

N-BT : MÉTHODES D'ESTIMATION DES INDICATEURS D'EFFICACITÉ DE VALORISATION DE L'AZOTE PAR LES NOUVELLES VARIÉTÉS DE BLÉ TENDRE

Jean-Pierre COHAN, François-Xavier OURY, Aurélie MAILLIARD, Josiane LORGEOU, Marie-Hélène BERNICOT, Christine LE SOUDER, Adeline STREIFF, Sonia GEOFFROY, Philippe LEREBOUR, Thierry MOITTIE, Patrice SENELLART, Olivier DRUELLE, Corentin BONNARD, François GUION, Jacques LE GOUIS

PARTENAIRES

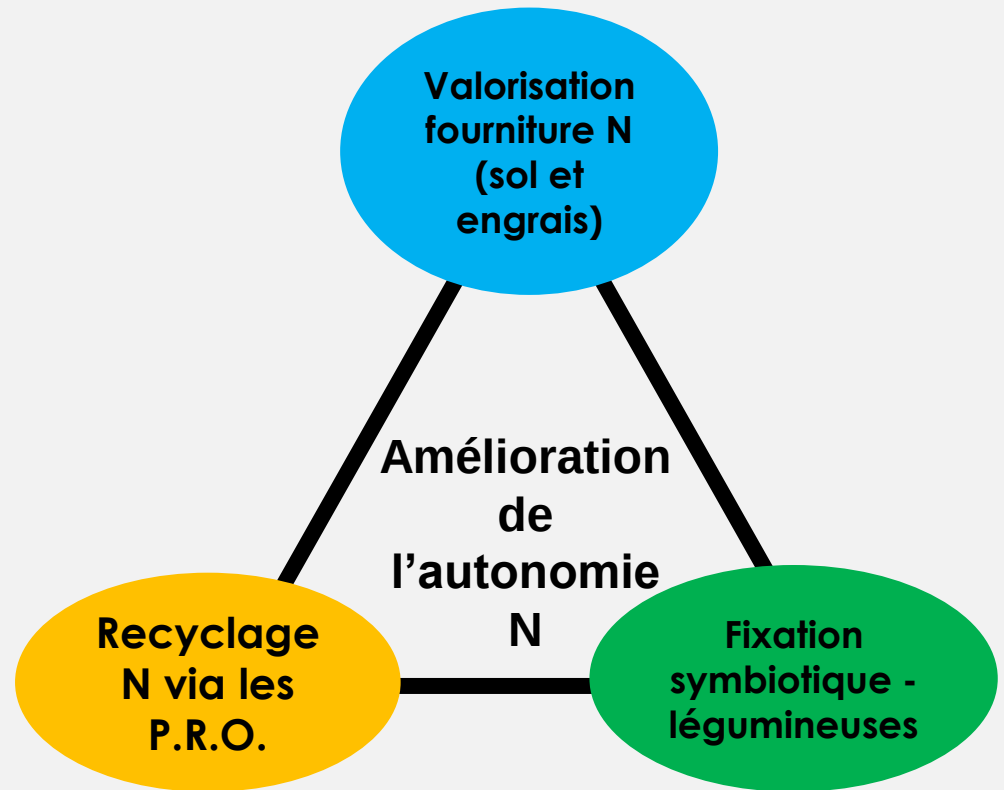


CONTEXTE ET OBJECTIFS

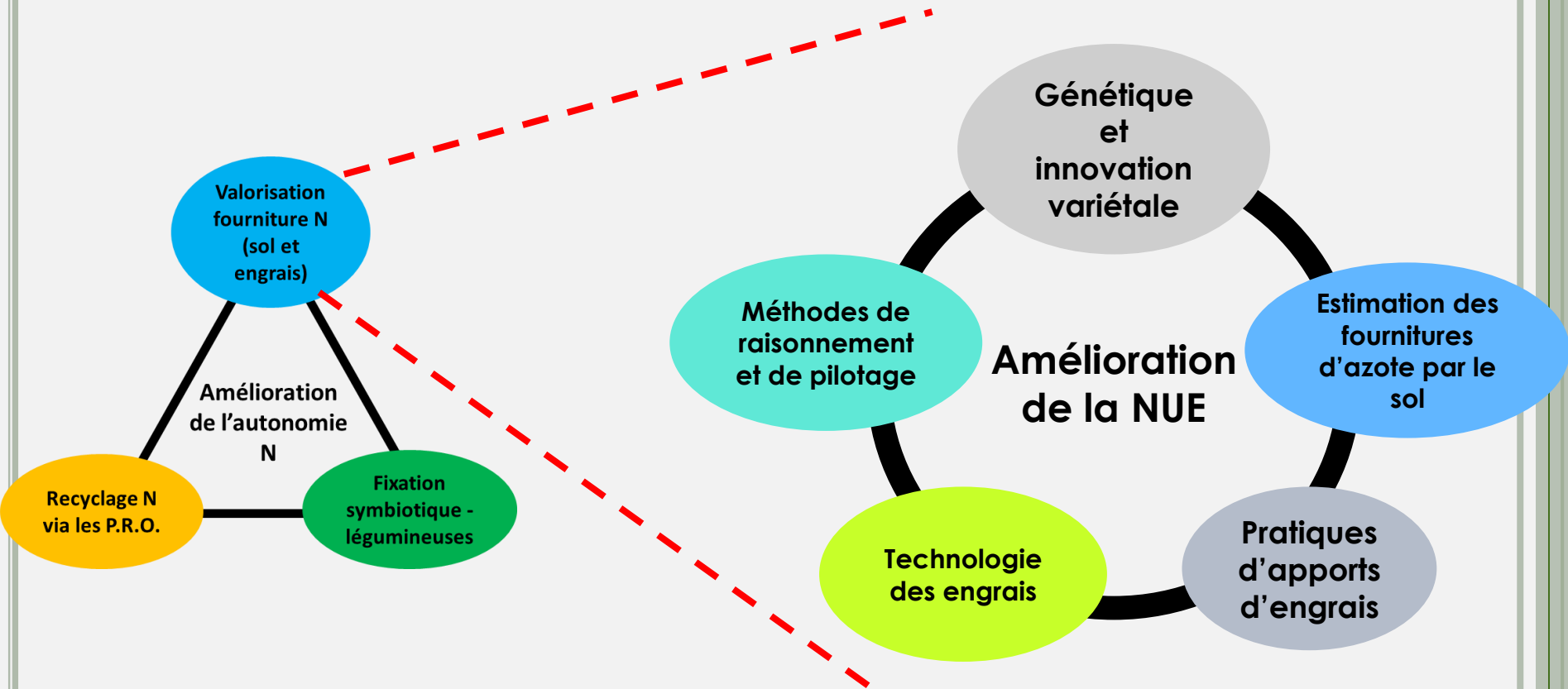
CONTEXTE GÉNÉRAL N DE LA PRODUCTION DE BLÉ TENDRE

- Variabilité du cours des engrais
- Prix de vente du blé soumis à des fluctuations non prévisibles et actuellement bas
- Marchés (intérieurs et exports) à satisfaire en quantité et qualité
- Impacts environnementaux à maîtriser

➔ Nécessité d'amélioration de l'autonomie des systèmes de culture vis-à-vis des engrais azotés en maintenant un haut niveau de production (quantité & qualité)



