



Pôle Agronomie
Baptiste SOENEN

+ collègues des départements
Recherche et Développement et
Actions Régionales

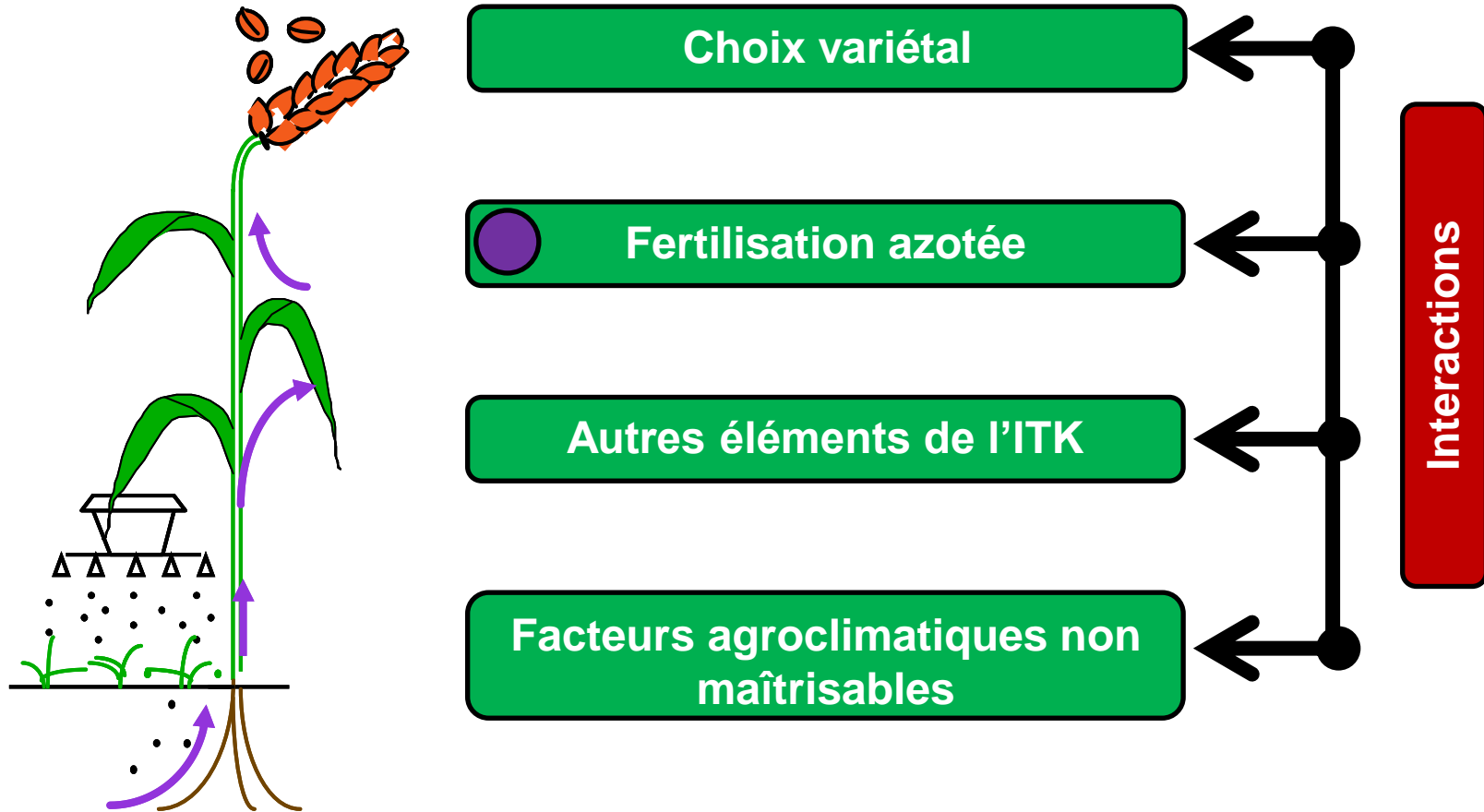
Comment gérer la fertilisation azotée pour maîtriser la teneur en protéines

ARVALIS
Institut du végétal

Réunion du groupe N du COMIFER
14/10/2016 à Paris



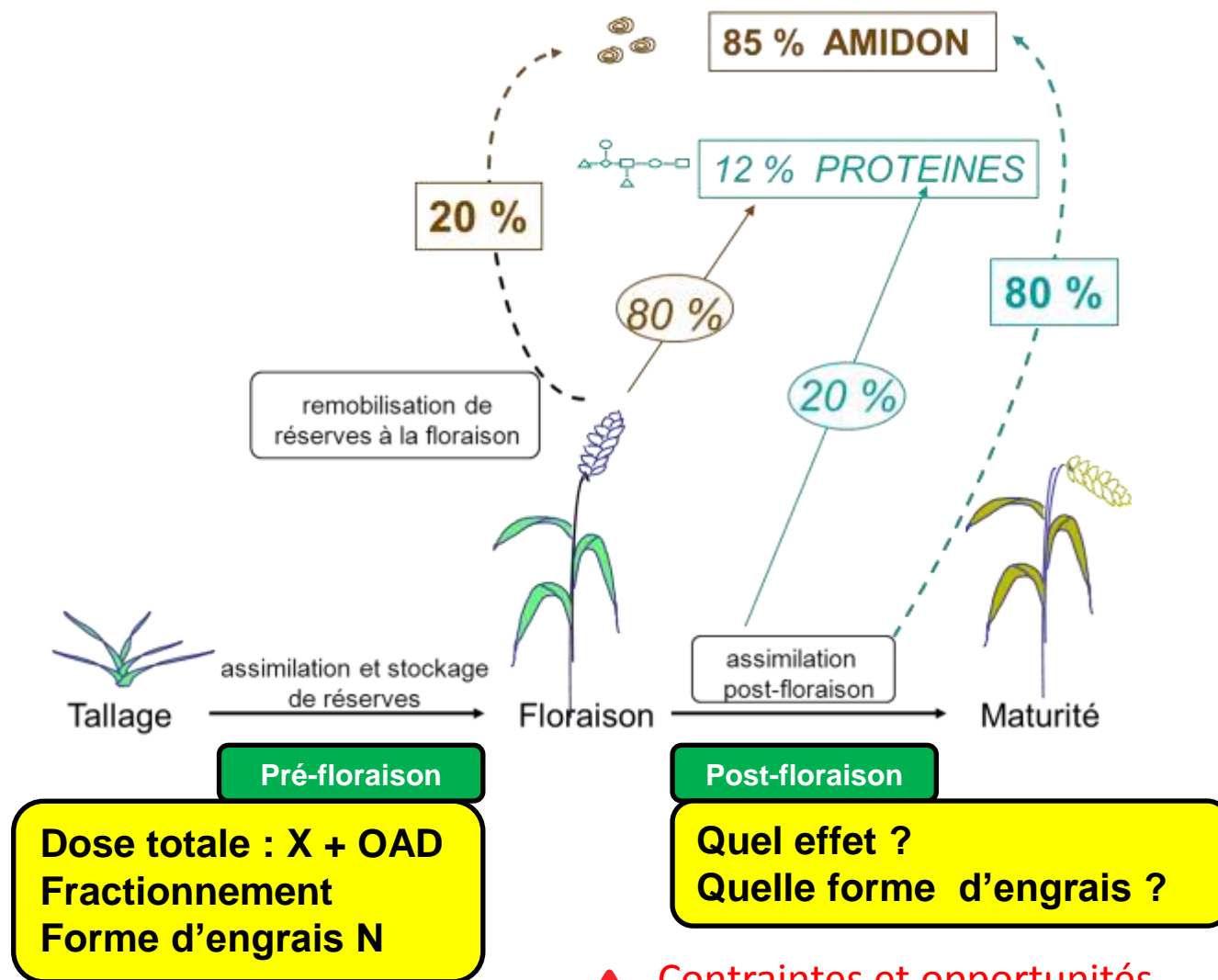
Agir sur la teneur en protéines du grain : les différents facteurs en jeu



● Facteurs développés au cours du colloque



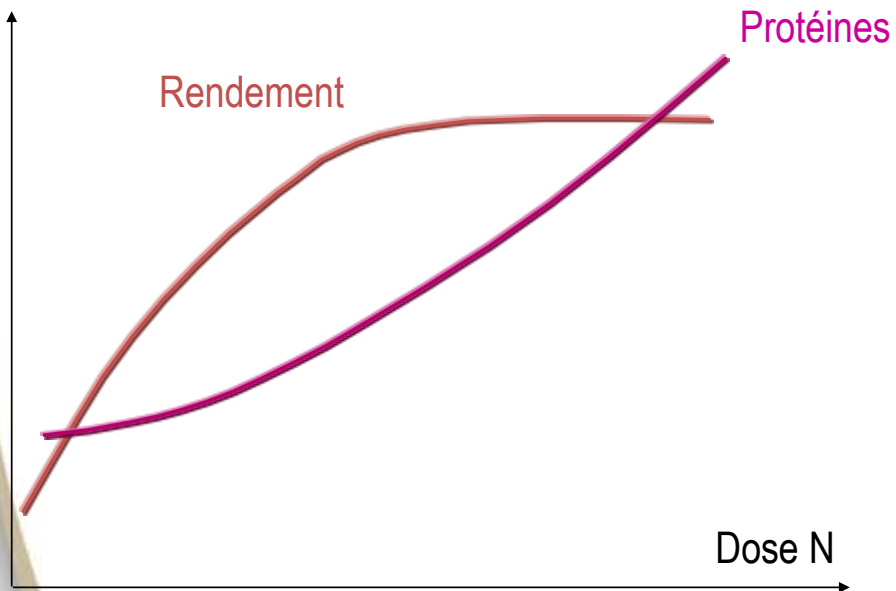
Les leviers « fertilisation N » à disposition



