du digestat implique de bien le piloter à l'échelle de la campagne, mais aussi à l'échelle de la succession. Quel produit, sur quelle culture, à quelle date ? Voici quelques pistes pour insérer efficacement le digestat dans son système de culture et économiser des unités d'azote devenues précieuses.

La gestion des digestats est guidée par plusieurs exigences auxquelles il faut essayer de répondre simultanément :

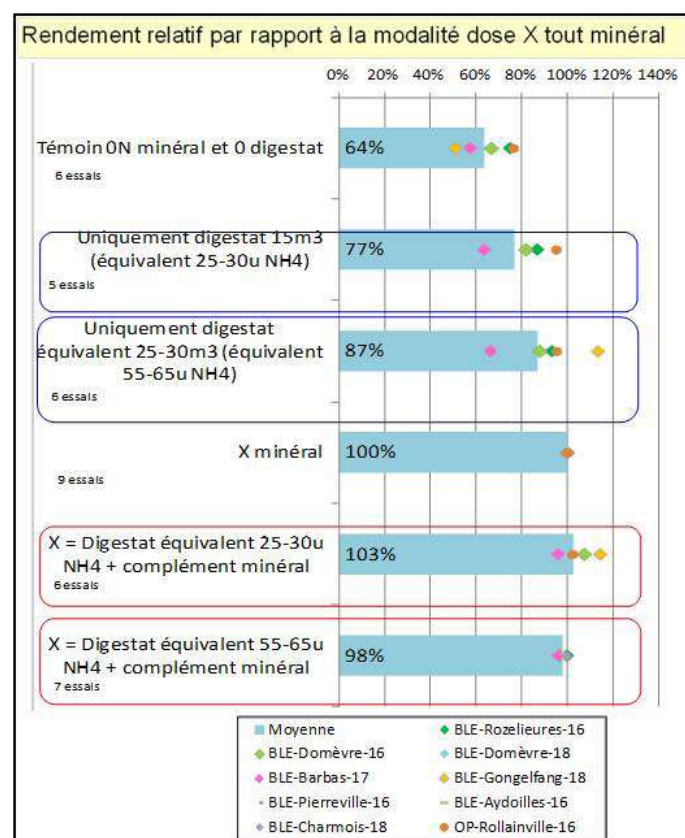
- Le stockage et la nécessité de vider les cuves lorsque nécessaire
- La portance des sols
- La valorisation agronomique
- Les contraintes réglementaires visant à limiter les impacts environnementaux

Si les deux premiers critères sont inéluctables et que la contrainte réglementaire limite certaines pratiques, c'est bien la valorisation agronomique qui devrait guider les épandages. Il faut pour cela adapter ses capacités de stockage et son plan d'épandage à une bonne valorisation agronomique.

Le tableau ci-dessous présente les coefficients d'équivalence engrais Keq existants pour le digestat brut. Ce coefficient d'équivalence permet d'approcher la contribution des effluents d'élevage dans le calcul de la dose d'azote. Il estime la part d'azote disponible l'année n, prenant en considération l'azote minéral et l'azote organique minéralisable dans l'année, ainsi que les pertes inhérentes à ces 2 fractions. On distingue des coefficients différents selon la période à laquelle est épandu le digestat, mais aussi bien évidemment selon les périodes de besoins de la culture. Cela permet alors de cibler les apports sur la bonne culture au bon moment.

Culture	Période d'apport	Coefficient d'équivalence (Keq) du digestat	Pour info, Keq du fumier de bovin
Céréales d'hiver	Été-automne	0.2 😞	0.1
	Hiver-printemps	0.4 😊	-
Céréales de printemps	Été-automne	0.1	0.05
	Hiver-printemps	0.4	0.05
Prairies	Été-automne	0.35	0.1
	Hiver-printemps	0.5 😊	0.1
Colza	Été-automne	0.5 😊	0.15
	Hiver-printemps	0.4	-
Maïs	Été-automne	0.1 😞	0.15
	Hiver-printemps	0.6 😊	0.2

Comment utiliser le Keq dans pour calculer la contribution du digestat ?  
Exemple pour un apport de 25 m3 de digestat brut à 4,56kg/T d'azote total, soit 25 x 4,56 = 114 u total apport sur blé en sortie hiver : 114 x 0,4 = 46 u disponibles sur l'ensemble du cycle du blé



Synthèse des essais digestat lorraine 2016-2018 : en bleu, les modalités en digestat solo montre la bonne contribution d'un apport de 25-30m3 de digestat liquide. En rouge, les modalités digestat complétées par un apport minéral mettent en avant la pertinence d'une stratégie d'apport de digestat de 20-25m3 complété par une fertilisation azotée minérale.

