



Participation de nombreuses équipes ARVALIS :

- Equipe Fertilisation
- Service Valorisation des Innovations Génétiques
- Equipes Régionales (essais et synthèse)
- Coline Guicherd (CDD)

Nouveau référentiel des besoins N du blé tendre d'hiver : intégration du double objectif Rendement – Teneur en Protéines



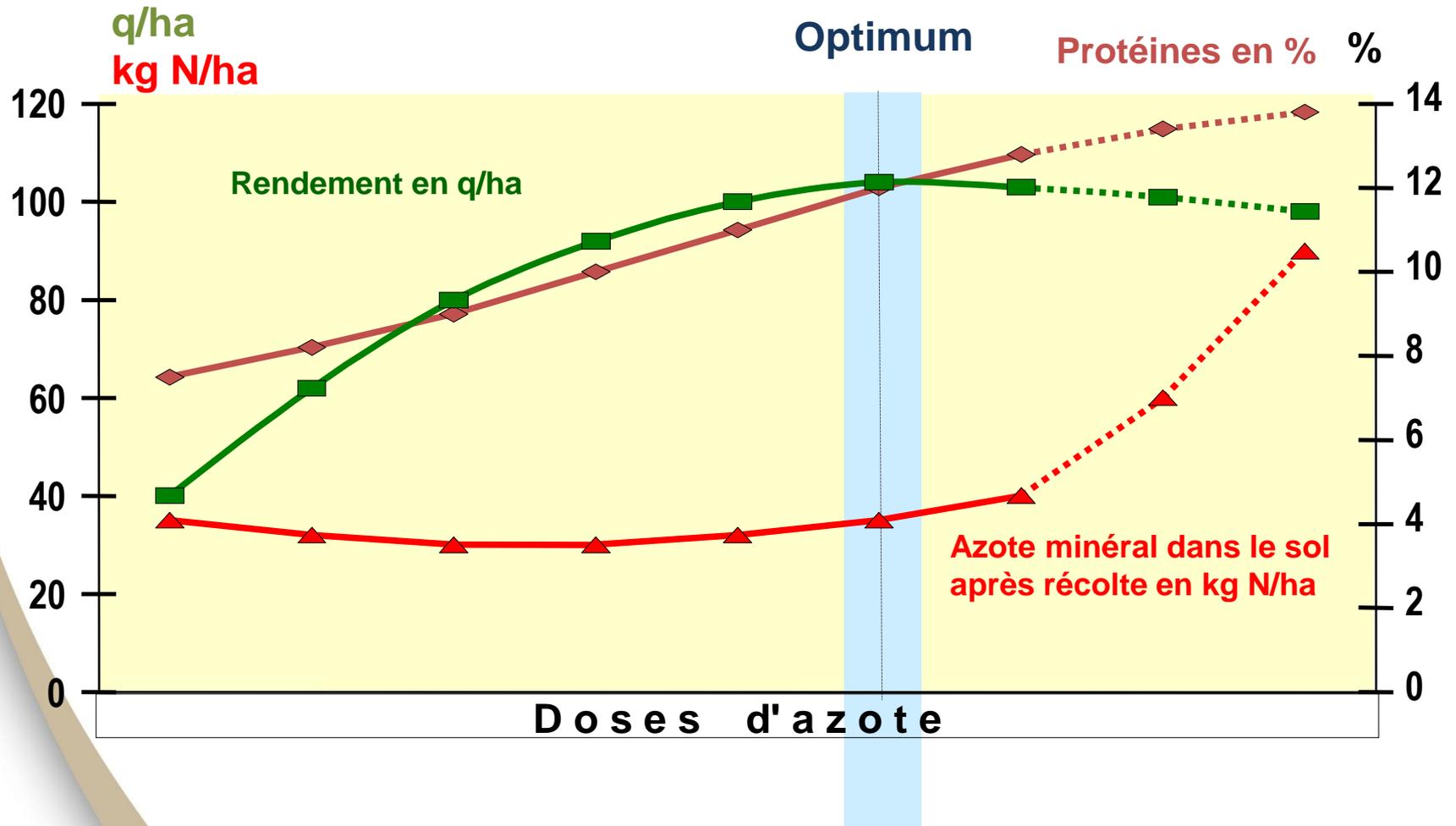
Nouveau référentiel des besoins N du blé tendre d'hiver

intégration du double objectif Rendement – Teneur en Protéines

- Définition actuelle du besoin N
- Nouveaux acquis des essais Azote x Variétés (TNVQR)
- Construction des b et bq (b « qualité »)
- Production des b et bq pour 2017



Rappel : loi d'action de l'azote apporté sur le rendement, la teneur en protéines et le stock d'azote minéral du sol à la récolte



Fertilisation azotée des grandes cultures

Calcul de dose totale par la méthode du bilan prévisionnel

Fournitures

X : azote minéral
Xa : effet direct de
l'engrais de ferme

Ri : Reliquat d'N
minéral

Mh : Minéralisation de
l'humus du sol
+ autres postes Min.

Besoins

**Pf : Besoins de la
culture**
(Pf = b x rdt)

(voire Pf – Pi)

**Rf : Reliquat post
récolte**

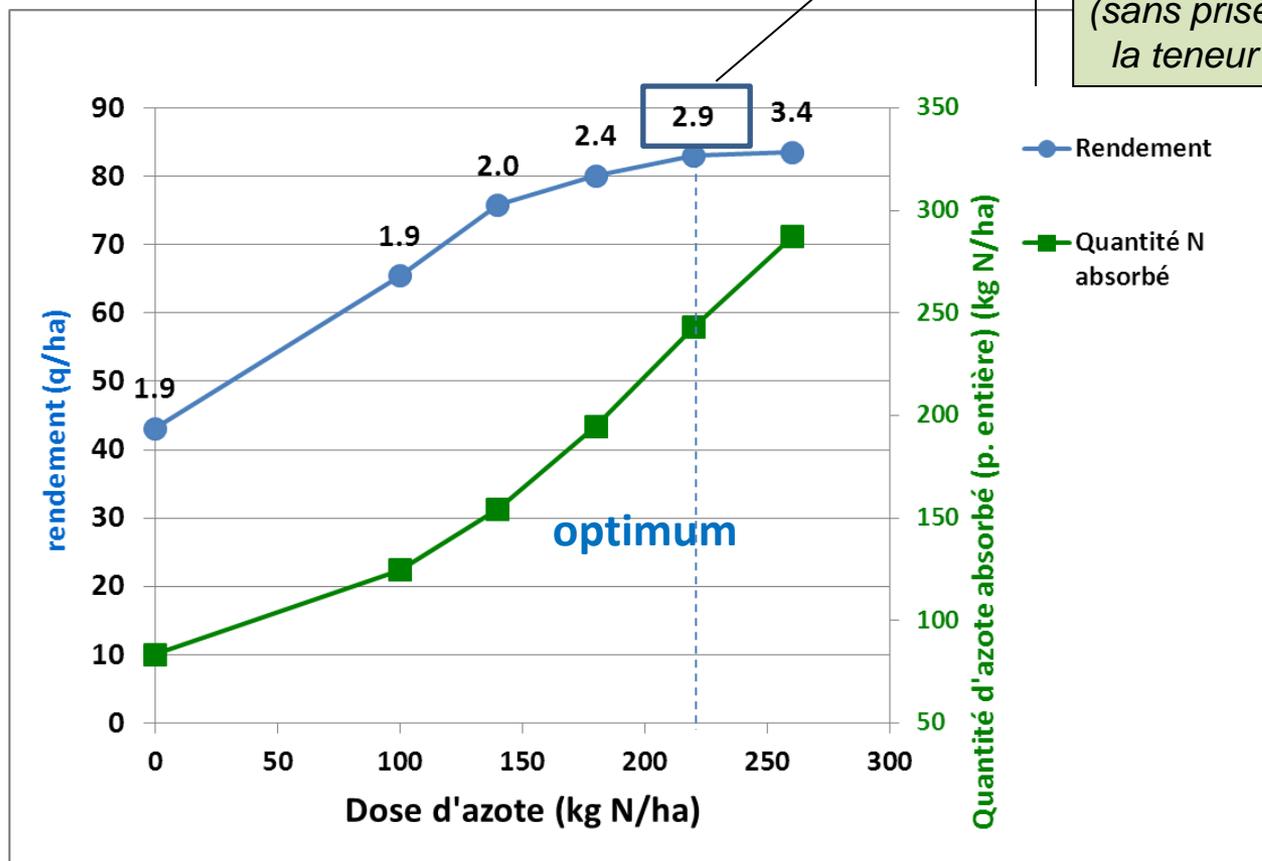
**Bilan d'azote minéral dans le sol,
sur une profondeur d'enracinement, entre 2 dates**



