Améliorer la teneur en protéines des blés





Baisse des teneurs en protéines des blés français

Sujet de dimension nationale, la lente érosion des teneurs en protéines des blés français depuis 5 à 6 campagnes a suscité une mobilisation de toute la filière.

Le contexte

Après l'embellie des années 90, qui a vu l'augmentation des teneurs en protéines grâce à une évolution des choix variétaux et à la montée en puissance du fractionnement des apports d'azote, ces dernières années nous ont rappelé que le défi de la teneur en protéines nécessite une attention permanente.

Variétés adaptées

Certes, la teneur en protéines de nos blés restera toujours tributaire du climat et des conditions de milieu, néanmoins l'agriculteur dispose de plusieurs leviers d'action pour tenter de l'améliorer. Le premier d'entre eux réside dans le choix d'une variété adaptée au débouché recherché et présentant le meilleur compromis rendement-protéines. Les variétés de blé possèdent des aptitudes différentes à accumuler les protéines justifiant des besoins unitaires en azote différents. En règle générale, les variétés les plus productives sont aussi les moins riches en protéines.

Fertilisation sur mesure

Une fois le choix de la variété arrêté, optimiser davantage la gestion de la fertilisation azotée constitue, sans doute, le moyen le plus efficace de relever le taux de protéines. Il est probable que la diminution lente mais constante des doses d'azote apportées sur blé depuis une dizaine d'années (- 20 à 30 unités N/ha), ait contribué à une baisse des teneurs en protéines que l'on peut estimer à 0,4-0,5 pt.

Dans le même temps, nos proches voisins, l'Allemagne et surtout le Royaume-Uni, dont le taux moyen de protéines était proche du notre, ont connu une dynamique opposée à celle observée en France.

Le taux de protéines est un fait de nutrition azotée influencé par les conditions de milieu et la génétique.

L'effet des conditions de remplissage du grain, postérieurement à toute possibilité d'action corrective, est déterminant sur le niveau de rendement final et sur la teneur en protéines par un effet de dilution de l'azote absorbé.

Le taux de protéines résulte de l'accumulation d'azote dans le grain en fin de cycle végétatif. Il provient à 80%, du transfert de l'azote déjà absorbé avant floraison, complété à 20 % par l'azote absorbé après floraison.

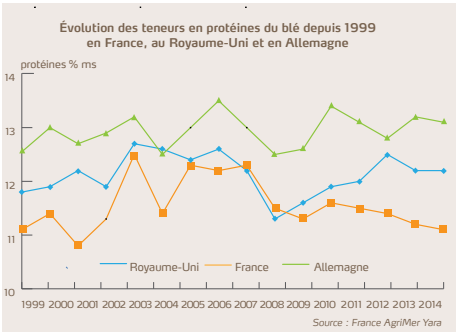


FIGURE 1 : Le taux de protéines des blés français diminue quand celui de nos voisins progresse.

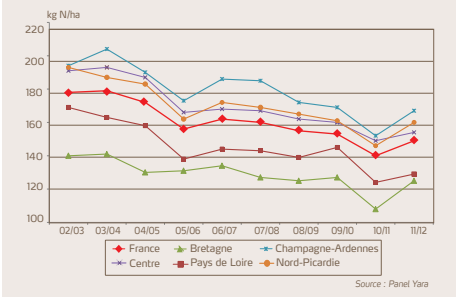


FIGURE 2 : La dose moyenne d'azote apportée sur blé a diminué dans toutes les régions.

Facteur	Enjeux
Le climat	1 à 1.5 pt
La parcelle (type de sol, précédent, matière organique)	0.5 à 1 pt
La variété	0.5 à 1 pt
La fertilisation azotée	
La dose totale	0.6-0.8 pt / 40 kg N
La forme	0.2 à 1 pt
Le fractionnement	0.2 à 0.5 pt
Le pilotage	0 à 0.3 pt
La fertilisation soufrée	0 à 0.3 pt
Protection fongicide	?
Date de semis	?

TABLEAU 3 : les facteurs influençant la teneur en protéines du blé.

Les conditions de milieu, climat et la parcelle, ont un effet dominant mais le choix variétal et la gestion de la fertilisation sont des leviers d'actions majeurs.

Six leviers d'actions pour améliorer la teneur en protéines des blés

La fertilisation adaptée est le meilleur allié pour gérer la teneur en protéines.