CONTEXTE GÉNÉRAL N DE LA PRODUCTION DE BLÉ TENDRE

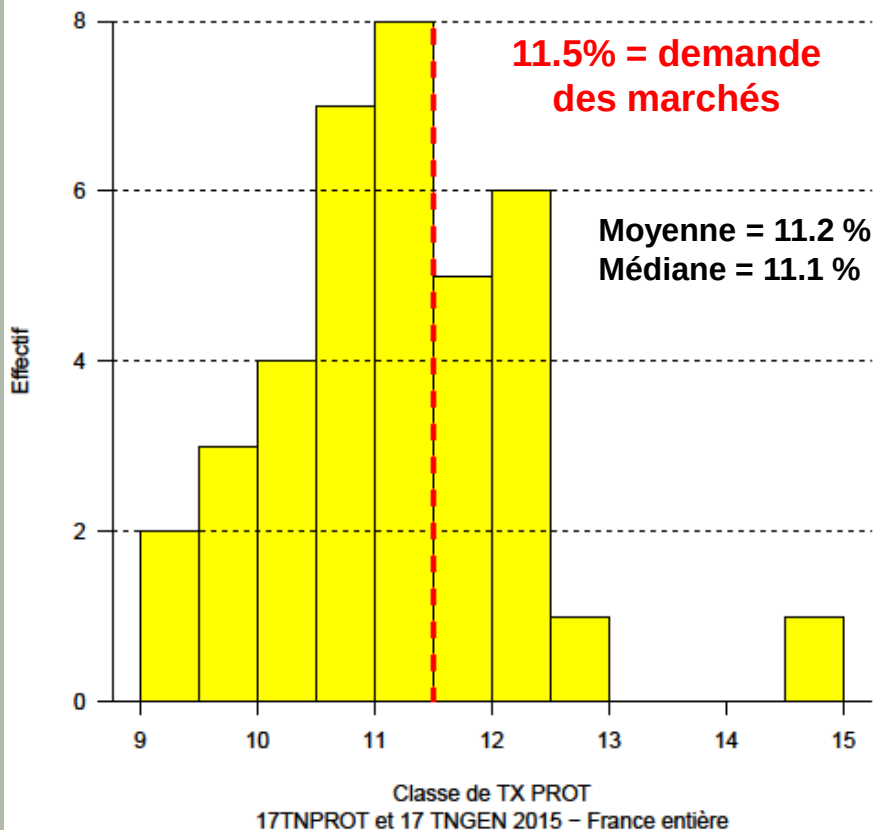


CONTEXTE GÉNÉRAL N DE LA PRODUCTION DE BLÉ TENDRE

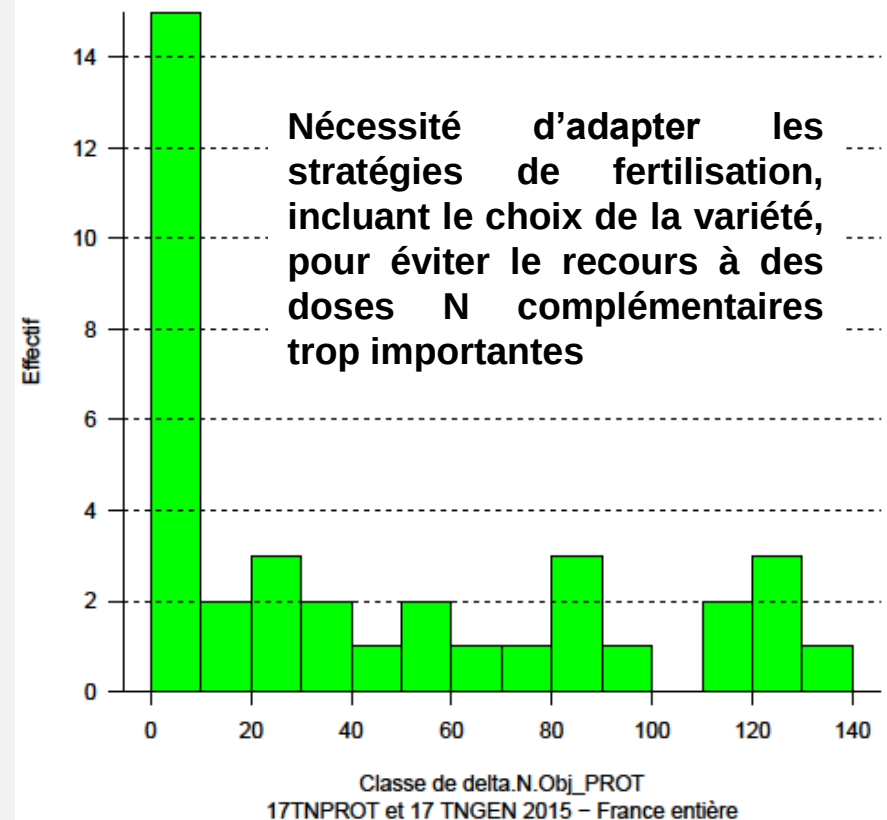
Blé tendre d'hiver: un double objectif quantité et qualité du grain

Exemple de
l'année 2015

TX PROT à l'optimum RDT



Ecart de dose N / optimum RDT pour atteindre 11.5% PROT



37 essais courbe de réponse N 2015
ARVALIS et partenaires (régions Ouest et Nord)
Courbe de réponse rendement ajustée en quadratique plateau



OBJECTIFS DU PROJET N-BT

Afin d'activer pleinement le levier génétique pour améliorer la nutrition N du blé tendre d'hiver, une meilleure caractérisation des génotypes et variétés vis-à-vis de l'efficacité de l'azote est nécessaire à toutes les étapes (sélection, évaluation à l'inscription, évaluation en post-inscription).

Objectifs du projet :

1. Elaborer de nouveaux indicateurs d'efficacité de valorisation de l'azote disponible (*Nitrogen Use Efficiency* = *NUE*), à l'optimum et en situations de carence
2. Evaluer leurs conditions de mise en pratique
3. Mettre à disposition des résultats et méthodes à destination des équipes de recherche (sélectionneurs, généticiens et agronomes)

RÉSEAUX D'ESSAIS ET INDICATEURS ÉTUDIÉS

3 RÉSEAUX D'ESSAIS COMPLÉMENTAIRES

6 à 10 variétés

20 à 35 variétés

30 à 50 variétés

6 doses N
(incluant un
témoin 0)

Réseau 1:

- 12 essais ARVALIS sur 3 ans (2014-2015-2016)
- RDT, TP, QN plante, QN sol

3 doses N

Réseau 2:

- 37 essais sur 4 ans (2013-2016) conduits par le GEVES, INRA, UFS et ARVALIS
- Essais d'inscription et de post-inscription
- RDT, TP, QN plante et QN sol sur témoins

1 dose N

Réseau 3:

- 115 essais sur 7 ans conduits par Sem. France et ARVALIS
- Essais de post-inscription
- RDT, TP

+ mesures de panification sur réseaux 1 et 2

Etude détaillée des interactions variété X N à chaque dose N et à l'optimum

Validation

Indicateurs N pour l'inscription

Validation

Indicateurs N pour la conduite de la fertilisation

Validation



LES INDICATEURS ÉTUDIÉS

Indicateur d'efficience N « classiques »

- **Nitrogen Use Efficiency**

$$NUE = \frac{\text{Rendement}}{N \text{ disponible (sol + engrais)}}$$

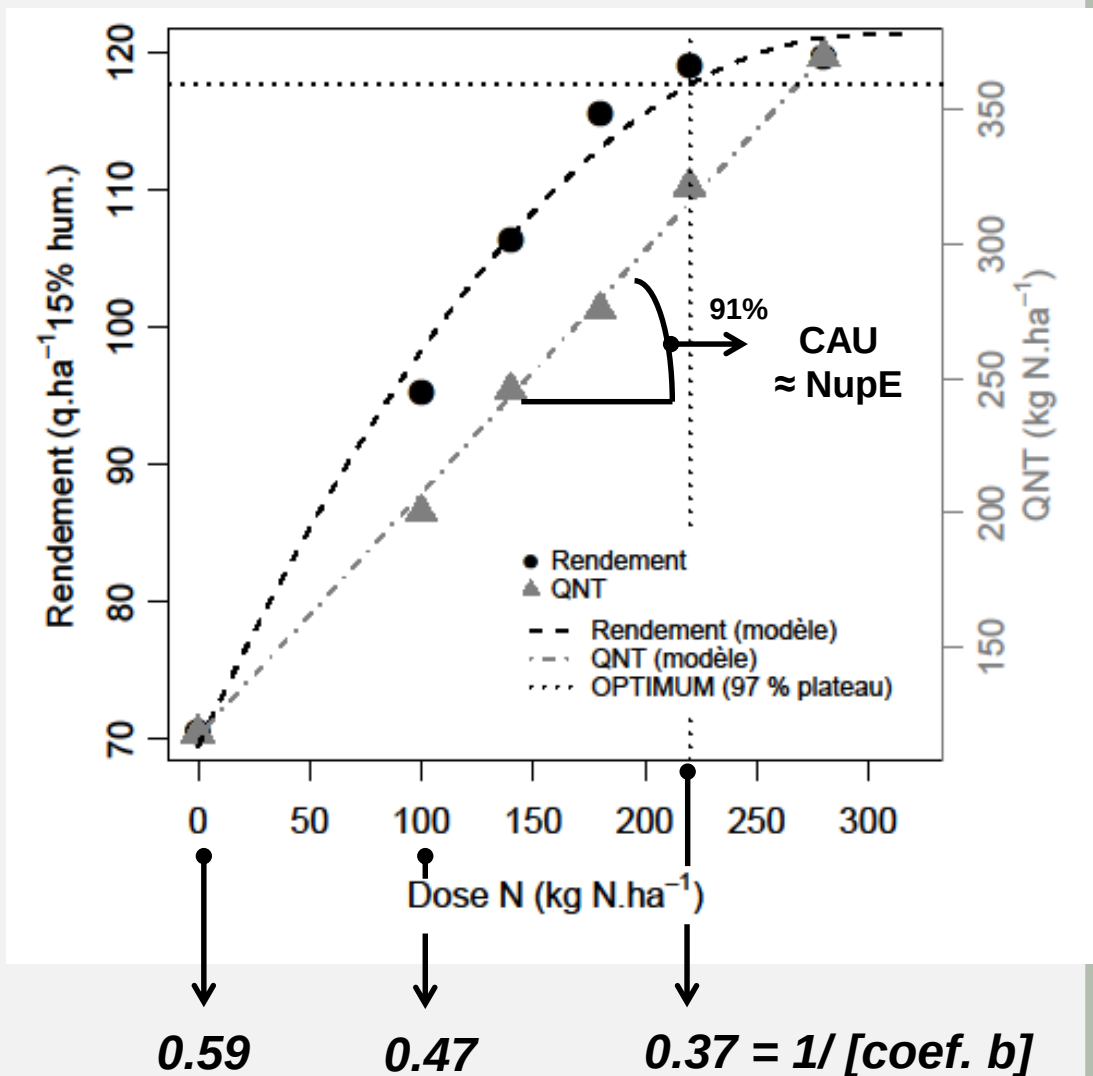
$$NUE = NupE \times NutE$$

- **Nitrogen uptake Efficiency**

$$NupE = \frac{QNT}{N \text{ disponible (sol + engrais)}}$$

- **Nitrogen utilization Efficiency**

$$NutE = \frac{\text{Rendement}}{QNT}$$



Exemples de NutE (q 15% hum.kg N⁻¹)