### Privilégier les apports de printemps pour la plupart des cultures

L'apport au printemps valorise bien l'azote du digestat liquide, qu'il soit brut ou après séparation de phase, sur la plupart des cultures. Les épandages peuvent être réalisés en janvier-février sur CIVE récoltée avant semis d'une culture de printemps tardive, ou entre le tallage et épi 1 cm sur céréales encore basses (orge d'hiver ou de printemps, blé), ou bien encore en mars-avril avant reprise et semis de culture de printemps de type betterave ou maïs. Sur maïs, il est possible d'épandre en végétation, à condition de bien maîtriser les émissions d'ammoniac, en enfouissant dans l'interrang ou en épandant juste avant une pluie. Les prairies valorisent aussi l'azote du digestat liquide épandu, soit en sortie d'hiver soit après la première coupe.



Le digestat solide issu d'une séparation de phase, épandu avant reprise et semis du maïs, est également assez bien valorisé. Son azote, plutôt organique, a le temps de se minéraliser en partie pour coïncider avec les besoins du maïs entre juin et août.



© ARAA

Le maïs valorise bien l'azote du digestat épandu au printemps.

### Des apports de digestat solide avant le semis de colza

En fin d'été, les digestats solides enfouis juste après épandage par la préparation du sol avant le semis du colza ne perdent pas trop d'ammoniac par volatilisation et l'azote organique a le temps de se minéraliser pour les besoins ultérieurs de la culture. L'apport de phosphore et en potasse ainsi qu'en élément chaulant (CaO, MgO) est également un plus.

### Limiter les épandages d'automne des formes brutes et liquides, autant que possible

Les digestats bruts et liquides issus de séparation de phase peuvent être épandus à l'automne sur prairie, colza ou culture intermédiaire. Cependant les épandages d'automne ne sont pas conseillés car les cultures n'absorbent pas ou peu d'azote en hiver (besoins des céréales à l'automne = 5 à 15 unités) et il risque d'être perdu par lixiviation. En particulier, épandre avant céréale est à proscrire.

A titre d'illustration, les pertes de nitrates en sol argilo-calcaire superficiel après un épandage de 20 m<sup>3</sup>/ha de digestat au semis d'un blé s'élèvent en moyenne à 56 kgN/ha entre début octobre et fin mars. Ce calcul est issu d'une simulation avec le logiciel SYST'N, sur les 20 dernières années climatiques lorraines, avec un épandage au 5/10 suivi du semis du blé le 10/10 et précédé par un maïs ensilage récolté le 20/09, le tout intégré dans une succession maïs ensilage-blé-orge d'hiver.

Les cultures valorisent mieux l'azote des digestats épandus au printemps. La capacité de stockage des digestats liquides va bien sûr conditionner la possibilité d'épandre dans de bonnes conditions, autant en termes de portance des sols que de valorisation de l'azote. Investir dans le stockage, c'est aussi investir dans l'agronomie.

### Rechercher aussi les bonnes conditions de valorisation à chaque épandage

Même avec une insertion optimale du digestat dans le système de culture, de mauvaises conditions peuvent gâcher la valorisation de l'azote. La CRAGE mène des essais avec apport de digestat (20 m<sup>3</sup>/ha de phase liquide) sur blé entre le tallage et le stade épi 1 cm depuis 2019. Ces apports sont faits en surface de manière à imiter une tonne avec pendillard. Lorsque les épandages sont suivis d'une période pluvieuse, la valorisation est meilleure, et les rendements atteignent 99 % (2021) à 104 % (2019) du rendement de la modalité de référence fertilisée avec des engrais minéraux. Inversement, le printemps 2020, particulièrement sec, n'a pas permis une aussi bonne valorisation.

Les rendements n'atteignent que 92% du rendement de la référence minérale. L'enfouissement du digestat après épandage pourrait permettre une meilleure valorisation, mais cela n'est techniquement pas envisageable sur blé à cette saison.



Vue aérienne de l'essai azote - Haroué printemps 2022.

© CRAGE

Nathael Leclech, Anne Schaub, Thiébaud Simon (Chambre d'agriculture Grand Est) - Mai 2022

Pour cette première campagne, les rendements ont été équivalents à ceux obtenus avant l'arrivée du méthaniseur : « Le printemps pluvieux a été favorable pour la minéralisation donc il n'est pas possible de tirer de conclusions, il faut voir ce que ça donne sur plusieurs années et dans d'autres conditions, mais les premières observations sont favorables, c'est encourageant ».

Dans le cadre du PEI PARTAGE, l'agriculteur a testé différentes pratiques pour mesurer l'efficacité des apports de digestat.



© Valbioenergie

L'unité de méthanisation de la SAS Valbioenergie injecte du biogaz dans le réseau de Val de Briey.