Le besoin par unité de production doit se référer à un niveau de nutrition azotée : l'optimum

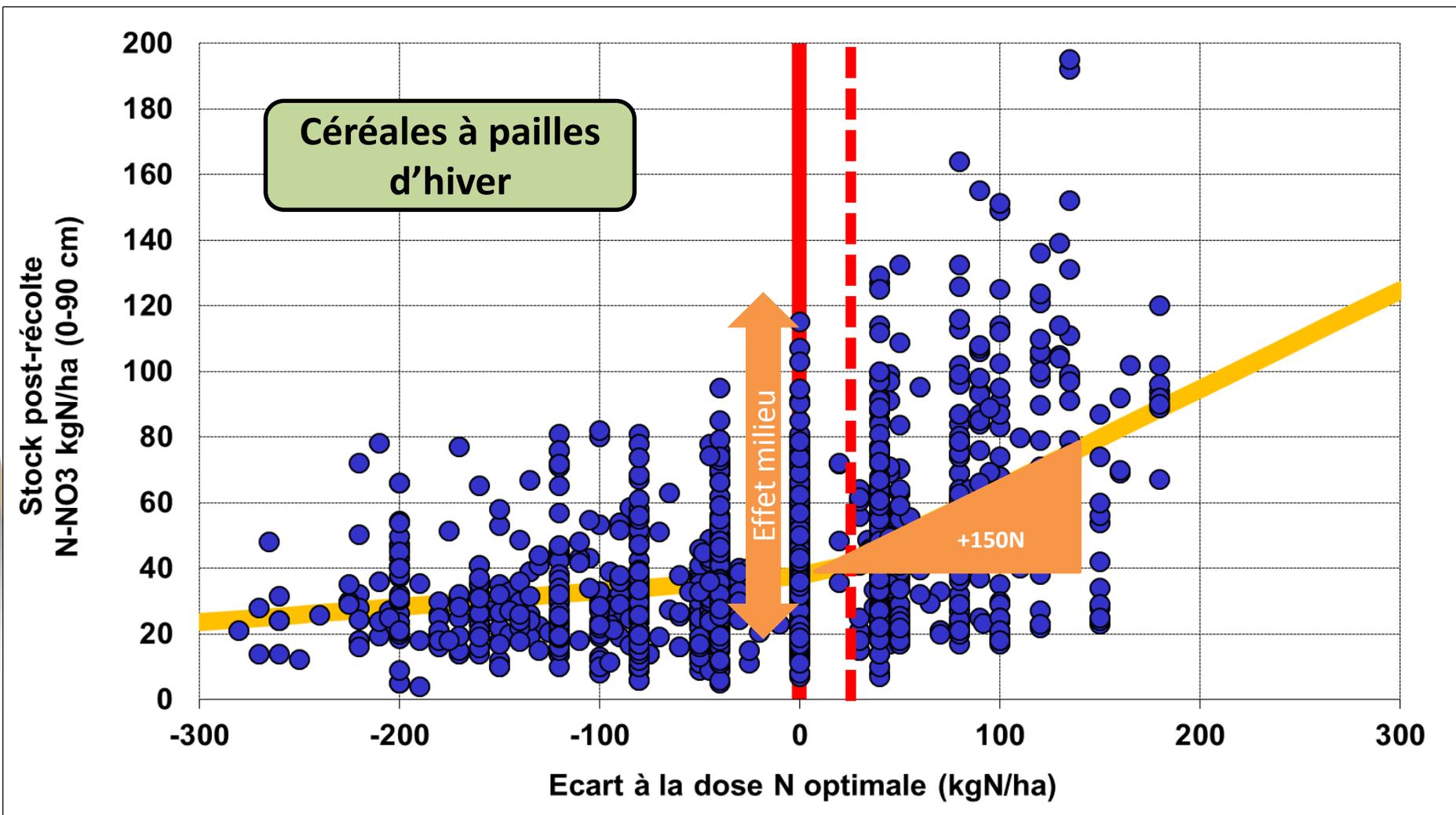
$$\text{Besoin unitaire = b (étiquette)} = \frac{\text{Quantité N absorbé (kg)}}{\text{Rendement (q)}}$$

le besoin par quintal se détermine à l'optimum de fumure pour le rendement
(sans prise en compte de la teneur en protéines)





Augmentation du stock d'azote minéral dans le sol à la récolte au-delà de la dose optimale « rendement »



Ajustement bi-linéaire (modèle de Boyd) avec X0 ajusté
Pentes et ordonnées significatives ($R^2 = 0.24$; $RMSE = 22.3$ kgN/ha)

Source : étude COMIFER 1997
complétée de données ultérieures



Répartition des variétés de Blé Tendre d'hiver selon leur besoin en azote (Coefficient b, en kg N/q)

GROUPE

VARIETES (Blé tendre d'hiver)

b = 2,8

Accroc, Addict, Adhoc, Ambition, Amundsen, Andalou, Aramis, Arlequin, Armada, Atoupic, Aymeric, Belepi, Bermude, Cellule, Diderot, Espart, Expert, Fairplay, Fructidor, Glasgow, Granamax, Hekto, Hybery, Hybiza, Hymack, Hypod, Hyscore, Hystar, Hysun, Hyteck, Hywin, Hyxtra, Ionesco, Istabraq, JB Diego, Kundera, Laurier, Lear, Lyrik, Lythium, Mandragor, Meeting, Memory, Modern, Oakley, Odysée, Pakito, Parador, Perfector, Pierrot, Prevert, Reciproc, Ronsard, Roysac, Scipion, Scor, Selekt, Sobbel, Sobred, Sokal, Sponsor, Stadium, Starway, Sy Moisson, Tentation, Terroir, Tobak, Torp, Trapez, Trémie, Valdo, Viscount, Zephyr

b = 3,0

Adequat, **Advisor**, **Aigle**, Aldric, Aligator, Alixan, Altigo, Altria, Amador, Andino, Apache, **Aplomb**, Aprilio, Arezzo, Aristote, Arkeos, As de cœur, Ascott, Attitude, **Auckland**, Aurele, Autan, Bagou, Barok, Basmati, Bastide, Bergamo, Boisseau, Bonifacio, Boregar, Boston, Brentano, Calumet, Campero, Catalan, Celestin, Centenaire, Charger, Chevron, **Collector**, Compil, Cordiale, **Creek**, Descartes, Dialog, Diamento, Dinosor, Epidoc, Ephoros, Equilibre, Euclide, Flaubert, Fluor, **Foxyl**, Folklor, Forblanc, **Gallixe**, Galopain, Garantus, Garcia, Goncourt, **Gotik**, Grapeli, Haussmann, Hybred, Hyfi, **Hyguardo**, Hyxo, Hyxpress, Illico, Innov, Isengrain, Kalystar, Karillon, Lavoisier, Marcelin, Matheo, Maxwell, Minotor, **Nemo**, Nirvana, Nucleo, Orcas, Oregrain, Orvantis, Oxebo, Paledor, Patras, Pepidor, Perceval, Phare, Plainedor, **Popeye**, Pr22r20, Pr22r28, Pr22R58, Premio, Razzano, **RGT Ampiezzo**, **RGT Castello**, RGT Kilimanjaro, **RGT Mondio**, **RGT Tekno**, **RGT Texaco**, Richepain, Rochfort, Rodrigo, Rosario, Rubisko, Rustic, Sankara, **Salvador**, Seyrac, **Sherlock**, Sirtaki, Sogood, Solehio, Sollario, Solognac, **Sothys CS**, Sweet, Swinggy, **Syllon**, Thalys, Toisonador, **Triumph**, Uski, **Vyckor**, Waximum

b = 3,2

Accor, Adagio, Aerobic, Allez y, Altamira, Ambello, Amerigo, Athlon, Atlass, Aubusson, Avantage, Azimut, Azzerti, Camp-Rémy, Calabro, Calcio, Calisol, Caphorn, CCB Ingenio, Cézanne, Chevalier, Conexion, Croisade, Exelcior, Exotic, Farandole, Frelon, Galactic, Graindor, Instinct, Interet, Iridium, Isidor, Kalango, Koreli, Lazaro, Limes, Lukullus, Manager, Mendel, Mercato, Miroir, Musik, Nogal, Nuage, Numeric, Oratorio, Paindor, Pueblo, Racine, Recital, Ressor, RGT Venezia, Saint Ex, Samurai, Scenario, Soissons, Solveig, Sophytra, Sorrial, Sy Alteo, Sy Tolbiac, Valodor, Zinal

2016

• Les autres variétés non référencées ici et non améliorantes sont positionnées par défaut en b = 3,0

• Les **variétés introduites (ou modifiées) cette année dans le classement** sont en police rouge.