Moll et al., 1982

Hirel et al., 2007

Sylvester-Bradley and Kindred 2009

Le Souder and Bernicot, 1993

Foulkes et al. 1998

Oury and Godin 2007

+ calcul GPD

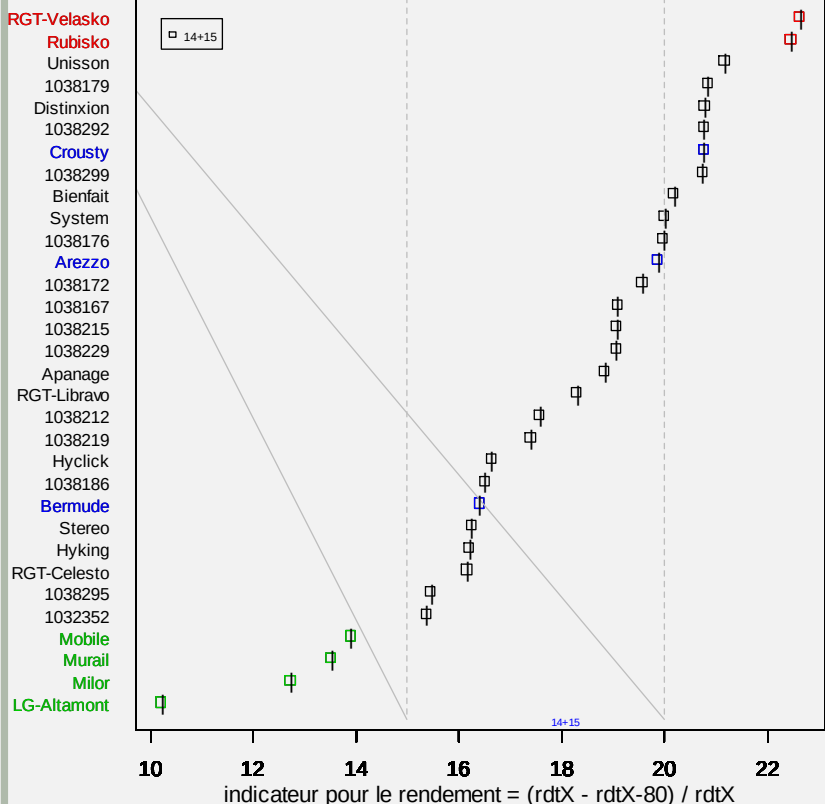


LES INDICATEURS ÉTUDIÉS

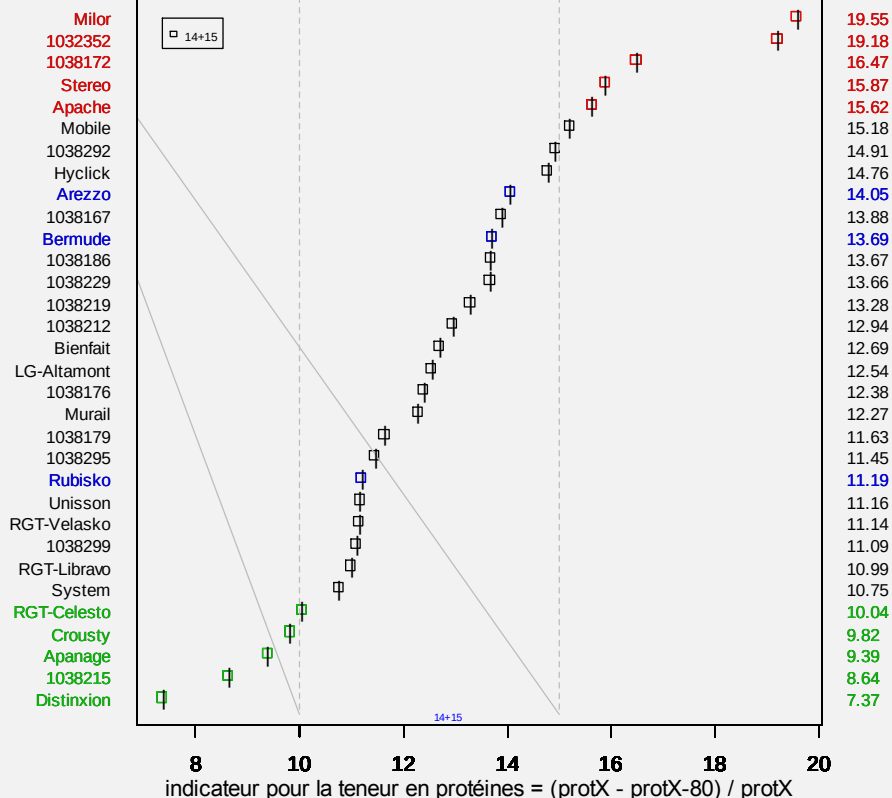
Indicateur de tolérance à la carence N (RDT et TP)

- Ecart pondéré entre la conduite X et la conduite X-80

CTPS-AZOTE Nord 2014-2015



CTPS-AZOTE Nord 2014-2015

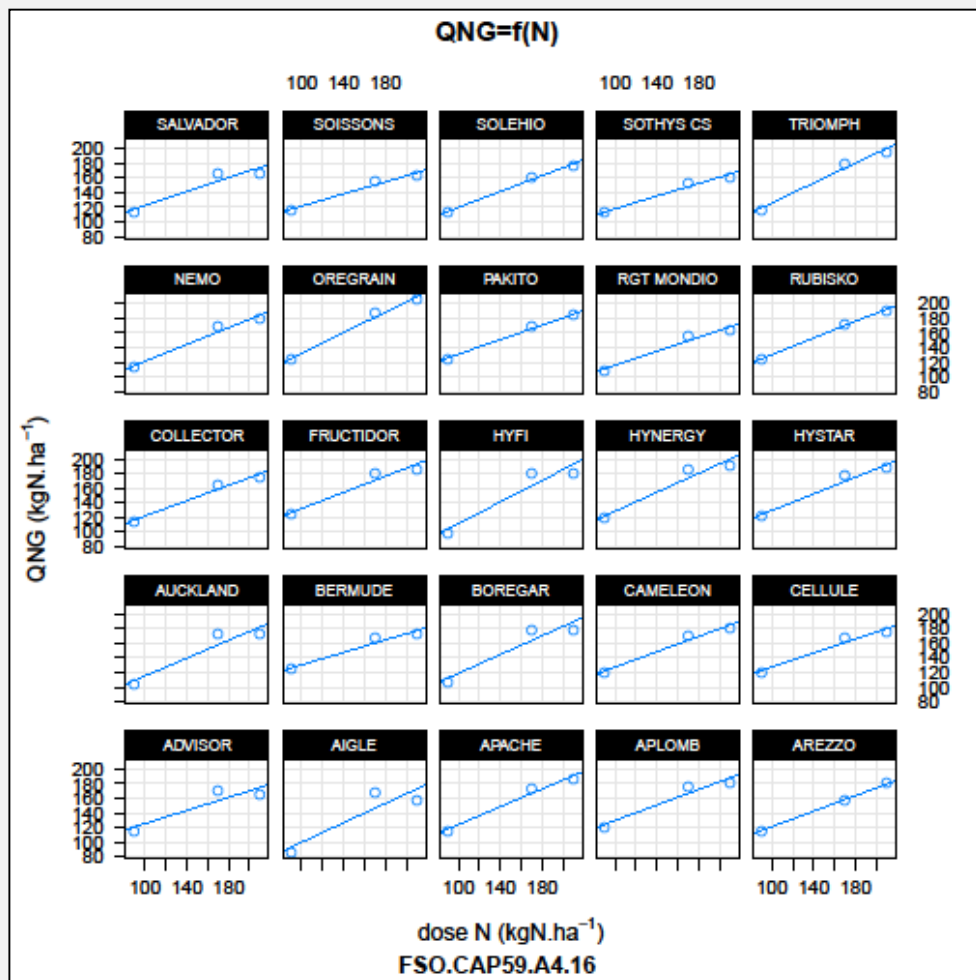


Calcul fait par variété et sur moyennes multi-locales



LES INDICATEURS ÉTUDIÉS

Indicateur d'efficience N « simplifiés »



Régression linéaire $QNG=f(N)$

avec

$$QNG = RDT \cdot 0.85 \cdot TP / 5.7$$

N = dose engrais N appliquée (3 doses)

Calcul fait par variété et par essai ou en moyennes multi-locales

Obtention de 2 paramètres :

Pente de la régression = proxy de la capacité de la variété à absorber l'azote de l'engrais (proxy d'un CAU)

Ordonnée à l'origine de la régression = proxy de la capacité de la variété à absorber l'azote du sol

EFFETS DE LA VARIÉTÉ SUR LES COMPOSANTES DE LA NUE

INTERACTIONS VARIÉTÉS X N

Réseau 1

	Effets fixes			Effets aléatoires		
	V	N	VAR x N	E x V	E x N	E
Variables de production						
RDT	***	***	***	***	***	***
PROT	***	***	***	***	***	***
QNT	***	***	***	***	***	***
RPR	***	***	**	***	***	***
Ratios à la récolte						
HI	***	ns	ns	***	***	***
NHI	***	***	ns	***	***	***
Indicateurs d'efficience N						
NUE	***	***	***	***	***	***
NupE	***	***	***	***	***	***
NutE	***	***	**	***	***	***
CAU	*	*	ns	***	***	***

Pertinence de différencier le comportement des variétés vis-à-vis de la nutrition N