## TÉMOIGNAGE

### Comment optimiser son système avec l'arrivée d'un méthaniseur ?

**Dominique Hirzberger, polyculteur-éleveur à Mance (54)**



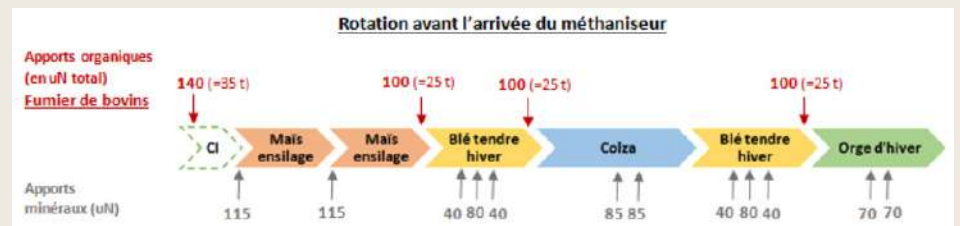
La métha n'a plus de secret pour Dominique !

L'arrivée d'un méthaniseur sur une exploitation implique le plus souvent une modification du système de culture avec notamment l'intégration de CIVE dans les rotations, mais aussi de repenser la gestion des apports de matière organique avec l'arrivée de digestats.

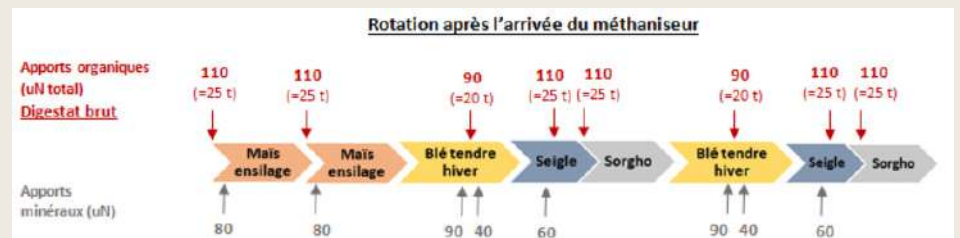
La question de la bonne valorisation de ces apports se pose alors : améliorer ses performances azotées constitue à la fois un enjeu environnemental et économique important.

En effet, dans un contexte de prix croissant des engrais : limiter les pertes d'azote permet d'économiser sur le poste fertilisation. De plus, la fertilisation azotée étant le premier poste de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre des systèmes de culture du Grand Est, réduire sa dépendance aux engrais de synthèse est un enjeu pour l'atténuation du réchauffement climatique. Et enfin, réduire les pertes en nitrates dans les eaux et les émissions d'ammoniac dans l'atmosphère sont des enjeux environnementaux et sanitaires tout aussi importants.

Dominique Hirtzberger, polyculteur-éleveur à Mance en Meurthe-et-Moselle, fait partie du collectif d'agriculteurs à la tête de l'unité de méthanisation Valbioenergie, en fonctionnement depuis septembre 2020, et suivi dans le cadre du PEI PARTAGE.



La gestion du digestat a été réfléchi en amont du projet de méthanisation. En prenant en compte dans les apports azotés, il a permis de réduire de 52 uN/ha les apports d'azote minéraux soit 50 tonnes d'azote minéral achetées en moins à l'échelle de l'exploitation dès la première campagne (2020-2021). Comme on peut le voir sur les rotations représentées ici, les apports minéraux passent de 115 à 80 uN sur maïs, de 160 à 130 uN sur blé, et le seigle reçoit 60 uN. Le digestat est épandu à l'aide d'un injecteur, ce qui limite les pertes d'azote par volatilisation. De plus, il est, dans la mesure du possible, apporté lors des périodes où son Keq (coefficient d'équivalence engrais minéral) est maximal, c'est-à-dire en fin d'hiver/début de printemps pour le blé et le seigle, et au printemps pour le maïs ensilage.



### Coefficients d'équivalence azote du digestat définis par le GREN Lorraine

Culture	Période d'apport	Coefficient d'équivalence du digestat (Keq)	Pour info, Keq du fumier de bovin
Céréales d'hiver	Été - automne	0.2	0.1
	Hiver - printemps	0.4	-
Céréales de printemps	Été - automne	0.1	0.05
	Hiver - printemps	0.4	0.05
Prairies	Été - automne	0.35	0.1
	Hiver - printemps	0.5	0.1
Colza	Été - automne	0.5	0.15
	Hiver - printemps	0.4	-
Maïs	Été - automne	0.1	0.15
	Hiver - printemps	0.6	0.2

Pour lui, les mesures de reliquats azotés sont indispensables afin d'évoluer dans la bonne valorisation de ces apports : « Le PEI PARTAGE permet de m'aider à travailler sur la bonne gestion du digestat, la dernière réunion de groupe à ce sujet nous a interpellés, c'était sans doute la réunion la plus importante de l'hiver en termes d'économie à réaliser et de façon de faire ! Si on peut ne serait-ce qu'économiser 10 tonnes d'azote minéral c'est déjà très bien au vu du cours des engrais de synthèse ». Quant à Syst'N, « c'est un bon indicateur, il permet de se positionner au niveau de notre performance azotée et de se remettre en cause, de chercher à évoluer ». D'autres pistes sont également explorées par son groupe pour améliorer les performances : investir dans un stockage supplémentaire afin de pouvoir apporter le digestat au moment où il est le plus valorisé, et faire des analyses de digestat régulièrement pour ajuster au mieux les doses d'azote à apporter.