1 Calculer la bonne dose d'azote

Caractériser les besoins des variétés avec précision

Pendant longtemps, le calcul de la dose d'azote a dépendu du seul objectif de rendement et « valoriser la protéine » d'un blé, quel que soit son débouché, consistait à augmenter la dose d'azote apportée, considérant que l'azote qui ne contribuait plus au rendement faisait augmenter la teneur en protéines.

Aujourd'hui, la nécessité d'adapter la production des céréales aux exigences des différentes filières et notamment de l'export, comme la nécessité de prendre en compte les nouveaux enjeux environnementaux dans le respect de la réglementation, conduisent à l'observation rigoureuse du raisonnement de la fertilisation azotée développé dans le cadre du Comifer et décliné régionalement.

Les travaux menés par Arvalis Institut du Végétal permettent de caractériser les besoins des variétés avec une plus grande précision. Le poste des fournitures du sol est de mieux en mieux connu et l'efficacité des effluents organiques mieux définie.

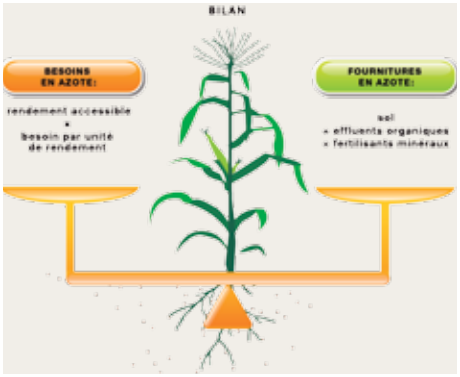


FIGURE 4 : Principe de la méthode du bilan prévisionnel Comifer (Source : Unifa)

2 Fractionner de manière adaptée

Quand positionner le dernier apport ?

Il a été clairement établi que les apports fractionnés permettent une amélioration significative du coefficient d'utilisation de l'azote, c'est-à-dire de la part de l'azote apporté, réellement absorbé par le blé. L'expérimentation de Yara, comme de très nombreux essais menés par différents organismes (instituts, chambres, coopératives et négoces) ont montré que pour une même dose d'azote apportée, le positionnement d'un troisième apport à la sortie de la dernière feuille constituait un excellent compromis permettant à la fois, de maximiser le rendement et d'augmenter la teneur en protéines.

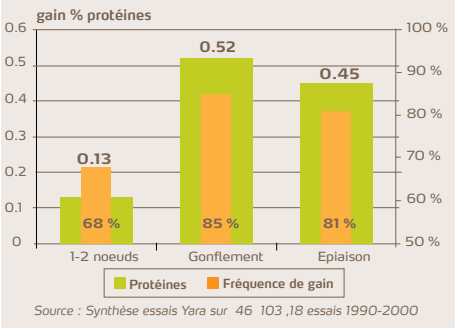
Comparé à une conduite en 2 apports, le rendement est augmenté en moyenne de 1.5 q/ha et le taux de protéines de 0,52 pt. La fréquence de réussite de cette approche est de 85%.

Positionné plus tardivement, un apport influencera davantage le taux de protéines sans jouer sur le rendement. Positionné plus précocement, l'effet sur la teneur en protéines ne sera pas au rendez-vous.

Dans le cas de blé à haute teneur en protéines, de blé de force ou de forte dose prévisionnelle, il est recommandé de fractionner en 4 apports aux stades tallage – épi à 1cm – 1 à 2 nœuds et gonflement. Privilégier les apports tardifs doit s'accompagner d'un ajustement des apports précoces moins bien valorisés mais néanmoins nécessaires.

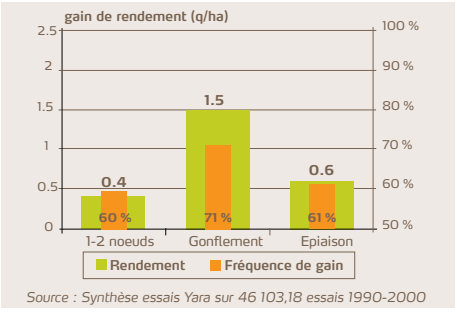
Il est aussi impératif de positionner les apports d'azote en fonction des prévisions de pluviométrie en les retardant ou les anticipant autour des stades repères afin de les valoriser au maximum et de minimiser la durée pendant laquelle l'azote demeure dans le sol sans pouvoir être absorbé.

Un 1er apport limité à 50-60 kg. Un 3ème apport de 40-60 kg N minimum positionné entre les stades sortie dernière feuille et gonflement offre le meilleur compromis gain de rendement et gain de protéines



Source : Synthèse essais Yara sur 46 103 ,18 essais 1990-2000

FIGURE 5 : Gain de protéines et fréquence de gain lié au fractionnement en 3 apports par rapport à 2 apports à même dose d'azote.