Attention aux hypothèses simplificatrices dans les calculs d'indicateurs

Toutes les composantes de la NUE sont influencées par la variété et la dose N

Résultats cohérents avec la bibliographie internationale

Ortiz-Monasterio et al., 1997

Cormier et al. 2013

Le Gouis et al 2000

Foulkes et al. 1998; Sylvester Bradley et al. 2009

*** (p < 0.001) ; ** (0.001 < p < 0.01) ; * (0.01 < p < 0.05) ; (*) (0.05 < p < 0.1) ; ns = non significatif

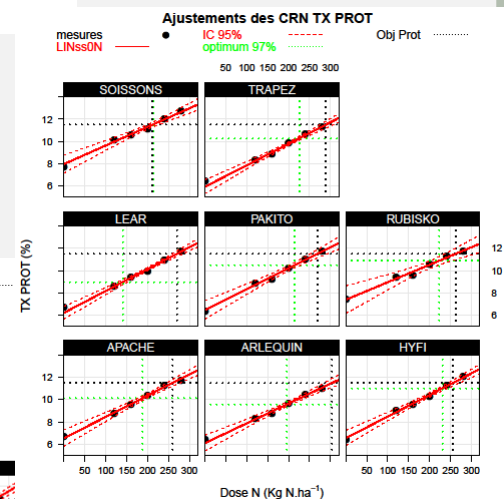
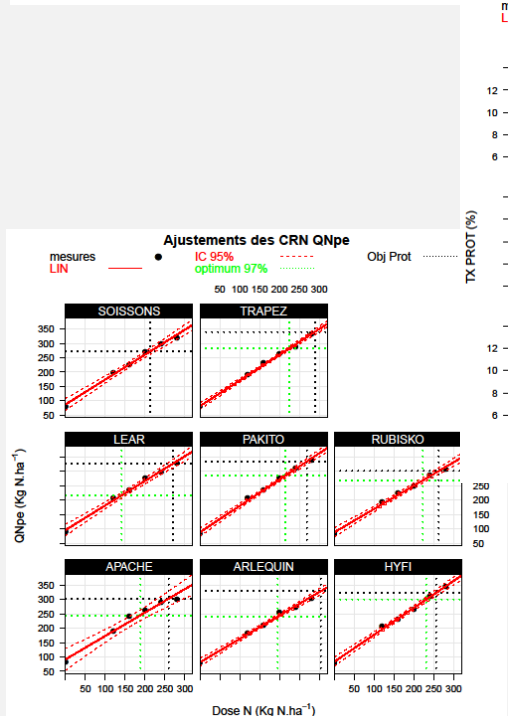
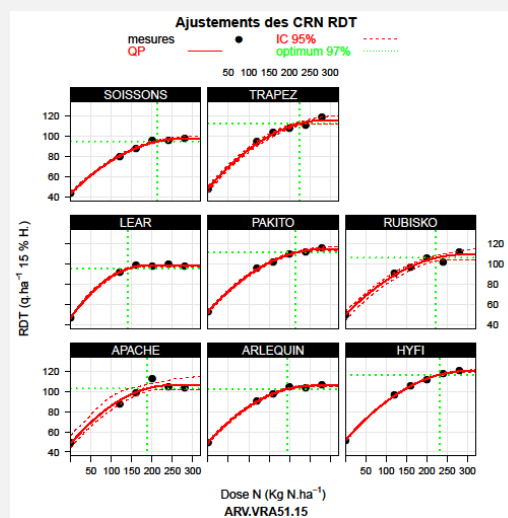


IMPACT DE LA VARIÉTÉ À L'OPTIMUM

Réseau 1

	V (effet fixe)	E (effet aléatoire)
Variables de production		
RDTopt	***	***
DNopt	ns	***
PROTopt	***	***
QNTopt	*	***
RPRopt	ns	***
QNT-0N	ns	***
DNprot	**	***
QNTprot	ns	***
RPRprot	ns	***
Ratios à la récolte		
Hlopt	***	***
NHlopt	***	***
Indicateurs d'efficience N		
NUEopt	***	***
NupEopt	*	***
NutEopt	***	***
CAU	***	***
Coefficient b	***	***
Coefficient bc	***	***
Coefficient bq	**	***

*** (p < 0.001) ; ** (0.001 < p < 0.01) ; * (0.01 < p < 0.05) ; (*) (0.05 < p < 0.1) ; ns = non significatif

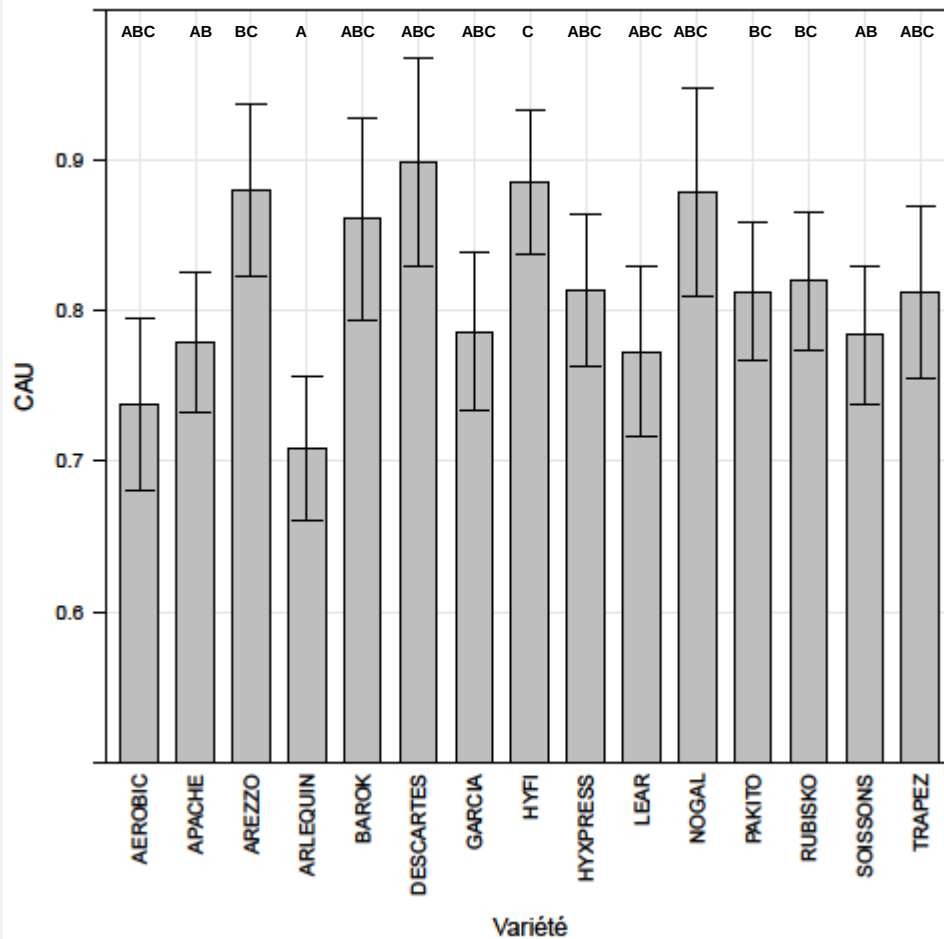


Résultats originaux car peu de références à l'optimum à part Cohérent avec les références françaises 90's (Le Soudert and Bernicot 1993)



VARIÉTÉS ET CAU-NUPE

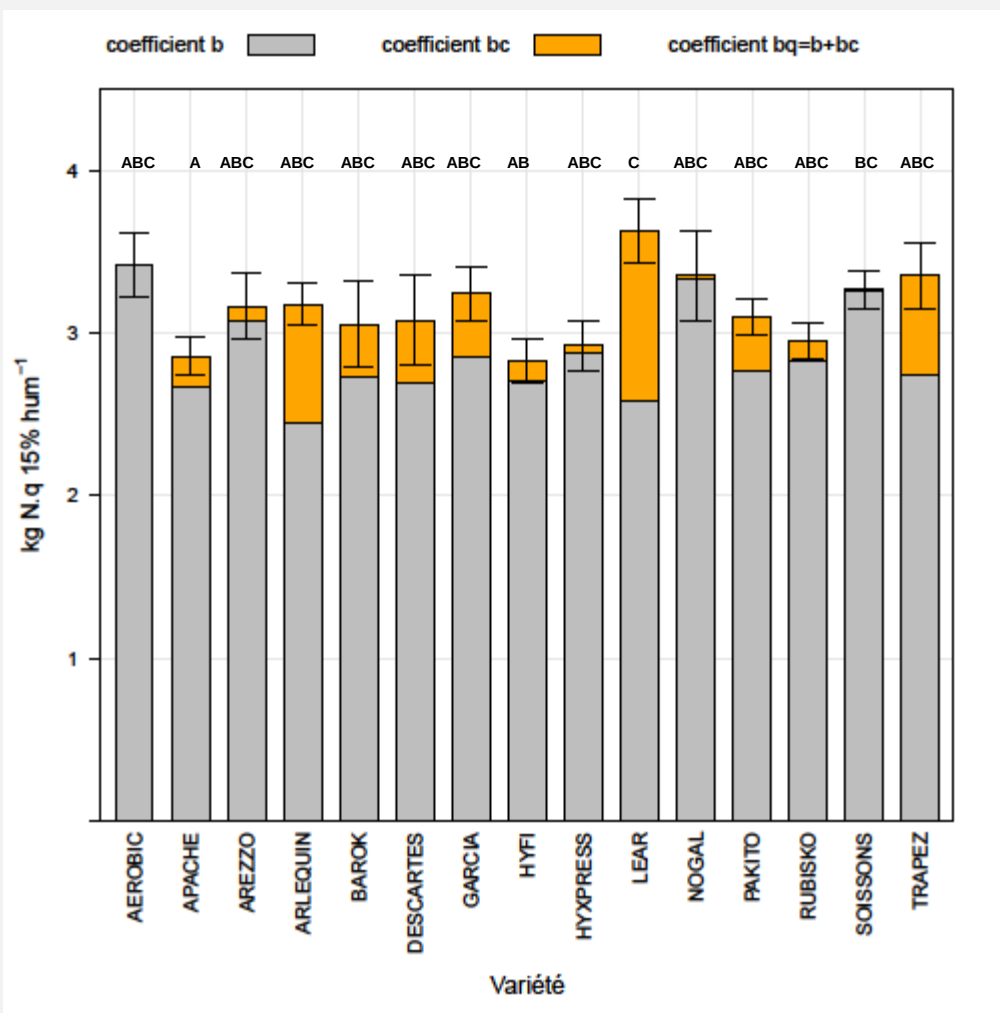
Réseau 1



Effet significatif de la variété sur l'efficacité d'absorption de l'azote, malgré des conditions globalement favorables à l'absorption dans les essais

