



# **TENEUR EN PROTEINES DES BLES : RELEVER LE DOUBLE DEFI AGRONOMIQUE ET ECONOMIQUE**

**ARVALIS**  
Institut du végétal

# Des marchés très segmentés

Les marchés du blé français sont très segmentés : les destinations « marché intérieur » et « export » ont leurs propres exigences mais s'appuient tous sur des critères qualitatifs incontournables comme la teneur en protéines.

## Sur le marché intérieur :

**L'alimentation animale** est le premier secteur consommateur de blé. Si le prix et le poids spécifique ont longtemps été les critères prépondérants d'achat, les fabricants d'aliments pour bétail sont de plus en plus attentifs à la teneur en protéines pour des aspects nutritionnels et économiques.

**Le débouché amidonnier** privilégie en premier lieu la régularité d'approvisionnement et l'homogénéité des lots. Néanmoins, ce secteur a des attentes qualitatives proches de celui de la meunerie et est particulièrement attentif à la quantité et à la qualité des protéines valorisables au même titre que l'amidon.

Le secteur de **l'alimentation humaine** se caractérise par une segmentation très forte des produits fabriqués et des modes de fabrication qui ont des exigences spécifiques. Le développement de la boulangerie industrielle s'accompagne d'un besoin croissant en matières premières résistantes aux contraintes imposées par les procédés, qu'il s'agisse de la mécanisation de certaines étapes de la panification ou de la surgélation des pâtes. Cette évolution s'accompagne d'une demande croissante en protéines. (Par ailleurs, la teneur en protéines de la farine est inférieure d'environ 1 point à celle du blé).

Exigences requises pour la fabrication de différents produits de la boulangerie viennoiserie-pâtisserie (source : enquêtes ARVALIS - Institut du végétal)

	Biscuit	Pain cru	Brioche	Croissant frais	Croissant surgelé
Teneur en protéines du grain	<11 %	10,5 - 11,5 %	11 - 13 %	11 - 13 %	12 - 14 %
Force boulangère (W)	<150	150 - 250	200 - 350	200 - 300	250 - 400

## Côté export :

La teneur en protéines est le premier critère attendu dans les cahiers des charges aussi bien en Union Européenne que dans les pays tiers. Chez certains de ceux-ci, la libéralisation de l'économie céréalière donne plus de place à des acheteurs privés, dont les exigences qualitatives sont précises et croissantes. Par ailleurs la boulangerie industrielle se développe et requiert de plus en plus de protéines et de force boulangère.

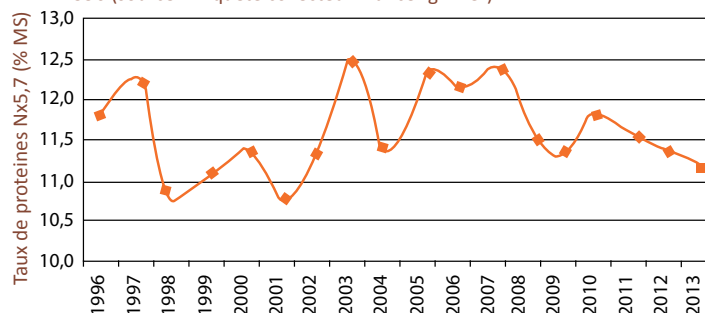
Exemples de cahiers des charges de pays importateurs de blé français

	Maroc	Egypte	Italie		Espagne	
			Pain traditionnel	Ciabatta	Pain commun	Chapata
Teneur en protéines	11,5 %	11%	11,5 %	12 %	10 - 12 %	>11 %
Force boulangère (W)	160	NS	170 - 200	220 - 250	120 - 150	250

NS : Non spécifié

L'offre française moyenne ne répond pas tous les ans à l'ensemble de ces exigences, notamment à celle de teneur en protéines, alors que nos concurrents (en Europe et hors Union Européenne) ont une offre supérieure sur ce critère.


