

# FERTILISATION



# Performances des engrais azotés sur blé tendre et blé dur d'hiver

ARVALIS-Institut du végétal met en place chaque année depuis 2012, un réseau d'essais pour étudier les performances sur blé tendre et blé dur d'hiver des nouvelles formes d'engrais azotés et de quelques produits à action biostimulante qui arrivent sur le marché.

## LES PRODUITS TESTES

Outre les références ammonitrate, urée granulée et solution azotée, 5 produits récemment commercialisés ou en cours d'homologation ont été évalués. Ils se classent en plusieurs catégories en fonction de leurs propriétés technologiques et agronomiques. Les caractéristiques principales des produits testés sont résumées dans le tableau 1.

### Les urées additionnées d'un inhibiteur d'uréase

NEXEN (Fertiline - In Vivo, commercialisé et testé depuis 2012), UTEC<sup>®</sup> 46 (Eurochem Agro France, commercialisé à partir de 2014, en test dès 2013 dans nos essais) et NOVIUS<sup>®</sup> (Fertiline - In Vivo, commercialisé à partir de 2014, en test depuis 2015 dans nos essais) sont des urées granulées avec un additif (NBPT pour N-(n-Butyl) ThioPhosphoric Triamide) ayant la propriété d'inhiber l'hydrolyse de l'urée, et donc de ralentir la transformation de l'urée en ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Selon la bibliographie internationale, cette action de l'additif devrait diminuer les pertes par volatilisation ammoniacale et ainsi prodiguer une meilleure efficacité aux produits qui en contiennent par rapport à leur version sans additif. Du point de vue du process de fabrication, les

trois produits se distinguent notamment par la technique d'imprégnation des granules d'urée avec le NBPT. Un 4ème produit dans cette catégorie est disponible depuis le printemps 2017. Il s'agit d'une **urée additionnée de LIMUS<sup>®</sup>** (BASF, en test depuis 2014 dans nos essais). Le LIMUS est un additif composé de deux molécules : le NBPT et le NPPT. La 2ème est aussi un inhibiteur d'uréase mais qui cible une autre catégorie de cette enzyme que celle ciblée par le NBPT.

### Les inhibiteurs d'uréase additifs à la solution azotée

Le LIMUS<sup>®</sup>, déjà autorisé comme additif à l'urée (cf paragraphe précédent), il fait actuellement l'objet d'une demande d'homologation pour un usage en tant qu'additif liquide extemporané pour la solution azotée. Il est testé dans nos essais en mélange avec cette forme d'azote depuis 2016 et devrait prochainement être commercialisé pour cet usage.

### Les engrais avec additifs microbiens

FERTEVIE-WAKE<sup>®</sup> AZO 17 (Fertemis/Lallemand Plant Care, commercialisé depuis 2014) est un engrais azoté soufré avec un additif microbien (le Ferteve-Wake) à base de levure *Saccharomyces cerevisiae* inactivée. Selon la firme, l'additif stimulerait l'ensemble de la flore du sol entraînant une accélération des phénomènes de minéralisation des matières organiques (pailles, résidus végétaux, produits résiduels organiques). Il améliorerait en cela l'implantation, la nutrition et la croissance des cultures. Il est préconisé en apport au stade tallage à 50 kgN/ha.

Tableau 1 : Caractéristiques principales des produits testés

Nom	Firme	Statut réglementaire	Forme	Composition en éléments minéraux (% massique si pas d'autres précisions)					Additif	Autres informations
				N-Total	N-Urée	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>3</sub>		
<b>Engrais azotés simples</b>										
AMMONITRATE 33.5	Générique	NFU-42 001	Solide	33.5		16.75	16.75			
SOLUTION AZOTEE	Générique	NFU-42 001	Liquide	30	15	7.5	7.5			
UREE GRANULEE	Générique	NFU-42 001	Solide	46	46					
<b>Urées additionnées d'un inhibiteur d'uréase</b>										
NEXEN	KOCH Fertiliser Products SAS	Engrais CE	Solide	46	46				NBPT	
NOVIUS <sup>®</sup>	In-Vivo	Engrais CE	Solide	46	46				NBPT	
UTEC <sup>®</sup> 46	EUROCHEM Agro France	Engrais CE	Solide	46	46				NBPT	
UREE+LIMUS <sup>®</sup>	BASF	Engrais CE	Solide	46	46				NBPT & NPPT	
<b>Inhibiteurs d'uréase additifs à la solution azotée</b>										
LIMUS <sup>®</sup>	BASF	En cours d'homologation							NBPT & NPPT	Additif à la solution azotée
<b>Engrais avec additifs microbiens</b>										
FERTEVIE-WAKE <sup>®</sup> AZO 17	FERTEMIS/Lallemand Plant Care	NFU 44-204 (additif homologué)	Solide	17		17		40	Ferteve-wake	Apport au stade tallage à 50 kgN/ha

## LES ESSAIS

9 essais ont été réalisés sur blé tendre et blé dur d'hiver au cours de la campagne 2017-2018. Le tableau 2 décrit leurs principales caractéristiques. L'année 2018 a été marquée par des reliquats sortie hiver assez faibles pour la plupart des sites d'essais qui s'expliquent par la forte pluviométrie au cours de l'hiver 2017-2018 qui a provoqué des pertes d'azote par lixiviation. Au printemps, cette forte pluviométrie a perduré ce qui a assuré de bonnes à très bonnes conditions de valorisation des apports d'engrais pour la plupart des essais, sauf dans le Nord Est (essais de Saint-Pierre et d'Hessenheim) où l'on a connu des épisodes plus secs à certaines périodes d'apports. Enfin, dans l'ensemble, la précision statistique des essais est satisfaisante.