VARIÉTÉS ET « b »-NUTÉ

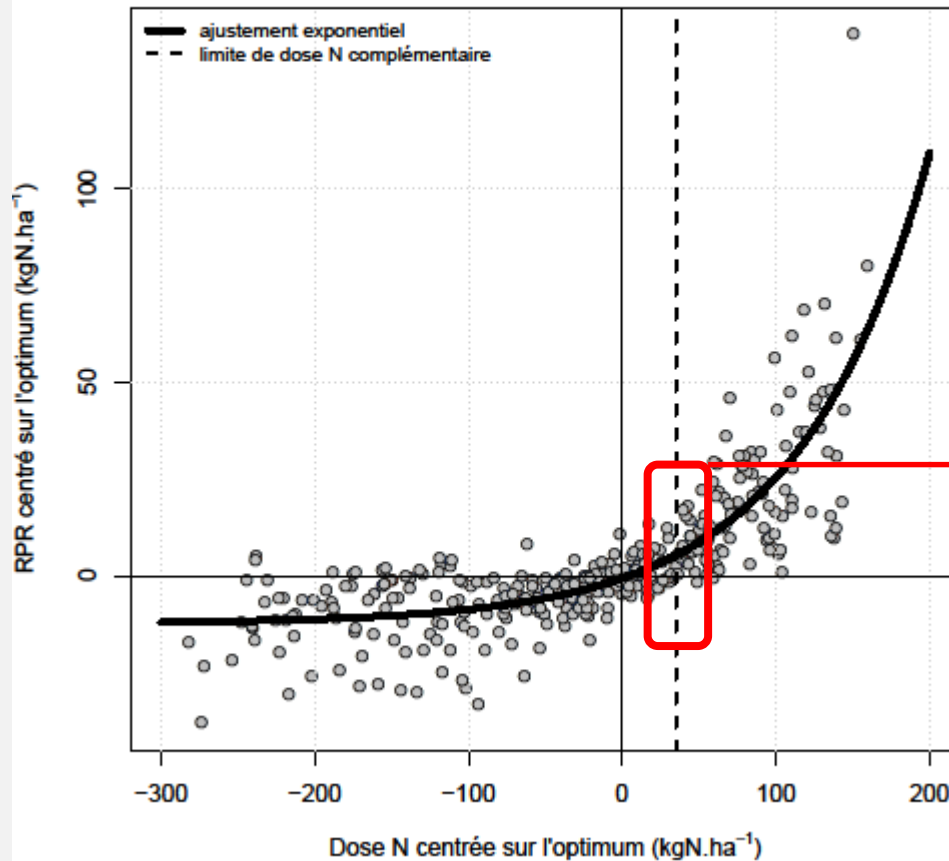
Réseau 1



Effet significatif de la variété sur l'efficacité de valorisation de l'azote absorbé en rendement et teneur en protéines

« bq » ET AZOTE DU SOL À LA RÉCOLTE

Réseau 1

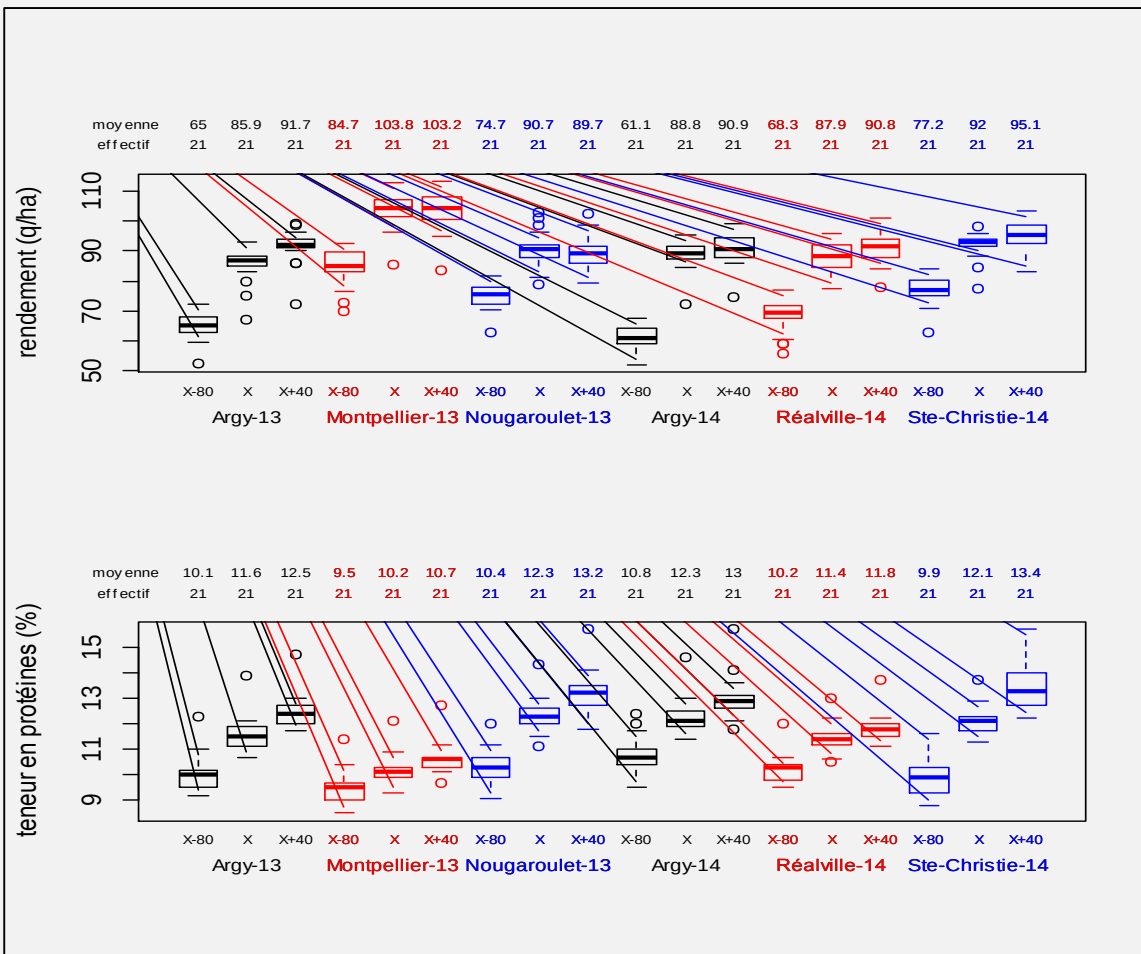


Limite de complément
à ne pas dépasser,
correspondant à un
 $bq=0.4 \text{ kgN.q}^{-1}$ pour un
objectif de rendement
de 90 q.ha^{-1} .

ELABORATION D'INDICATEURS DE TOLÉRANCE À LA CARENCE AZOTÉE

COMPORTEMENT GÉNÉRAL DES ESSAIS

Réseau 2



Evolution non linéaire du RDT

Evolution linéaire du TP

Dans la plupart des essais, le RDT et le TP sont influencés par la variété, la dose N et leur interaction

Exemple des 6 essais validés CTPS Zone Sud 2013-2014

EFFET VARIÉTÉ ET DOSE N SUR LES INDICATEURS DE TOLÉRANCE

Réseau 2

	A	V	L (A)	A × V
Indicateur de tolérance rendement				
CTPS Nord 13-14	***	***	***	ns
CTPS Sud 13-14	***	*	***	ns
FSOV 15-16	***	ns	***	ns
CTPS Nord 14-15	**	**	***	*
CTPS Sud 14-15	***	(*)	***	ns
CTPS Nord 15-16	***	***	***	ns
CTPS Sud 15-16	***	ns	***	ns
FSOV 04-05	***	*	***	*
FSOV-P 11-12	*	*	***	(*)
FSOV-T 11-12	ns	**	***	ns
BW 12-14	***	***	***	***

Indicateur de tolérance protéines				
CTPS Nord 13-14	***	***	***	ns
CTPS Sud 13-14	***	***	***	ns
FSOV 15-16	***	***	***	*
CTPS Nord 14-15	ns	**	***	ns
CTPS Sud 14-15	***	**	***	ns
CTPS Nord 15-16	***	***	***	**
CTPS Sud 15-16	***	*	***	ns
FSOV 04-05	***	***	***	ns
FSOV-P 11-12	***	***	***	*
FSOV-T 11-12	***	***	***	ns
BW 12-14	***	***	***	ns

