



HAL
open science

Génétique du blé, valorisation de l'azote et sélection à bas intrants

Jacques Le Gouis

► **To cite this version:**

Jacques Le Gouis. Génétique du blé, valorisation de l'azote et sélection à bas intrants. Vision de la création variétale - Colloque en hommage à Michel Desprez, Associations des Sélectionneurs Français; Académie d'Agriculture de France, Nov 2021, Paris (Académie d'Agriculture), France. hal-04181818

HAL Id: hal-04181818

<https://hal.inrae.fr/hal-04181818v1>

Submitted on 16 Aug 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vision de la création variétale

Colloque en hommage à Michel Desprez

Mardi 23 novembre 2021

Académie d'Agriculture de France, 18 rue de Bellechasse 75007 Paris



Génétique du blé, valorisation de l'azote et sélection à bas intrants

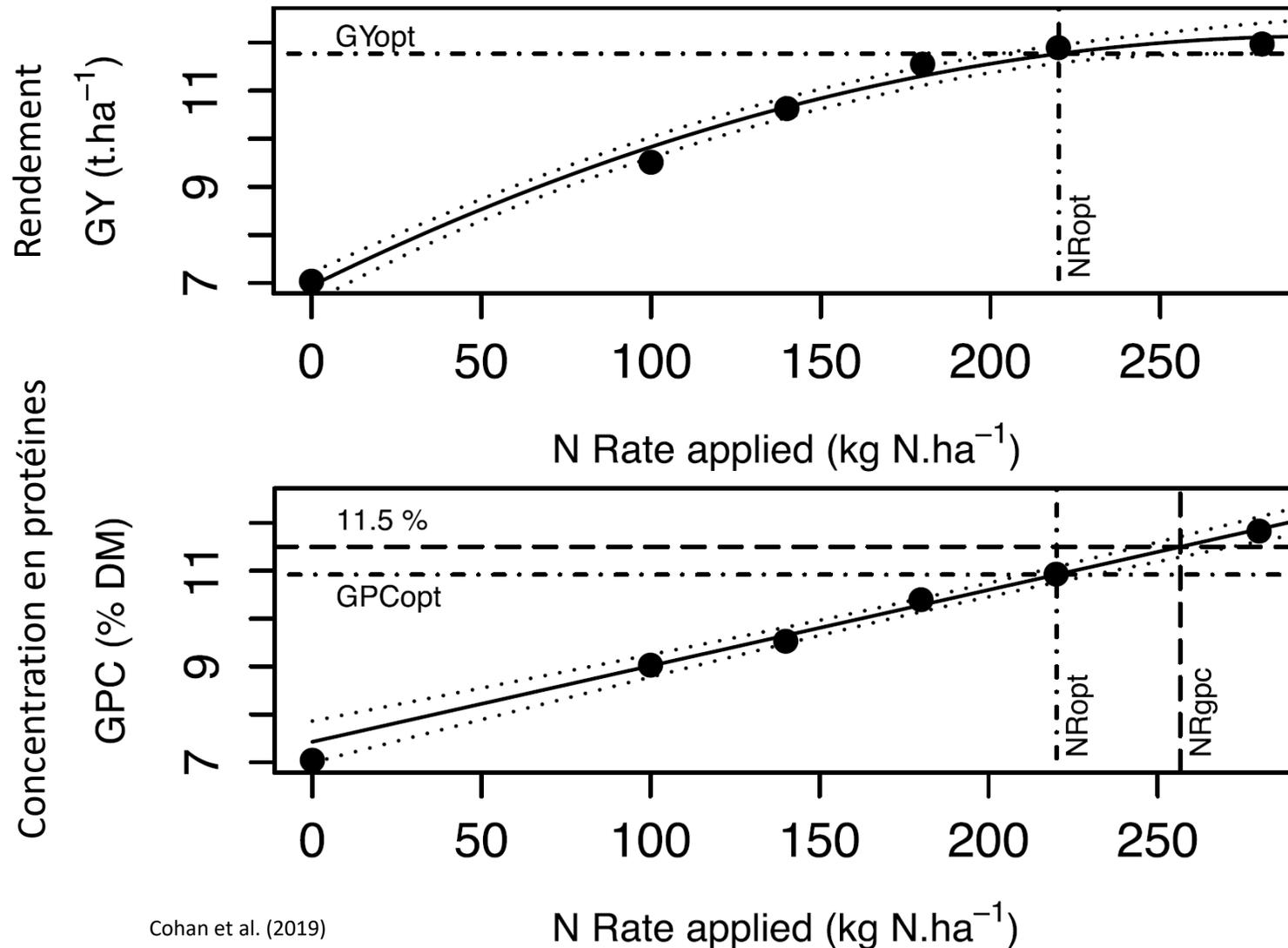
Jacques Le Gouis

UMR INRAE-Université Clermont-Auvergne

Génétique, Diversité et Ecophysiologie des Céréales, Clermont-Ferrand



Valorisation de l'azote



Cohan et al. (2019)

N Rate applied (kg N.ha⁻¹)

Enquête pratiques culturales en grandes cultures 2017

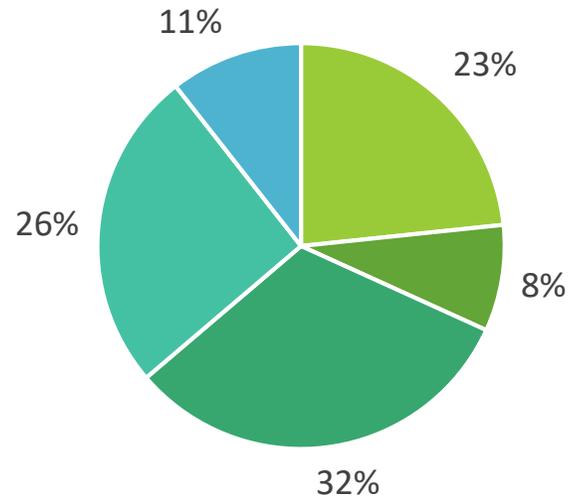
- 98 % de la surface de blé tendre a bénéficié d'un apport d'azote minéral
- la quantité moyenne d'azote minéral apportée est de 164,1 kg/ha
- la quantité moyenne d'azote organique apportée est de 9,5 kg/ha
- 77% de la surface a bénéficié d'une méthode de calcul de bilan azoté
- 2-3 dates d'apport

Agreste (2020)



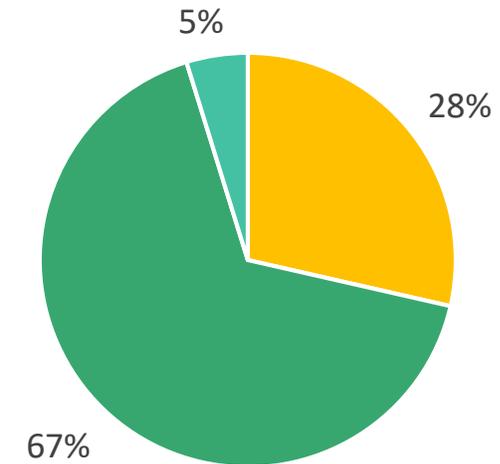
Les intrants et leurs coûts

Charges opérationnelles Blé tendre (7.9 t/ha)