Evolution de la teneur moyenne en protéines de la récolte française depuis 1996 (source : Enquête collecteur FranceAgriMer)




# Les protéines du grain s'accumulent tout au long du cycle

## Deux sources d'azote pour le grain

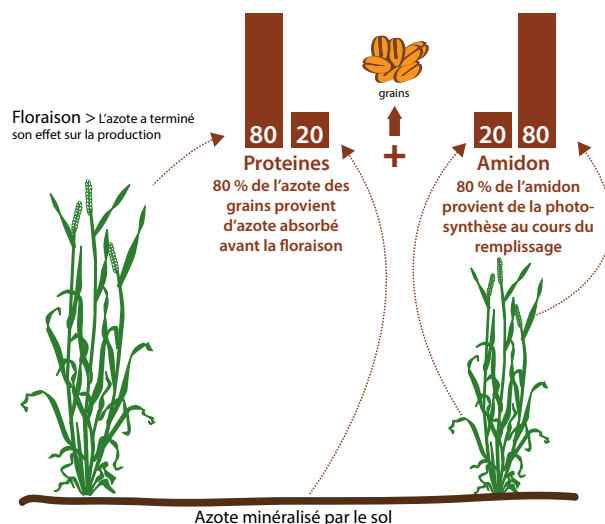
La quantité d'azote présente dans le grain à la récolte provient de :

 La remobilisation de l'azote absorbé avant floraison, contenu dans les tiges et les feuilles : cela représente **environ 80% du contenu du grain**.

 L'absorption post floraison de l'azote minéralisé à partir de la matière organique du sol ou éventuellement apporté par fertilisation tardive : cette source représente en moyenne 20% du contenu en azote du grain.

**La teneur du grain en protéines est le résultat de la dilution de cette quantité totale d'azote dans l'amidon du grain** synthétisé lui sur un tout autre rythme : environ 80% de l'accumulation de la matière sèche du grain provient de la photosynthèse après floraison.

Le calendrier d'absorption d'azote et d'élaboration du rendement est déterminant : un couvert exubérant en début montaison va stocker l'azote dans les parties non récoltées, et donc réduire la part transférable au grain courant remplissage. Ceci est donc défavorable à la teneur en protéines.



## Mesurer la teneur en protéines

La teneur en protéines d'un lot de blé est calculée à partir de sa quantité de matières azotées totales N (exprimée sur une base matière sèche) multipliée par un coefficient égal à 5,7 pour un blé destiné à l'alimentation humaine et à 6,25 pour un blé destiné à l'alimentation animale. Elle se mesure selon 2 méthodes de référence : une méthode chimique dite méthode Kjeldahl et une méthode physique par combustion dite méthode Dumas. Depuis plus de 20 ans, la teneur en protéines se mesure également de façon indirecte sur grains entiers (ou broyés) par spectrométrie dans le proche infrarouge. Ces appareils, après avoir été calibrés par rapport à une des 2 méthodes précédentes, permettent d'obtenir la teneur en protéines d'un échantillon de blé en moins d'une minute. Les appareils présents à la réception en organismes collecteurs sont équipés avec des calibrations qui donnent la teneur en protéines avec le coefficient 5,7. La mise en réseaux des parcs d'appareils (comme Agrosso) garantit la fiabilité et l'homogénéité des mesures.

## Le climat déterminant

Pour chacune des deux phases clés (avant / après floraison) on peut retenir les effets positifs ou négatifs suivants vis-à-vis de la teneur en protéines :

A noter : le changement climatique conduira à une probable accentuation des variabilités interannuelles.

Avant floraison	Après floraison
Excès d'eau ou sécheresse perturbant l'absorption d'azote (Lessivage précoce du nitrate en sols superficiels, perturbation du fonctionnement racinaire, limitation de la minéralisation du sol)	Températures échaudantes : remobilisation d'azote moins pénalisée que l'accumulation de matière sèche
Températures élevées de la levée à début montaison : forte absorption précoce d'azote et excès de tiges, peu favorable à sa remobilisation vers le grain	Sécheresse (effet concentration de l'azote dans le grain)
Pluies en cours de montaison et à gonflement: favorable à l'absorption d'azote en période de forte croissance (notamment de l'épi)	Conditions climatiques favorisant les maladies racinaires (piétin échaudage ...), qui limite la photosynthèse et l'absorption d'azote

 Positif  Négatif

# Jouer sur la variété et la fertilisation

Bien que le climat joue un rôle majeur sur la teneur en protéines du grain (+/- 0.5 à 2%), une combinaison judicieuse de techniques culturales permet de mettre toutes les chances de son côté pour atteindre les objectifs visés.