Source : Synthèse essais Yara sur 46 103,18 essais 1990-2000

FIGURE 6 : Gain de rendement et fréquence de gain lié au fractionnement en 3 apports par rapport à 2 apports à même dose d'azote.



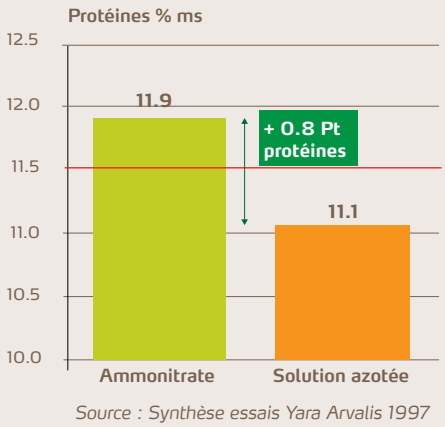
3 Choisir la forme d'azote la plus efficace

La solution azotée pénalise la teneur en protéines

Entre 1987 et 2004, Arvalis Institut du Végétal et Yara ont conduit 122 essais sur blé d'hiver et différents types de sols afin de comparer ammonitrate et solution azotée. A la dose bilan moyenne de 183 kg, N/ha en 2 ou 3 apports, l'ammonitrate génère un gain de 0,8 pt de protéines mais aussi entre 2,4 et 4 q/ha de rendement, comparé à la solution azotée. La comparaison des courbes de réponses (figure 7), montre qu'une dose supplémentaire de 27 kg N/ha avec la solution azotée est nécessaire pour compenser en partie l'écart de rendement alors qu'il subsistera toujours un écart significatif en protéines.

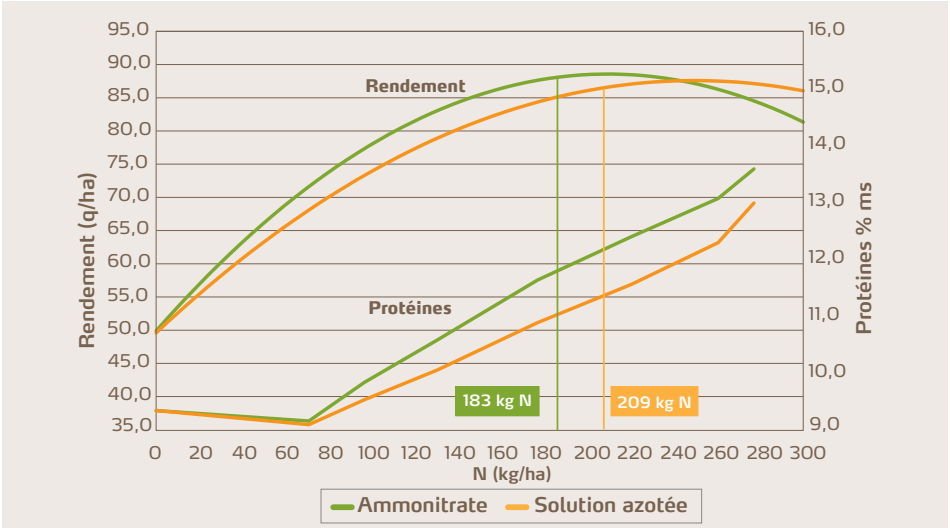
Ces différences traduisent une meilleure absorption de l'azote apporté sous forme d'ammonitrate dont les coefficients d'utilisation sont régulièrement supérieurs à la solution azotée, très sensible à la volatilisation ammoniacale. Même une majoration de dose de solution azotée de 10 à 15 % ne permet pas de rattraper la faiblesse du taux de protéine comparé à l'ammonitrate et ce constat est d'autant plus négatif que l'on prend en compte la question des impacts environnementaux (eau, ammoniac, particules). Les contraintes des arrêtés régionaux de la loi sur l'eau devraient logiquement encourager l'utilisation d'ammonitrate, forme d'azote la plus efficiente.

Pour une même dose d'azote apportée, le choix de l'ammonitrate se traduit par un gain substantiel de protéines de 0.8 pt en moyenne comparé à la solution azotée.



Source : Synthèse essais Yara Arvalis 1997

FIGURE 7 : Écart de teneur en protéines très fort entre solution azotée et ammonitrate.

