

# Plasticité du froment hiver en réponse à la fertilisation

Prof. B. Dumont & Collaborateurs  
ULiège – Gembloux Agro-Bio Tech  
Plant sciences Axis – Crop Science Lab

- Présentation faite dans le cadre des « Journées scientifiques du groupe céréales à paille » -  
- Gembloux 2025 -

Revisiter les essais historiques en fertilisation

***AN OLD RECIPE ?***

# Une histoire qui a démarré en 1967



[www.cereales.be](http://www.cereales.be)



# Essais fertilisation

## ➤ Traitement N

- ~30 objets testés chaque année
- Micro-parcelles 2m x 6m
- 4 répétitions en Bloc Aléatoire Complet

## ➤ Mesures réalisées

- Rendement grains
- Densité épis
- PMG
- Reliquat N sortie hiver

## ➤ Mesures dérivées mathématiquement

- Densité grains
- Fertilité épi

Exp.#	Quantité de fertilisant appliquée [kgN.ha <sup>-1</sup> ]					Total
	Zadok 23-25	27-29	30	39	65	
1	-	-	-	-	-	0
2	-	-	-	60	-	60
3	-	-	60	-	-	60
4	60	-	-	-	-	60
5	-	-	60	60	-	120
6	60	-	-	60	-	120
7	60	-	60	-	-	120
8	60	-	60	60	-	180
9	-	-	-	90	-	90
10	-	-	90	-	-	90
11	90	-	-	-	-	90
12	-	-	90	90	-	180
13	90	-	-	90	-	180
14	90	-	90	-	-	180
15	90	-	90	90	-	270
16	-	-	-	120	-	120
17	-	-	120	-	-	120
18	120	-	-	-	-	120
19	-	-	120	120	-	240
20	120	-	-	120	-	240
21	120	-	120	-	-	240
22	120	-	120	120	-	360
23	30	-	60	90	-	180
24	90	-	60	30	-	180
25	30	-	50	75	30	185
26	30	-	50	45	30	155
27	30	-	50	75	-	155
28	-	50	-	105	-	155
29	50	-	60	75	-	185
30	-	85	-	100	-	185



# Essais fertilisation

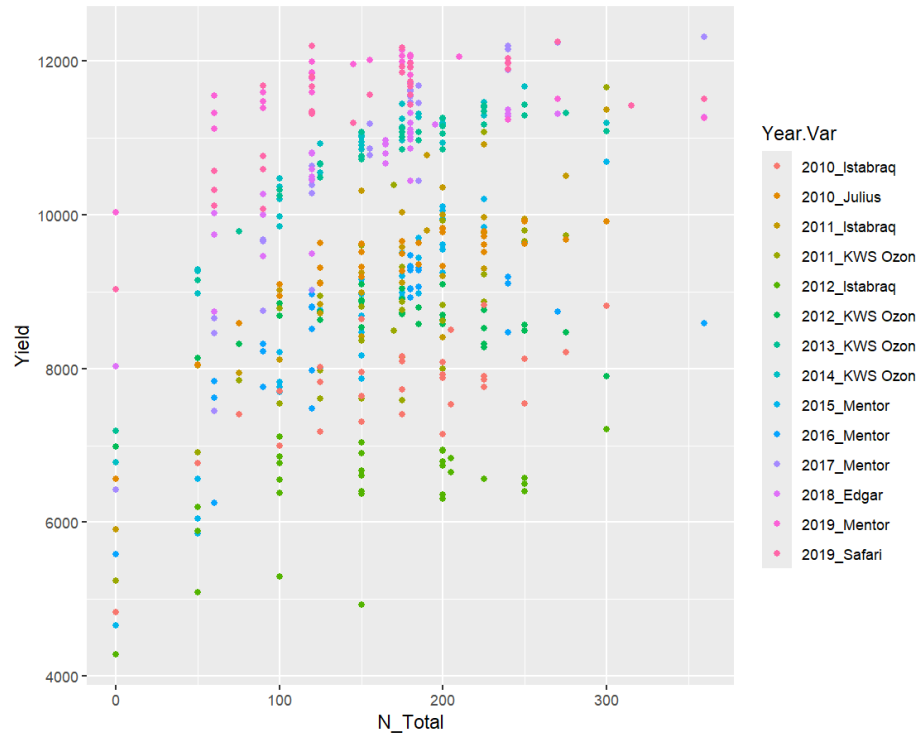
**Table 2**  
Winter wheat management.