- Entretien – Réparation – Carburant
- Travaux par tiers
- Fertilisation, amendements
- Protections phytosanitaires
- Semences

Coûts énergétiques Blé tendre (9.5 t/ha)



- Carburant
- Fertilisation, amendements
- Protections phytosanitaires

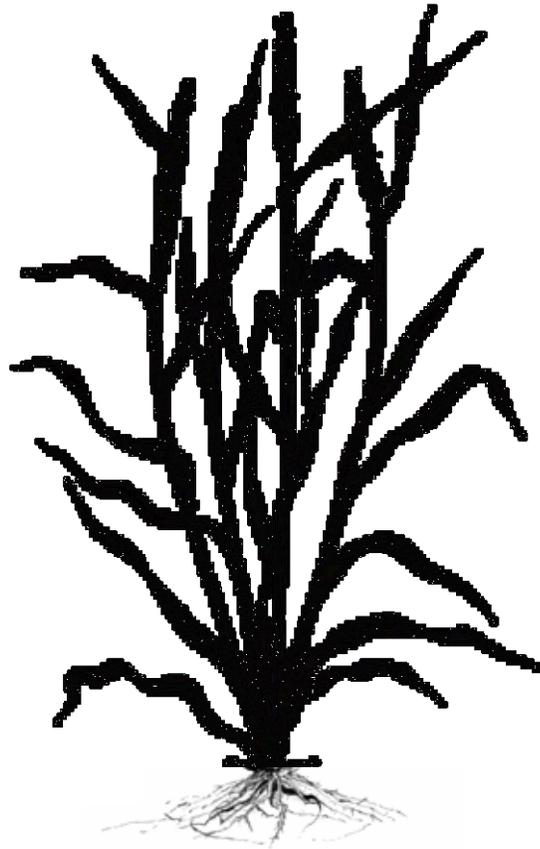
Loyce et al. (2012) CM2

Emissions de GES par l'agriculture : fabrication des engrais azotés représente **46 %** des émissions liées à la fabrication des intrants

Source : Observatoire Arvalis / Unigrains (données CerFrance) 2011-2013



Calcul d'efficacités d'utilisation



Rendement en grain
(rendement en protéines)

Azote absorbé par la plante
(parties aériennes et
racinaires)

Azote disponible pour la
plante
(sol + apport)

Efficacité d'utilisation de l'azote

- Rendement / azote disponible

-> Efficacité de conversion de l'azote

- Rendement / azote absorbé

-> Efficacité d'absorption de l'azote

- Azote absorbé / azote disponible

Moll et al. (1982)



Valeurs indicatives

Valeurs moyennes

	Rdt _{MS} t ha ⁻¹	Prot %	NHI %	N sol kg ha ⁻¹	N fert. kg ha ⁻¹
Fra	5.93	11.9	75	80	165
UK	6.70	11.0	75	80	187
Chine	5.80				325

NHI = indice de récolte de l'azote = azote grain / azote plante

Fra : moyenne 2004-2008

UK : Sylvester-Bradley et Kindred (2009)

Chine : Meng et al. (2016)

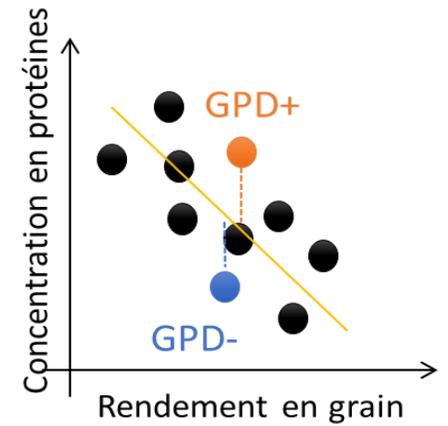
Efficacités	Fra	UK	Chine
Utilisation Rdt kg Rdt kg ⁻¹ N disp.	24	25	~12
Utilisation Prot kg Prot kg ⁻¹ N disp.	4.3	4.3	
Conversion kg Rdt kg ⁻¹ N abs.	36	39	
Absorption %	67	65	~30



Présentation

1 – Concentration en protéines du grain

- Déviation à la régression négative rendement – concentration en protéines
- Gènes candidats



2 – Tolérance à la carence en azote

- Évaluation à l'inscription
- Progrès génétique

3 – Evolutions futures

- Méthodes de phénotypage
- NUE et changement climatique



La corrélation négative rendement – concentration en protéines

Connue depuis longtemps

(Grant and McCalla 1949)

Existe pour toutes les graminées

(Simmonds 1995)

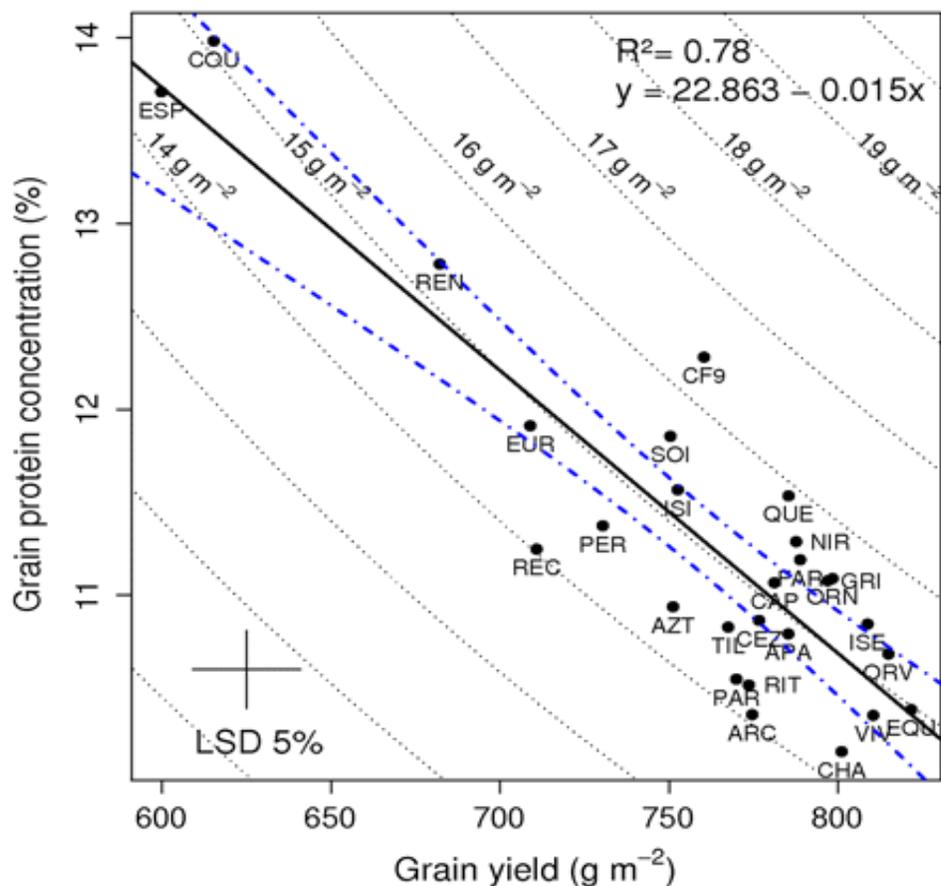
Mais aussi d'autres espèces et composants