Toujours dans la même optique d'optimisation des apports d'azote, son collectif loue dès cette année une pince N-Tester afin de piloter les apports minéraux sur blé selon la méthode de pilotage intégral de la fertilisation azotée (méthode INN).

Honorine Gabriel (Chambre d'agriculture Grand Est), Frédéric Arnaud (Chambre d'agriculture Meurthe-et-Moselle) - Février 2022

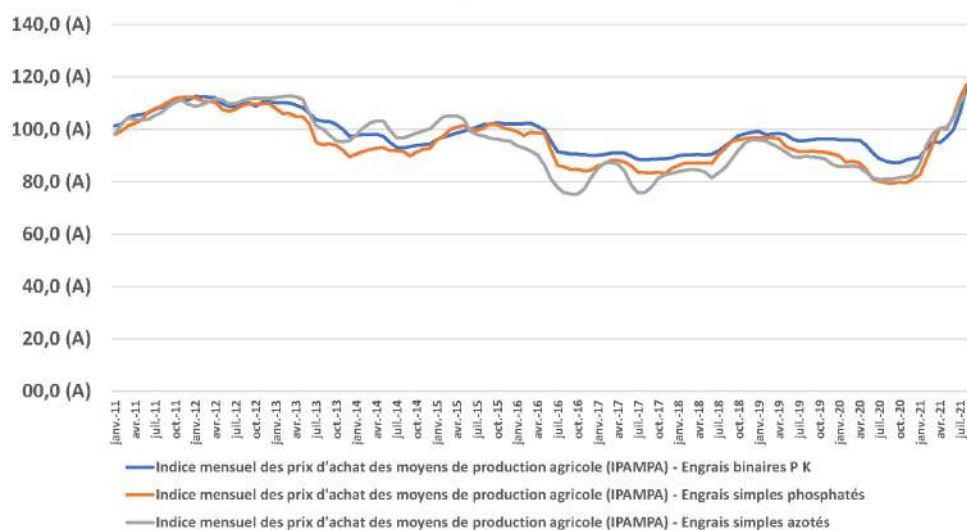


## ZOOM SUR LA CAMPAGNE 2022

# Envolée des prix des engrais azotés, les légumineuses ont leur carte à jouer

Les engrais minéraux ont connu depuis le début de l'année 2021 une augmentation très marquée et retrouvent des niveaux de prix observés entre 2011 et 2013 (voir le graphe). Concernant les engrais azotés, cette augmentation est surtout la conséquence de l'envolée des prix du gaz naturel au cours des derniers mois après le creux de 2020 lié à la crise sanitaire de la Covid-19. Depuis la fin 2020, l'augmentation des prix est comprise le plus souvent entre +50 et +100%.

Evolution des indices de prix des engrais  
Source INSEE ; base 100 = 2015



Dans ce contexte de volatilité haussière des engrais, l'absence de besoins en engrais azotés des légumineuses renforce cet atout, sous l'angle économique. La moindre variabilité entre années des charges de fertilisation est un facteur de robustesse des légumineuses par rapport à des cultures plus exigeantes en azote minéral.

	Scénario de prix R2021	Scénario de prix R2022
Culture avec 180 kg N min / ha de dose totale	144 €/ha de charges de fertilisation azotée	216 à 288 €/ha de charges de fertilisation azotée
Légumineuses	Aucune charge de fertilisation azotée	

Récolte 2021 : 0.8 €/unité N min (valeurs indicatives)

Récolte 2022 1.2 à 1.6 €/unité de N min

De plus l'effet positif de la précédente légumineuse sur la marge de la culture suivante (économie d'azote minéral et gain de rendement) est renforcé du fait d'un engrais azoté cher et d'un prix de vente élevé des graines :

	Scénario de prix moyen 2015-2019 (1)	Scénario de prix récolte 2021 (2)	Scénario de prix récolte 2022 (3)
Effet précédent d'une LAG sur un blé tendre meunier par rapport à une céréale à paille	+ 139 €/ha de gain de marge brute*	+ 159 €/ha de gain de marge brute*	+ 178 à + 194 €/ha de gain de marge brute*

\*Effet précédent de la LAG : +6.5 q/ha et -40 kg N min/ha de fertilisation azotée par rapport à un blé de blé

(1) Scénario 2015 à 2019 : 0.9 €/unité N min et prix de vente du blé tendre meunier à 158 €/t  
(2) Scénario Récolte 2021 : 0.8 €/unité de N min et prix de vente du blé tendre meunier à 195 €/t

(3) Scénario Récolte 2022 (simulation) : 1.2 à 1,6 €/unité de N min et prix de vente du blé tendre meunier à 200 €/t

Ce sont des éléments à considérer dans les choix des assolements. Avant les prochains semis, pensez légumineuses !