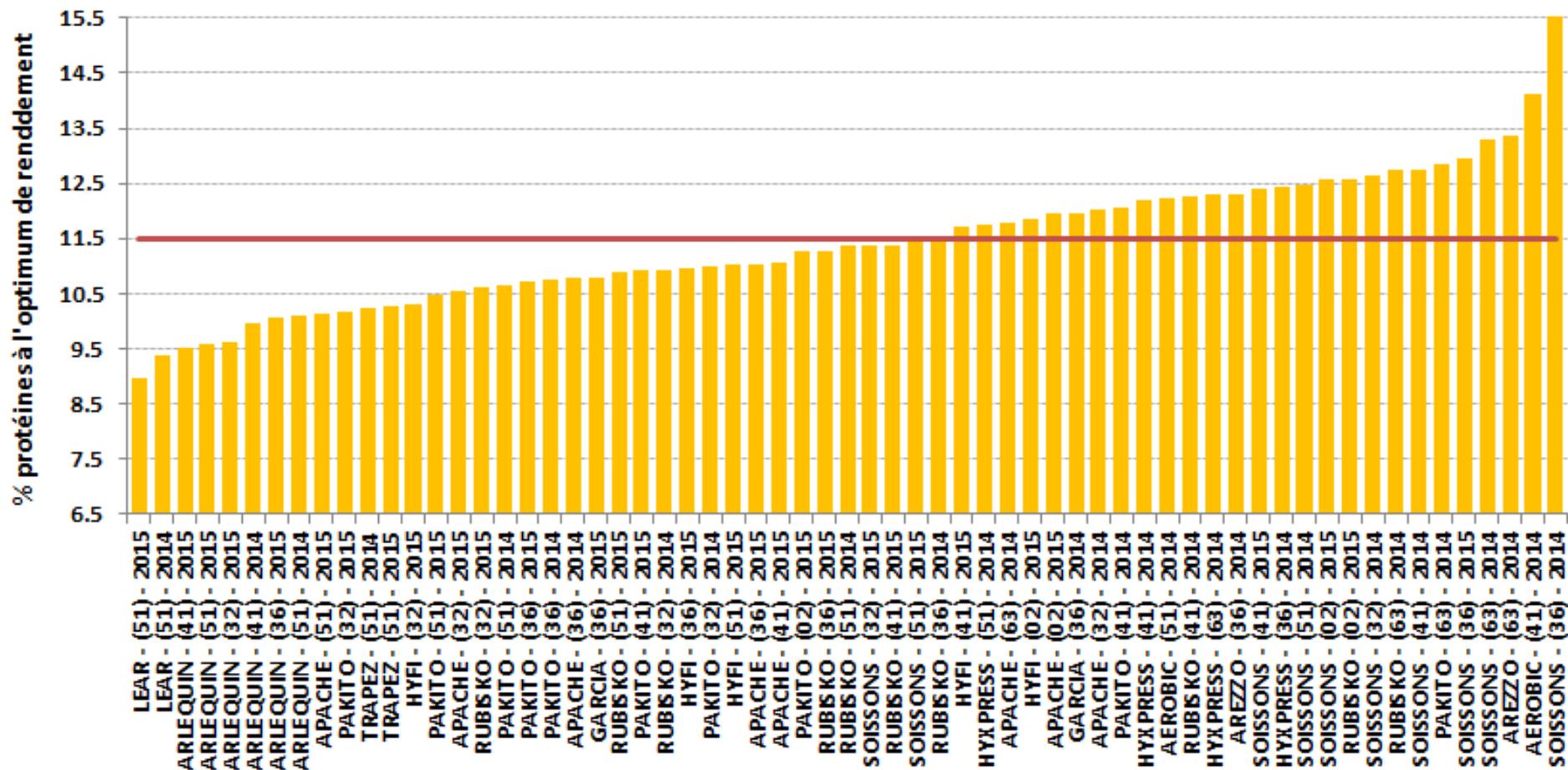
• Les variétés de **blés améliorants** sont dorénavant référencés dans des tableaux spécifiques régionaux

Cette répartition pourra être soumise à des modifications avec l'acquisition de nouvelles références

(16 décembre 2015)



La dose N optimale pour le rendement n'est pas toujours suffisante pour atteindre 11.5% de protéines



10 essais TNVQR 2014 et 2015 ARVALIS



Nouveaux acquis des essais Azote x Variétés

Synthèse de 10 essais 2014-2015 (code : TNVQR)
6 doses N x 17 variétés de blé tendre d'hiver

projet N-BT, soutien financier du FSOV*

2014 : **BINAS (41)**
MALIN(63)
MOURM(51)
ST-AUBIN(36)
ST-CHRISTIE(32)

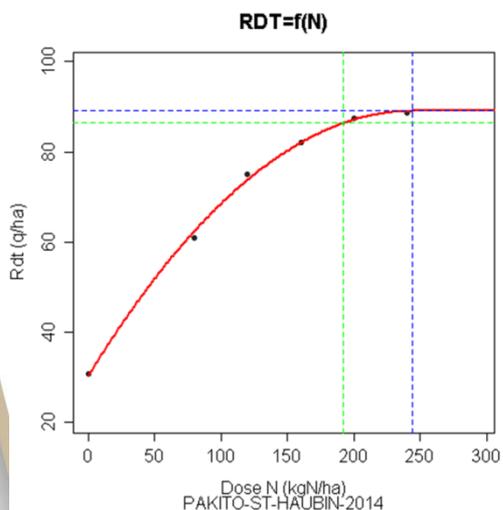
2015 : **BINAS (41)**
FORESTE(02)
MONTAUT(32)
THIZAY(36)
VRAUX(51)

*FSOV : Fonds de Soutien à l'Obtention Végétale

Analyse par essai

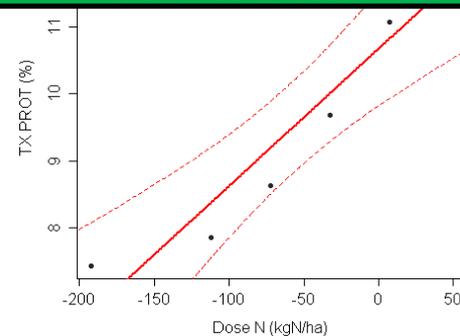
Etapes d'analyses des résultats

Ajustement de la relation $RDT = f(\text{Dose N})$

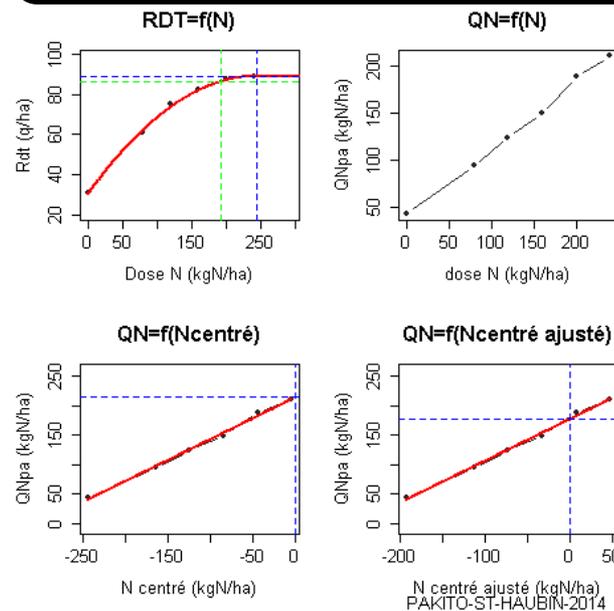


Centrage des doses N sur N_{opt} (97%)

Détermination TX PROT à l'optimum et de la variation de dose N pour atteindre 11.5% TX PROT