Ex colza ou tournesol (Triboï et Triboï-Blondel 2002)

Pour le blé tendre

- $R^2 \sim 0.5$: 50% de la variabilité de la concentration en protéines expliqués par le rendement

- **pente ~ 0.1** : progrès génétique de 1 t/ha se traduit par une baisse de 1 point de protéines



Bogard et al. (2010)

Oury et Godin (2007)



La notion de GPD

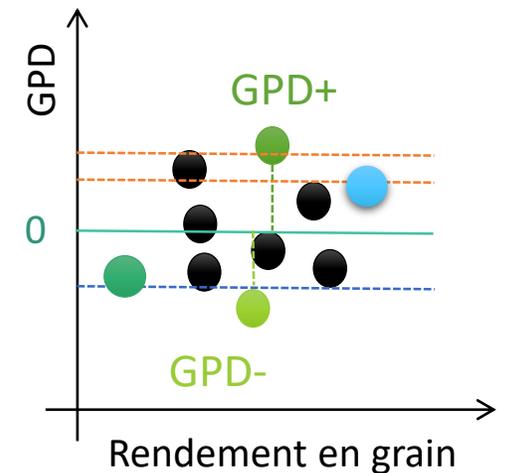
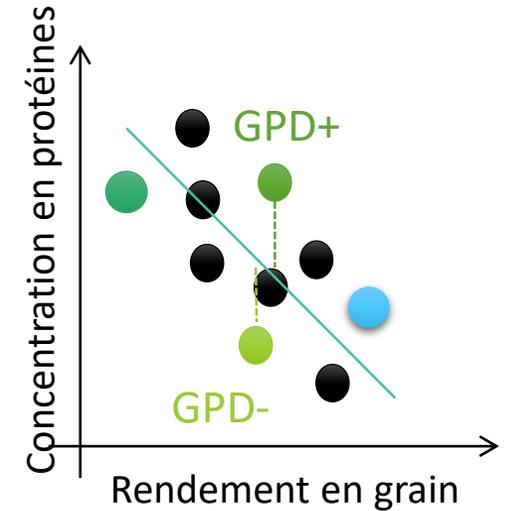
GPD: « **Grain protein deviation** »
(Monaghan et al. 2001)

GPD = **dévi**ation par rapport à la droite de régression (positive ou négative)

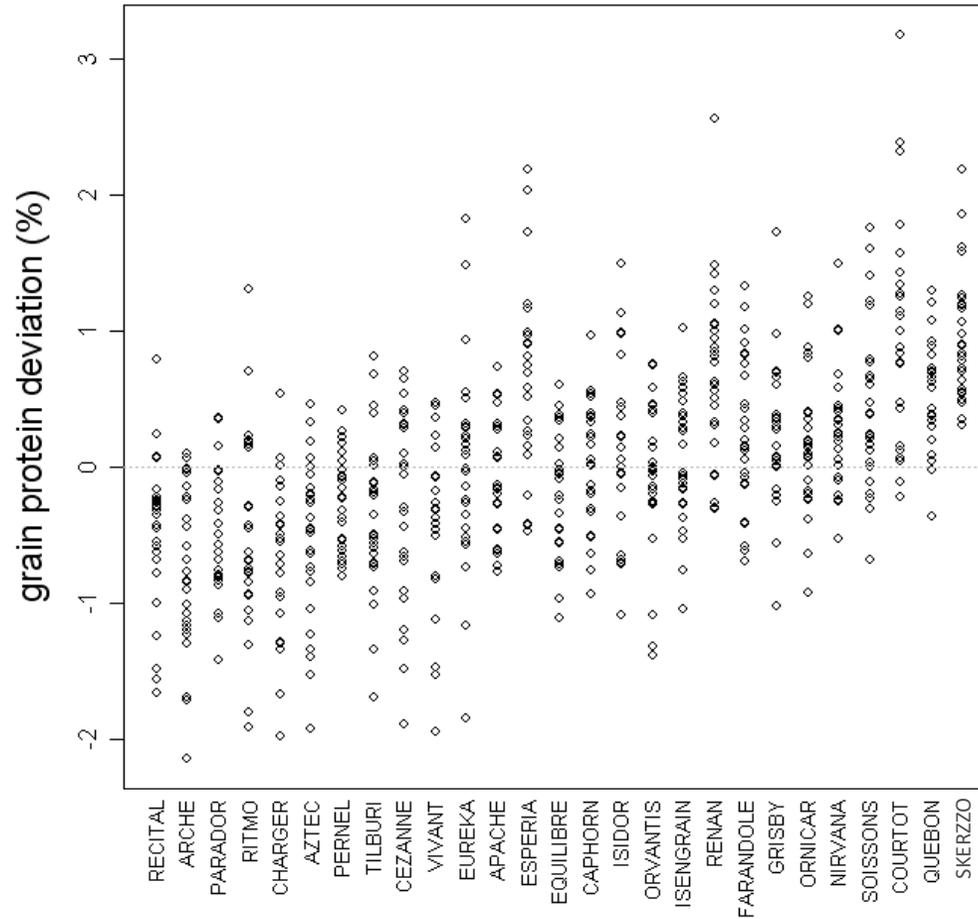
Estimation demande des essais multilocaux et pluriannuels (5 lieux × 2 années)
(Oury et Godin 2007)

GPD > **~+0.6** → **bonus à l'inscription** (depuis 2007)

GPD < **~-0.6** → **malus à l'inscription** (depuis 2019)



Variabilité génétique pour le GPD



Extrêmes GPD- ou GPD+ stables

Recital / Arche : GPD-
Skerzzo / Quebon : GPD+

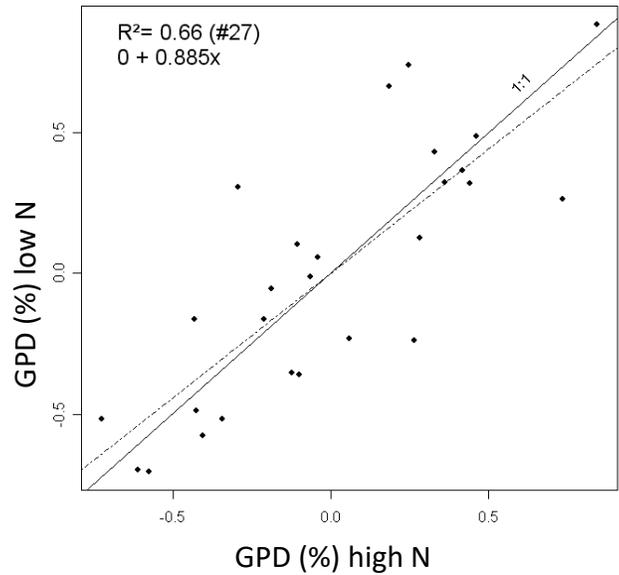
Gamme de variation

Max : -2% à +2%
En moyenne : -1% à +1%

(GPD estimés dans 27 combinaisons lieu x année,
FSOV Azote, INRA-Arvalis-CETAC)