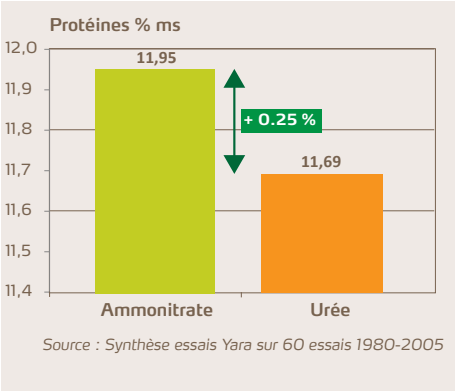


Source : Synthèse essais Yara sur 122 essais 1987-2004

FIGURE 8 : Écart de performance entre ammonitrate et solution azotée significatif sur le rendement et la teneur en protéines. L'écart de teneur en protéines n'est pas compensé par le surdosage de la solution azotée.

Des performances en retrait avec l'urée

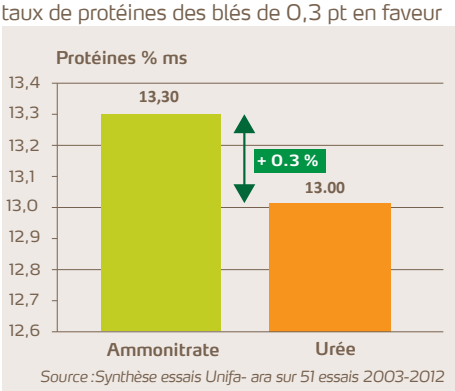
Les essais de comparaison ammonitrate et urée sur blé démontrent durablement un écart de teneurs en protéines en faveur de l'ammonitrate. Sur un réseau de 100 essais annuels menés sur blé d'hiver entre 1981 et 2005 dont 60 disposaient des teneurs en protéines, l'écart moyen mesuré à la dose du bilan s'élève à 0,25 pt avec une majorité de conduite en 2 apports (figure 9). Dans le même temps, un écart significatif de rendement de 1,8 q avait été obtenu.



Source : Synthèse essais Yara sur 60 essais 1980-2005

FIGURE 9 : Écart de teneur en protéines significatif de 0.25 pt entre ammonitrate et urée à même dose d'azote.

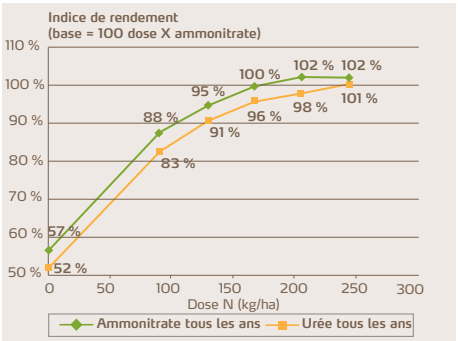
Un réseau expérimental réalisé, non plus annuellement mais à l'échelle de la rotation (colza–blé–orge), comprenant 51 situations expérimentales sur une durée de 10 ans (2003-2012), est venu renforcer les résultats précédemment obtenus.
La comparaison des systèmes n'utilisant que de l'ammonitrate d'une part, et de l'urée d'autre part, révèle un différentiel significatif de taux de protéines des blés de 0,3 pt en faveur de l'ammonitrate (figure 10).



Source :Synthèse essais Unifa- ara sur 51 essais 2003-2012

FIGURE 10 : Écart de teneur en protéines significatif confirmé plus récemment dans des essais de longue durée.

Parallèlement, les rendements (figure 11), quantités d'azote absorbé et coefficients d'utilisation de l'azote étaient plus élevés avec l'ammonitrate.
Les systèmes de fertilisation à base d'ammonitrate ont la capacité de conserver davantage d'azote dans le milieu sol-plante en minimisant très probablement les pertes par volatilisation ammoniacale par rapport à l'urée.



Source: Synthèse essais Unifa-Yara sur 51 essais 2003-2012

FIGURE 11 : En essais de longue durée, les écarts de protéines s'accompagnent également d'un différentiel significatif de rendement.

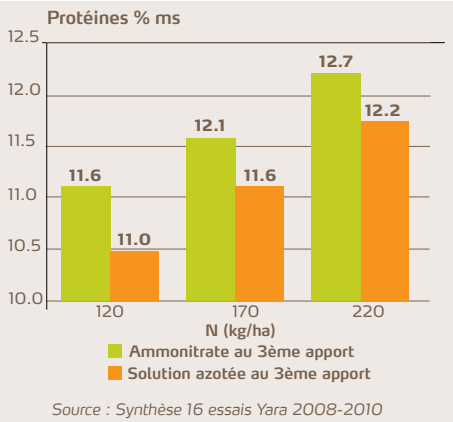
Pour une même dose d'azote apportée, le choix de l'ammonitrate se traduit par un gain en protéines de 0,25 à 0,3 pt.