## Choisir une variété adaptée

La démarche commence par le **choix d'une variété présentant un bon compromis rendement / teneur en protéines**.

Il existe une relation négative entre le rendement et la teneur en protéines : à niveau de fertilisation équivalent, plus le rendement de la variété est élevé, plus sa teneur en protéines est faible. Mais pour un même niveau de rendement, certaines variétés valorisent mieux l'azote et affichent des teneurs en protéines plus élevées que d'autres. **L'enjeu du choix variétal est estimé à +/-0.7% de protéines**. Ainsi des variétés comme Rubisko, Goncourt ou Oregrain, associent les deux critères rendement et teneur en protéines. Depuis 2007, l'inscription au catalogue français des variétés est facilitée pour les variétés associant rendement et teneur en protéines. Pour en savoir plus sur le positionnement des différentes variétés sur le critère protéines :

<http://www.arvalis-infos.fr/view-10835-arvarticle.html>

Pour atteindre des teneurs en protéines beaucoup plus élevées, il est nécessaire d'accepter des rendements parfois plus faibles. Ceci est plus particulièrement le cas des blés à haute teneur en protéines et des blés de force.

Si le choix variétal oriente, dès les semis, l'espérance en protéines de la récolte, le résultat final dépend aussi d'autres facteurs maîtrisés par l'agriculteur, en premier lieu la fertilisation azotée et son pilotage.

## Le rôle du progrès génétique

Depuis plus de 20 ans le progrès génétique moyen du rendement est estimé entre +0.6 et + 0.9 q/ha/an. Côté protéines et sur cette même période, on n'observe pas d'évolution de la teneur du grain des nouvelles variétés inscrites autre que celle « mécaniquement » imputable au progrès du rendement. Lorsque la dose d'azote est adaptée au potentiel (en hausse) permis par les nouvelles variétés, le niveau de protéines reste stable.

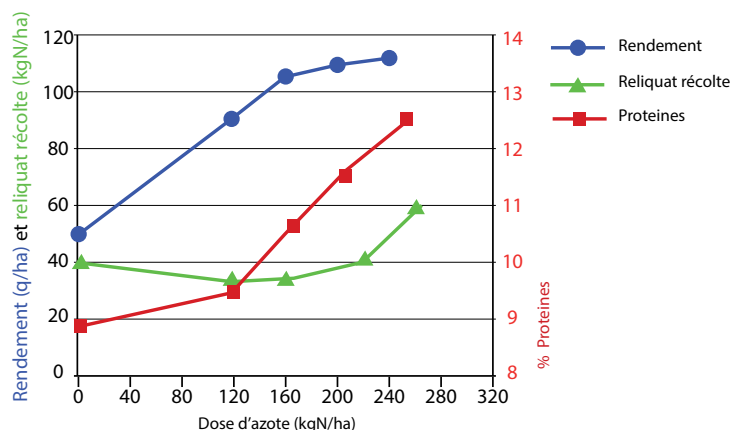
Les variétés récentes sont plus performantes pour extraire l'azote du sol. L'effort de sélection porte sur l'amélioration continue de ce critère et aussi sur l'aptitude à concentrer simultanément des protéines.



## Valoriser les apports d'azote

L'effet de la fertilisation azotée se manifeste sur 3 composantes : le rendement, la teneur en protéines, et la quantité d'azote présente dans le sol à la récolte sous forme minérale (« reliquat après récolte »). Ce dernier est à minimiser pour éviter d'accroître - sous l'effet des pluies hivernales - le risque d'entraînement du nitrate en profondeur (notamment lors de l'interculture suivante). Le raisonnement de la dose totale est donc un compromis sur ces 3 dimensions.