Contraintes et opportunités liées à la réglementation

Effet de la dose totale d'azote

Réponse du rendement et de la teneur en protéines à la dose N (BTH)

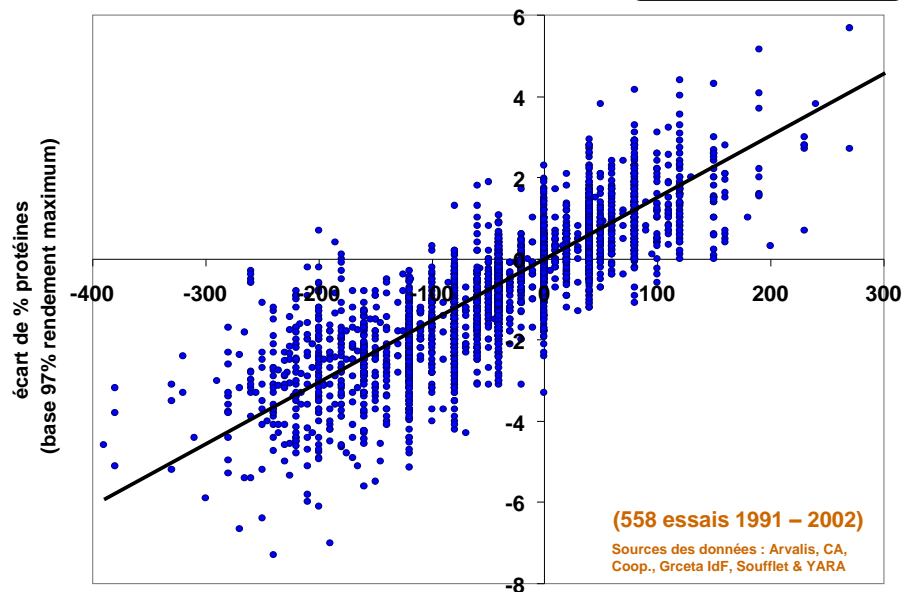


en moyenne :
+ 50kgN/ha → +0.8%protéines

Dose totale d'azote fixée aujourd'hui par le calcul d'une dose prévisionnelle recalée en cours de campagne par un outil de pilotage

Taux de protéines

Blé tendre d'hiver



écart à la dose N procurant 97% du rendement maximum [kg N/ha]



Effet du fractionnement

Essais 1991-2002
(France entière)
Comparaisons à dose totale N
identique

Effet du stade du 3^{ème} apport à 40 kgN/ha

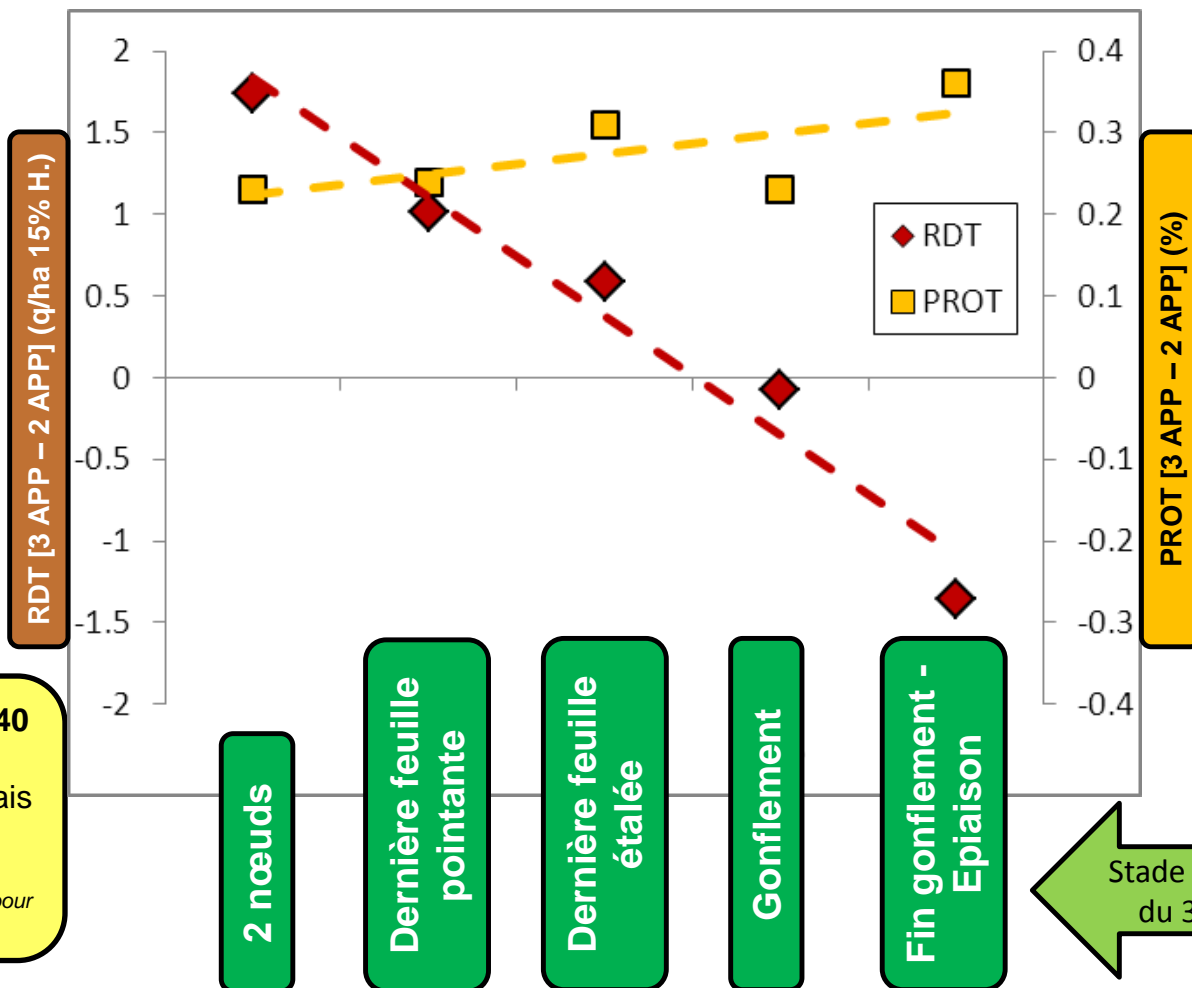
Nb de comparaison par
stade du 3^{ème} apport :

Z32 = 146
Z37 = 206
Z39 = 212
Z45 = 143
Z48-55 = 62

Report de 80 kgN/ha au lieu de 40
kgN/ha ?

+ 0.43 q/ha et + 0.11 %prot⁽¹⁾ mais
forte variabilité des résultats.

(1) Moyennes de 90 comparaisons 1994-2002 pour
un 3^{ème} apport de Z32 à Z45



RDT [3 APP - 2 APP] (q/ha 15% H.)

PROT [3 APP - 2 APP] (%)