Privilégier l'ammonitrate au dernier apport

À la dose du bilan prévisionnel, la forme d'azote utilisée au 3ème apport porte à elle seule des enjeux protéines et rendement très importants. Ainsi dans 16 essais courbes de réponse à l'azote comparant l'effet du 3ème apport (40 à 60 kg N/ha) selon qu'il est réalisé en ammonitrate ou en solution azotée, un écart de protéines de 0,5 pt est mesuré en faveur de l'ammonitrate.

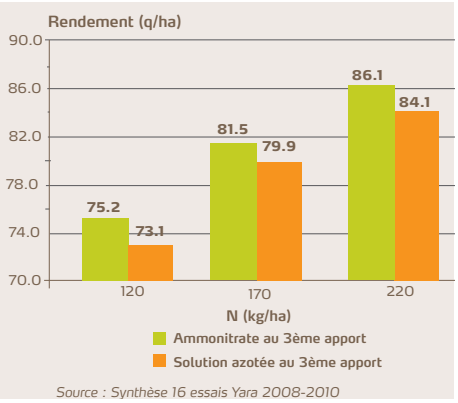
Des expérimentations menées par Yara entre 1990 et 2000 avaient démontré que les bénéfices d'un 3ème apport sous forme d'ammonitrate sont d'autant plus élevés que l'engrais utilisé aux 2 premiers apports est de la solution azotée. Comparé à une conduite en 3 apports d'ammonitrate, les bénéfices sont quasiment doublés si le dernier apport d'ammonitrate est réalisé après l'utilisation de solution azotée, le gain de protéines passant de 0,36 pt à 0,63 pt et le rendement de 0,9 q/ha à 1,9 q/ha.

L'avancée technologique des épandeurs centrifuges (pesée, coupure de tronçons, modulation) et l'aptitude aux épandages en grande largeur des ammonitrates Yara permettent aujourd'hui de réaliser des chantiers d'épandage avec une très grande productivité journalière. Ils sont la garantie d'un épandage homogène et d'une très grande précision.



Source : Synthèse 16 essais Yara 2008-2010

FIGURE 12 : Après 2 apports de solution azotée, l'ammonitrate au 3ème apport permet d'améliorer très significativement la teneur en protéines comparativement à un 3ème apport en solution azotée.



Source : Synthèse 16 essais Yara 2008-2010

FIGURE 13 : Après 2 apports de solution azotée, l'ammonitrate au 3ème apport permet également d'obtenir de meilleurs rendements qu'avec un 3ème apport en solution azotée.

Remplacer le dernier apport d'azote en solution azotée par de l'ammonitrate, spécialement en grande région céréalière, permettrait de compenser une grande partie du déficit de protéines (et de rendement) constaté avec la solution azotée.

4 Piloter pour mieux décider

Les enjeux du pilotage : qualité, rendement, économie, environnement

La méthode de pilotage N-Tester® s'inscrit dans une logique globale débutant par la prévision de la dose totale d'azote (bilan Comifer), un fractionnement adapté, complété par un ajustement du dernier apport en interrogeant directement la culture.

Autour d'une dose pivot se situant à X-40, le pilotage N-Tester® permet d'adapter le dernier apport entre 0 et 80 kg N/ha en fonction de l'état de nutrition du blé. Comparé à la seule méthode du bilan, sur plus de 240 essais menés de 1994 à 2002, la méthode N-Tester®, apporte en moyenne (figure 14) :

- un gain de protéines de 0,3 point.
- un gain de rendement de 1,2 q/ha.
- sans augmentation de la dose totale d'azote grâce à une meilleure valorisation de l'azote apporté.

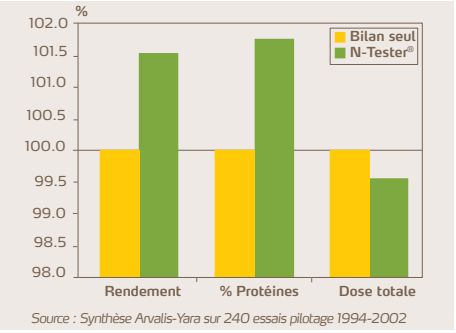
En réduisant les cas de sous et sur fertilisation, la méthode N-Tester® augmente de 60% les situations de fertilisation azotée équilibrée (figure 15).

Par ailleurs, le développement des outils de pilotage a fortement contribué à améliorer les pratiques de fractionnement de l'azote et multiplier les apports tardifs (sortie dernière feuille et gonflement) qui sont très favorables à la teneur en protéines.