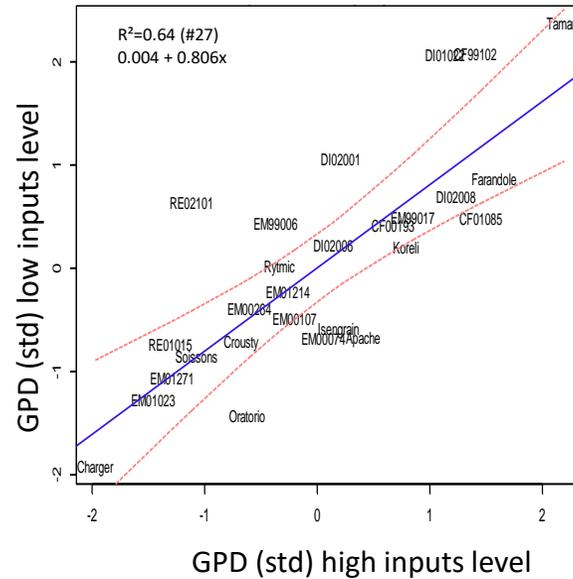


Stabilité du GPD entre systèmes de production



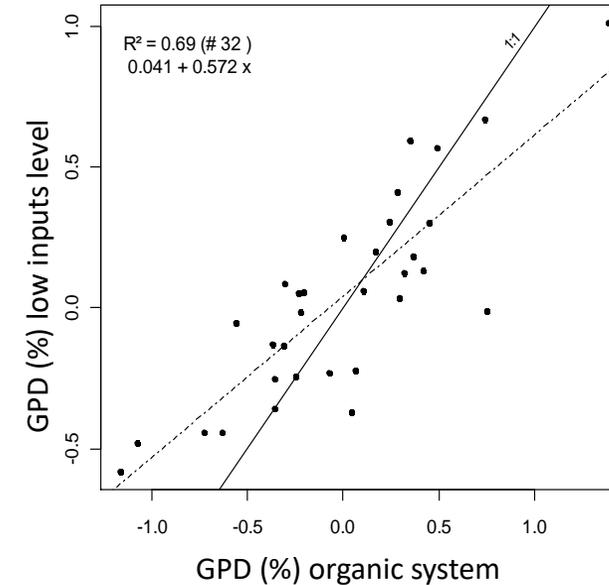
Effet fertilisation azotée

(Bogard et al. 2010)



Effet techniques culturales

(Oury et al., non publié)



Effet systèmes de culture

(Rolland et al., non publié)



Un gène candidat majeur

Clonage du gène NAM-B1 chez le blé dur

(Uauy et al. 2006)

- **Accélère la sénescence, augmente la teneur en protéines**
- Meilleure efficacité de remobilisation (N, Zn, Fe) (Waters et al. 2009)

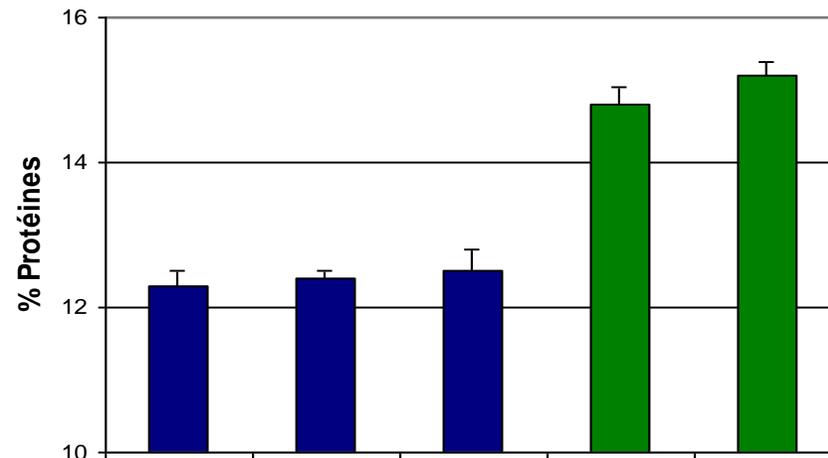
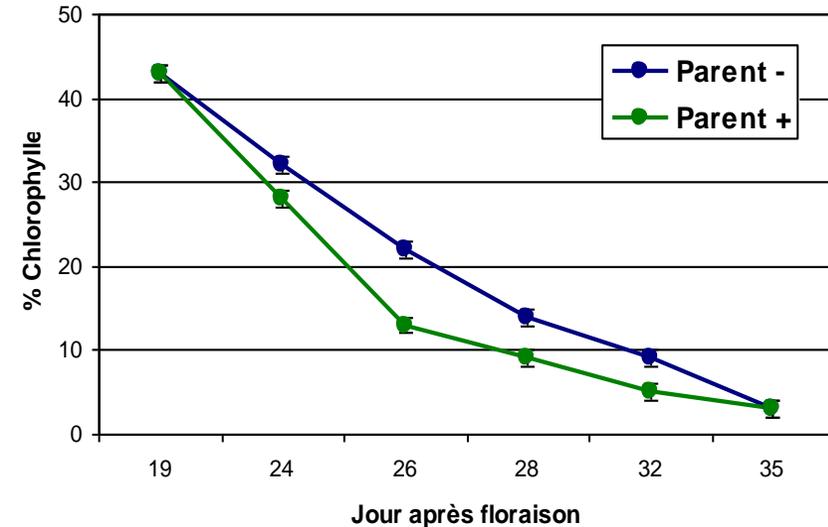
Allèle favorable présent chez le blé tendre

(Asplund et al. 2010, Hagenblad et al. 2012)