Stade d'application
du 3^{ème} apport

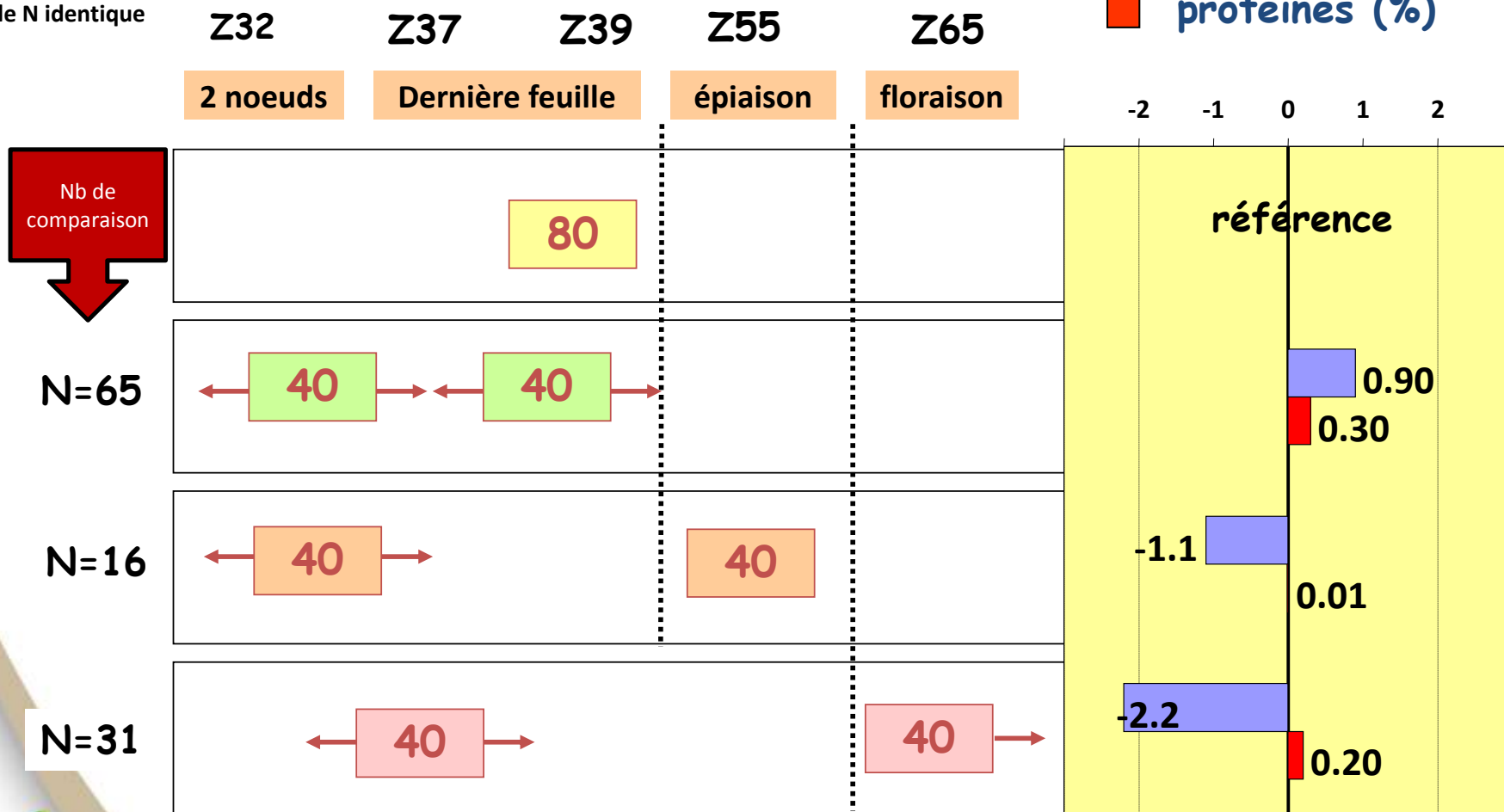


Effet du fractionnement

Essais 2000 à 2002
au voisinage de
l'optimum N
Comparaisons à dose
totale N identique

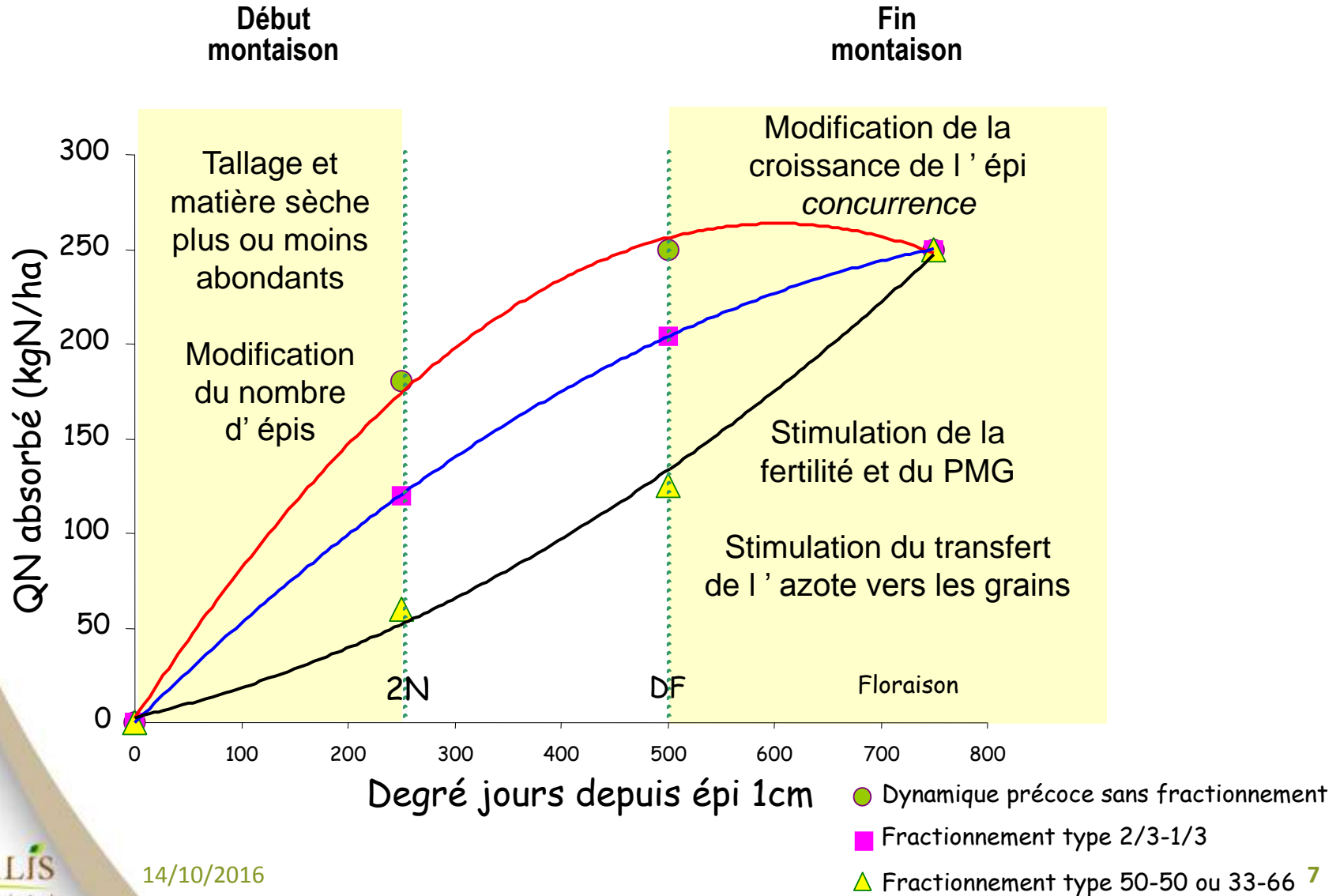
3 ou 4 apports ?

rendement (q/ha)
protéines (%)





Fractionnement de l'azote et notion de trajectoire d'absorption azotée

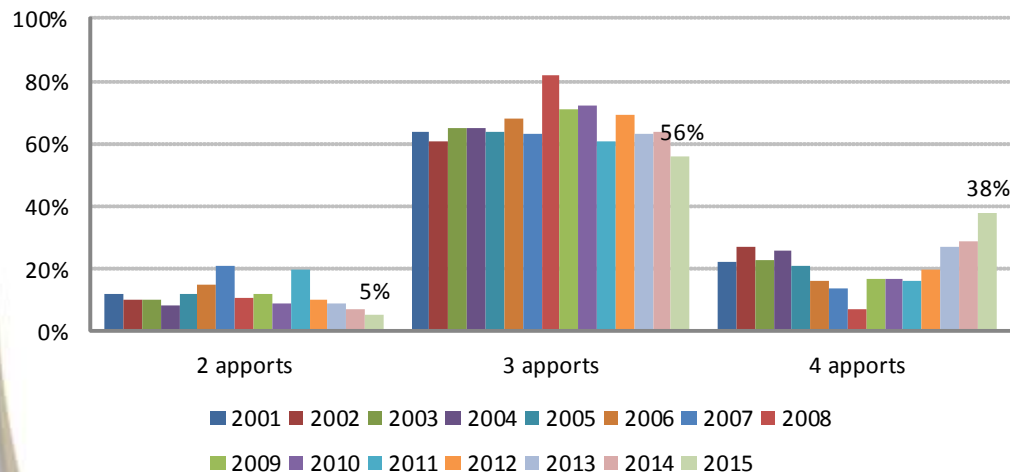


14/10/2016

Le fractionnement : un levier utilisé

Enquête ARVALIS – Nord Loire (1)

Répartition par nombre d'apports

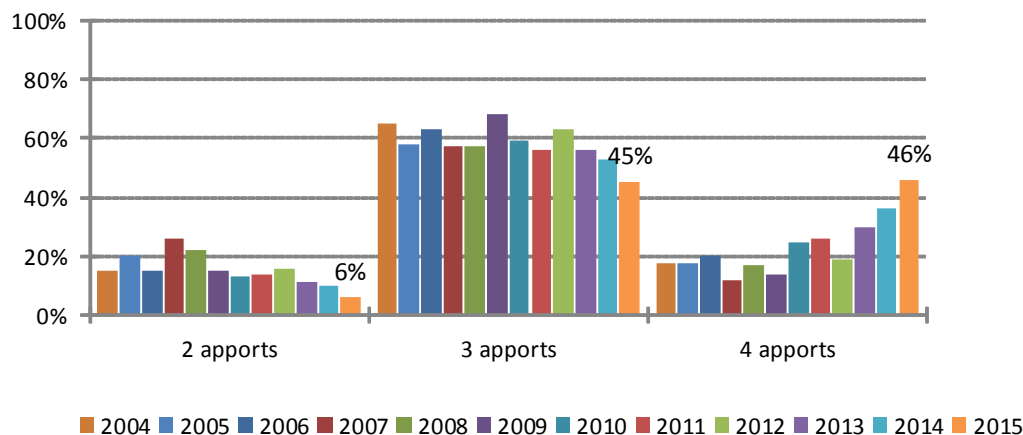


95 % des parcelles de blé tendre avec au moins 3 apports

→ Pratique bien en place sur le terrain

Enquête ARVALIS – Sud Loire (2)