Toutes les grandes méthodes de pilotage utilisées en France disposent d'une version «protéines» qui visent à maximiser la fréquence d'obtention d'une qualité minimale en ligne avec les attentes du marché.

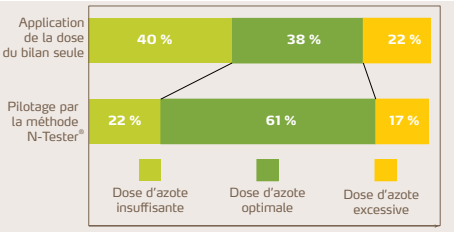
Dernier intérêt du pilotage : l'économie d'azote réalisée dans les cas où le diagnostic juge inutile tout apport complémentaire qui permet un bénéfice financier et environnemental.

Le pilotage des apports tardifs permet d'allonger la période pendant laquelle il est possible d'agir sur la nutrition azotée du blé au bénéfice du rendement et de la qualité, tout en respectant l'environnement.



Source : Synthèse Arvalis-Yara sur 240 essais pilotage 1994-2002

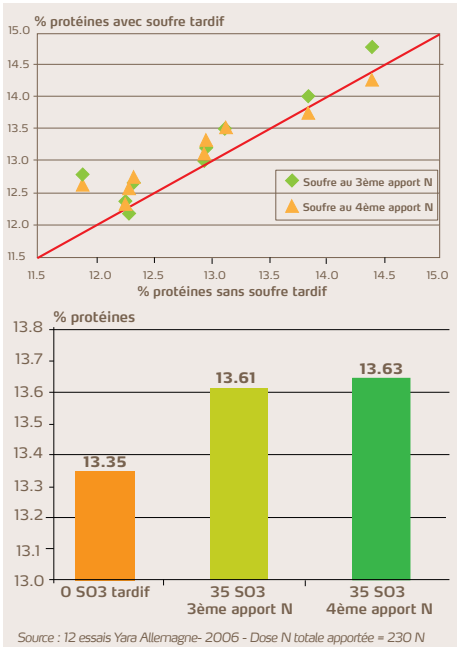
FIGURE 14 : Le pilotage N-Tester® permet d'améliorer rendement et teneur en protéines sans augmentation de la dose moyenne apportée.



Source : Synthèse Arvalis-Yara sur 240 essais pilotage 1994-2002

FIGURE 15 : Le pilotage N-Tester® contribue à une amélioration de la proportion de fertilisations optimales.

5 Renforcer l'action de l'azote avec le soufre



Source : 12 essais Yara Allemagne- 2006 - Dose N totale apportée = 230 N

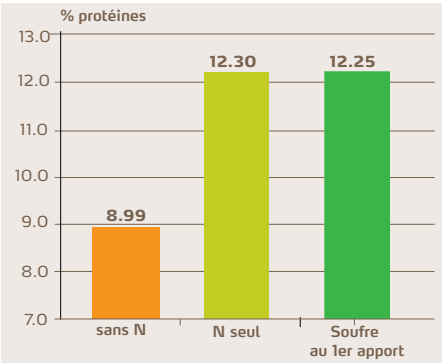
FIGURE 16 ET 17 : L'apport de soufre au 3ème ou 4ème apport peut permettre une amélioration de la teneur en protéines.

Du soufre tardif pour équilibrer nutrition azotée et soufrée

Plusieurs travaux au plan international (ADAS, HGCA, SAC Aberdeen) établissent une relation entre le soufre contenu dans les acides aminés soufrés et la qualité de la farine en panification. Ces acides aminés influent notamment sur la proportion des différents types de protéines présentes dans la farine (globulines, albumines, gluténines et gliadines) affectant notamment l'extensibilité de l'alvéogramme de Chopin. Il semble qu'un déséquilibre du rapport N/S puisse être préjudiciable à une bonne qualité technologique.

Certains auteurs citent une valeur minimale de 0.12% de S dans le grain et un ratio N/S maximum de 17/1 pour optimiser rendement et qualité technologique pour la panification.

Yara a mené une série d'expérimentations sur blé en 2006 en Allemagne qui montre une augmentation de la teneur en protéines de l'ordre de 0.25 pt lors d'apport de soufre tardif au 3ème ou au 4ème apport d'azote dans le cas de blés bien alimentés en azote et en l'absence de toute carence en soufre affectant le rendement. A l'inverse, dans un réseau expérimental complément de 48 essais réalisés de 2002 à 2006, le soufre positionné précocement au 1er apport d'azote n'a pas eu d'incidence sur le taux de protéines du blé alors qu'il agissait sur le rendement.