Dans tous les essais, la référence de comparaison est l'ammonitrate (à tous les apports) étudiée sous la forme d'une courbe de réponse à des doses croissantes d'engrais (4 à 5 doses selon les essais en plus du témoin sans apport). Dans les essais testant les additifs à la solution azotée, une courbe de réponse pour la solution azotée (à tous les apports) a aussi été réalisée. Les courbes de réponse ont fait l'objet d'un traitement statistique afin de les modéliser selon un formalisme différent

selon que l'on s'intéresse au rendement ou à la teneur en protéines du grain (cf. encadré 1). Dans les essais testant les urées additionnées d'un inhibiteur d'uréase, une référence urée 46 (à tous les apports) a aussi été introduite, à deux doses totales d'azote (X-50 kg N/ha, X). Dans les essais testant le FERTEVIE-WAKE® AZO 17, un témoin ammonitrate supplémentaire avec 50 kg N/ha apporté au tallage (au lieu de 40 kg N/ha pour le témoin standard) a été conduit à deux doses totales d'azote (X-60 kg N /ha et X). En effet, le produit ne pouvant être épandu à moins de 50 kg N/ha pour respecter la dose minimale d'additif microbien à apporter, il était nécessaire de disposer d'un 2ème témoin pour exclure un effet « fractionnement » d'un éventuel effet du produit en lui-même. De plus, les essais dans lequel ce produit a été testé ont bénéficié d'une couverture soufrée afin de s'affranchir d'un éventuel effet de l'élément soufre que cet engrais contient et n'évaluer que l'effet du biosimulant FERTEVIE-WAKE.

Tous les produits ont été testés à deux doses totales d'azote (X-50 kgN/ha ou X-60 kgN/ha dans le cas du FERTEVIE-WAKE® AZO 17 et X kgN/ha, avec X = dose totale d'azote prévisionnelle), la comparaison des rendements et des teneurs en protéines a été réalisée selon deux méthodes statistiques décrites dans l'encadré 2.

■ **Tableau 2 : Caractéristiques principales des expérimentations 2017**

Essai	Texture	% MO	pH eau	Précédent	Variété (espèce)	Date de semis	Date de récolte	Dose X (kg N/ha)	ETR (q/ha 15% H.)	Rdt opti ammo (q/ha)	Dose N opti ammo (kg N/ha)
Le Subdray (18)	Limon argileux	1.8	6.7	Colza	RGT Sacramento (BTH)	12/10	10/07	190	1.2	105	182
Lissay-Lochy (18)*	Sable argileux sur calcaire	2.8	8.1	Colza	Oregrain (BTH)	17/10	12/07	190	1.3	96	157
Issigeac (24)	Terreforts superficiels	2.4	8.4	Colza	Oregrain (BTH)	14/10	03/07	196	2.1	93	181
Bernienville (27)*	Limon battant	2.0	7.4	Blé tendre	Triumph (BTH)	27/10	24/07	230	2.4	116	169
Binas (41)	Limons argileux	2.4	8.1	Colza	RGT Voilur (BDH)	26/10	09/07	200	2.7	93	153
Saint Pierre (51)*	Craie	2.9	8.3	Colza	Matheo (BTH)	09/10	13/07	180	1.1	94	210
Bignan (56)	Limon profond	/	6.5	Mais ensilage	Fructidor (BTH)	30/10	18/07	190	2.4	91	276
Hessenheim (67)	Ried brun superficiel	3.2	8.1	Mais grain	Cellule (BTH)	26/10	10/07	220	3.1	69	178
Buno Bonnevaux (91)*	Sable limoneux	1.3	8.4	Betterave sucrière	Rubisko (BTH)	16/10	17/07	190	1.2	101	248

BTH = Blé Tendre d'Hiver ; BDH = Blé Dur d'Hiver

\* Courbes de réponse à l'ammonitrate et à la solution azotée (ammonitrate seulement pour les autres essais)



## Performance des urées additionnées d'inhibiteur d'uréase

Les résultats des synthèses pluriannuelles sont fournis en figures 1 à 4. Dans le cas du NEXEN, de l'UTEC et de l'Urée + LIMUS, l'imprégnation de l'urée avec un ou plusieurs inhibiteurs d'uréase permet d'améliorer significativement son efficacité (+ 1.2 à + 1.7 q/ha et + 0.14 à +0.24% de protéines selon le produit). De plus, ces produits permettent d'obtenir en moyenne un meilleur rendement que l'ammonitrate (+ 1.0 à + 2.4 q/ha) mais, par rapport à cette forme d'azote, on n'observe pas de gain protéines voire une tendance légèrement négative