Détermination QN abs à l'optimum (besoin) et du surplus QN abs pour 11.5% PROT



Impact RPR

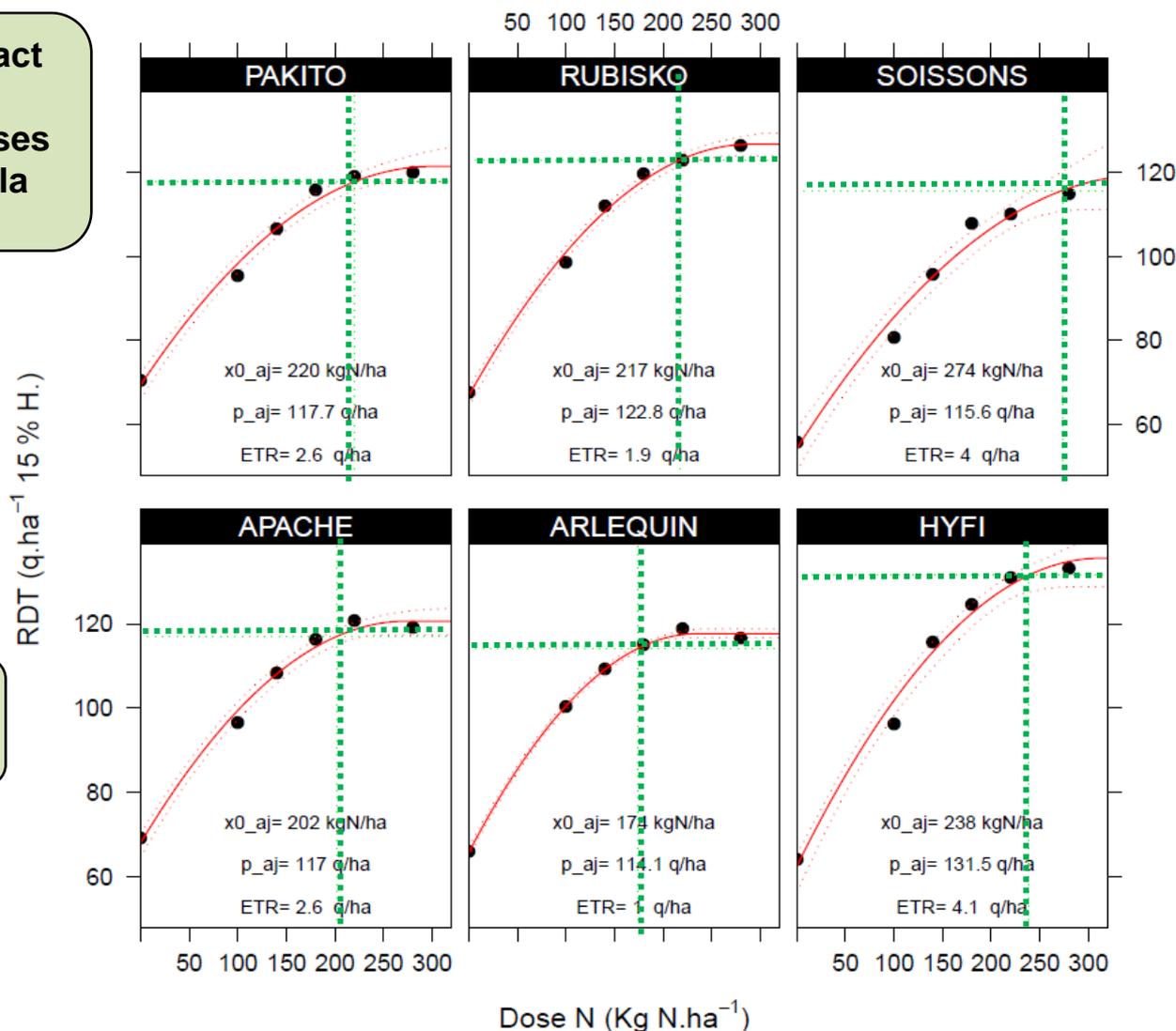
Calculs des CAU

Exemple d'un essai - BINAS (41) 2015

Ajustement des courbes de réponse du rendement à l'azote

Optimum 97%

Exemple de l'impact variétal sur les courbes de réponses du rendement à la dose d'azote



Dose optimale :
175 à 275 kg/ha



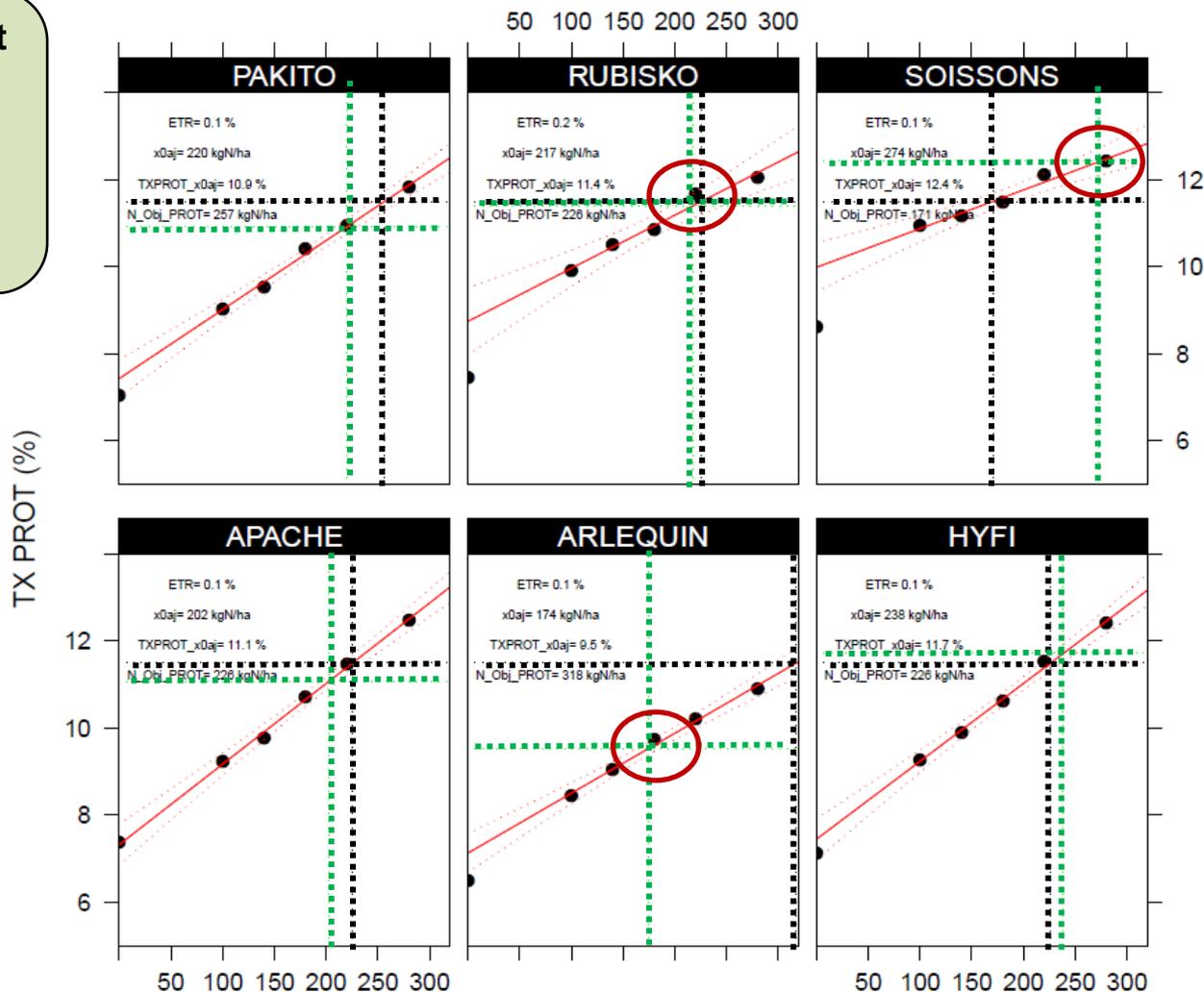
Exemple d'un essai - BINAS (41) 2015

Ajustement des courbes de réponse de la teneur en protéines à l'azote

Optimum 97%

Obj. Protéines 11.5 %

Exemple de l'impact variétal sur les courbes de réponses de la teneur en protéines à la dose d'azote





Impact de la dose N et de la variété sur les variables « Récolte »

	Variété	Dose N	Interaction Variété x Dose N
Rendement	***	***	*
Teneur en protéines du grain	***	***	***
Azote absorbé à la récolte (plante entière)	***	***	NS

* = significatif à 5% ; ***=significatif à 0.1 %; NS=Non significatif

Les effets mis en évidence démontrent la pertinence de prendre en compte la variété pour la gestion de l'azote selon un double objectif rendement/teneur en protéines