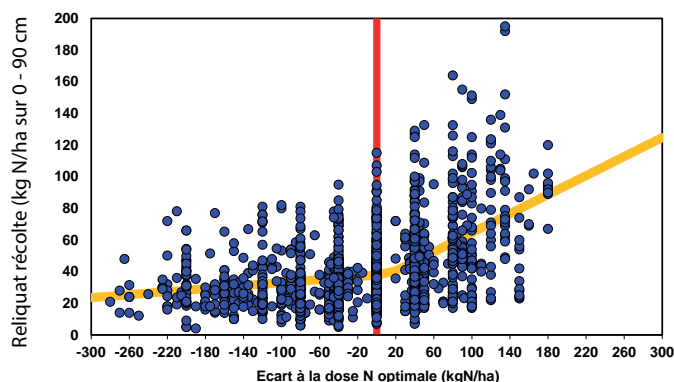
Exemple de l'effet de la dose d'azote sur le rendement, la teneur en protéines et le reliquat d'azote à la récolte.



A retenir :

- La réponse du reliquat post-récolte à la fertilisation azotée est faible ou nulle pour les doses inférieures à l'optimum.
- Les doses significativement supérieures à la dose optimale (celle qui maximise le rendement) génèrent une augmentation de la quantité d'azote minéral dans le sol, mais dont l'amplitude et la zone d'effet sont très variables.

Effet de la sous ou sur fertilisation sur le reliquat d'azote à la récolte de céréales d'hiver (l'augmentation du reliquat récolte est statistiquement plus élevée pour un écart supérieur à +20 kg N/ha par rapport à l'optimum)



# Piloter efficacement l'azote

## Dose totale d'azote : visez le bon compromis

La dose totale d'azote reste un élément clé pour piloter la teneur en protéines de la récolte. La première étape consiste à estimer la dose totale prévisionnelle capable de satisfaire le besoin de la culture pour l'objectif de rendement visé. Les outils de calcul de dose faisant appel à la méthode du bilan sont à utiliser. Cette dose « optimale » permet d'atteindre une teneur moyenne en protéines qui dépend de la variété et du climat. Une variation de +/- 20 kgN/ha autour de cette dose optimale fait varier cette teneur moyenne de +/- 0.25 - 0.3 %.

Dans un second temps, l'utilisation d'outils de pilotage est indispensable pour ajuster la dose du dernier apport d'azote et ainsi viser le meilleur compromis rendement/protéines.

## Fractionnez... au bon moment

**1er apport (dit « tallage » ou « sortie hiver ») : ni trop précoce, ni trop conséquent**

L'efficacité des engrais minéraux est très directement liée au stade d'apport : **les apports les plus précoces (tallage) sont les moins bien valorisés** (ne pas dépasser 50-60 kgN/ha), au contraire des apports de mi-montaison – gonflement. Ainsi dans les milieux à forte fourniture en N, profonds et non calcaires, en cas de fort reliquat azoté dans le sol en sortie hiver (supérieur à 60 kg N/ha sur 0-60 cm), il est recommandé de supprimer l'apport précoce : ceci permet de renforcer la fraction de la dose totale réservée pour un apport tardif (fin montaison), très favorable à la teneur en protéines. La conduite d'une bande témoin semée à double densité dont l'absence de décoloration est le signe d'absence de carence en azote, est un outil utilisable pour décider s'il est nécessaire de pratiquer un apport précoce.

**2e apport « épi 1 cm » : visez une période pluvieuse**

La fraction majeure de la dose totale est apportée autour du stade « épi 1 cm » : sa valorisation est étroitement liée à la disponibilité en eau. **Il est donc préférable de retarder l'apport en cas d'absence de pluie** (car les variétés actuelles sont beaucoup moins dépendantes du nombre d'épis/m<sup>2</sup> - lié à la disponibilité en azote au début montaison - que les variétés plus anciennes). Aussi, il est tout particulièrement conseillé d'intervenir un peu avant le stade « épi 1cm » quand le sol contient peu d'azote minéral (précédents « pauvres », faible minéralisation du sol, pas d'apport « tallage ») et que les prévisions annoncent une pluie ; on peut retarder cet apport si la disponibilité en azote du sol est élevée et qu'aucune pluie n'est annoncée.