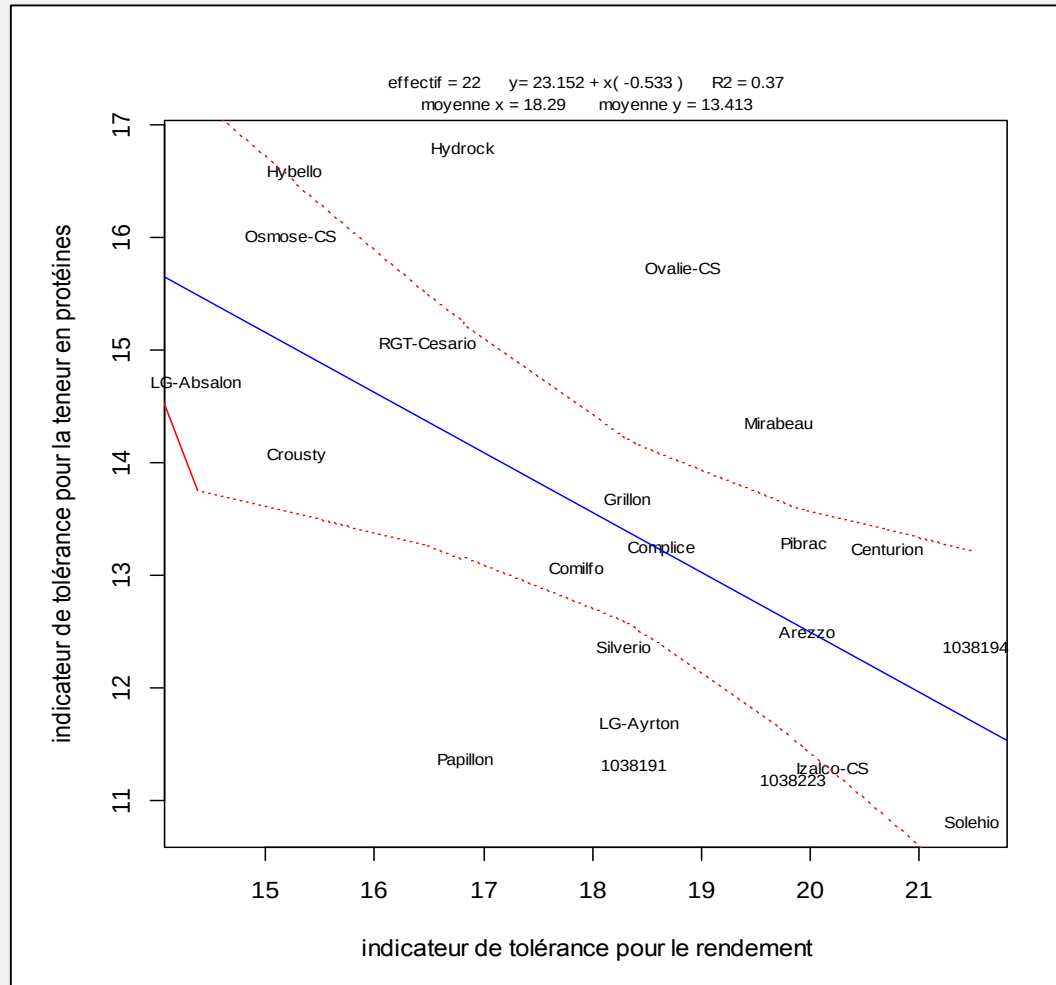
- Compléments du jeu de données avec des essais issus d'autres projets (FSOV, ANR-PIA)
- Effets année et variété quasi-systématiques
- Interaction variété-année présente dans certains cas

*** (p < 0.001) ; ** (0.001 < p < 0.01) ; * (0.01 < p < 0.05) ; (*) (0.05 < p < 0.1) ; ns = non significatif



LIEN RDT-TP SUR LES INDICATEURS DE TOLÉRANCE

Réseau 2

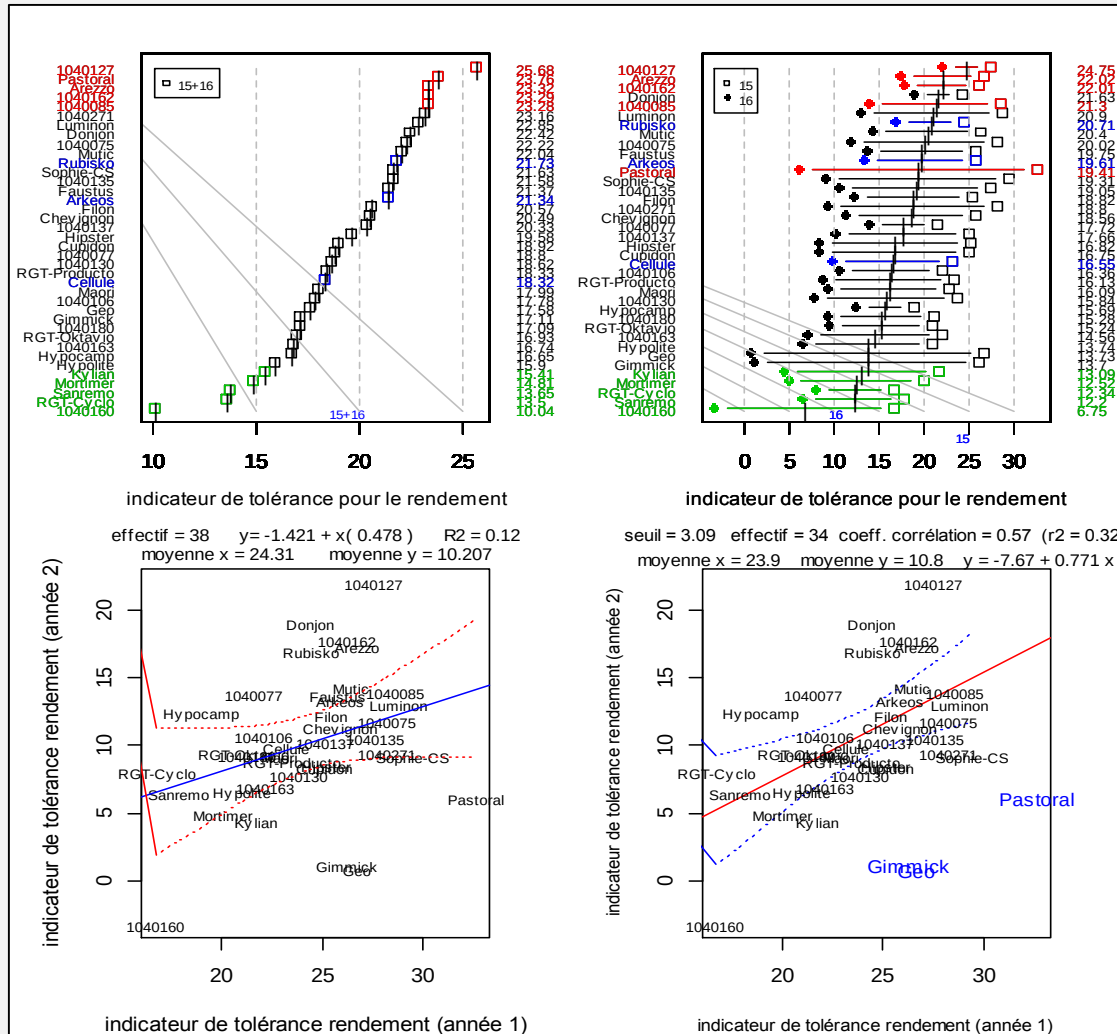


Exemple CTPS Zone Sud 2014-2015

- Corrélation négative entre tolérance RDT et tolérance PROT
- Cohérent avec la relation négative entre RDT et PROT
- Liaison pas assez forte pour calculer un indicateur d'écart à la régression (pour bon compromis entre perte RDT et perte TP)
- Par contre, critère de choix variétal (selon l'objectif, les génotypes extrêmes permettent de minimiser soit perte RDT, soit perte TP).

STABILITÉ DES INDICATEURS DE TOLÉRANCE

Réseau 2



Exemple CTPS Zone Nord 2015-2016

- Stabilité comparable à celle de la GPD
- Interactions lieu et année ne permettant pas de déterminer des valeurs seuils
- Possibilité d'application : système de bonus/malus analogue à celui des écarts T-NT à l'inscription

ELABORATION D'INDICATEURS D'EFFICIENCE « SIMPLES »

EFFET VARIÉTÉ ET DOSE N SUR LES INDICATEURS D'EFFICIENCE « SIMPLES »

Réseau 2

	A	V	L (A)	A × V
Pente				
CTPS Nord 13-14	ns	**	***	(*)
CTPS Sud 13-14	***	ns	***	ns
FSOV 15-16	***	ns	***	ns
CTPS Nord 14-15	***	**	***	*
CTPS Sud 14-15	***	ns	***	ns
CTPS Nord 15-16	***	ns	***	ns
CTPS Sud 15-16	***	***	***	ns
Ordonnée à l'origine				
CTPS Nord 13-14	***	ns	***	ns
CTPS Sud 13-14	**	ns	***	ns
FSOV 15-16	(*)	ns	***	ns
CTPS Nord 14-15	***	(*)	***	*
CTPS Sud 14-15	***	ns	**	ns
CTPS Nord 15-16	***	(*)	***	ns
CTPS Sud 15-16	***	ns	***	ns

Calcul en moyenne multi-locales (cohérence sur l'ensemble des indicateurs)

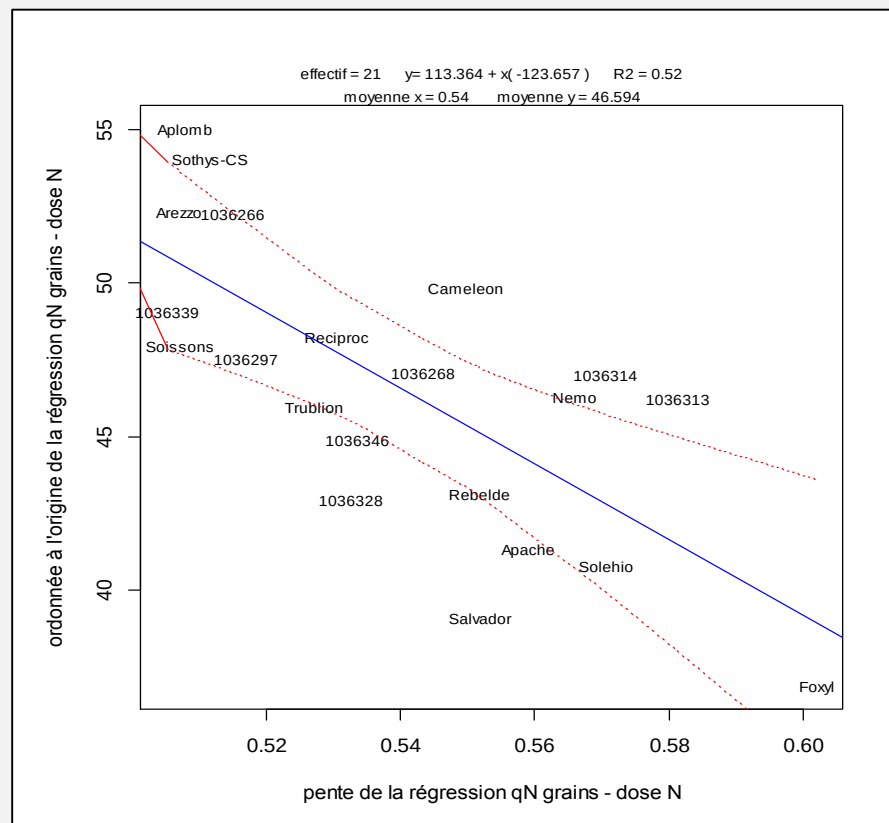
Effet de la variété pas systématique mais attention à la précision de la méthode (notamment pour l'ordonnée à l'origine)