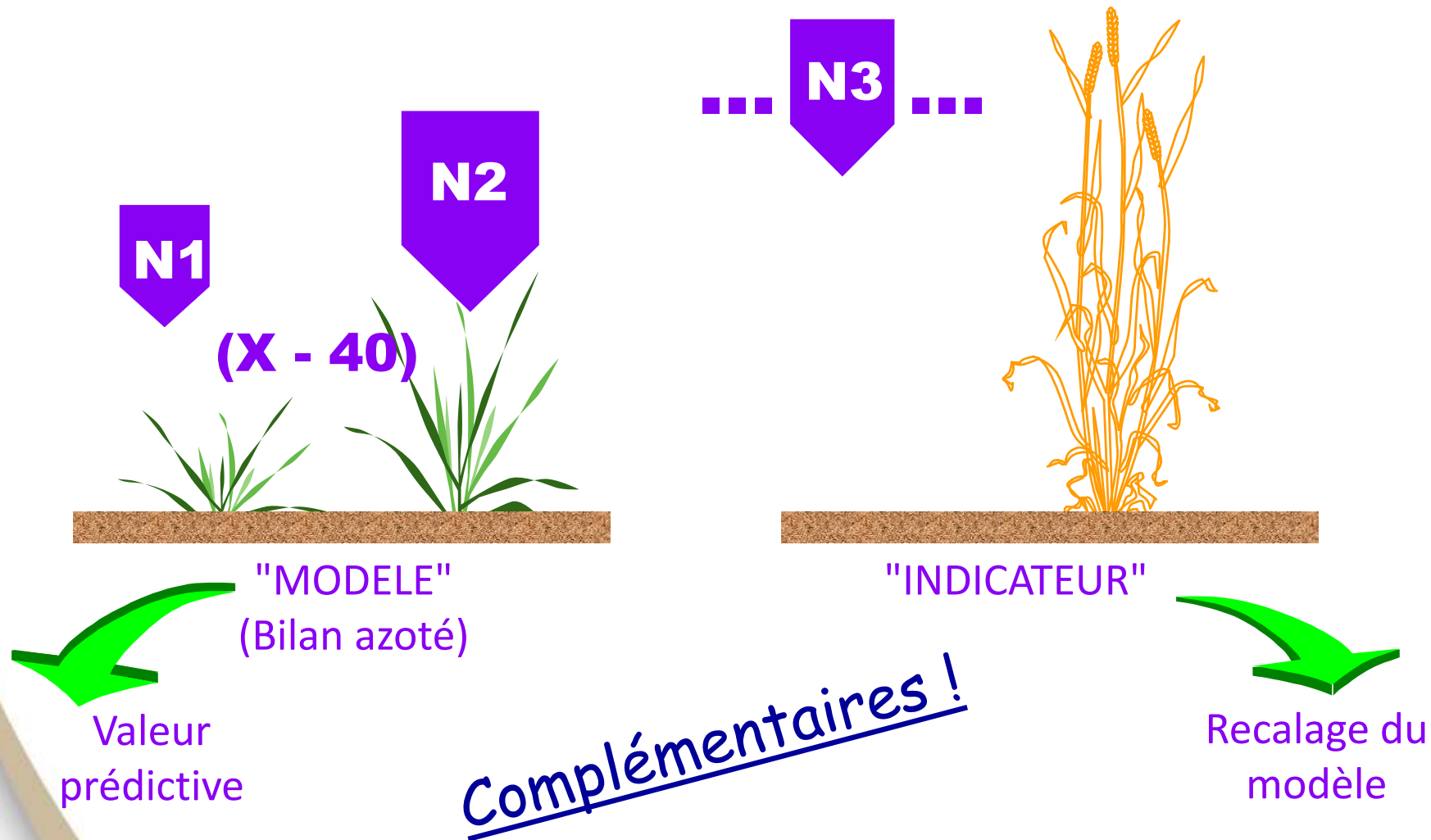
Répartition par nombre d'apports



- (1) 200 agriculteurs enquêtés annuellement depuis 2001
- (2) 200 agriculteurs enquêtés annuellement depuis 2004



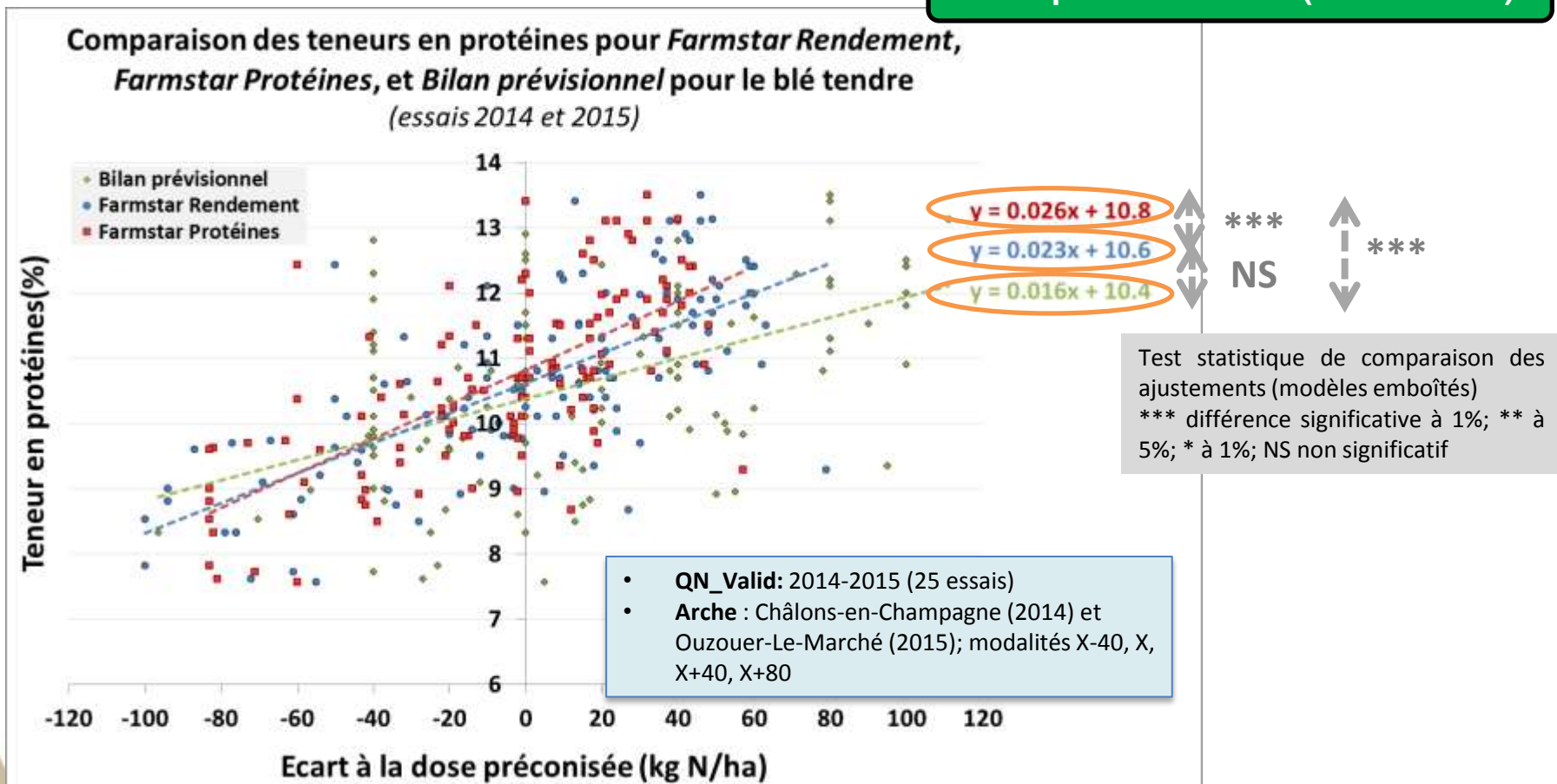
Les outils de pilotage et l'ajustement de la dose montaison



Pour certains outils, règles de décision
« rendement » ou « protéines »

Le pilotage et l'enjeu protéine

Exemple de Farmstar (méthode QN)



- ➔ + 0.2% entre le Bilan prévisionnel seul et Farmstar Rendement (QN)
- + 0.2% entre Farmstar Rendement et Farmstar Protéines (QN et QN + objectif protéines)
- + 0.4% de gain entre le Bilan prévisionnel seul et Farmstar Protéines



Le pilotage et la réglementation

Lien avec la réglementation Directive Nitrates : Ce que disent les textes

Il est recommandé d'ajuster la dose totale prévisionnelle précédemment calculée au cours du cycle de la culture en fonction de l'état de nutrition azotée mesurée par un outil de pilotage.

Tout apport d'azote (réalisé) supérieur à la dose prévisionnelle totale calculée selon les règles énoncées au 1^o doit être dûment justifié par l'utilisation d'un outil de raisonnement dynamique ou de pilotage de la fertilisation, par une quantité d'azote exportée par la culture supérieure au prévisionnel ou, dans le cas d'un accident cultural intervenu postérieurement au calcul de la dose prévisionnelle, par la description détaillée, dans le cahier d'enregistrement, des événements survenus (nature et date notamment).

Source : Arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole / Article III.3

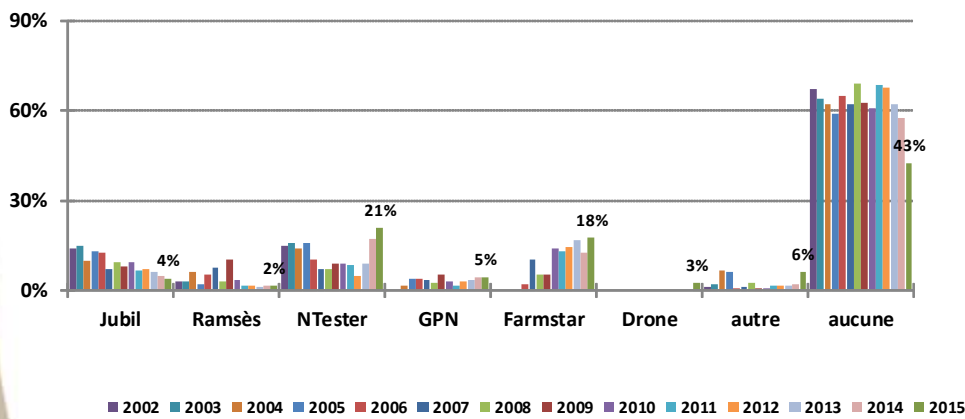
Le recours à un outil de pilotage est recommandé par la réglementation et est un des seuls moyens donnés aux agriculteurs pour ajuster en cours de campagne la dose d'azote aux besoins réels de ses cultures.