Years	Variety	Sowing date	Sowing density (seeds.m <sup>-2</sup> )	Preceding crop	Residual soil N at the end of winter (kg ha <sup>-1</sup> )
2010	Istabraq	Oct. 22	220	Winter wheat	23
	Julius	Oct. 21	220	Sugar beet	37
2011	Istabracq	Oct. 22	250	Winter wheat	25
	KWS Ozon	Oct. 25	250	Sugar beet	29
2012	Istabracq	Oct. 14	225	Winter wheat	42
	KWS Ozon	Oct. 20	250	Sugar beet	61
2013	KWS Ozon	Oct. 19	250	Sugar beet	51
2014	KWS Ozon	Oct. 21	250	Sugar beet	64
2015	Mentor	Oct. 19	250	Sugar beet	28.5
2016	Mentor	Oct. 12	250	Sugar beet	28
2017	Mentor	Oct. 26	300	Sugar beet	73
2018	Edgar	Oct. 13	250	Potato	45
2019	Mentor Safari	Oct. 23	250	Spinach	165
		Oct. 17	250	Potato	100



# Résultats pluri-annuels

- Rendement vs. Fertilisation → Une grande diversité de situations !

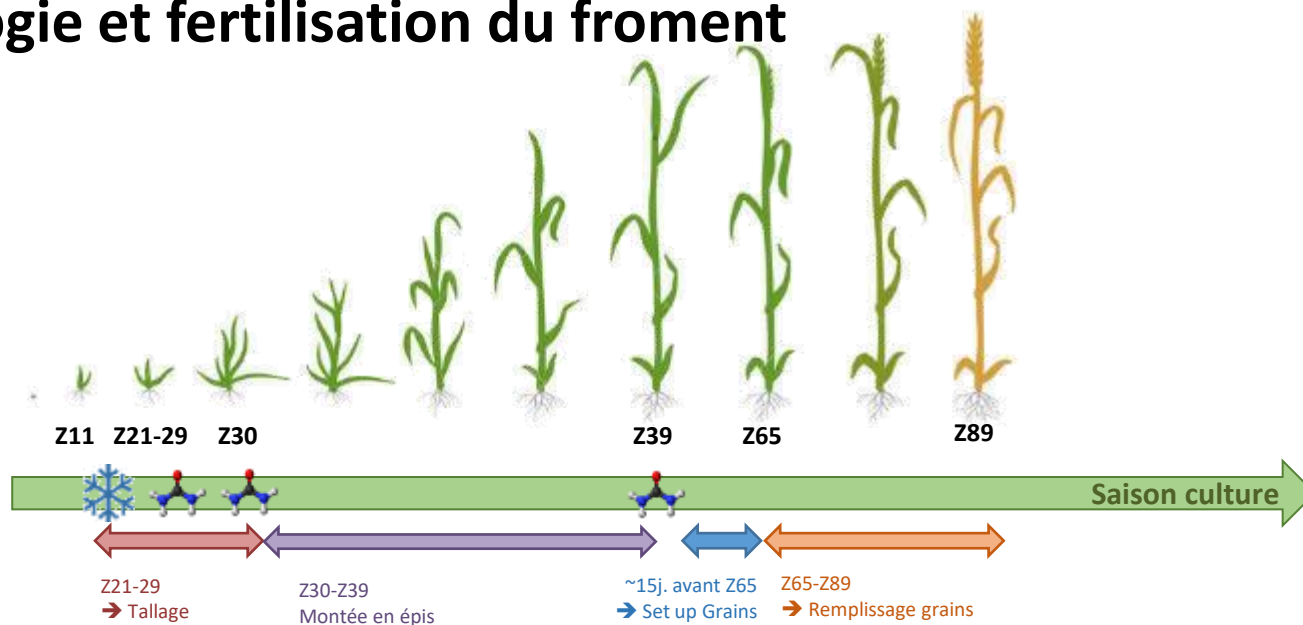


Plasticité des composantes de rendement

***THE QUEST FOR A PATTERN...***

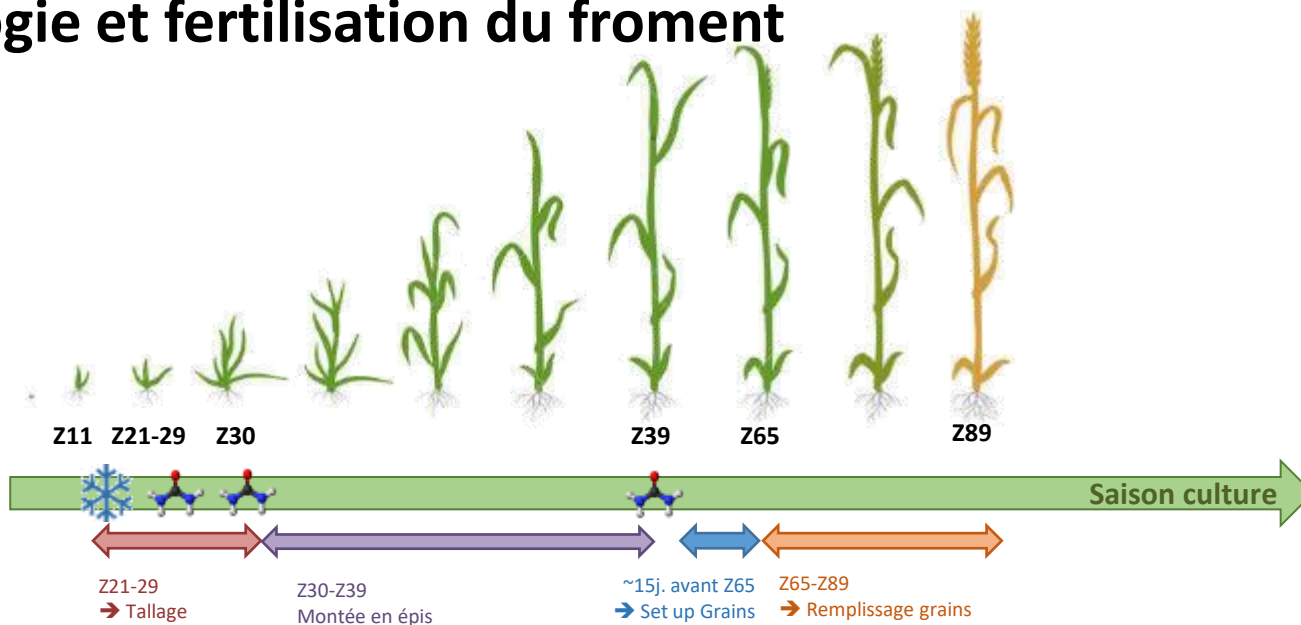
# Ecophysiologie et fertilisation du froment

Management et développement



# Ecophysiologie et fertilisation du froment

Management et développement



Composantes rendement

# talles/m<sup>2</sup> → # épis/m<sup>2</sup>

# grains/épis

# grains/m<sup>2</sup>

PMG

Rendement

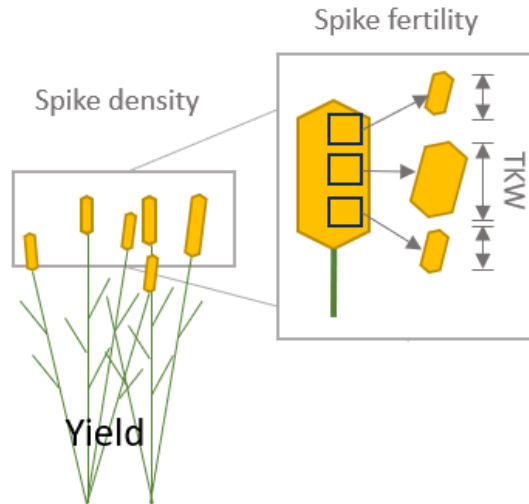


# Ecophysiologie du froment

- Le rendement peut être traduit en équations simples :

*Rendement = Poids 1 Grain  $\times$  Densité grains*