*** (p < 0.001) ; ** (0.001 < p < 0.01) ; * (0.01 < p < 0.05) ; (*) (0.05 < p < 0.1) ; ns = non significatif

COMPOURTEMENT DES INDICATEURS D'EFFICIENCE

« SIMPLS »

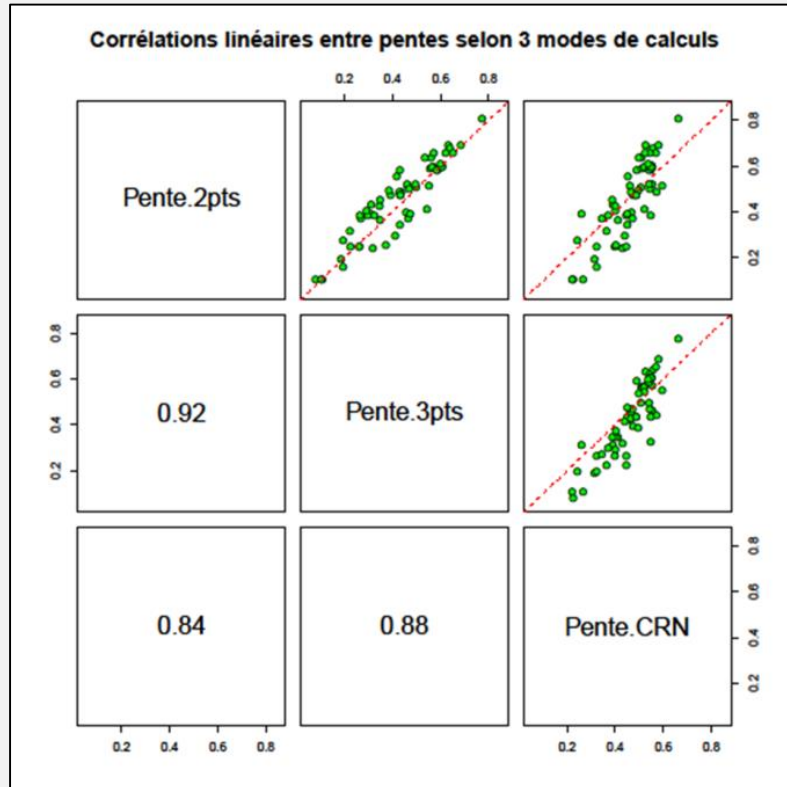
Réseau 2



Exemple CTPS Zone Sud 2013-2014

- Stabilité équivalente à la GPD
- Corrélation entre les indicateurs d'efficacité (par construction mais présence de variabilité) → usage de l'écart à la régression ?
- Pas de corrélation avec les indicateurs de tolérance
- Corrélation GPD[X-80] vs Ord. Orig. et Corrélation GPD[X] vs Pente → redondance ou information à valoriser selon les contextes ?

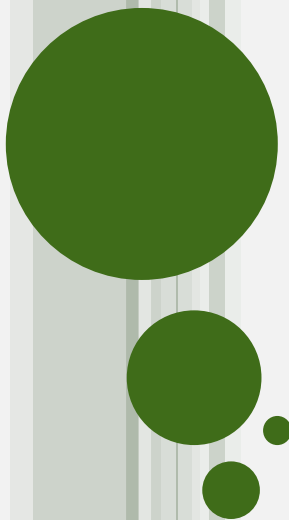
DISPOSITIFS POUR CALCULER LES INDICATEURS D'EFFICIENCES « SIMPLES »



Réseau 1

- Analyse de sensibilité au nombre de doses N nécessaires (réseau 1 et réseau 2)
- Des calculs sur 2 doses N (X-80 et X) semblent possibles
- Possibilité de rationaliser les dispositifs expérimentaux

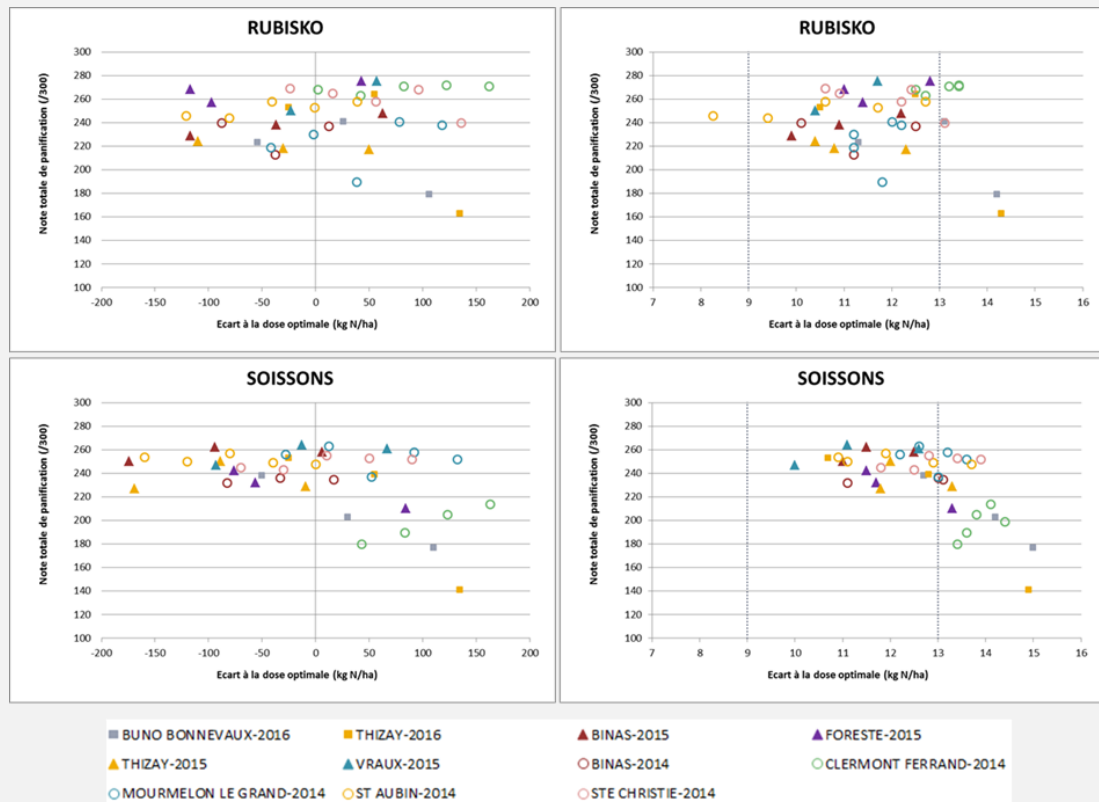
Une 1^{ère} approche de calculs d'indicateurs
« élaborés » est présentée dans l'article.