Le pilotage : une pratique à promouvoir

Enquête ARVALIS – Nord Loire (1)

Outil de pilotage utilisé en cours de campagne

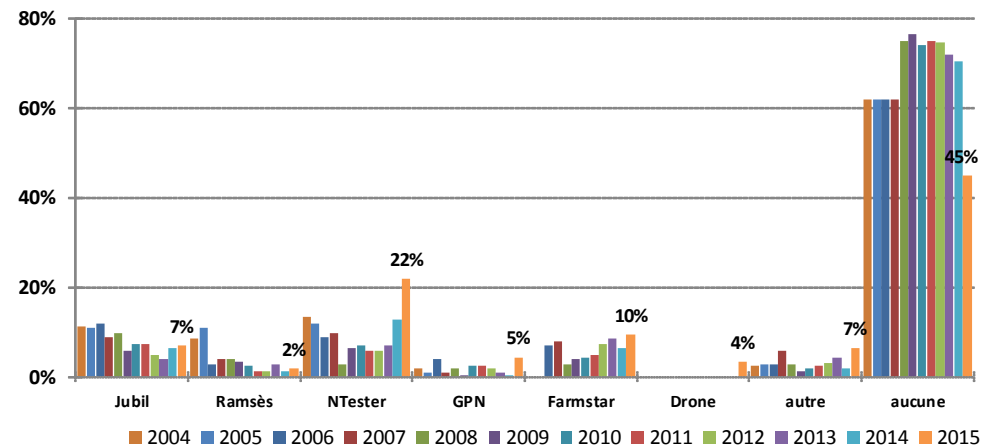


60% des parcelles de blé tendre pilotés

→ Étant donné la gamme d'OAD disponible, des marges de progrès sont possibles.

Enquête ARVALIS – Sud Loire (2)

Outil de pilotage utilisé en cours de campagne

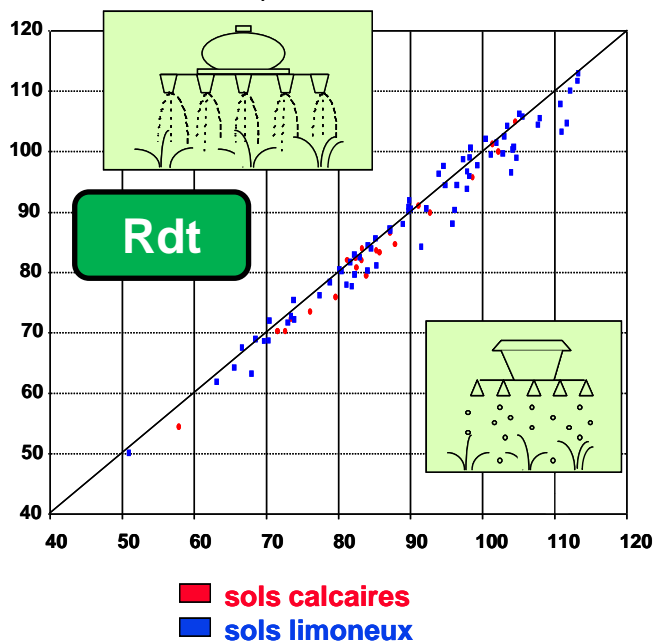


- (1) 200 agriculteurs enquêtés annuellement depuis 2001
- (2) 200 agriculteurs enquêtés annuellement depuis 2004

Effet de la forme d'engrais

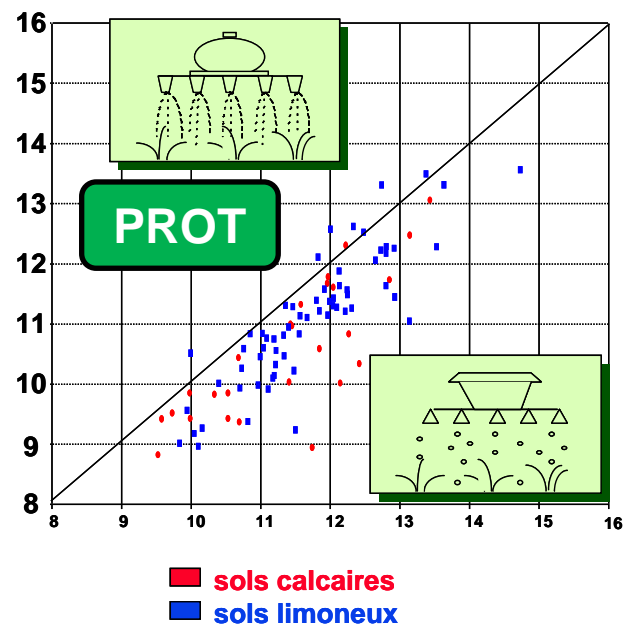
AMMO vs SOL N

Résultats obtenus à la dose optimale d'ammonitrate en comparaison avec la même dose de solution azotée (sur tous les apports)



En moyenne

- Gain avec l'ammonitrate
- + 1.9 q/ha en sols limoneux
- + 3.9 q/ha en sols calcaires

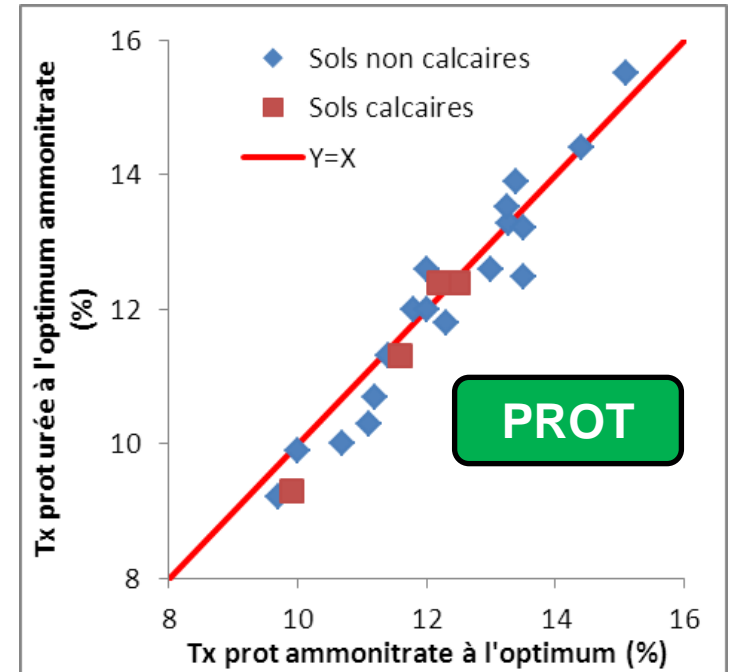
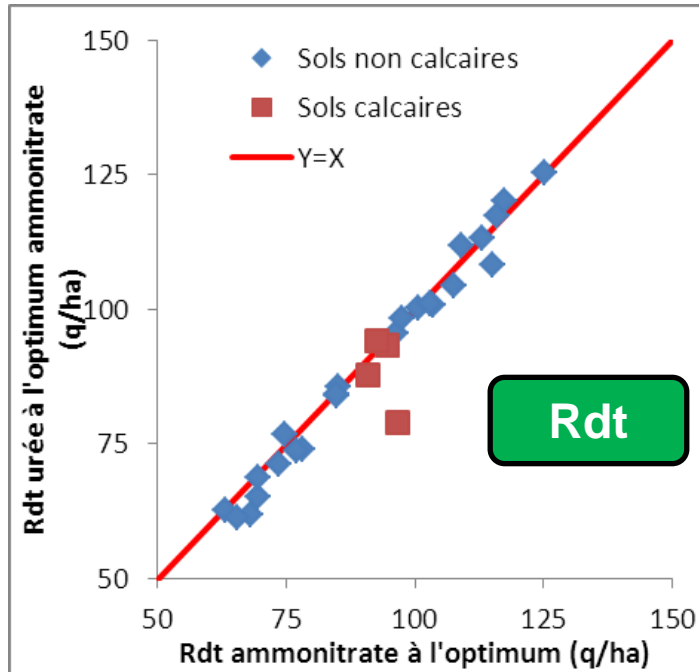


En moyenne

- Gain avec l'ammonitrate
- + 0.6 % en sols limoneux
- + 0.75 % en sols calcaires

Effet de la forme d'engrais

AMMO vs UREE



28 essais 1981-2011
Sur tous les apports
Sols limoneux et calcaires

[UREE]-[AMMO]	Ts types de sol	Sols non calcaires	Sols calcaires
RDT (q/ha)	-1.9***	-1.3***	-5.1
TX PROT (%)	-0.17**	-0.17*	-0.20

Test statistique de Fisher par modèles emboîtés en référence à AMMO :
 différence significative à 1% (***), 5% (**), 10% (*). NS = non significatif.