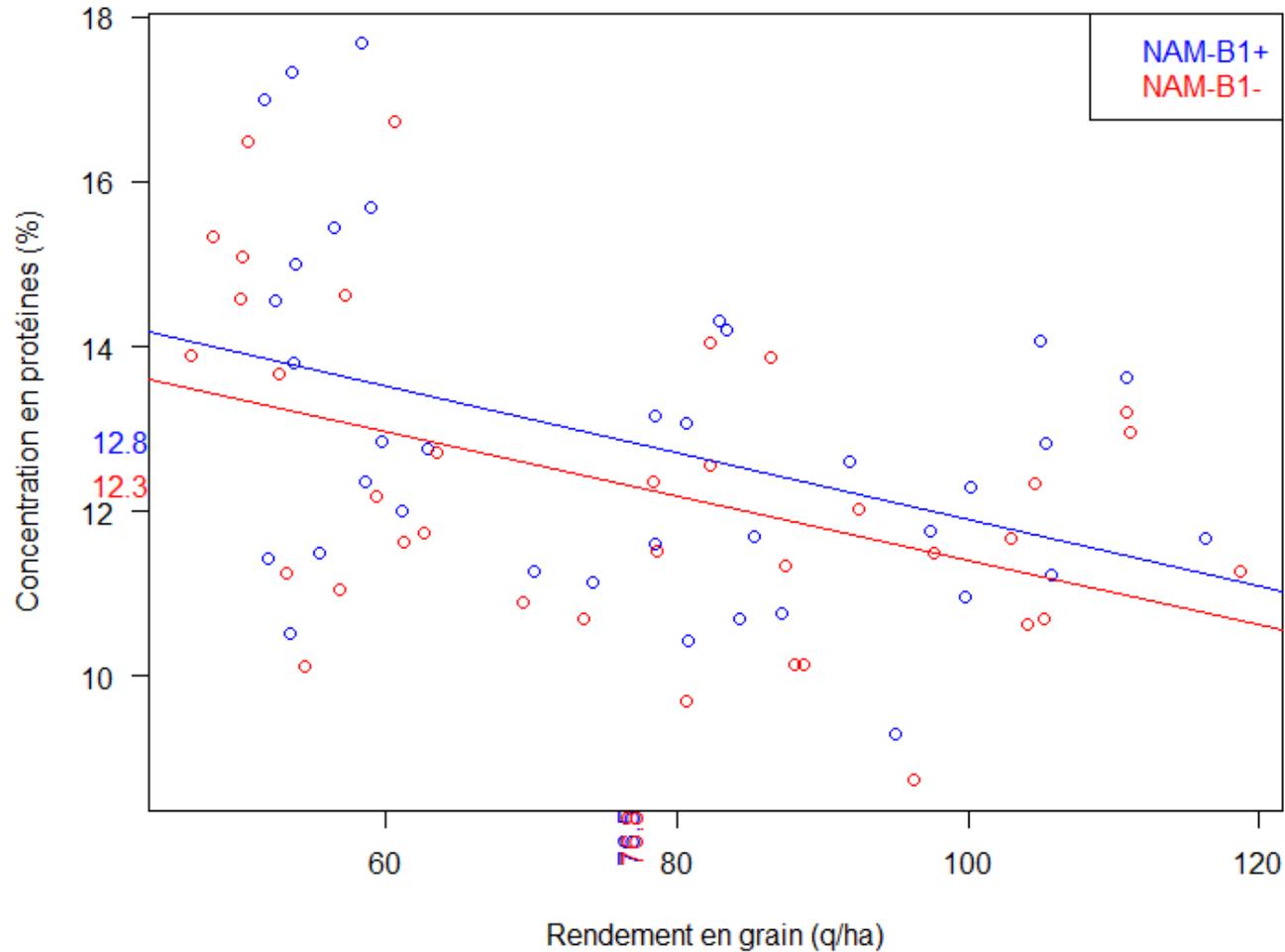
- 5/367 Core-Collection INRAE

Effet significatif de la copie du génome A

(Cormier et al. 2015)



Effet dans un fond génétique élite européen



Comparaison de lignées isogéniques

portant les allèles fonctionnel et non fonctionnel de NAM-B1

Effet de l'ordre de +0.5 point

(GPD estimés dans 18 combinaisons lieu x année x traitement, FSOV Remoblé, INRAE-Arvalis-Limagrain)



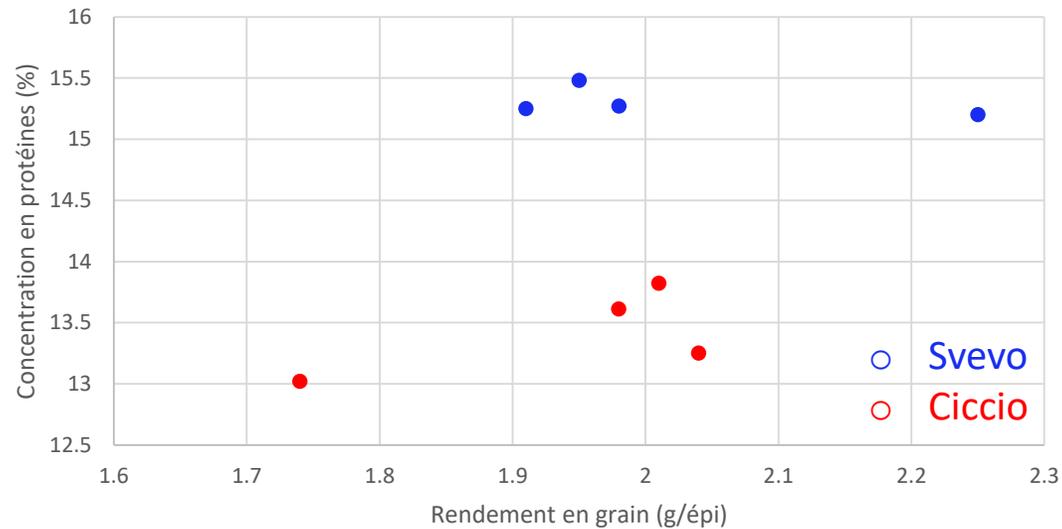
Autres gènes candidats pour la concentration en protéines

Gènes impliqués dans l'assimilation de l'azote

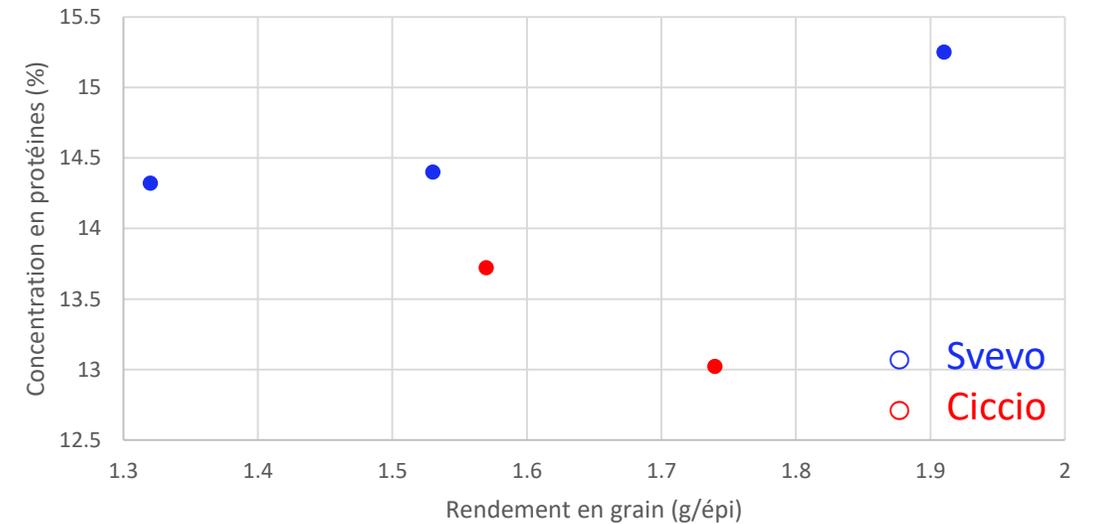
Comparaison de lignées isogéniques

portant les allèles provenant des variétés de blé dur Svevo et Ciccio

Glutamine Synthétase Chloroplastique (GS2)