AZOTE, VARIÉTÉ ET PROPRIÉTÉS DE PANIFICATION

ANALYSES RÉALISÉES SUR LE RÉSEAU 1

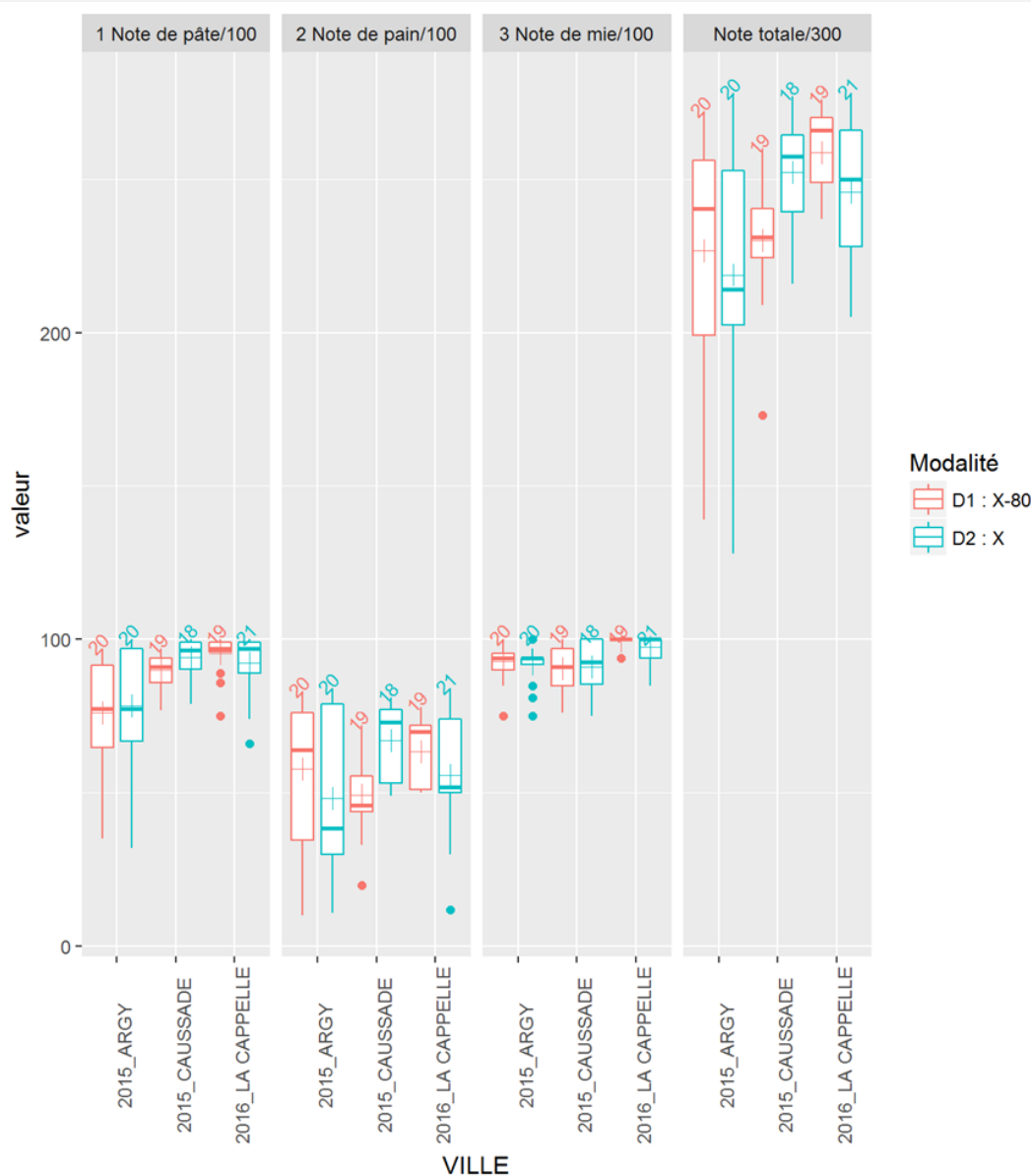
Réseau 1



- Impact faible de la dose N sur la note totale de panification, dans la plage de variation TP 9-13%.
- %F1/%F2 (glut.) peu impacté par la dose N
- Classement variétal sur le W, P/L et Gluten humide peu modifié par la dose N

ANALYSES RÉALISÉES SUR LE RÉSEAU 2

Réseau 2



- Interaction variété x lieu plus impactante que l'effet N ou le TP
- Peu d'impact de la dose N sur le classement variétal

NOUVELLE MÉTHODE DE CALCUL DU BESOIN UNITAIRE D'AZOTE

NOUVELLE MÉTHODE DE CALCUL

Réseau 3

$$QNG = RDT \times 0.85 \times \frac{TP}{5.7}$$

avec: QNG = Quantité N dans le grain à la récolte (kg N .ha⁻¹).
 RDT = Rendement en grain (q.ha⁻¹ 15% hum.).
 TP = Teneur en protéines du grain (% MS).

Etape 1: calcul du QNG pour toutes les variétés dans tous les essais

Synthèse du réseau 1:

- Equation
- Impact mineur de la variété sur le NHI

$$QNT = a \times QNG + c$$

avec: QNT = Quantité totale N prélevé à la récolte (kg N .ha⁻¹).
 QNG = Quantité N dans le grain à la récolte (kg N .ha⁻¹).
 a and c = Coefficient de la régression linéaire ajustée sur les données du réseau 1.

Etape 2: conversion QNG-QNT

Synthèse des réseaux 1 et 2:

- Analyse de sensibilité du classement b, bc et bq par rapport à la dose N
- OK au voisinage de l'optimum +/- 40 kg N.ha⁻¹

$RDT > 70$ q.ha⁻¹ 15% hum.
 $10\% < TP < 14\%$
 $0.7 < INN \text{ floraison} < 1.2$

Modèle CHN
 ARVALIS - Institut du végétal

Etape 3: diagnostic du statut N de chaque essai et tri des essais

$$\text{coefficient } b = \frac{QNT}{RDT}$$

avec: coefficient b = besoin N par unité de rendement (kg N .q⁻¹ 15 % hum.).
 QNT = Quantité totale N prélevé à la récolte (kg N .ha⁻¹) via l'équation [étape 2].
 RDT = Rendement en grain (q.ha⁻¹ 15% hum.).

Etape 4: calcul du coefficient b

$$\text{coefficient } bc = (11.5 - TP_{\text{ajusté}}) \times \frac{0.85}{5.7} \times a$$

avec: coefficient bc = besoin N complémentaire pour $TP=11.5\%$ (kg N .q⁻¹15% hum.).
 $TP_{\text{ajusté}}$ = teneur en protéine du grain (moyenne ajustée) à l'échelle nationale (% MS).
 a = coefficient provenant de l'équation [étape 2].

Etape 5: calcul du coefficient bc

$$\text{coefficient } bq = \text{coefficient } b + \text{coefficient } bc$$

Etape 6: calcul du coefficient bq

NOUVELLES RÉFÉRENCES

Réseau Post
Arvalis

 CLASSEMENT DES VARIÉTÉS SELON LEUR BESOIN EN AZOTE (COEFFICIENTS b ET bq_{11,5%}) (en kgN/q) 2017				
CLASSES DE b	VARIETES	CLASSES DE bq _{11,5%}	Modalités de fractionnement à respecter en utilisant bq _{11,5%}	
			bc _{11,5%}	Mise en réserve minimale conseillée pour la fin de montaison
2.8	Addict, Adhoc, Advisor , Aigle , Ambition, Arlequin, Armada, Atoupic, Basmati, Bermude, Boisseau, Complice , Costello , Creek , Diderot, Fairplay, Folklor, Garcia, Granamax, Hybello, Hybery, Hybiza, Hyclick, Hydrock , Hyguardo , Hyking , Hystar, Hysun, Hyteck, Hywin, JB Diego, Kundera, Lear, Lithium, Lyrik, Modern, Popeye , RGT Mondio , RGT Texaco , Salvador , Sokal, Stadium, Stereo, Trapez, Tremie, Viscount, Zephyr	3	0.2	60 kg N (40*+20)
	Glasgow, Istabraq, Sobred, Torp	3.2	0.4	70 kg N (40*+30)
3	Accor, Alhambra, Allez Y, Altigo, Andino, Apache, Apanage , Aplomb , Aprilio, Arezzo, As De Coeur, Aubusson, Bagou, Bonifacio, Boregar, Brentano, Buenno, Calabro, Calcio, Calisol, Calumet, Cellule, Cezanne, Chevalier, Comilfo, Compil, Descartes, Diamento, Distinxion, Ephoros, Euclide, Fluor, Forblanc, Foxy , Galactic, Galopain, Goncourt, Gotik , Hyfi, Hyxo, Hyxpress, Illico, Interet, Isengrain, Kalystar, Koreli, Lavoisier, LG Abraham, LG Absalon , LG Altamont , Memory, Musik, Nucleo, Numeric, Oregrain, Paledor, Pibrac, Prevert, Reciproc, RGT Ampiezzo , RGT Cesario , RGT Kilimanjaro , RGT Tekno , RGT Velasko , RGT Venezia , Rochfort, Rubisko, Rustic, Saint Ex, Samurai, Scenario, Silverio, Sirtaki, Sobbel, Solehio, Sollario, Solognac, Solveig, Sothys CS , Sponsor, Starway, Syllon , Vyckor	3	0	40* kg N
	Accroc, Alixan, Andalou, Aristote, Arkeos, Ascott, Auckland , Barok, Belepi, Bergamo, Chevron, Collector , Expert, Fructidor, Gallix, Grapeli, Hyxtra, Ionesco, Laurier, Matheo, Milor , Nemo , Oxebo, Pakito, Pr22r58, RGT Celesto, RGT Libravo, RGT Sacramento, Ronsard, Sherlock , SY Mattis, SY Moisson, System , Terroir, Thalys, Tobak, Triumph , Valdo, Waximum	3.2	0.2	60 kg N (40*+20)
3.2	Aerobic, Altamira, Ambello, Athlon, Attlass, Bienfait , Camp Rémy, CCB Ingenio, Centurion, Exelcior, Exotic, Falado, Graindor, Hendrix, Lazaro, Lukullus, Manager, Nogal, Scipion, Soissons, Sorrial, Tulip	3.2	0	40* kg N
• Les variétés introduites en 2016 et 2017 dans le classement sont en gras.		*: la mise en réserve minimale de 40 kg N pourra être réduite en cas de faible potentiel		13 décembre 2016

CONCLUSION ET VALORISATION

CONCLUSION ET VALORISATION

Production de références approfondies sur des variétés « élite » présentes dans les schémas de sélection

Proposition de plusieurs indicateurs de tolérance et d'efficience pour qualifier les variétés à l'inscription et en post-inscription, selon des dispositifs expérimentaux optimisés

Clarification des conditions d'évaluation des propriétés de panification des variétés (impact dose N faible)

Nouvelle méthode de calcul du besoin N par quintal de grain produit, intégrant un objectif de TP

3 types de valorisation:

- Publications scientifiques (articles, congrès, posters...)
- Publications techniques (publications CTPS-GEVES, Perspectives Agricoles)
- Bases de données synthétiques pour approfondissements scientifiques

REMERCIEMENTS

Les partenaires du projet tiennent à remercier le GNIS-FSOV pour son soutien, l'ensemble des équipes techniques ayant réalisé les essais et les projets Breedwheat (ANR-2010-BTBR-003), FSOV 2003A « azote » 2004-2005 et FSOV 2010F « azote » 2011-2012 pour la mise en commun des jeux de données « réseau 2 ».

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