Effet de la forme d'engrais



AMMO vs UREE vs NEXEN

Même conclusion pour les autres produits Urée+NBPT

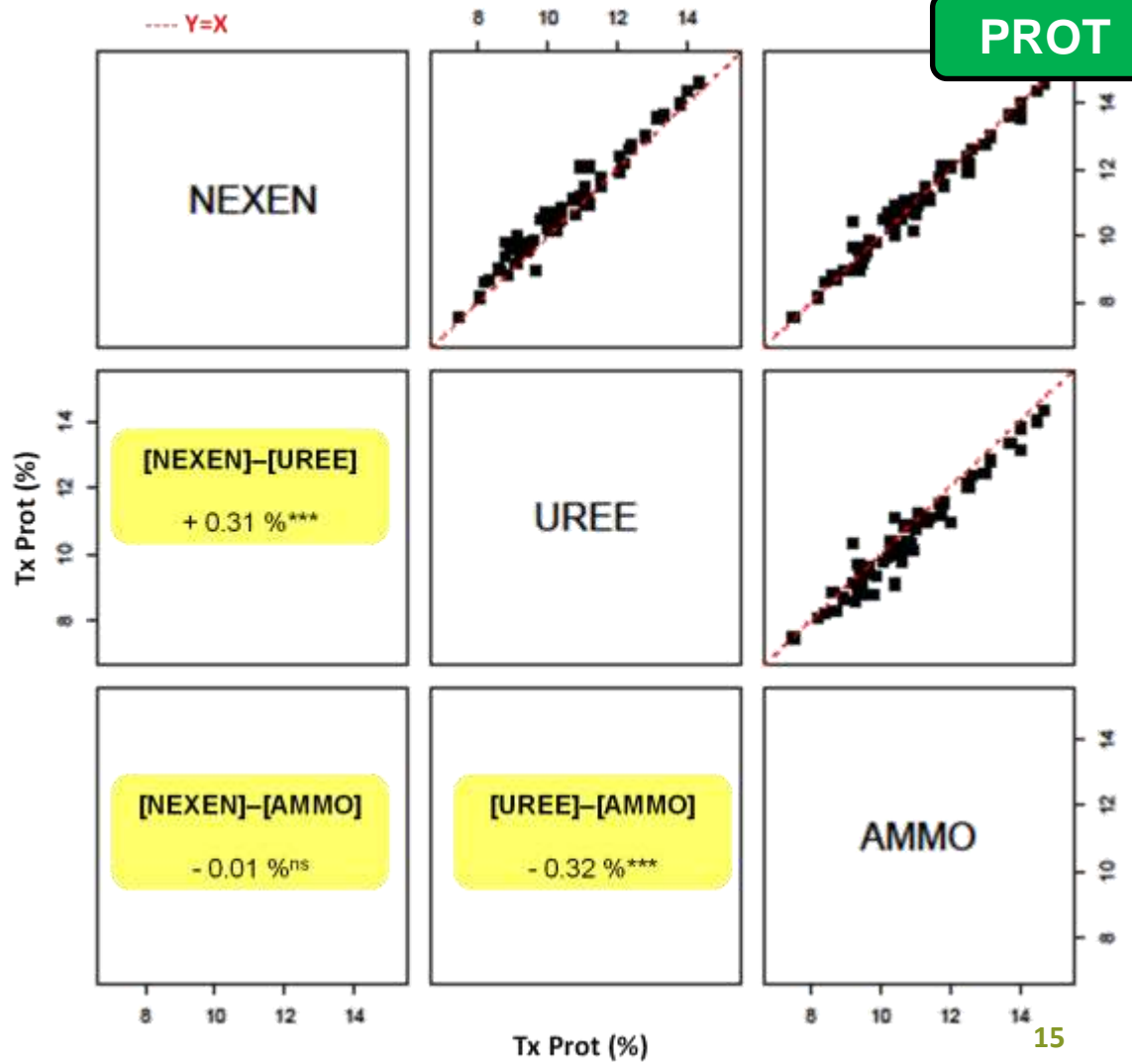
24 essais ARVALIS & partenaires (CA 37, ACOLYANCE, VIVESCIA, SOUFFLET) 2012 à 2015 (02, 10, 31, 37, 45, 51, 55, 56)

- Sols : Craie (10 essais), limon et limons argileux (14 essais)
- Espèces : 4 essais blé dur d'hiver, 20 essais blé tendre d'hiver
- Comparaisons sur tous les apports (56 points)

Test statistique en comparaison avec la référence :

- *** différence significative à 1%
- ** différence significative à 5%
- * différence significative à 10%
- ns : Non Significatif

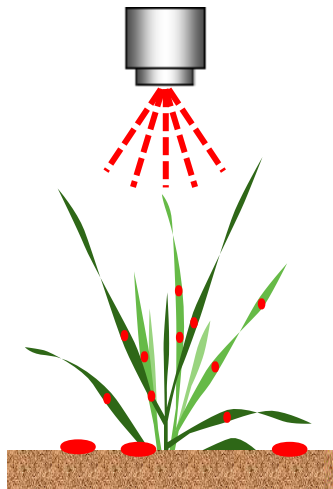
PROT



Effet des engrais foliaires ?

Mécanismes de l'absorption foliaire

Interception



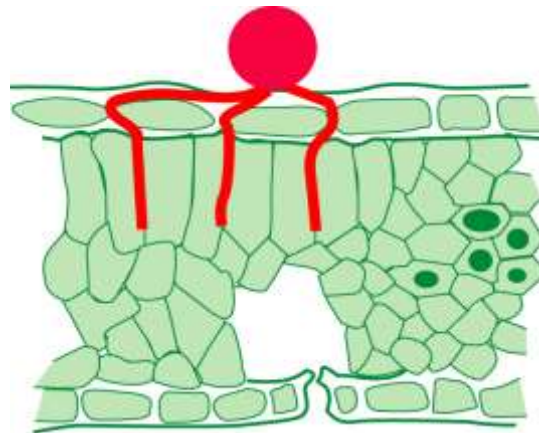
**Dépend du stade
(couverture et biomasse) :**

2N : env. 30 %

Epiaison : 60 à 80 %

Gooding, 2005

Absorption



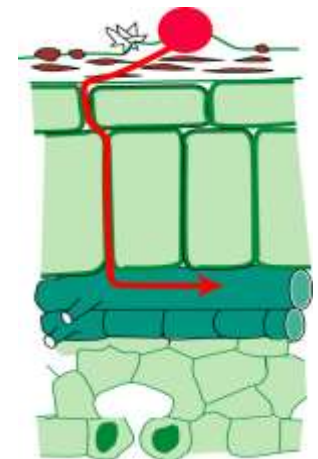
Traversée de la cuticule :

N : 30 à 70 %

Importance de l'hygrométrie

Genter, 1998

Translocation



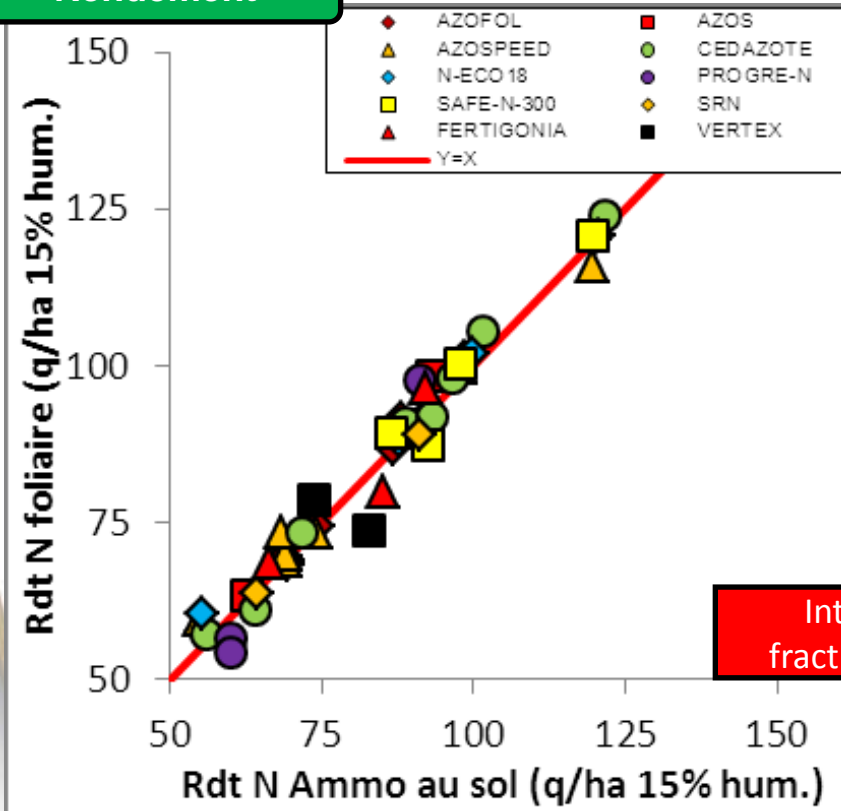
Effet forme de l'azote :