Vincent Lecomte (Terres Inovia) - Octobre 2021

## Optimiser son 1<sup>er</sup> apport avec l'agronomie

Si le premier apport d'azote sonne le retour des tracteurs dans les parcelles de blé, sa date et sa dose ne peuvent être les mêmes chaque année. Elles doivent être adaptées aux conditions de l'année, avec possibilité d'impasse dans certaines situations.

Dans le contexte actuel de prix très élevé des engrais, pour valoriser au mieux ses apports d'azote, certaines règles agronomiques prévalent. Et notamment dans le raisonnement du 1<sup>er</sup> apport. Plusieurs critères sont à prendre en compte afin d'optimiser cet apport :

1. La météo, actuelle, passée et à venir
2. L'azote disponible sortie hiver
3. Le développement et le stade du blé

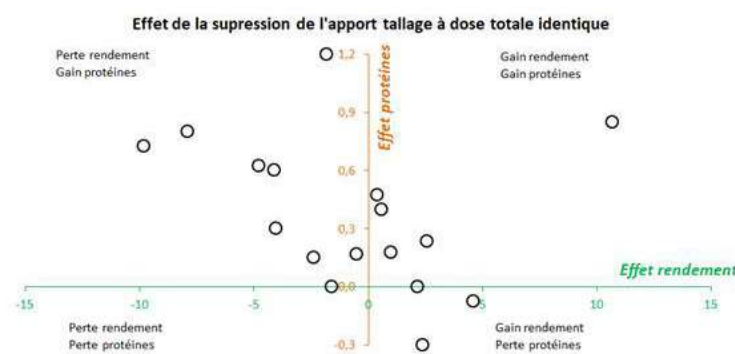
Concernant le premier critère météo, la portance du sol est assez déterminante, notamment en sols hydromorphes, mais elle ne relève pas de l'optimisation agronomique : un apport trop précoce se trouvera moins bien valorisé. Par ailleurs, on sait qu'une bonne valorisation de l'apport est conditionnée par la pluviométrie des jours suivants l'apport. Cependant, c'est surtout lors du 2<sup>ème</sup> apport que cette condition devient déterminante. Ainsi c'est surtout la pluviométrie hivernale qui doit être observée pour raisonner le 1<sup>er</sup> apport puisqu'elle impacte l'azote disponible dans le sol en sortie d'hiver. En effet, les pluies entraînent le lessivage des nitrates et influencent les reliquats en azote dans le sol, à la fois en terme de quantité disponible, mais aussi en terme de localisation dans le profil. S'il est trop tôt aujourd'hui pour se prononcer sur la pluviométrie de cet hiver, notons qu'il existe des abaques par type de sol permettant d'estimer le pourcentage de perte d'azote en fonction de la pluviométrie :

<https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/tables%20dajustement%20du%20terme%20en%20fonction%20de%20la%20lame%20drainante.pdf>



Concernant justement l'azote disponible en sortie d'hiver, outre la pluviométrie, ils sont aussi déterminés par le statut global azoté de la parcelle, influencé entre autres par les apports réguliers de matières organiques. Le précédent a également un effet sur les fournitures en azote. En précédent colza ou protéagineux, les reliquats sont en général assez élevés. En précédent tournesol, betterave ou maïs, les restitutions d'azote au sol sont plutôt limitées tout comme le développement du blé. Avec ce type de précédent, on évitera donc l'impasse du 1<sup>er</sup> apport, comme le démontre la synthèse d'essais sur blé de maïs grain de la Chambre d'Agriculture d'Alsace ci-dessous.

Ainsi, si la dose prévisionnelle est faible, en lien avec des reliquats azotés élevés, l'impasse du premier apport pourra s'envisager. Dans les secteurs où des reliquats sortie hiver sont pratiqués, on considérera alors qu'au dessus d'un reliquat de 60 kgN/ha sur 0-60cm, on pourra se permettre cette impasse.



Synthèse de 18 essais de la Chambre d'Agriculture d'Alsace sur la comparaison de la suppression du premier apport sur blé (16 situations en précédent maïs grain).

Enfin concernant le 3<sup>ème</sup> critère développement du blé, rappelons que les besoins en azote du blé sont faibles au stade tallage et que l'azote ne fait pas taller, contrairement aux idées reçues ! La méthode double densité, même si elle est peu pratiquée sur le terrain, a fait ses preuves. Elle permet de mettre simplement en évidence un début de carence par décoloration d'une bande semée à double densité. L'utilisation d'autres outils tels que la pince N-Tester utilisée dans la méthode APPI-N ou l'outil CHN développé par Arvalis permettent également d'estimer le statut azoté du blé en sortie d'hiver (Pour en savoir plus sur cette méthode de pilotage, se référer à l'article « Pilotage intégral de l'azote sur blé : plus d'efficacité pour moins de pertes » page 4).