Source : 48 essais Yara Allemagne 2002-2006 - Apport de soufre précoce

FIGURE 18 : L'apport de soufre précoce n'a pas eu d'influence sur la teneur en protéines.

6 Compléter par des apports foliaires

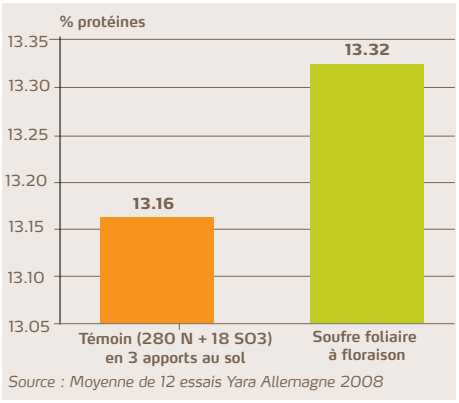
Les apport azotés foliaires en complément des apports au sol

Lorsque les conditions climatiques ne sont pas optimales pour l'absorption racinaire, un apport d'azote foliaire pallie aux baisses passagères de l'alimentation en azote des plantes. Compte-tenu des quantités plus faibles d'azote apportées, cet apport se raisonne en complément du 3ème apport au sol.

Pour jouer sur la teneur en protéines, des apports tardifs après l'épiaison et jusqu'au stade « grain laiteux » sont recommandés. L'efficience d'utilisation des engrais azotés foliaires a été démontrée dans des essais grâce au marquage à l'azote 15 : jusqu'à 80% de la quantité d'azote apportée est ainsi prélevé par les feuilles après application et cet azote sera plus tard majoritairement remobilisé vers les grains.

Les apports foliaires de soufre vont, quant à eux, être bénéfiques à l'assimilation de l'azote par les cultures, notamment lorsque la dose d'azote apportée est importante. Ils jouent également sur la qualité des protéines, notamment via une modifications du rapport N : S dans les grains. Ce rapport et la disponibilité globale en azote et en soufre influencent l'équilibre entre les différentes fractions protéiques constituant le gluten. Un rééquilibrage en soufre peut ainsi améliorer les propriétés viscoélastiques de la pâte.

A combiner avec du soufre pour stimuler l'assimilation de l'azote et favoriser la qualité des blés meuniers.



Source : Moyenne de 12 essais Yara Allemagne 2008

FIGURE 19 : Un apport tardif de soufre par voie foliaire contribue à une bonne assimilation de l'azote et peut permettre ainsi un gain supplémentaire en protéines.

Concilier respect de l'environnement et qualité du blé

Limiter les impacts environnementaux de l'azote.

L'azote, qu'il soit d'origine organique ou minérale, est impliqué dans de nombreux phénomènes ayant un impact sur l'environnement tels que l'eutrophisation (nitrates, oxydes d'azote, ammoniac), l'acidification (ammoniac, oxydes d'azote), le changement climatique (protoxyde d'azote et CO_2) et la santé humaine (particules fines, ammoniac) mais il est également au cœur des protéines qui constituent la base de notre alimentation quotidienne.

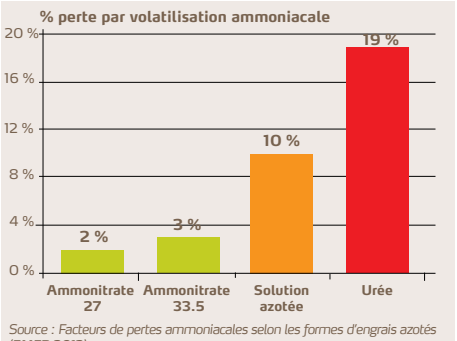
Il est important de se rappeler que plus de la moitié de la production mondiale de céréales est permise grâce à la fertilisation.

Yara affirme qu'il est possible de concilier ces enjeux environnementaux avec l'obtention de teneurs en protéines satisfaisantes :

- En perfectionnant le raisonnement de la fertilisation azotée
- En développant le pilotage et l'agriculture de précision
- En adaptant le fractionnement des apports au plus près des besoins de la culture
- En utilisant des formes d'azote efficaces possédant un coefficient d'utilisation élevé et peu sensible à la volatilisation ammoniacale
- En réduisant l'empreinte carbone des engrais (-70 % pour les ammonitrates Yara).