Urée > NH₄ > NO₃

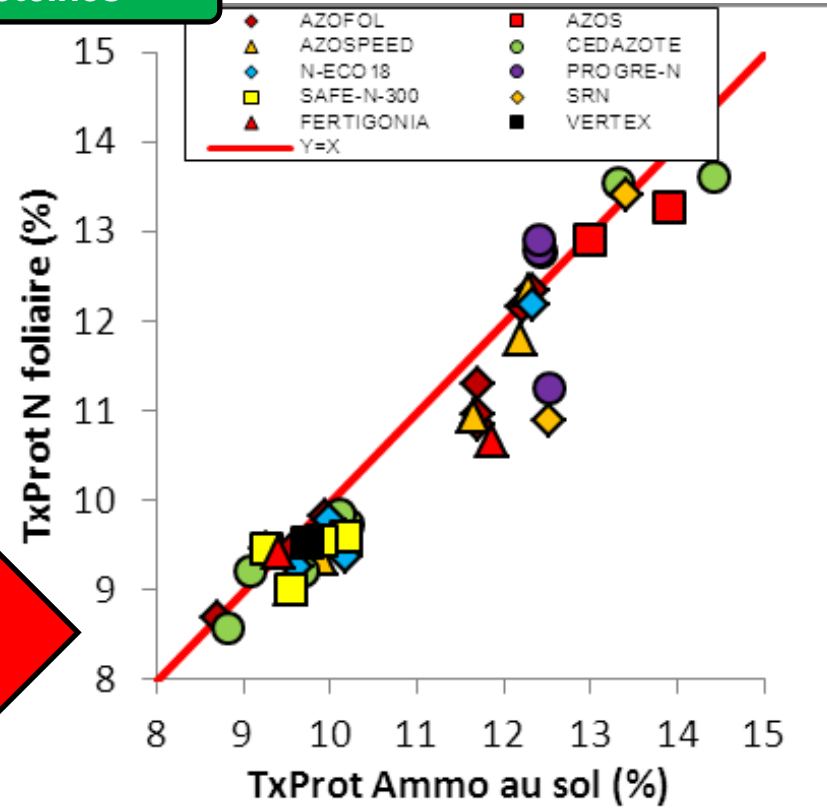
Tan, 1999

Effet des engrais foliaires ?

Rendement



Protéines



Interaction fractionnement

13 essais 2001-2014

Comparaisons (à dose totale N identique) d'un apport foliaire (dose précocifirme) et d'un apport au sol sous forme ammonitrate en fin de montaison (40 kgN/ha)

/AMMO

Rdt (q/ha)

Tx Prot (%)

0.5^{NS}

-0.4^{***}

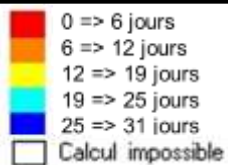
Test statistique en comparaison avec la référence AMMO
différence significative à 1% (***), NS Différence non significative

Rappel :

Si le manque de pluie pénalise l'absorption des engrais au sol, il pénalise aussi souvent l'absorption foliaire (stress hydrique, faible hygrométrie...)

Les conditions d'application

Nombre de jours suivis par au moins 15 mm de pluie dans les 15 jours suivants



Avril

Mai

Juin

Décile 2



Médiane



Décile 8



Fréquentielles sur 20 ans (1991-2010). 422 postes météo (METEO-France, SRPV, CETIOM, INRA, ARVALIS). Méthode d'interpolation : inverse de la distance (puissance 2, 5 voisins). SIG CARTAM V2 (Arvalis/ESRI).

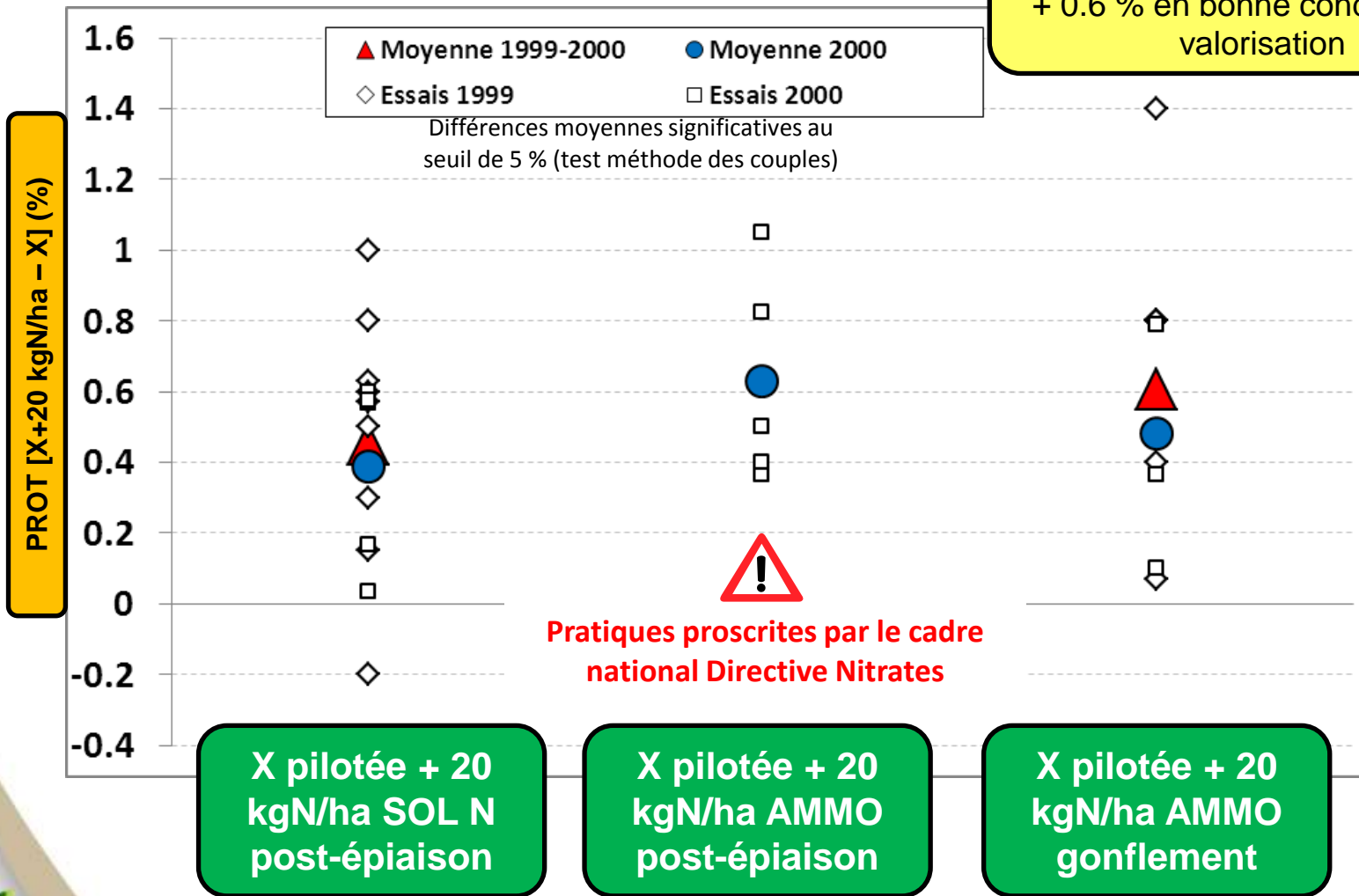


Les apports tardifs

14 essais 1999-2000

Bonnes conditions de valorisation dans la plupart des cas

Peu ou pas d'effet rendement
Effet taux de protéines : jusqu'à + 0.6 % en bonne conditions de valorisation



Effet des biostimulants ?

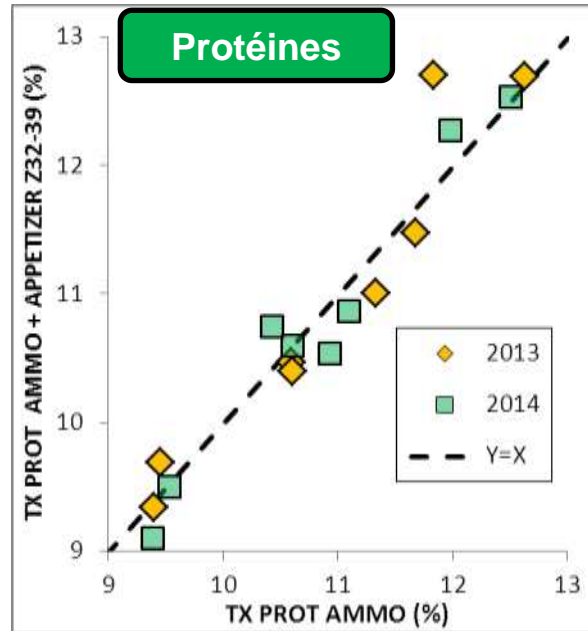
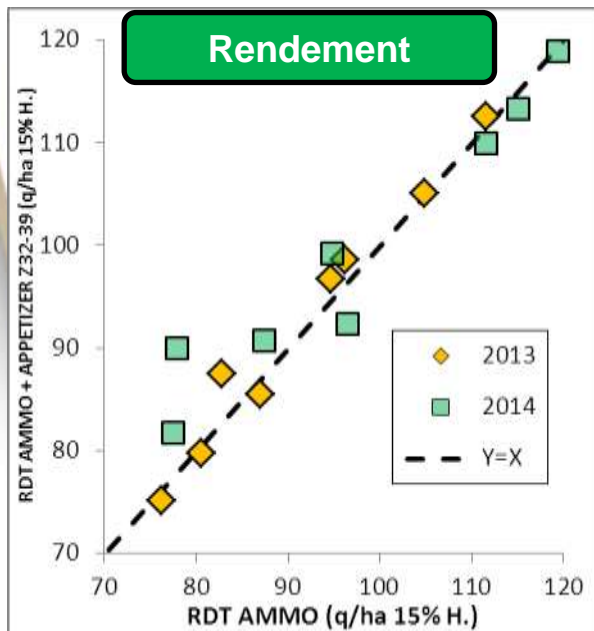
Peu ou pas d'éléments minéraux apportés

Action du principe actif sur des processus liés au métabolisme carboné et azoté

2 types de proposition technologique :

- Ajout à l'apport N classique montaison (exemples : APPETIZER de GOEMAR, gamme FERTILEADER de TIMAC AGRO...)
- Apport solo tardif (exemples : MEGAFOL PROTEIN de VALAGRO,...)