Synthèse de 10 essais 2014-2015 (6 doses N x 17 variétés de blé tendre d'hiver)
Analyse de variance en modèle mixte (avec effet environnement en facteur aléatoire)
Projet N-BT, soutien financier du FSOV

Effets variétaux à l'optimum de rendement (1)

EFFET VARIÉTAL SUR

	Moy. aj à l'opt	Effet moyen de la variété (E.T.)	Effet aléatoire du SITE (E.T.)
Rendement ** p-val = 0.2 %	95 q/ha	6 q/ha	14 q/ha
Taux Protéines *** p-val = 9.10-5 %	12 %	1% de prot	0.6 % protéines
CAU *** p-val = 0.05%	0.83	0.05 pt de CAU	0.16 pt de CAU
b *** p-val = 0.02 %	2.8	0.3 pt de b	0.3 pts de b
bc ** p-val = 0.8 %	0.3	0.3 pt de bc	0.1 pt de bc
bq * p-val = 3.3 %	3.1	0.2 pt de bq	0.15 pt de bq

→ D'où l'importance de définir des « b » variétaux

Effets variétaux à l'optimum de rendement (2)

**PAS
D'EFFET
VARIÉTAL
SUR**

QNabs p.e recolte
p-val = 26 %

RPR 0-60cm
p-val = 61 %

RPR 0-90cm
p-val = 60%

Dose N optimale
p-val = 47 %

**Moy. aj à
l'opt**

270 kg N/ha

50 kg N/ha

54 kg N/ha

192 kg N/ha

**Effet moyen de
la variété (E.T)**

19 kg N/ha

9 kg N/ha

3 kg N/ha

18 kg N/ha

**Effet aléatoire du
SITE (Ecart-type)**

53 kg N/ha

20 kg N/ha

28 kg N/ha

48 kg N/ha

- Quantités d'azote apportées et absorbées identiques entre variétés mais valorisation différente (rendement et protéines différentes)
- A l'optimum de fertilisation les reliquats post-récolte ne dépendent pas de la variété

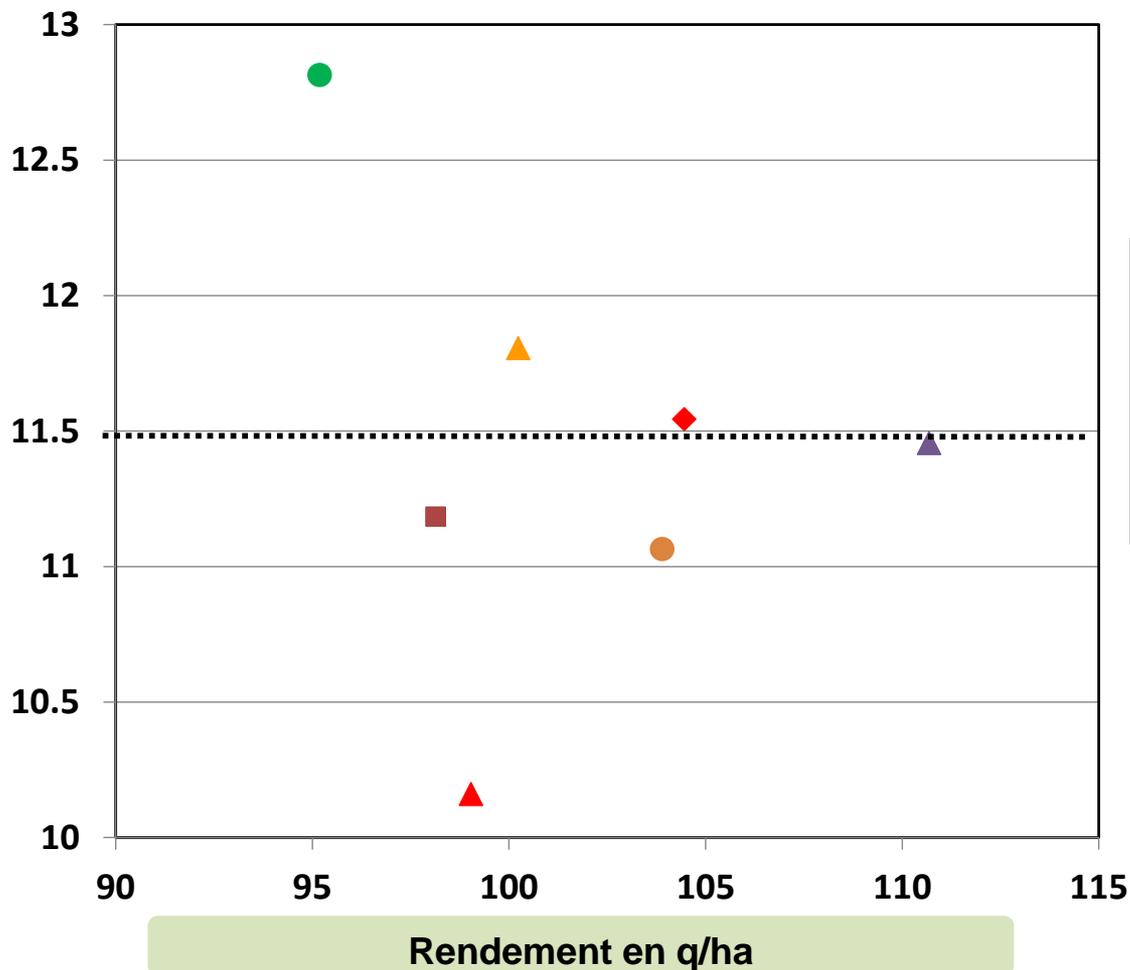
Modèle mixte, facteur fixe : Variété, facteurs aléatoires : Site, Année x Variété, Lieu x Variété.

Les effets aléatoires des interactions comptent très peu dans la variabilité des paramètres étudiés et ne sont donc pas affichés.



Les variétés n'ont pas les mêmes teneurs en protéines à la dose d'azote optimale pour le rendement