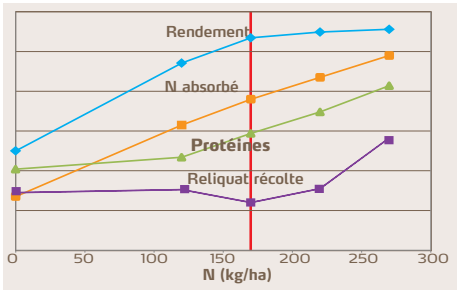
Au final, l'amélioration de l'efficacité de chaque unité d'azote minéral est la garantie de l'amélioration de la teneur en protéines.

Chaque unité d'azote assimilée et transformée en protéines dans le grain contribue à la limitation des fuites d'azote dans l'environnement.



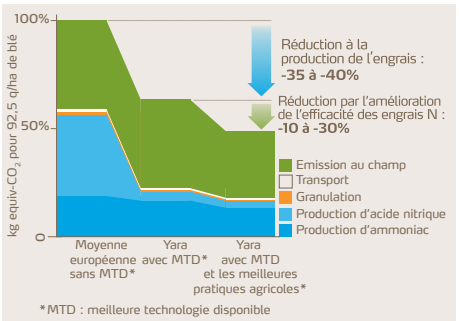
Source : Facteurs de pertes ammoniacales selon les formes d'engrais azotés (EMEP 2013)

FIGURE 21 : Il est fondamental de limiter les pertes par volatilisation ammoniacale pour maximiser la quantité d'azote disponible pour l'absorption du blé.



Source : Essai Yara 1990- Eure et Loir

FIGURE 20 : Au voisinage de l'optimum de rendement, une fertilisation fractionnée avec un engrais azoté efficace permet de concilier un reliquat d'azote post récolte limité et une teneur en protéines correcte.



*MTD : meilleure technologie disponible

FIGURE 22 : La réduction de l'empreinte carbone à la production des engrais azotés par Yara est une réalité qui contribue fortement à la réduction de l'empreinte carbone de la tonne de blé.

Pour plus d'informations :
Yara France
Immeuble Opus 12
77, Esplanade du Général de Gaulle
CS 90047
92914 PARIS LA DÉFENSE
www.yara.fr/fertilisation

L'efficacité des engrais Yara

Pure performance

Les engrais azotés YaraBela® sont de purs nutriments. Ils constituent une source d'azote équilibrée grâce à l'association de l'azote nitrique et ammoniacal. Les engrais YaraBela® existent dans différentes formules dont certaines comprennent des éléments secondaires. Produit exclusivement dans des usines françaises et européennes, les engrais YaraBela® apportent des performances et des résultats sans équivalent.

Gamme YaraBela®

Formules YaraBela®	Eléments en %			
	Azote nitrique	Azote ammoniacal	Soufre	Magnésium
 YaraBela® EXTRAN® 33,5	16,8	16,7	0	0
YaraBela® EXTRAN® 27	13,5	13,5	0	4
YaraBela® EXTRAN® 26	13,2	12,8	0	5
 YaraBela® SULFAN® 31+5	15	16	5	0
YaraBela® SULFAN® 30+7	15	15	7	0
YaraBela® SULFAN® 29+9	14	15	9	0
YaraBela® SULFAN® 27+12	13	14	12	0
YaraBela® SULFAN® 24+18	12	12	18	0
YaraBela® SULFAN® 24+15	12	12	15	0
 YaraBela® OPTIMAG® 24+20+5	12	12	20	5
YaraBela® OPTIMAG® 24+17+4	12	12	17	4
YaraBela® NITROVERT® 24+19+4	12	12	19	4

Engrais foliaires

Formules foliaires	Eléments en g/l						
	Azote total	Azote nitrique	Azote ammoniacal	Azote Uréique	Urée Formaldéhyde	Soufre	Magnésium
 YaraVita® Safe N	312	49	49	132	82	-	-
YaraVita® Thiotrac 300 / YaraVita® Azos Pro	200	-	138	62	-	700	-

A propos de Yara

Yara International ASA est une entreprise norvégienne implantée dans le monde entier. Yara est spécialisé dans la nutrition des cultures, les produits pour l'environnement et les applications industrielles. Premier fournisseur d'engrais minéraux au monde, Yara contribue, depuis plus d'un siècle, à la production alimentaire et à la fourniture d'énergie renouvelable pour une population mondiale en croissance. Forts d'une longue expérience de la production des engrais et d'une solide connaissance de la nutrition des cultures, nous croyons que les engrais minéraux font partie intégrante d'une agriculture durable sur le plan économique et environnemental.

© Yara 2015