Produits en cours d'évaluation depuis 2013-2014, mais rien de probant pour le moment



Exemple APPETIZER
2 x 0.5 L/ha (Z32 et Z39)

Comp/AMMO	APPETIZER
Rdt (q/ha)	1.4 ^{ns}
Tx Prot (%)	0.0 ^{ns}
Qngrain (kgN/ha)	3 ^{ns}

Test statistique en comparaison avec la référence AMMO
 *** différence significative à 1%;
 ** différence significative à 5%
 * différence significative à 10%;
 ns : Non Significatif

8 essais ARVALIS 2013 et 2014 (41, 45, 51, 55, 56)

- Sols : Craie (2 essais), limon et limons argileux (6 essais)
- Espèces : 2 essais blé dur d'hiver, 6 essais blé tendre d'hiver
- 16 points de comparaison

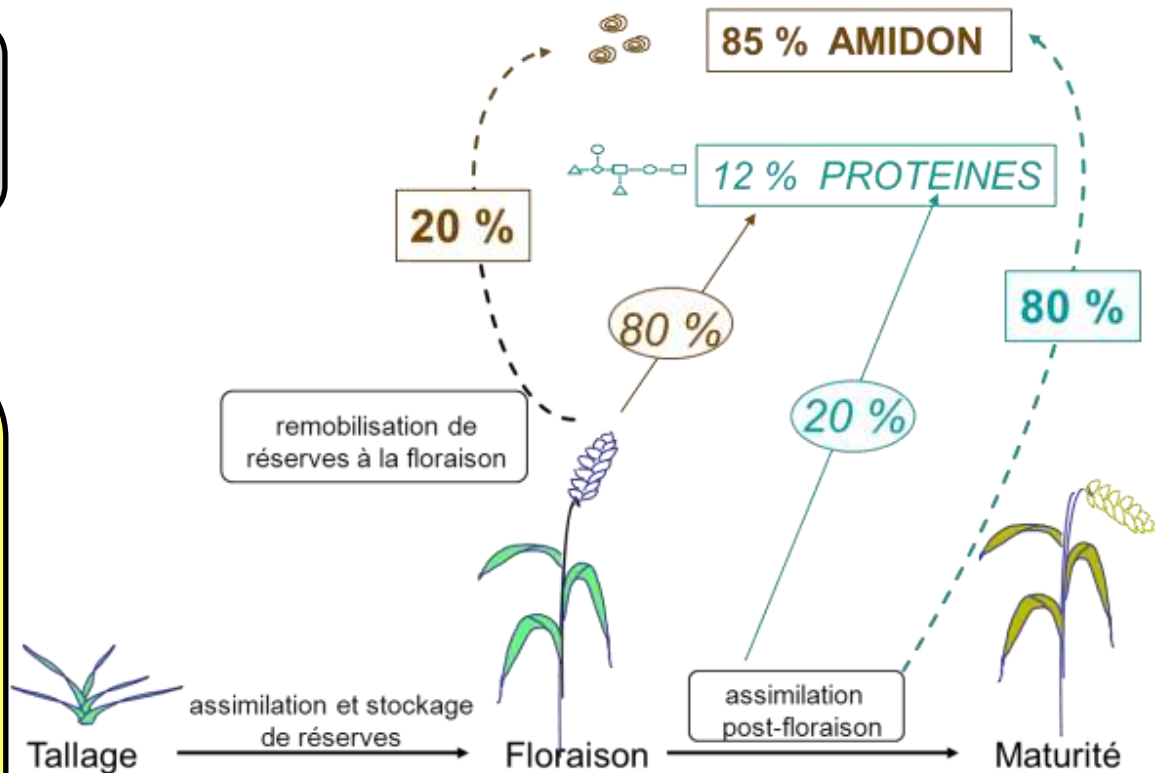


Autres éléments de l'itinéraire cultural

- Alimentation en eau
- Protection phytosanitaire
- (P,K,S)

Pré-floraison

Tout facteur de production pénalisant l'absorption N, et donc la quantité N remobilisable, est potentiellement préjudiciable à la teneur en protéines mais l'interaction avec la perte de rendement et l'effet concentration est complexe.



Post-floraison

Tout facteur de production pénalisant l'assimilation du carbone est potentiellement favorable à la teneur en protéines par effet concentration dans le grain. Mais, l'impact rendement est important...

Effet de la fertilisation S ?

2 essais 2007-2008

Des teneurs en protéines en baisse de 0,2 à 0,3 point avec un apport de soufre

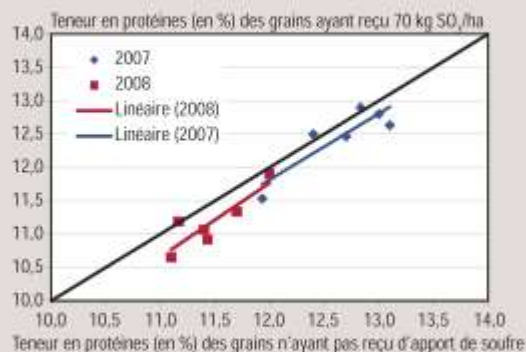


Figure 1 : Effet d'un apport de soufre sur les teneurs en protéines de six variétés en 2007 et 2008.

Quand l'apport de soufre n'a pas d'effet sur le rendement, il n'a pas d'impact sur la teneur en protéines du grain (même en cas d'apports tardifs).

Quand l'apport de soufre a un effet sur le rendement, l'impact peut être négatif sur la teneur en protéines par effet dilution en raison de la levée d'un facteur limitant sur le rendement.

5 essais 2000-2001

Site	Variété	Ecart de rendement (soufre — témoin) q/ha	Ecart de teneur en protéines (soufre - témoin) %
Miséricieux (01)	Aztec	2,1	0,3
Siffilaine en Woivre (55)	Shango	-1,4	0,1
Bergeroc (24)	Galibier	6,2	0
Labergement (21)	Isengrain	4,5	-0,4
Satolas (69)	Aztec	4,6	-0,5

Conclusion :

Selon les références expérimentales acquises, les apports de soufre ne peuvent être considérés comme un levier pour agir sur la teneur en protéines du grain.

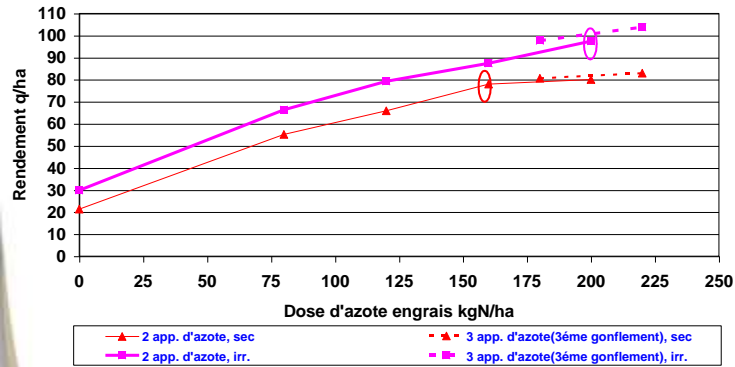


Effet de l'irrigation ?

Exemple sécheresse modérée fin montaison et forte pendant le remplissage

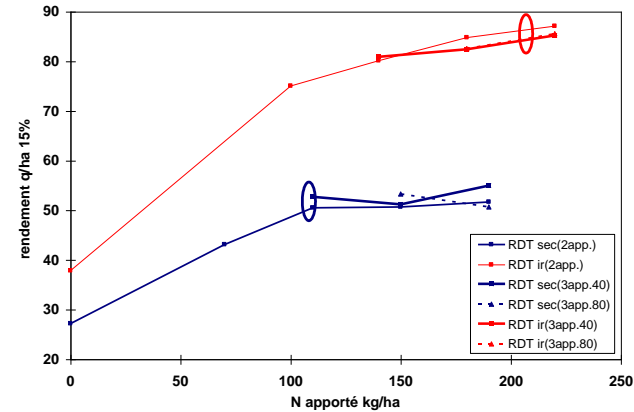
Reponse du rendement à la fertilisation azotée en sec et irrigué

Essai ITCF de Bois-Joly(17) :1996



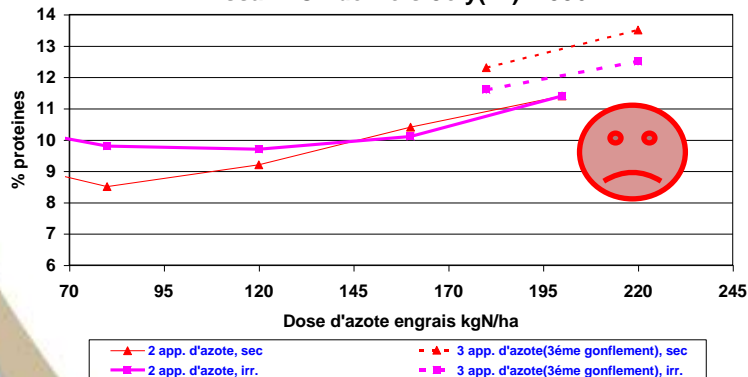
Exemple forte sécheresse pendant la montaison

REPONSE AZOTE SEC IRRIGUE soissons St Pierre d'Amilly1997



Reponse de la teneur en proteines à la fertilisation azotée en sec et irrigué

Essai ITCF de Bois-Joly(17) :1996



REPONSE AZOTE SEC IRRIGUE soissons St Pierre d'Amilly1997