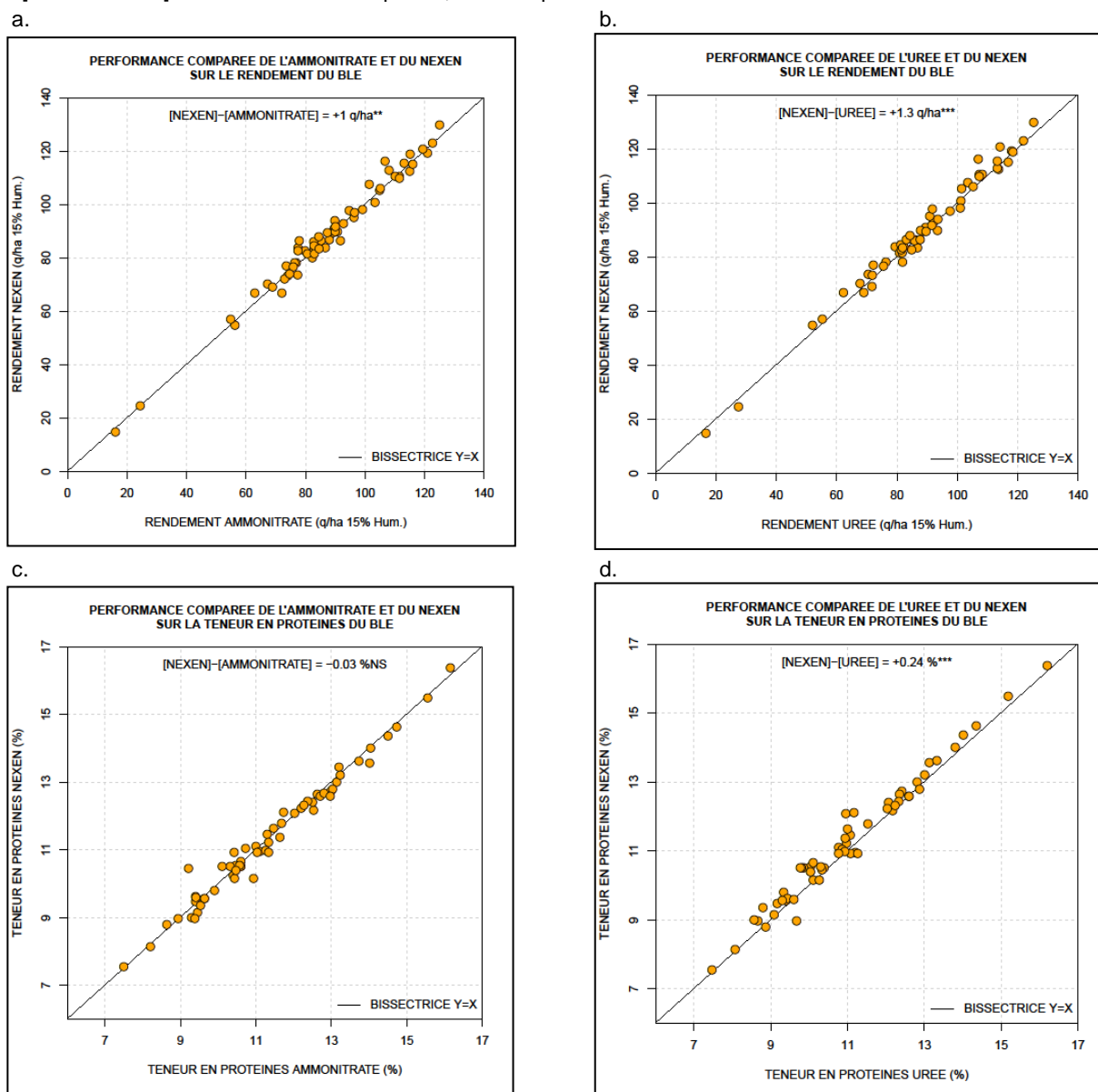
(mais non significative) dans le cas de l'UTEC. Notons que c'est Urée + LIMUS, qui contient, comme les autres produits, du NBPT mais également du NPPT, qui obtient les meilleures performances. Seul le NOVIUS n'affiche aucun gain significatif de rendement par rapport à l'Urée et à l'ammonitrate. Toutefois, c'est lui qui parmi les quatre produit testés permet le gain de protéines le plus élevé par rapport à l'urée.

Notons toutefois, qu'il est difficile de comparer ces produits entre eux car ils n'ont pas été tous testés simultanément dans les mêmes essais.

**Figure 1 : Rendements et teneurs en protéines du blé suite à des apports de NEXEN comparés à une fertilisation ammonitrate (4.a et 4.c) et à une fertilisation « tout urée » (4.b et 4.d) à dose totale N équivalente**

Synthèse pluriannuelle sur 7 années d'essais (23 essais ARVALIS, récoltes 2012 à 2018). Comparaisons sur tous les apports (61 points). Performances moyennes toutes situations (cf. encadré pour les légendes statistiques) :