**Apport « dernière feuille étalée-gonflement » : l'indispensable**

L'apport fin montaison-gonflement est décisif pour combiner un effet sur le rendement ET la teneur en protéines. Par ailleurs - et contrairement à une idée reçue - la pluviosité dans la plupart des régions de France est très généralement plus favorable à cette période qu'elle ne l'est en tout début montaison.

**> Réserver 40 à 60 kg N/ha pour cet apport « qualité » aux stades Sortie de la dernière feuille - Gonflement**

## Apports tardifs : pas trop tard...

Le rendement est le résultat du produit du nombre de grains par mètre carré et du poids de chaque grain. Ce dernier n'est en rien influencé par la fertilisation azotée qui a pour rôle de permettre la production du nombre de grains (dont le potentiel dépend du sol et du climat), composante définitivement fixée au stade floraison. En conséquence les apports tardifs d'azote ne peuvent avoir un effet bénéfique et simultané sur le rendement et la teneur en protéines qu'à la condition d'intervenir avant floraison : sauf année exceptionnelle, il est nécessaire de viser les stades « sortie de la dernière feuille – gonflement ». Au-delà, seul l'enrichissement en protéines sera sensible. Dans tous les cas la pluviosité est un élément déterminant : il faut environ 10-15 mm de précipitation dans les 10-15 jours qui suivent l'apport pour une valorisation maximale et rapide.

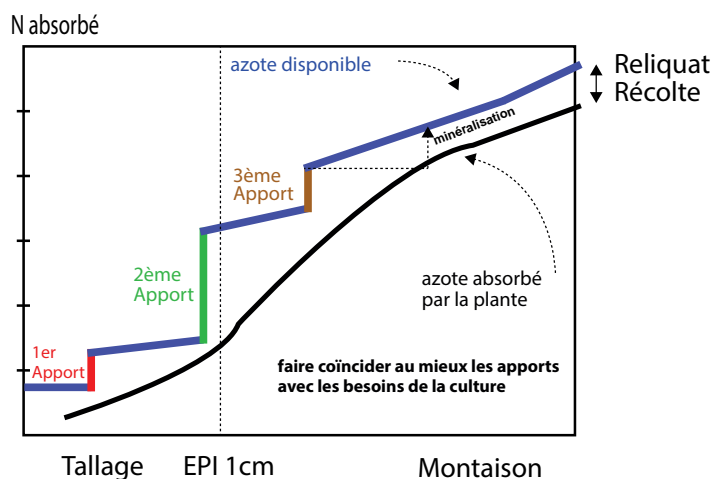
## 4 apports mieux que 3

Le fractionnement de la dose totale en 4 apports permet à la fois de mieux « coller » aux besoins de la culture et de limiter les risques de mauvaise valorisation (période de sécheresse, d'excès d'eau ou de froid qui ralentit la croissance). Cette stratégie, qui conduit à réaliser deux apports entre « 2 nœuds » et « dernière feuille étalée » s'est montrée la plus efficace pour maximiser la teneur en protéines sans affecter le rendement.

## Apports foliaires : avec précaution

A dose totale d'azote équivalente sur tout le cycle, la substitution de l'apport au sol par un engrais foliaire au stade Dernière feuille pointante/gonflement n'apporte généralement pas de gain agronomique. Ces produits étant limités par la quantité d'azote apporté à chaque passage, la satisfaction des besoins pour le rendement visé nécessite de renforcer les apports plus précoces, ce qui peut pénaliser l'accumulation de protéines dans le grain.

Concernant des apports encore plus tardifs, la pulvérisation foliaire peut permettre une plus grande souplesse d'utilisation que les apports au sol en cas de conditions stressantes de fin de cycle (manque de pluie par exemple) mais ne permet pas de s'en affranchir complètement car la pénétration de l'azote dans le feuillage est aussi contrôlée par l'état physiologique de la culture : si le déficit hydrique et les fortes températures sont tels que l'absorption racinaire est bloquée, l'absorption foliaire le sera aussi.



# Réussir son apport en pratique

## Avantage à l'ammonitrate

A dose totale identique la forme ammonitrate permet un gain moyen de rendement et de protéines par rapport à la forme « solution azotée liquide » : +2 à +4 q/ha selon le type de sol (calcaire ou non) et +0.6-0.8 % protéines. (L'ajustement de la dose totale d'azote en solution azotée ne permet pas de gommer complètement ces écarts dus aux pertes par volatilisation très dépendantes des conditions de sol et climat).