Sur 16 essais conduits par les Chambres d'Agriculture du Grand Est sur 2020 et 2021, cette méthode a permis de retarder le 1<sup>er</sup> apport d'une vingtaine de jours en moyenne par rapport à une pratique classique, et de supprimer ce 1<sup>er</sup> apport dans la moitié des situations (contre 25% dans la conduite classique). Le CAU a été amélioré par la méthode APPI-N avec une valeur moyenne de 74% contre 59% pour le pilotage classique, soit une réduction des pertes moyenne de 36 kg N/ha pour des rendements maintenus en moyenne comme on peut l'observer dans le tableau ci-dessous.

Date du 1 <sup>er</sup> apport	15 à 25 jours plus tard
Nombre total d'apports	Bilan : 18% 2 apports 75% 3 apports APPI-N : 37% 2 apports 56% 3 apports
Dose totale	Réduite de 25 kg N/ha
Rendement à 15%	Equivalent : écart de + 0,9 q/ha
Taux de protéine	Equivalent : écart de + 0,3 point
Marge partielle	Ecart de + 38 €/ha

Synthèse de 16 essais en bandes agriculteurs de test de la méthode APPI-N dans le Grand Est en 2020 et 2021.

Pour conclure, ce sont donc l'ensemble de ces éléments qu'il est nécessaire de prendre en compte pour piloter le 1<sup>er</sup> apport sur blé. RDV en février pour réajuster ce raisonnement en fonction du contexte climatique du mois prochain !

Nathael Leclech (CRAGE), Jean-Louis Galais (CA Alsace), Claude Rettel (CDA57), Maëva Weens (CRAGE)  
Janvier 2022

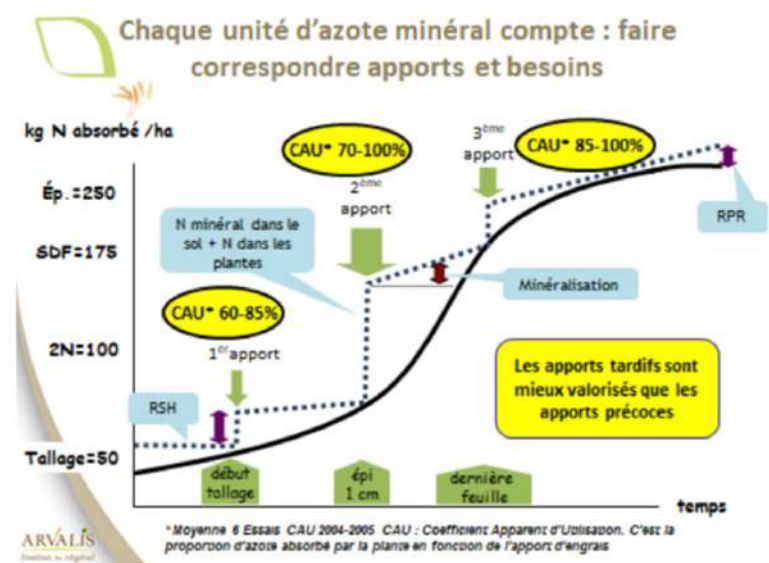


# Optimiser son 1<sup>er</sup> apport : (suite) priorité à l'azote du sol

Plus que jamais, le contexte économique actuel nous pousse à valoriser au mieux chaque unité d'azote apportée. Une recommandation particulièrement vraie pour le 1<sup>er</sup> apport pour lequel l'engrais minéral ne doit être apporté qu'en complément de l'azote déjà présent dans le sol sur des céréales en tallage dont les besoins sont faibles.

Pour connaître la quantité d'azote présente dans le sol en sortie d'hiver, variable selon les années, le type de sol et des pratiques, des prélèvements doivent être réalisés. Les premiers résultats obtenus cette année nous permettent d'ajuster nos recommandations.

Il est parfois possible de faire l'impasse sur le 1<sup>er</sup> apport car il est en général mal valorisé, les fournitures du sol peuvent être suffisantes à ce stade, et sont donc à prendre en compte dans son raisonnement. Si l'on regarde les besoins en azote d'un blé au cours de son cycle, ils sont faibles au stade tallage, de l'ordre de 50kg d'azote et augmentent rapidement à partir du stade épi 1cm. C'est cette dynamique d'absorption qui permet de comprendre pourquoi, plus l'azote est apporté tard mieux il est valorisé. Cette efficacité de l'azote est mesurée grâce à un coefficient qui renseigne la proportion d'azote que la plante a absorbé par rapport à ce qui lui a été apporté. Ce CAU est en moyenne de 60% pour le 1<sup>er</sup> apport.