Teneurs en protéines en %

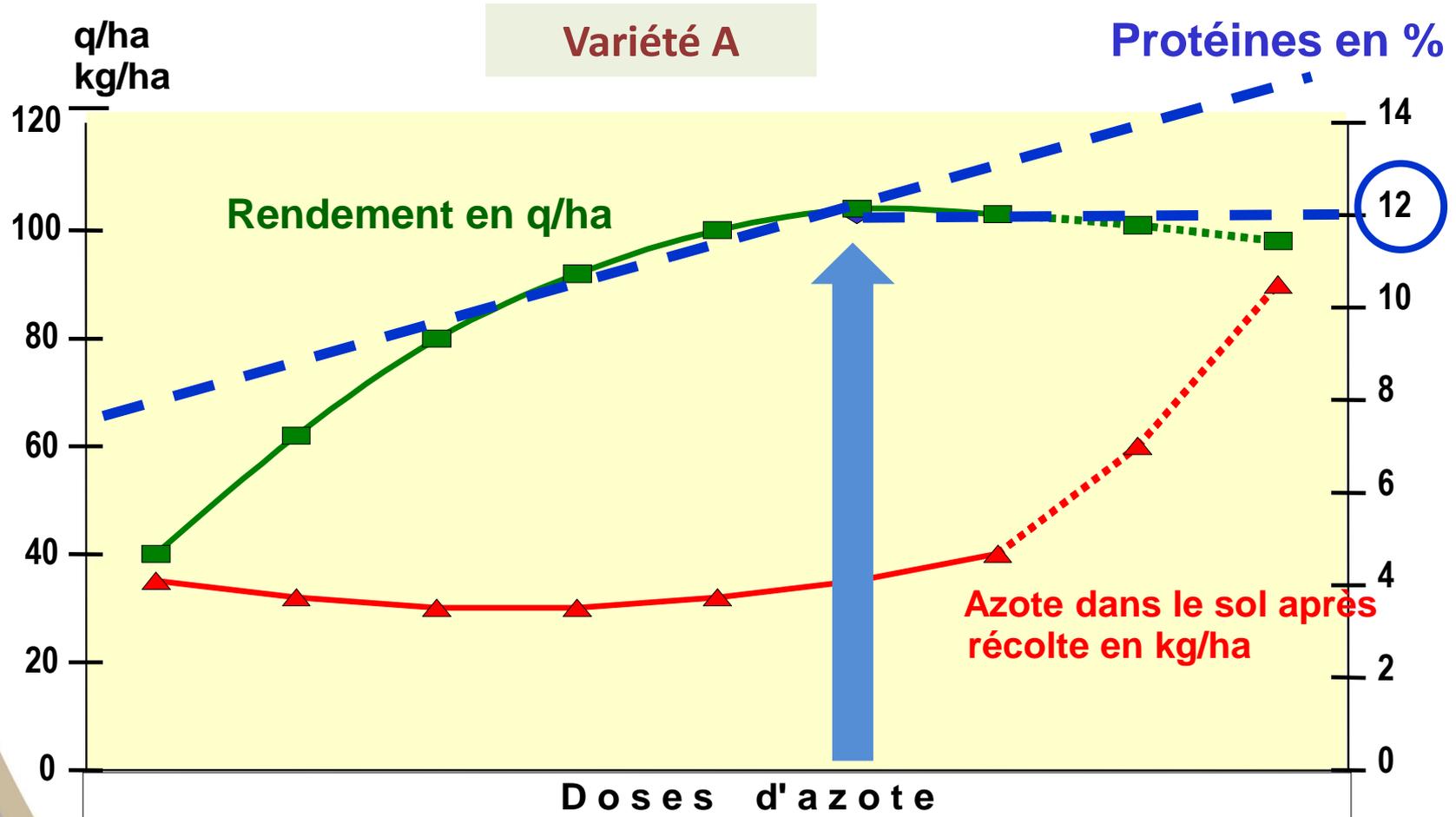


Synthèse de 10 essais 2014-2015 (6 doses N x 17 variétés de blé tendre d'hiver)
projet N-BT, soutien financier du FSOV



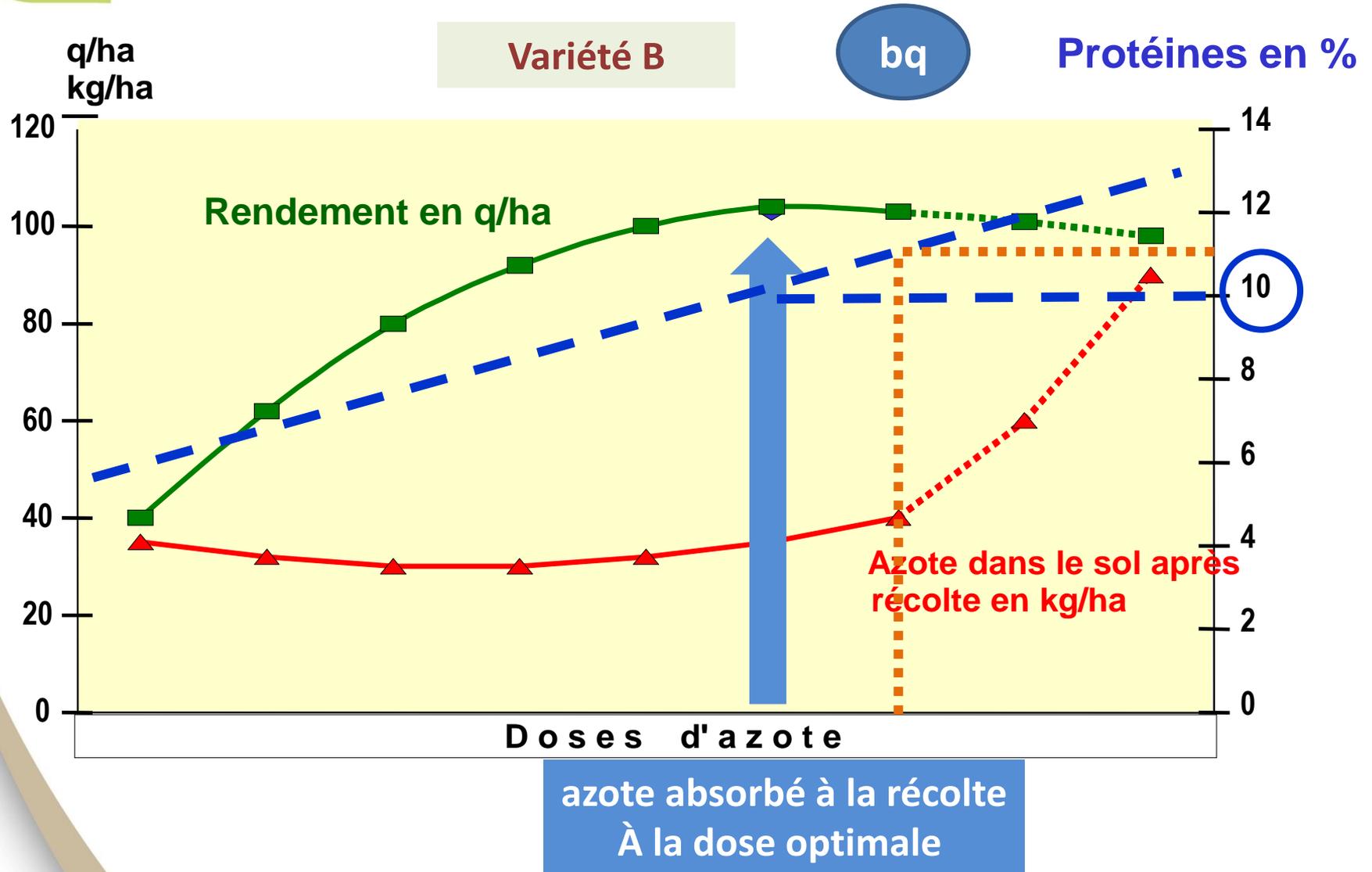
Construction des nouveaux besoins (b et bq)

Notion de besoin pour le rendement et la teneur en protéines « bq »



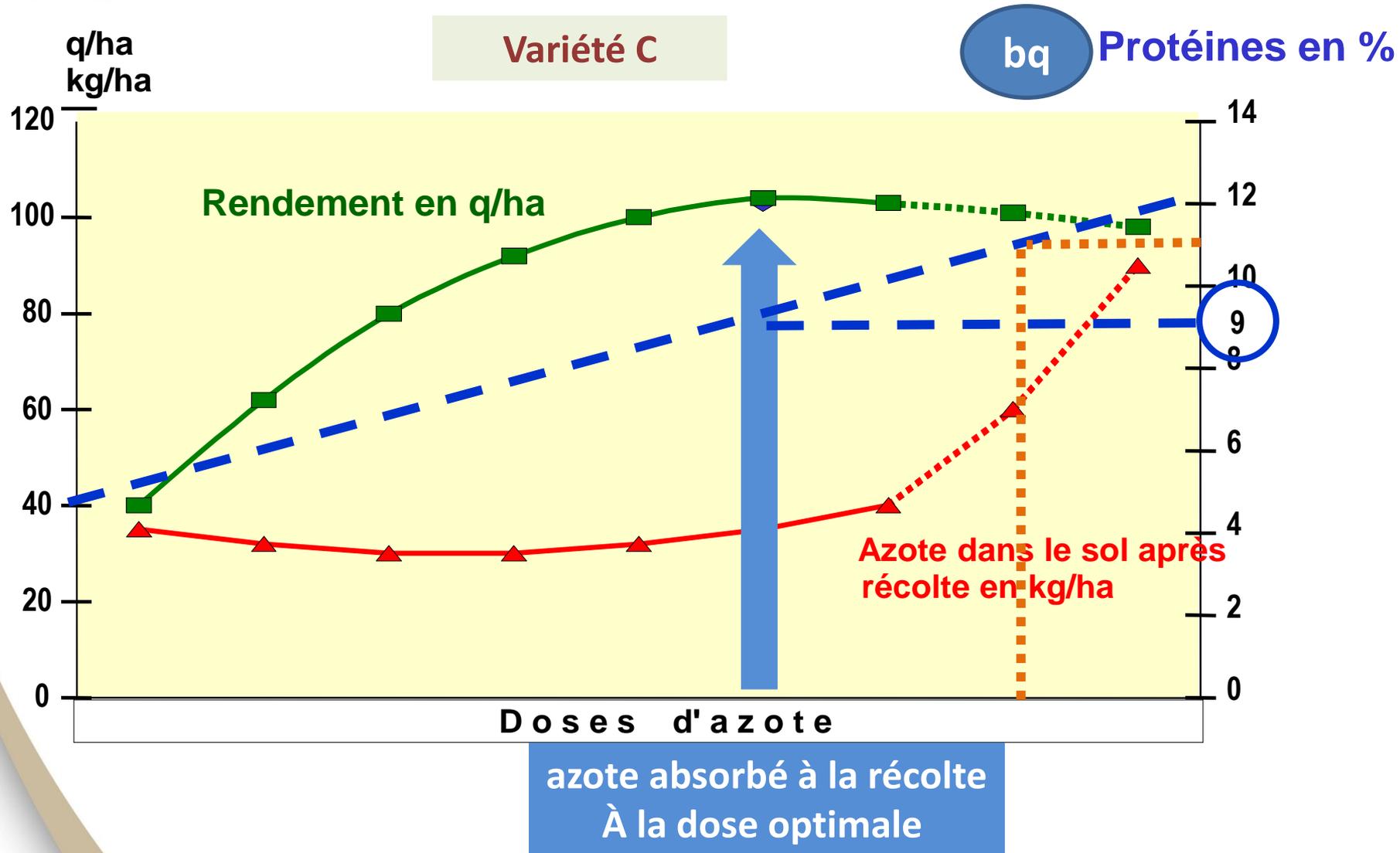
azote absorbé à la récolte
À la dose optimale