Cette supériorité s'exprime également spécifiquement pour l'apport de fin montaison - gonflement : +0.4 % de protéines en faveur de l'ammonitrate.

## Soigner la qualité d'épandage

Les hétérogénéités d'épandage des formes solides peuvent générer des pertes de rendement et de protéines : **le réglage précis de l'épandeur** est impératif (plus délicat à satisfaire pour les apports tardifs) au risque de s'exposer à des pertes pouvant dépasser 2q/ha et 0.4% de protéines.

### Les outils de pilotage : la précision dans la décision

La mise en œuvre des outils de pilotage doit être rigoureuse et complémentaire du calcul préalable de la dose optimale à l'aide d'une méthode prévisionnelle comme la méthode du bilan. La mise en réserve de 40 kg N/ha de cette dose totale (et la vérification que rien n'a gravement perturbé l'absorption des apports antérieurs) permet ensuite de piloter l'apport tardif au plus près des besoins réels de la plante et des objectifs de qualité visés. Les méthodes JUBIL®, N Tester, et Farmstar proposent toutes une déclinaison « protéines » de leurs règles de décision pour sécuriser l'atteinte de la teneur visée, dans les limites permises par la variété (et tout en minimisant l'impact sur l'environnement).

# ARVALIS

## Institut du végétal

3, rue Joseph et Marie Hackin

75116 PARIS

Tél. 01 44 31 10 00

Fax. 01 44 31 10 10

[www.arvalisinstitutduvegetal.fr](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr)

Membre de :



Avec la participation financière du Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural géré par le Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

### L'effet de la fertilisation azotée sur les qualités de protéines

Au-delà d'une teneur minimum nécessaire en protéines, les proportions des différentes classes de protéines (gluténines et gliadines qui constituent les protéines insolubles du gluten), jouent un rôle capital dans la qualité boulangère. Le « profil protéique » est spécifique de chaque variété mais les proportions de chacune de ces classes varient aussi en fonction du milieu (climat) et des pratiques culturales (fertilisation azotée).



**la teneur en gluténines** est un facteur essentiellement variétal, même si il peut varier suivant les lieux et les années. La fertilisation azotée (dose et fractionnement) n'a pas ou peu d'effet.



**la teneur en gliadines** est en revanche une caractéristique très dépendante du milieu. Elle augmente linéairement avec la dose d'azote apportée, mais ni le fractionnement ni le stade d'apport n'ont une influence sur cette relation.

**En aucun cas, le fractionnement de la fertilisation azotée ne favorise la synthèse de protéines solubles** comme cela est parfois avancé.

Enfin la fertilisation soufrée n'a pas ou peu d'effet sur la teneur en protéines. Elle permet toutefois de rééquilibrer le rapport entre les teneurs en azote et en soufre (rapport N/S) à l'intérieur même du grain, ce qui se traduit par une amélioration de l'extensibilité des pâtes d'autant plus importante pour les variétés faiblement extensibles.

## Jouer sur l'irrigation

L'irrigation est un facteur de maîtrise majeur (mais dont les effets ne sont pas différents de ceux évoqués plus haut pour la pluviosité) :



**Une irrigation courant montaison** favorise l'absorption d'azote (notamment issu de l'engrais) et la croissance : il faut ajuster en conséquence la dose d'azote pour faire face aux besoins plus importants et ceci ne modifiera alors en rien la teneur en protéines de la récolte.



**Une irrigation plus tardive** (floraison) permet un meilleur remplissage des grains (sans en modifier le nombre) : la dose optimale d'azote pour le rendement est inchangée mais la teneur en protéines peut baisser par effet de dilution, selon une amplitude qui dépend des conditions de minéralisation tardive par le sol.

On peut négliger l'effet des techniques suivantes sur la teneur en protéines des blés : date de semis (à condition d'ajuster la dose d'azote au potentiel de rendement éventuellement modifié par cette date), désherbage, protection fongicide, techniques de récolte et stockage.