## Des reliquats sortie d'hiver dans la moyenne

Dans des conditions favorables à la minéralisation cet automne et des cumuls de pluies hivernales proches de la moyenne, les premiers résultats de reliquats sont en tendance proches de ceux observés en moyenne ces dernières années voir supérieurs.

Dans notre réseau d'observation lorrain, les premiers résultats permettent bien de distinguer les sols profonds où les reliquats sont cette année de l'ordre de 50 à 60Kg d'azote sur les 60 premiers cm du sol, comparativement aux sols superficiels naturellement plus exposés au lessivage et à la minéralisation moins intense, où ils ne dépassent pas 20 Kg. L'apport de fumier, la présence de légumineuse dans la rotation contribuent à augmenter cette moyenne.

Cet azote présent sous une forme disponible pour les plantes se répartit dans les différents horizons du sol de façon homogène.

A noter que la pratique de prélèvement de reliquats est en hausse cette année, ce qui permettra d'ajuster plus finement le bilan !

Il n'y a pas d'inquiétude à avoir en ce qui concerne l'effet des pluies tombées entre fin janvier et début février après le prélèvement d'échantillon de sol, elles n'ont finalement qu'un impact réduit en termes de lessivage de l'azote vers des horizons trop profonds pour les racines.

## S'adapter à l'année pour assurer une bonne alimentation azotée des plantes

En termes de préconisations pour le printemps, le positionnement d'un 1<sup>er</sup> apport peut se faire sur la base d'un reliquat mesuré ou estimé dans la parcelle.

- En situation de sol avec un reliquat supérieur à 50-60 unités (exemple = sols profonds à bonne teneur en MO, limons argileux, avec apports de PRO, légumineuses dans la rotation...).

La probabilité est forte que les fournitures du sol soient actuellement supérieures à 50-60 unités dans les 60 premiers cm. Le blé est actuellement correctement alimenté, il n'est pas nécessaire d'envisager un apport complémentaire.

Il est judicieux de reporter ce 1<sup>er</sup> apport aux alentours du 10/03 en anticipant une période de sec de plus en plus fréquente aux alentours du stade épi 1cm. La préconisation évolue vers un fractionnement en 2 apports égaux de l'apport principal prévu au stade épi 1 cm en encadrant le stade de plus ou moins 10 jours (date d'apparition moyenne du stade entre le 25 et le 30 mars).

- En situation de sol avec un reliquat inférieur à 50 unités (exemple = argilo-calcaire superficiels, sans apport de PRO...)

Dans les situations de sol superficiel qui ne permettent pas de stocker durablement de l'azote, ou avec peu d'apport de produit organique, il est préconisé de réaliser un premier apport de l'ordre de 40kg N/ha à partir de début mars.

## Les dangers d'apporter trop d'azote trop tôt

Un apport trop conséquent ou non justifié est souvent préjudiciable et pas seulement d'un point de vue économique : augmentation du risque de verse et de maladies (oïdium). Plus la céréale trouve de l'azote en abondance au stade jeune, plus elle favorise sa croissance foliaire et réduit sa croissance racinaire. En situation de stress hydrique notamment en fin de cycle, forcer sur l'azote au départ fait visuellement de beaux blés, mais qui rencontrent des difficultés à s'alimenter par la suite. D'autant plus que cette année, il a déjà été constaté des problèmes d'enracinement liée à la structure du sol.

# Nutrition azotée des blés : un retour de la pluie qui tombe à pic

Après un climat sec avec de fortes amplitudes thermiques, la pluviométrie enregistrée ce WE de mi-mars va permettre de valoriser les apports d'azote sur blé, leur assurant une bonne nutrition pour amorcer leur montaison.

Le climat des dernières semaines était en effet peu propice à un premier apport d'azote sur blé qui par ailleurs n'était pas forcément nécessaire. Au stade tallage les besoins d'un blé restent faibles et susceptibles d'être couverts par les fournitures du sol.