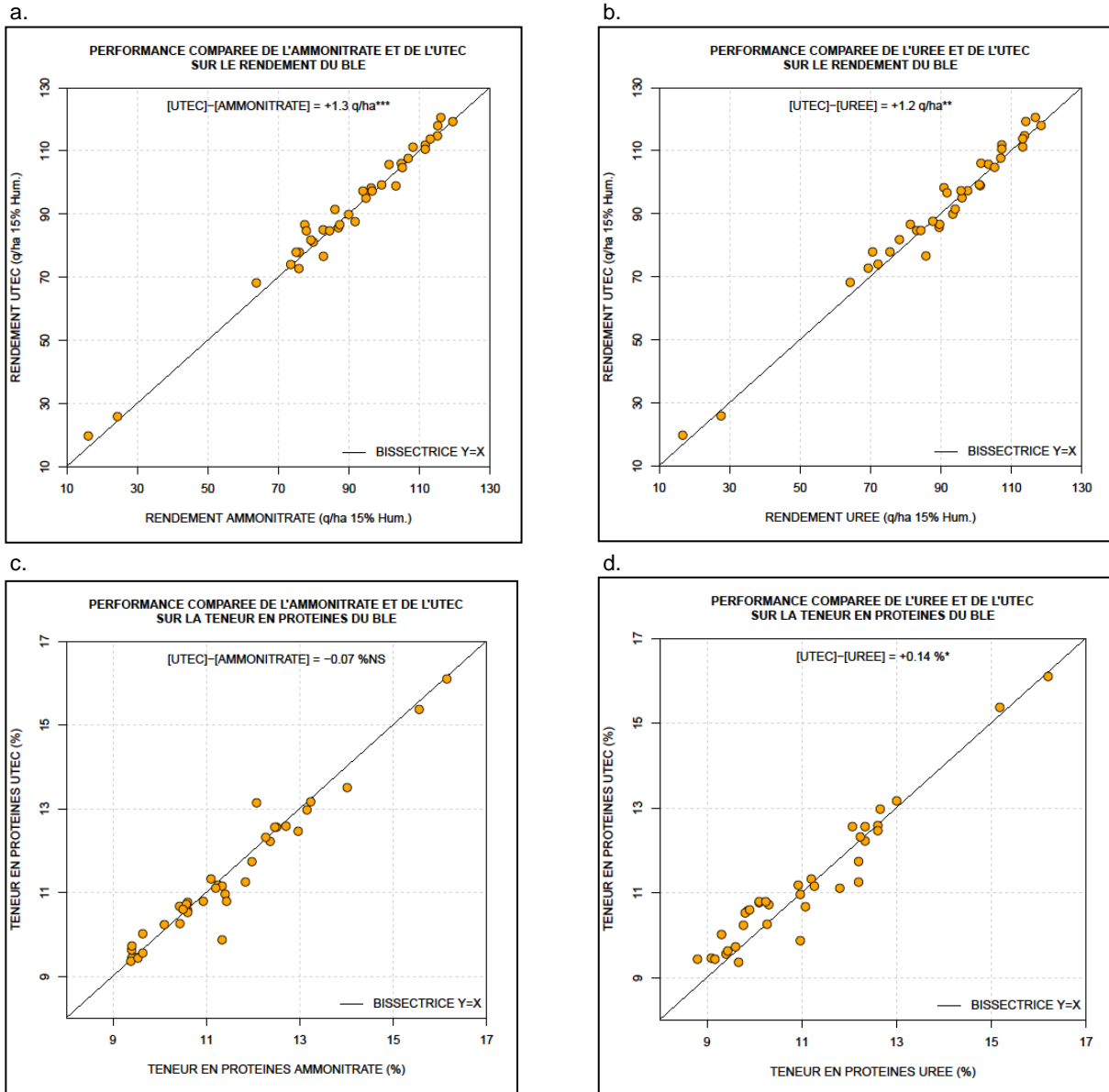
- [(NEXEN)-AMMO] : Rendement = + 1.0 q/ha\*\* ; Taux de protéines = - 0.03 %<sup>NS</sup>
- [(NEXEN)-UREE] : Rendement = + 1.3 q/ha\*\*\* ; Taux de protéines = + 0.24 %\*\*\*
- [UREE-AMMO] : Rendement = - 0.2 q/ha<sup>NS</sup> ; Taux de protéines = - 0.27 %\*\*\*



**Figure 2 : Rendements et teneurs en protéines du blé suite à des apports d'UTEC® 46 comparés à une fertilisation ammonitrée (4.a et 4.c) et à une fertilisation « tout urée » (4.b et 4.d) à dose totale N équivalente**

Synthèse pluriannuelle sur 6 années d'essais (19 essais ARVALIS, récoltes 2013 à 2018). Comparaisons sur tous les apports (38 points). Performances moyennes toutes situations (cf. encadré pour les légendes statistiques) :