Glutamate Synthase (Fd-GOGAT)



Gadaleta et al. (2020)



Calcul d'indices de tolérance au stress azoté

Test lors de l'inscription depuis 2014

Deux années d'expérimentation avec ~4 sites / an

Trois niveaux de fertilisation azotée : X, X-80 kg N / ha, X+40 kg N / ha
avec X = référence selon méthode du bilan
(seulement X et X-80 depuis 2019)

Indice de tolérance calculé pour le rendement et la concentration en protéines

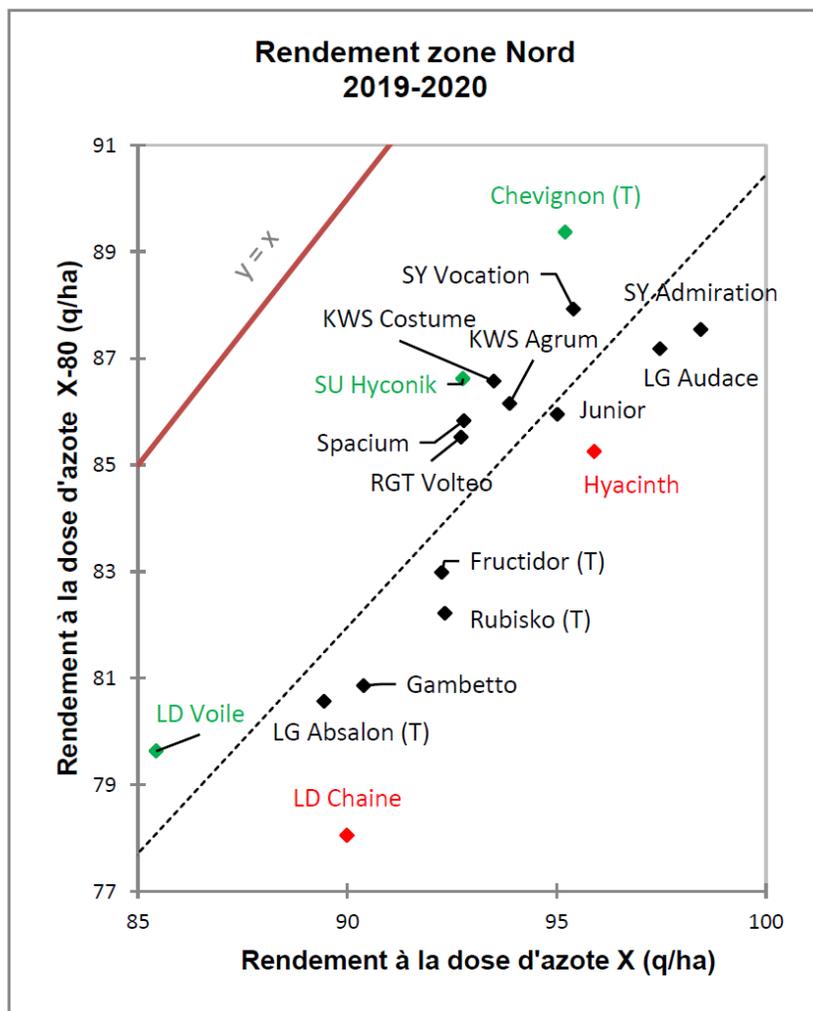
$$\text{Indice de tolérance rendement} = \frac{Rdt[X] - Rdt[X-80]}{Rdt[X]}$$

Publiés à titre informatif pour chaque nouvelle variété depuis les inscriptions 2014

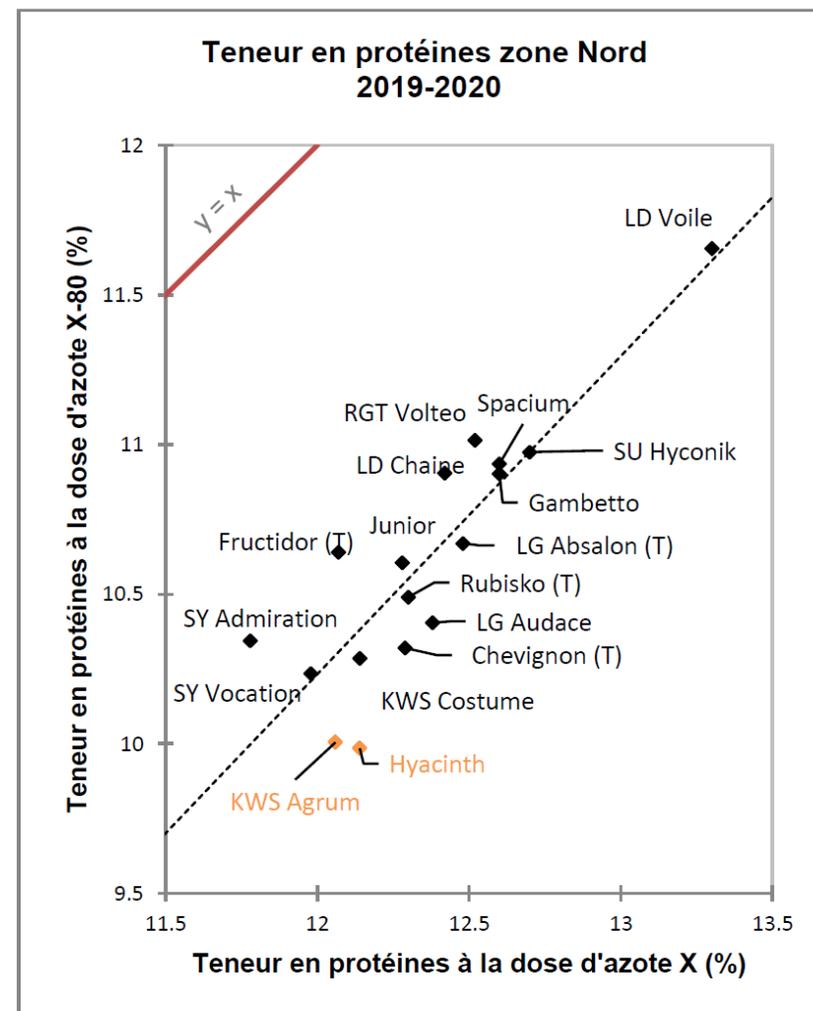
CTPS-GEVES (2016)