Notion de besoin pour le rendement et la teneur en protéines « bq »



azote absorbé à la récolte
À la dose optimale

Notion de besoin pour le rendement et la teneur en protéines « bq »





Besoin en N des variétés :

Besoin unitaire associant un objectif de rendement et de qualité (% protéines)

$$\text{Besoin N} = \text{Rendement objectif} \times (b + b_c)$$

- ✓ **b** : besoin unitaire pour le rendement (définie par variété)
- ✓ **bc** : besoin unitaire complémentaire pour une teneur en protéines souhaitée (définie par variété)
- ✓ **bq** : besoin unitaire pour une teneur en protéines souhaitée ($bq = b + bc$)

Calcul du besoin en azote des blés tendres pour un objectif de 11.5 % de protéines dans le grain :

$$\text{besoin unitaire : } bq_{(11.5)} = b + b_c$$

(mode de préconisation déjà utilisé sur Blé Dur et Blé Améliorant)



Cadrage (max) du complément bc

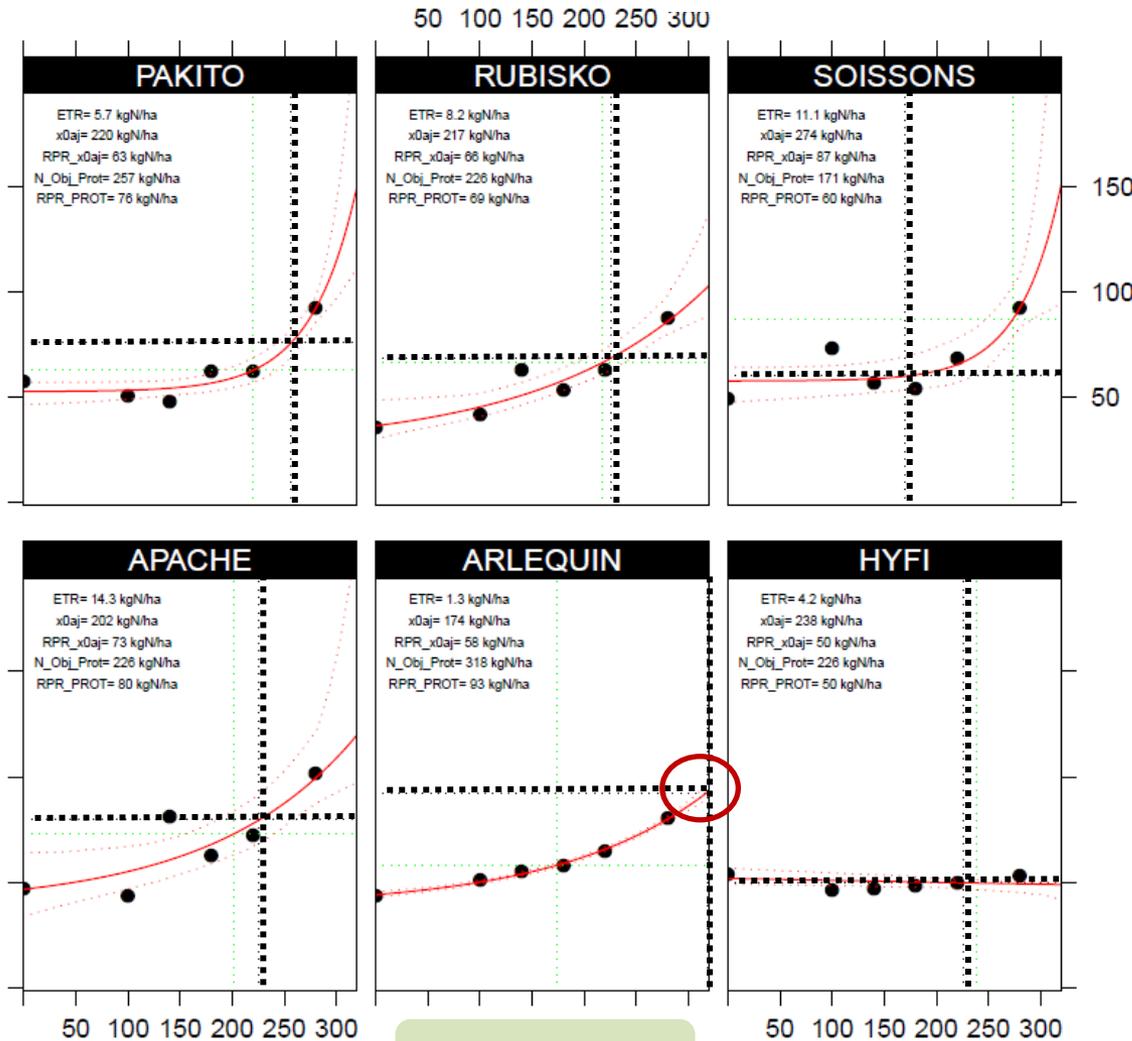
Ajustement des courbes de réponse du Reliquat Post Récolte à l'azote apporté

Obj. Protéines 11.5 %

Exemple d'un essai
- BINAS (41) 2015

RPR

RPR H1H2 (Kg N.ha⁻¹)