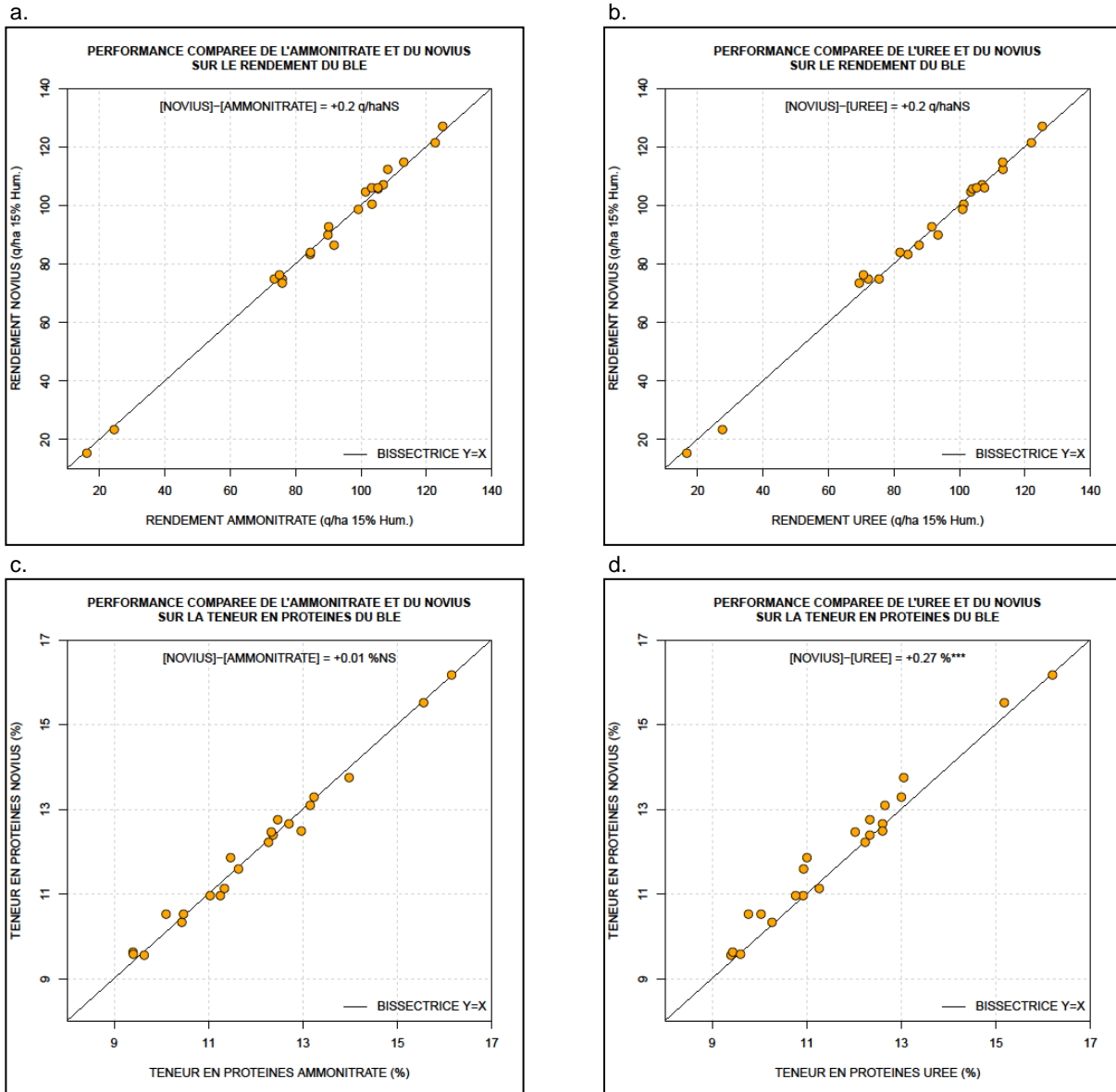
- [(UTEC)-AMMONITRATE] : Rendement = + 1.3 q/ha\*\*\* ; Taux de protéines = - 0.07 %<sup>NS</sup>
- [(UTEC)-UREE] : Rendement = + 1.2 q/ha\*\* ; Taux de protéines = + 0.14 %\*
- [UREE-AMMO] : Rendement = + 0.1 q/ha<sup>NS</sup> ; Taux de protéines = - 0.23 %\*\*\*



**Figure 3 : Rendements et teneurs en protéines du blé suite à des apports de NOVIUS® comparés à une fertilisation ammonitrée (4.a et 4.c) et à une fertilisation « tout urée » (4.b et 4.d) à dose totale N équivalente**

Synthèse pluriannuelle sur 4 années d'essais (11 essais ARVALIS, récoltes 2015 à 2018). Comparaisons sur tous les apports (22 points). Performances moyennes toutes situations (cf. encadré pour les légendes statistiques) :