Publication des indices de tolérance



Vert = Variétés perdant moins de rendement en X-80
 Rouge = Variétés perdant plus de rendement en X-80



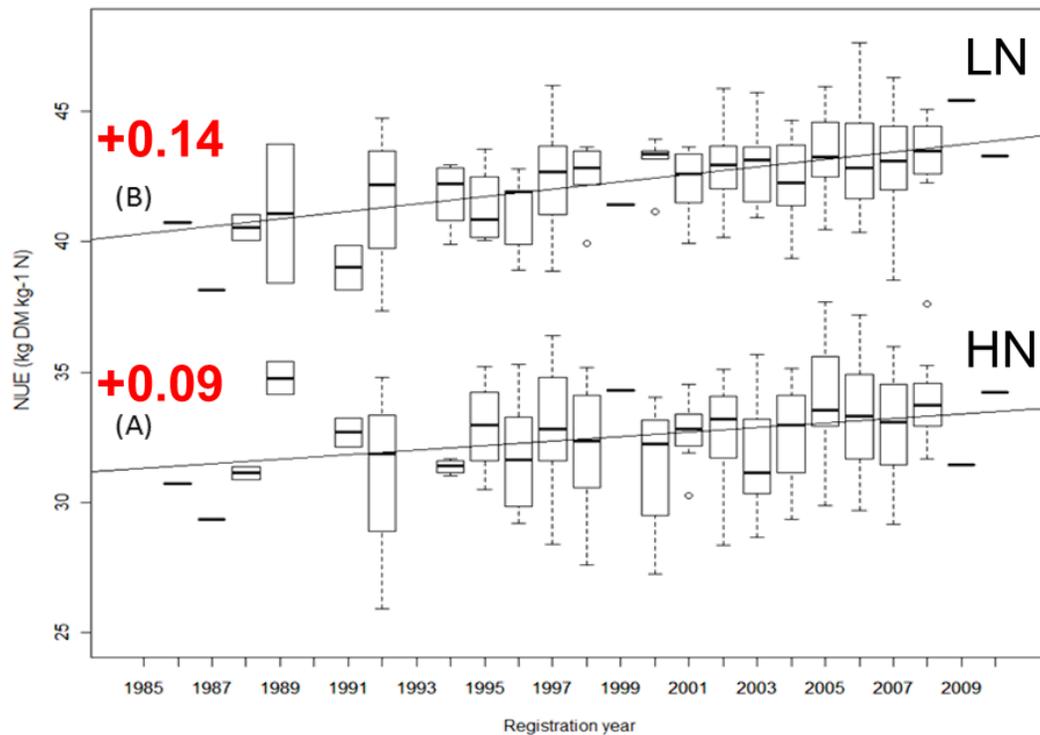
Bleu = Variétés perdant moins de protéines en X-80
 Orange = Variétés perdant plus de protéines en situation en X-80

CTPS-GEVES (2020) Zone nord



Progrès génétique

Genetic progress	Condition	Yield dt/ha/year	Protein %/year
225 French/european cultivars since 1985	High N	+0,33	-0.0200
	Low N	+0,37	-0.0100



Cormier et al. (2013)

- Evaluation d'une collection de lignées (1985-2010)
- Progrès génétique pour le rendement **en fort N et faible N, mais plus important à faible N**
- Peu ou pas d'effet sur les concentrations en protéines

- Progrès génétique un peu plus fort à faible N
-> **progrès génétique pour la tolérance à une carence en azote et donc pour la stabilité**

- Progrès génétique pour l'efficacité de conversion de l'azote (NUE) et pour l'indice de récolte de l'azote (NHI)



Evolutions futures : le phénotypage haut-débit

- ✓ La NUE et ses composantes sont **difficiles à estimer sur de grands effectifs**
 - longs à mesurer (échantillonnage, broyage...)
 - peu répétables (biomasse, quantité d'azote)

- ✓ Cela peut expliquer des **difficultés à mettre en évidence des effets significatifs** (additifs ou d'interaction) pour l'efficacité d'absorption

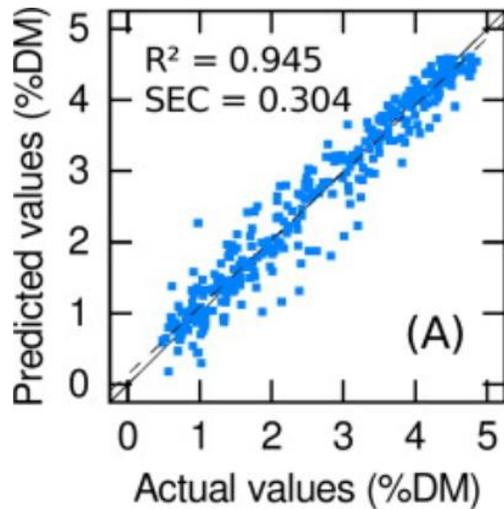
- ✓ Un des **caractères clés est la quantité totale d'azote**
 - les biomasses et quantités aériennes (racinaires) d'azote sont difficiles à estimer
 - possibilité de les approximer par les surfaces foliaires et la quantité de chlorophylle

- ✓ Possibilité d'accéder à des caractères physiologiques
 - **traits racinaires** par exemple



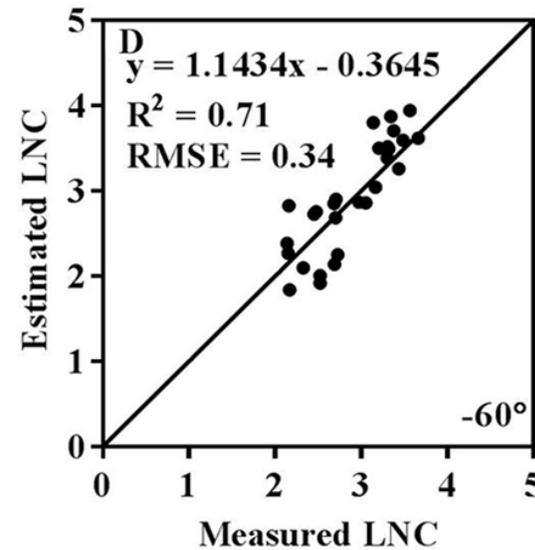
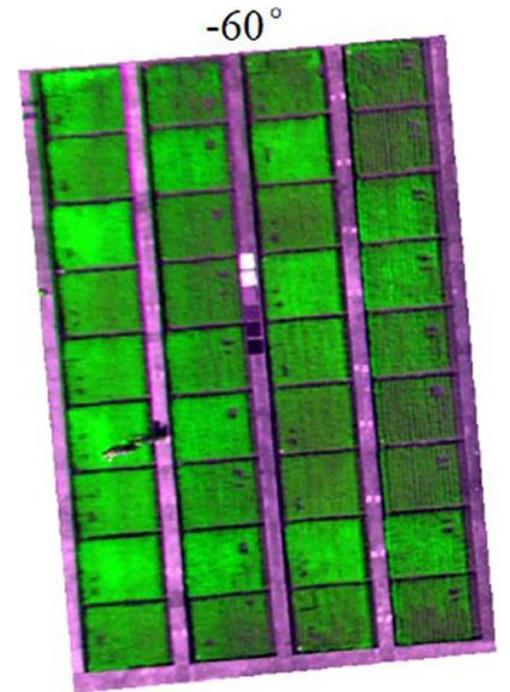
Estimation de caractères liés à la NUE : % N feuilles