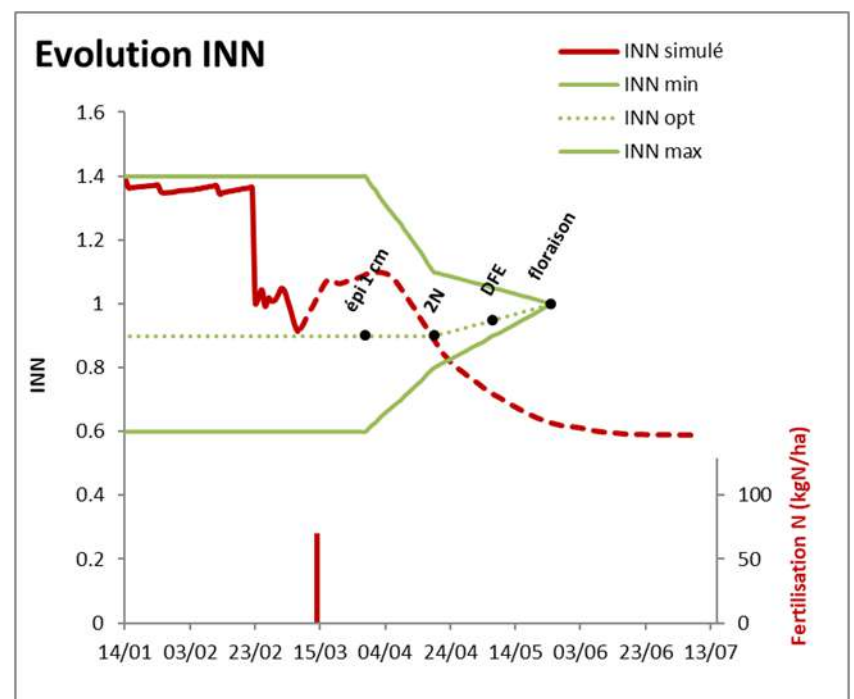
Le stade épi 1 cm s'annonçant, il est prévu en moyenne aux alentours du 30 mars sur la région, il était opportun de profiter de cette pluie pour positionner un apport de l'ordre de 60 à 70 kg d'azote. Bien valorisé, ce dernier va permettre d'alimenter correctement les blés pendant 3 à 4 semaines, permettant d'envisager plus sereinement un possible nouvel épisode de sec.

L'outil de pilotage de l'azote CHN développé par ARVALIS permet de suivre dans le temps l'indice de nutrition azoté du blé (INN simulé : courbe rouge du graphique). Cet indice permet de juger de l'état d'alimentation azoté d'un blé en équilibrant besoins en azote et biomasse. S'il est inutile qu'il soit trop élevé, il est à l'inverse dangereux qu'il descende en dessous d'un seuil dit de carence susceptible de compromettre l'atteinte du potentiel de rendement.

Cet indice de nutrition doit donc se maintenir aux alentours de 0.9 à 1 (courbe verte INN optimal) entre une fourchette haute (courbe verte INN maximal) et une fourchette basse (courbe verte INN minimal) qui forment un entonnoir.

Le modèle permet de réaliser un bilan de la situation passée et présente (courbe rouge en trait plein) mais également d'anticiper son évolution en fonction de la météo

Simulations de l'INN par le modèle CHN sur le site de Sillegny (57) sol argilo-limoneux, blé variété CHEVIGNON semé le 13/10/21, date épi 1 cm prévue le 29/03/22



Sur ce site n'ayant pas encore reçu d'azote, un apport de 70 KgN (180 l de solution39) a été réalisé le 14/03/22. Le suivi de l'évolution de l'INN permet de valider qu'il va non seulement permettre d'assurer une bonne alimentation du blé au moment crucial de sa montaison mais également d'attendre si besoin jusqu'au 20 avril une nouvelle période propice à un apport sans risquer de carence. Si cet apport n'avait pas été réalisé, le blé serait entré en carence dès le 02 avril.

Au-delà du stade, il est donc plus que jamais important de viser les périodes pluvieuses favorables à une bonne valorisation de l'azote pour intervenir (15mm dans les 15jours), quitte à fractionner l'apport principal d'azote que nous avons l'habitude d'apporter en une seule fois au stade épi 1 cm, en encadrant ce stade de 10 à 15 jours.

C'est exactement cet ajustement des pratiques que la météo de ce printemps 2022 nous pousse à expérimenter.



Cette gazote est le fruit d'un travail collaboratif mené par les partenaires du Partenariat Européen pour l'Innovation PARTAGE, avec le soutien de l'Europe et de la Région Grand Est.



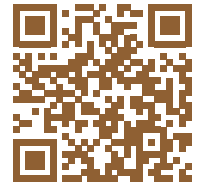
Pour vous inscrire à la version numérique de la gazote



Pssst ! C'est pas fini, suivez-nous sur Twitter :D



@PEI\_PARTAGE



### Mais qui se cache derrière LA GAZOTE ?

Nous ne sommes pas les trublions du goût aux fourneaux, mais nous cuisinons l'azote au quotidien ! Avec l'ensemble des partenaires du projet, nous avons mijoté des articles à la pointe de l'innovation.



Maeva, grand manitou de l'autonomie azotée et protéique en Grand Est ALIAS redactrice en chef !



Honorine, jeune padawan en mission sur l'autonomie azotée et protéique ALIAS redactrice en chef !



Aurore, couteau suisse en communication ALIAS editrice !



Plus sérieusement, pour nous contacter c'est par ici : Maëva Weens, Chambre régionale d'agriculture Grand Est, maeva.weens@grandest.chambagri.fr - 06.18.11.75.03

### Retour en images sur les événements PARTAGE



avec le partenariat de



avec le soutien financier de