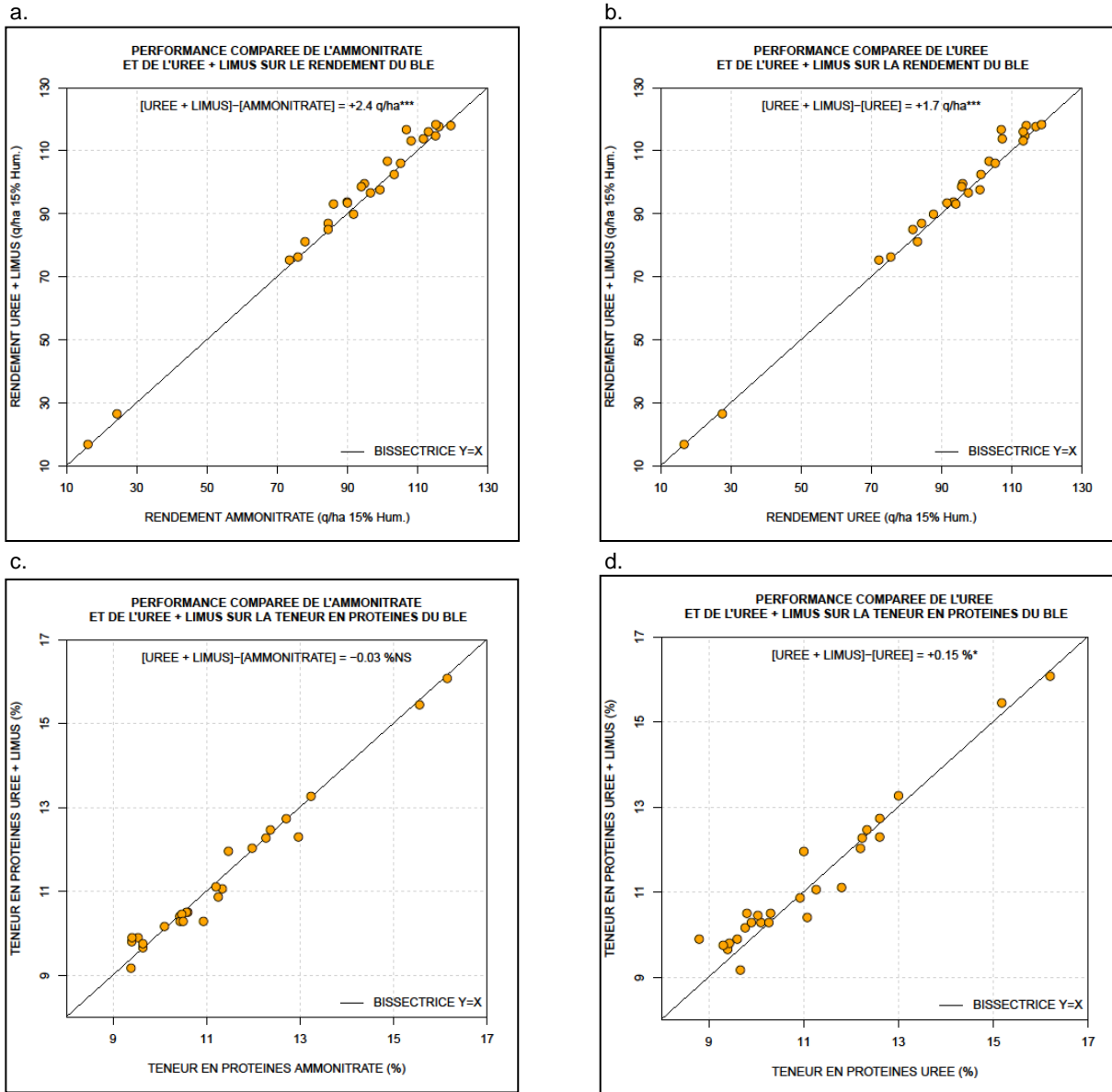
- [(NOVIUS)-AMMONITRATE] : Rendement = + 0.2 q/ha<sup>NS</sup> ; Taux de protéines = + 0.01 %<sup>NS</sup>
- [(NOVIUS)-UREE] : Rendement = + 0.2 q/ha<sup>NS</sup> ; Taux de protéines = + 0.27 %<sup>\*\*\*</sup>
- [UREE-AMMONITRATE] : Rendement = 0.0 q/ha<sup>NS</sup> ; Taux de protéines = - 0.27 %<sup>\*\*\*</sup>



**Figure 4 : Rendements et teneurs en protéines du blé suite à des apports d'urée 46+LIMUS® comparés à une fertilisation ammonitrate (4.a et 4.c) et à une fertilisation « tout urée » (4.b et 4.d) à dose totale N équivalente**

Synthèse pluriannuelle sur 5 années d'essais (13 essais ARVALIS, récoltes 2014 à 2018). Comparaisons sur tous les apports (26 points). Performances moyennes toutes situations (cf. encadré pour les légendes statistiques) :

- [(UREE+LIMUS)-AMMONITRATE] : Rendement = + 2.4 q/ha\*\*\* ; Taux de protéines = - 0.03 %<sup>NS</sup>
- [(UREE+LIMUS)-UREE] : Rendement = + 1.7 q/ha\*\*\* ; Taux de protéines = + 0.15 %\*
- [UREE-AMMO] : Rendement = + 0.7 q/ha<sup>NS</sup> ; Taux de protéines = - 0.18 %\*\*