NIRS portable



Ecarnot et al. (2013)

Images multispectrales



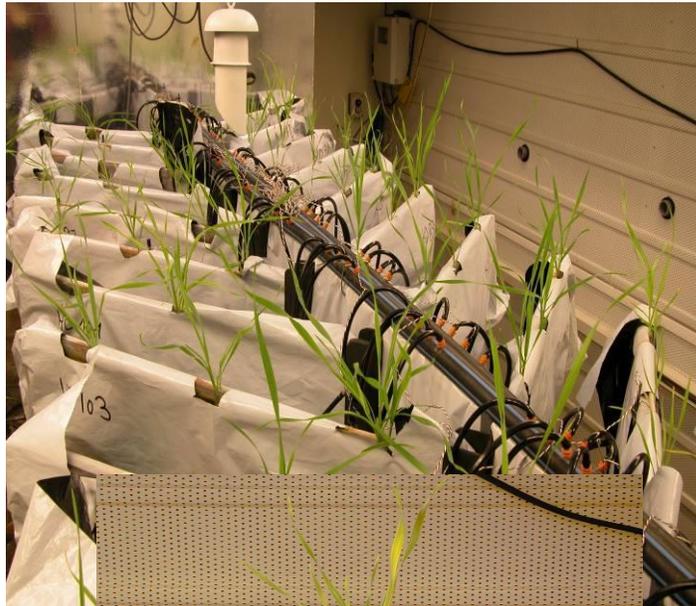
Leaf nitrogen concentration

Lu et al. (2019)

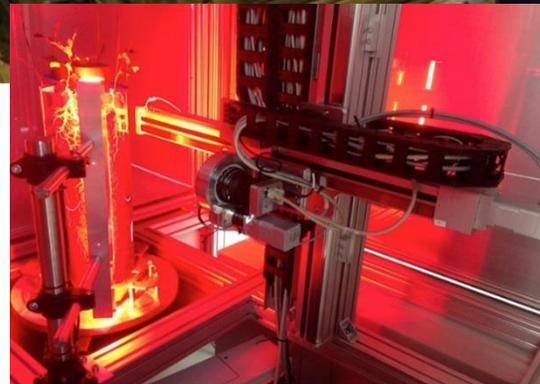


Phénotypage racinaire

Plateforme de phénotypage des plantes pour
l'interaction plantes et microorganismes
(4PMI) INRAE Dijon



(Laperche et al. 2006)



Wheat

European Patent
INRA -
InnoviaFlow

<https://www6.dijon.inrae.fr/plateforme4pmi>



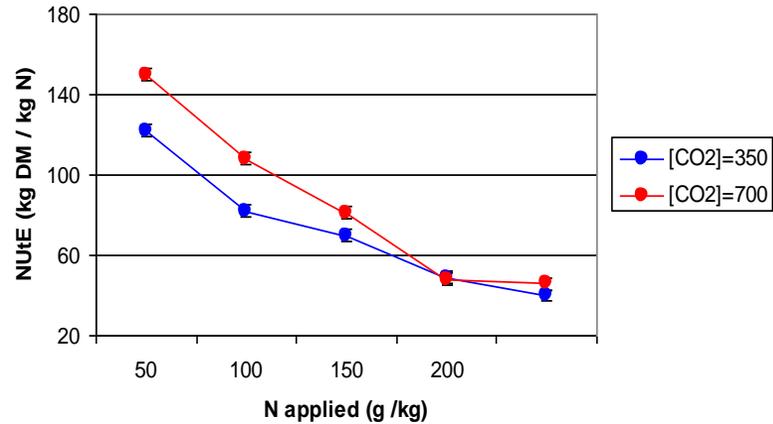
NUE et changement climatique

- > **Une concentration élevée de CO₂ peut favoriser la photosynthèse des espèces en C3**
 - > Augmentation moyenne du rendement en grain dans les expériences au champ (système FACE) ~15% (méta-analyse de Long et al. 2006)
 - > Mais diminution de la teneur en protéines des grains due à la corrélation négative avec le rendement (Hogy et al. 2009)
- > **Effets indirects du changement climatique**
 - > Température moyenne plus élevée => cycle de croissance plus court (date de floraison de ~-10 jours en 2050, nord de la France) => potentiel de rendement plus faible
 - > Augmentation de l'occurrence des périodes sèches (pluviométrie et évapotranspiration), principalement pendant l'élongation des tiges => impact négatif sur la disponibilité en azote
- > **Effet direct de la concentration en CO₂ atmosphérique sur la NUE?**



NUE et concentration élevée en CO₂

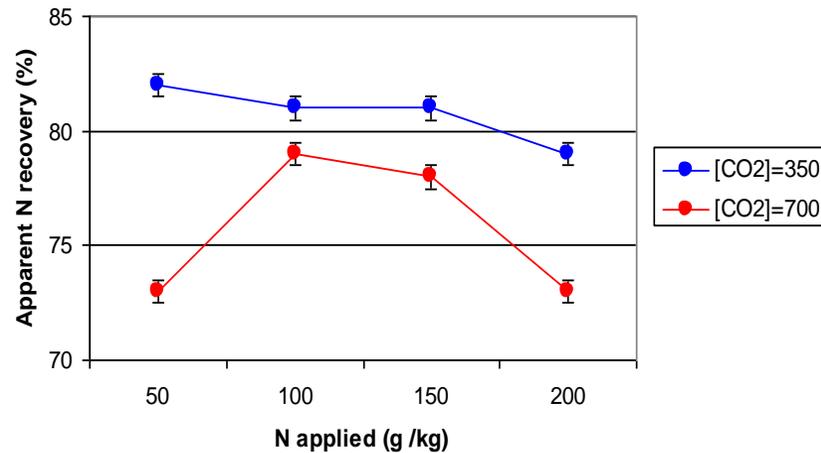
Efficacité d'utilisation de l'azote augmente



Meilleure efficacité de l'appareil photosynthétique

	Rubisco content (mg m ⁻²)	
	Current	Elevated
Crop	217	177
Tree	153	147
Legume	260	233
Grass	182	150

Plus faible absorption d'azote



Leakey et al. (2009)

Peut être liée à une moins bonne assimilation du nitrate (Bloom et al. 2010)

Baisse de la concentration en protéines due à la fois à une augmentation de rendement mais aussi à une plus faible absorption de nitrate

Peu de connaissances sur la capacité des variétés à valoriser l'effet CO₂

Li et al. (2003)



Merci de votre attention