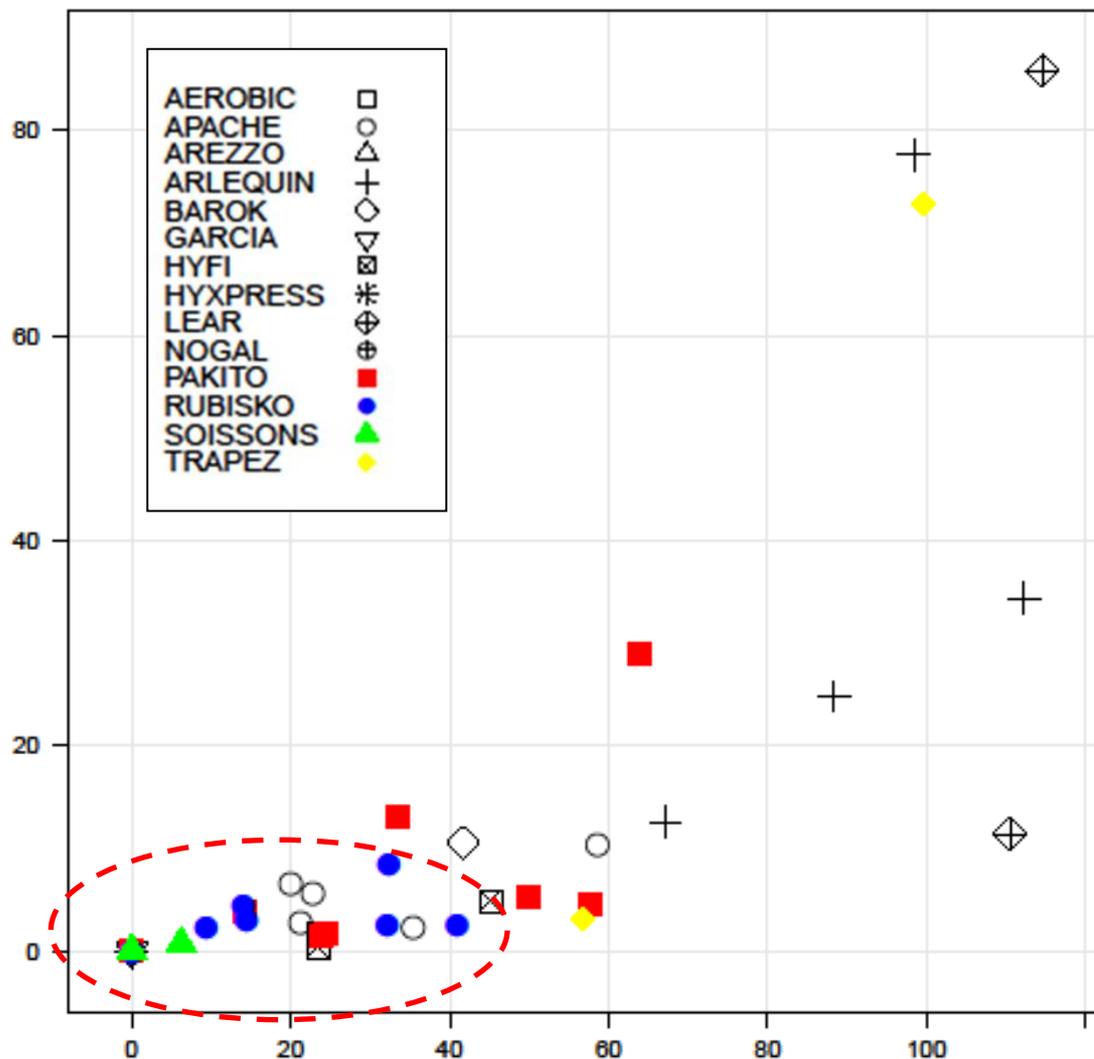


Exemple de l'impact
variétal sur les
courbes de réponses
du reliquat récolte à
la dose d'azote



Effet de la majoration du besoin ($bq_{11.5\%}$) des variétés sur le stock d'azote minéral du sol à la récolte

Accroissement du stock minéral d'azote à la récolte - (Kg N/ha)



Accroissement du besoin N - (Kg N/ha)

Accroissements calculés par rapport à une situation conduite à l'optimum de rendement

Peu de sensibilité du RPR dans une plage 0 à 40 kg N/ha d'augmentation du besoin N

Synthèse de 10 essais 2014-2015 (6 doses N x 17 variétés de blé tendre d'hiver)
projet N-BT, soutien financier FSOV



Nouvelles références de besoins (b et bq)

Méthode et paramètres : définis sur les essais Azote x Variétés (TNVQR)

Production de référence en routine :

→ utiliser le réseau d'essais « Variétés » Post-Inscription

données d'entrée : Rendement et %protéines



Passage des essais « TNVQR » aux essais « Variétés » pour le calcul des b

Calcul du b national moyen, par variété

→ Définition d'une équation de passage de l'azote absorbé grain à l'azote absorbé plante entière en se basant sur les essais TNVQR

$$QN_{abs\ pe} = a \times QN_{abs\ grains} + b \quad (1)$$

→ Calcul du b moyen par variété :

$$\text{« b »} = QN_{abs\ pe} / \text{Rendement} \quad (2)$$

Toutefois, pour pouvoir utiliser les essais « Variétés » et cette relation unique (1), il faut que deux conditions soient respectées :

- C1 : Le classement des « b » n'est pas modifié par le régime de fertilisation de chaque essai, car on fait l'hypothèse :
 - que les essais « Variétés » ne sont pas tous à l'optimum de fertilisation azotée,
 - que toutes les variétés ne sont pas à l'optimum sur un même essai
- C2 : La variété n'a pas d'influence sur la relation de passage entre l'azote absorbé grain et l'azote absorbé plante entière (1).



C1 : Effet de la dose d'azote sur le classement des coefficients b, bc et bq des variétés

Test de l'effet sur les essais TNVQR

Corrélation de Spearman : comparaison des classements variétaux (7) sur les coefficients b, bc et bq selon la dose d'azote apportée (basée sur la moyenne ajustée par variété pour chaque dose d'azote)

Le classement variétal sur le **b** est maintenu quelle que soit la dose d'azote apporté, sur 7 variétés expérimentées dont 4 communes entre les essais TNVQR

Ex.	b à T0	b à X-80	b à X-40	b à dose X	b à dose opt	b à X+40	b à X+80
Classement variétal ↓	Apache	Apache	Apache	Apache	Apache	Apache	Apache
	Pakito	Pakito	Pakito	Pakito	Pakito	Pakito	Pakito
	Rubisko	Rubisko	Rubisko	Rubisko	Rubisko	Rubisko	Rubisko
	Soissons	Soissons	Soissons	Soissons	Soissons	Soissons	Soissons

Idem pour le **bc**

Pour le **bq**, pas de changement de classement à X, mais changement aux doses T0 et X-80 !

Conditions C1 respectées : Le classement des b, bc et bq des variétés considérées reste inchangé si on se place au voisinage de la dose X ou à la dose optimale

-> vérifier sur jeux de données essais Variétés*3 doses N (CTPS, projet N-BT)

-> nécessite la caractérisation des statuts azotés des essais « Variétés » avant de les retenir pour les calculs des indicateurs



C2 : Effet de la variété sur le NHI

estimation des effets sur b et bq
- approche statistique -

→ Effet significatif de la variété sur le NHI à l'optimum de fertilisation.

	Moy. aj à l'opt	Effet moyen de la variété (E.T.)	Effet aléatoire du SITE (E.T.)
NHI * p-val = 3.6 %	0.80	0.023 pt de NHI	0.06 pt de NHI

$$\rightarrow \text{NHI} = \frac{QN \text{ abs grains}}{QN \text{ abs p.a}}$$

→ Donc l'équation de passage de l'azote absorbé grain à de l'azote absorbé par la plante entière : $QN_{\text{abs pe}} = a \times QN_{\text{abs grains}} + b$ dépend également de la variété.

→ Cela peut engendrer une erreur moyenne sur le b de 0.16



C2 : Effet de la variété sur le NHI (suite)

Simulation de l'effet de la simplification sur b

- Ordres de grandeur -

→ Autre façon d'appréhender l'enjeu de la non prise en compte de l'effet variétal dans l'estimation du QNabs pe

sur les doses X des variétés du réseau TNVQR

calcul du b (dose X) :

- avec **NHI** de la variété sur l'essai (mesuré)

- avec Qnabs pe estimé via **équation** moyenne
(sans l'effet variété)

VARIETE	Coef.b_ NHI	Coef.b_ eq	Diff_X_eq
AEROBIC	3.13	3.17	-0.03
APACHE	2.69	2.74	-0.05
AREZZO	3.02	2.95	0.07
ARLEQUIN	2.52	2.5	0.02
BAROK	2.65	2.77	-0.12
GARCIA	2.39	2.31	0.08
HYFI	2.57	2.66	-0.1
HYPRESS	2.9	2.92	-0.02
LEAR	2.75	2.64	0.11
NOGAL	3.23	3.41	-0.18
PAKITO	2.73	2.73	0
RUBISKO	2.78	2.79	-0.02
SOISSONS	3.05	2.96	0.09
TRAPEZ	2.52	2.48	0.03
Moyenne :	2.77	2.77	0.003

→ l'enjeu d'utiliser des NHI variétaux est faible, beaucoup de valeurs dans +/-0.1 (notamment sur les variétés présentes dans tous les essais)

→ **C2 n'est pas complètement satisfaite car effet variété sur NHI, mais les conséquences sont jugées faibles**

(poursuite des travaux de recherche sur la prévision du NHI par variété)



Calcul des bc (11.5%prot) sur les essais « Variétés »

Calcul du bc moyen (moyenne ajustée), par variété

$$bc = (11.5\% - \text{protéine}_{ajustée}) \times \frac{0.85}{5.7} \times a$$

- a : venant de l'équation de transformation

$$QN_{abs} pe = a \times QN_{abs} grains + b$$

- *protéine_{ajustée}* : du bassin de regroupement des essais « variétés », dans laquelle la variété est présente (zone nord, sud, et/ou intermédiaire)

Classement des bc en catégories (après arrondis) :

bc = 0.0

bc = 0.2

bc = 0.4



Besoin en N des variétés pour le rendement et la teneur en protéines (bq)

Précautions dans la mise en œuvre

- **Diffusion des besoins permettant de viser le rendement optimal et une teneur en protéines de 11.5% :**
 - soit **b**, objectif Rendement optimal seul
 - soit **bq**, objectif Rendement et protéines 11.5%
- **Valeurs nationales de « b » et « bq »**
- **Bornage du complément N lié à l'obtention de la teneur en protéines objectif pour maîtriser le risque d'augmentation du stock d'azote minéral dans le sol à la récolte.**
- **Accompagnement des compléments N proposés de préconisations de fractionnements des apports appropriés.**
- **Intégration de ces compléments dans les outils de pilotage.**