## Performance des inhibiteurs d'uréase additionnés à la solution azotée

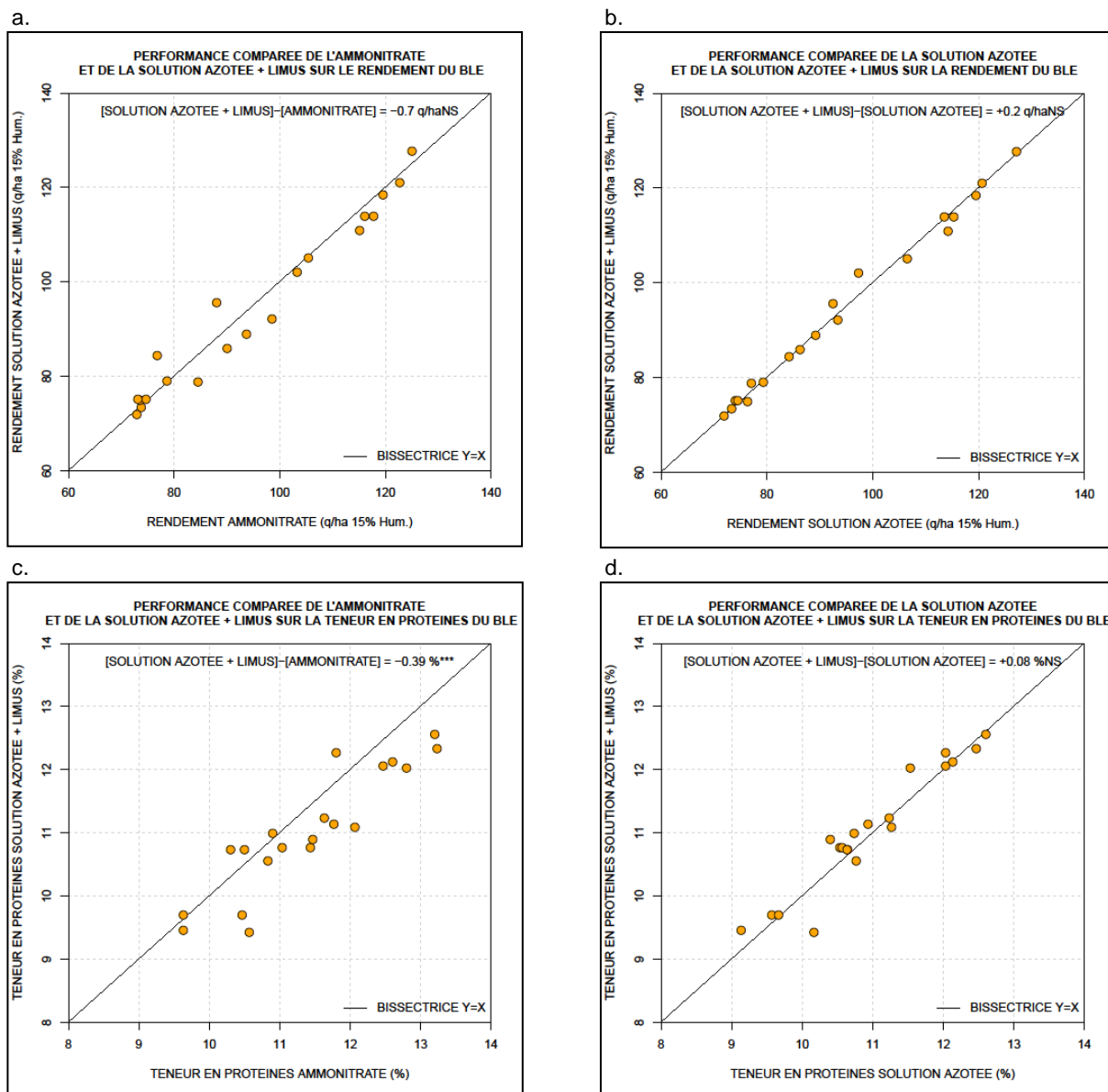
Les résultats de la synthèse pluriannuelle d'évaluation du LIMUS en additif à la solution azotée sont fournis en figure 5. Ils montrent un positionnement intermédiaire de la solution azotée + LIMUS entre la solution azotée seule et l'ammonitrate. Ce dernier reste l'engrais le plus performant à la fois sur le rendement et la teneur en protéines (différence de teneur en protéines significative,

tendance pour le rendement). L'ajout d'inhibiteur d'uréase à la solution azotée n'apporte aucune différence significative de rendement ou de teneur en protéines par rapport à la solution azotée seule. Notons néanmoins que, dans les conditions de l'année 2018 (4 des 10 essais de la synthèse) qui ont été très peu favorables à des pertes d'azote par volatilisation, la solution azotée a affiché de très bonnes performances, égalant voire dépassant parfois les performances de l'ammonitrate.

**Figure 5 : Rendements et teneurs en protéines du blé suite à des apports de solution azotée+LIMUS® comparés à une fertilisation ammonitrate (5.a et 5.c) et à une fertilisation solution azotée (5.b et 5.d) à dose totale N équivalente**

Synthèse pluriannuelle sur 3 années d'essais (10 essais ARVALIS, récoltes 2016 à 2018). Comparaisons sur tous les apports (20 points). Performances moyennes toutes situations (cf. encadré pour les légendes statistiques) :

- [(SOL N+LIMUS)-AMMO] : RDT = - 0.7 q/ha<sup>NS</sup> ; TX PROT= - 0.39 %<sup>\*\*\*</sup>
- [(SOL N+LIMUS)-SOL N] : RDT = + 0.2 q/ha<sup>NS</sup> ; TX PROT = + 0.08 %<sup>NS</sup>
- [SOL N-AMMO] : RDT = - 0.9 q/ha<sup>NS</sup> ; TX PROT = - 0.46 %<sup>\*\*\*</sup>





## Performance du FERTEVIE-WAKE® AZO 17

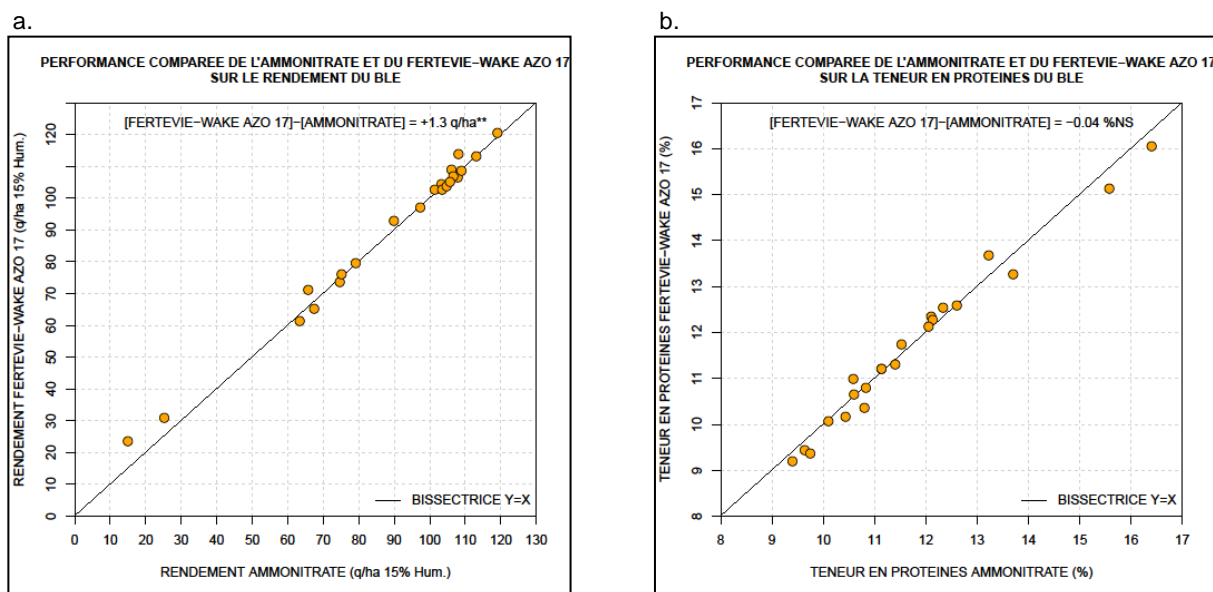
Les résultats de la synthèse pluriannuelle d'évaluation du FERTEVIE-WAKE® AZO 17 sont fournis en figure 6. Ce produit permet un léger gain de rendement par rapport à l'ammonitrate, y compris lorsqu'une couverture soufre est appliquée à la fois sur les modalités ammonitrate et sur les celles testant ce produit, afin de lever d'éventuelles carences. En revanche, il n'a pas d'effet significatif sur la teneur en protéines. Notons que le FERTEVIE-WAKE® AZO 17, s'appliquant à 50 kgN/ha au tallage, a été comparé en 2015 à un témoin ammoni-

trate à dose d'azote totale équivalente mais avec un premier apport de seulement 40 kg N/ha au tallage. Un témoin supplémentaire ammonitrate avec 50 kg N/ha au tallage a été introduit dans les essais à partir de 2016 pour se prémunir d'un effet fractionnement. Notons aussi que la composition du produit a également légèrement évolué : l'additif microbien FERTEVIE-WAKE était ajouté à un engrais 18-0-0 -35(SO<sub>3</sub>-)-3(Mg) contenant 5% d'azote uréique et 13% d'azote ammoniacal - l'AZO 18 - en 2015 et 2016 qui a été remplacé par l'AZO 17, un engrais azoté soufré titrant à 17% d'azote ammoniacal et 40% de SO<sub>3</sub>-.

### Figure 6 : Rendements (6.a) et teneurs en protéines (6 b) du blé suite à des apports de FERTEVIE-WAKE AZO 17 et d'ammonitrate

Synthèse pluriannuelle sur 4 années d'essais (11 essais ARVALIS, récoltes 2015 à 2018). FERTEVIE WAKE AZO 17 apporté à 50 kg N/ha au tallage (autres apports : Ammonitrate), témoin Ammonitrate : dose N totale identique mais fractionnement légèrement différent en 2015 (apport tallage : 40 kg N/ha) puis identique (50 kg N/ha) de 2016 à 2018). Comparaisons sur tous les apports (22 points). Performances moyennes toutes situations (cf. encadré pour les légendes statistiques) :

- [(FERTEVIE-WAKE® AZO 17)-AMMO] : RDT = +1.3 q/ha\*\* ; TX PROT= - 0.04 %<sup>NS</sup>



## 1 – Ajustement des courbes de réponses à l'azote pour les références

La réponse à des doses croissantes d'azote apportée par les engrais de références (ammonitrate dans tous les essais, solution azotée en plus dans certains cas) a été évaluée avec un dispositif en « courbe de réponse » (4 à 5 doses selon les essais en plus du témoin sans apport). Concernant le rendement, cette dernière est modélisée avec un formalisme en « quadratique-plateau » (cf. équation 1). Concernant la teneur en protéines du grain, le formalisme retenu est une régression linéaire affine en excluant le témoin sans apport d'azote.

$$\text{[Eq.1]} \quad \begin{aligned} \text{Si } N < x_0 : RDT &= p - b * (N - x_0)^2 \\ \text{Si non: } RDT &= p \end{aligned}$$

*Avec : N = dose totale d'azote appliquée (kg N/ha)*

*RDT = rendement grain (q/ha 15% hum.)*

*p = rendement sur le plateau (q/ha 15% hum.)*

*x<sub>0</sub> = dose N au début du plateau (kg N/ha)*

*b = paramètre de « courbure » (q/(kg N<sup>2</sup>/ha))*

*L'optimum de fertilisation azotée pour le rendement est déterminé de la façon suivante :*

*Rendement optimal = 0.97 \* p*

*Dose N optimale = dose N correspondant au rendement optimal sur la courbe de réponse*

## 2 – Méthodes statistiques utilisées

Dans chaque essai, la performance des produits est évaluée selon 2 méthodes statistiques :

- Comparaison des modalités par contrastes suite à l'analyse de variance
- Comparaison de moyenne (test de Student) par rapport à la courbe de réponse référence modélisée

Dans les synthèses pluriannuelles, la performance des produits est évaluée par comparaison de moyennes appariées (test de Student).

Les figures reprennent les légendes suivantes :

\*\*\* = différence significative au seuil de 1%

\*\* = différence significative au seuil de 5%

\* = différence significative au seuil de 10%

NS = différence non significative