*Rendement = Poids 1 Grain  $\times$  Densité épis  $\times$  Fertilité épi*



# Ecophysiologie du froment

- Le rendement peut être traduit en équations simples :

$$\text{Rendement} = \text{Poids 1 Grain} \times \text{Densité grains}$$

$$\text{Rendement} = \text{Poids 1 Grain} \times \text{Densité épis} \times \text{Fertilité épi}$$

- Essentiellement déterminé par le génotype

- Fortement associé au génotype
- Dépend d'autres facteurs
- Mécanismes de compensations nombreux

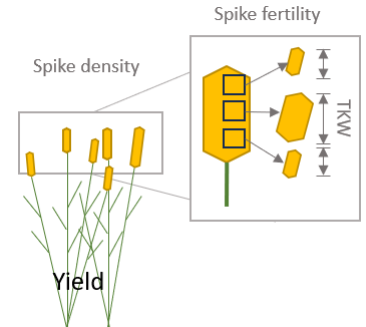
# Ecophysiologie du froment

- Le rendement peut être traduit en équations simples :

$$\text{Rendement} = \text{Poids 1 Grain} \times \text{Densité grains}$$

$$\text{Rendement} = \text{Poids 1 Grain} \times \text{Densité épis} \times \text{Fertilité épi}$$

- ↗ densité de grains ne se traduit pas nécessairement par ↗ rendement
  - ↗ Densité grains → Grains + petits (si conditions remplissage limitantes)
  - ↗ Fertilité épis → ↗ Distance sur l'épi et ↘ des flux vers grains aux extrémités
- La manipulation des **rappports source:puit** montre que :
  - Force de puit (princip. nombre de grains) est critique dans la limitation du rendement (Reynolds et al., 2009)
  - Force de puit est plus limitante que les assimilats photosynthétiques post-floraison (Acevedo et al., 2002).



# Résultats – Données collectées

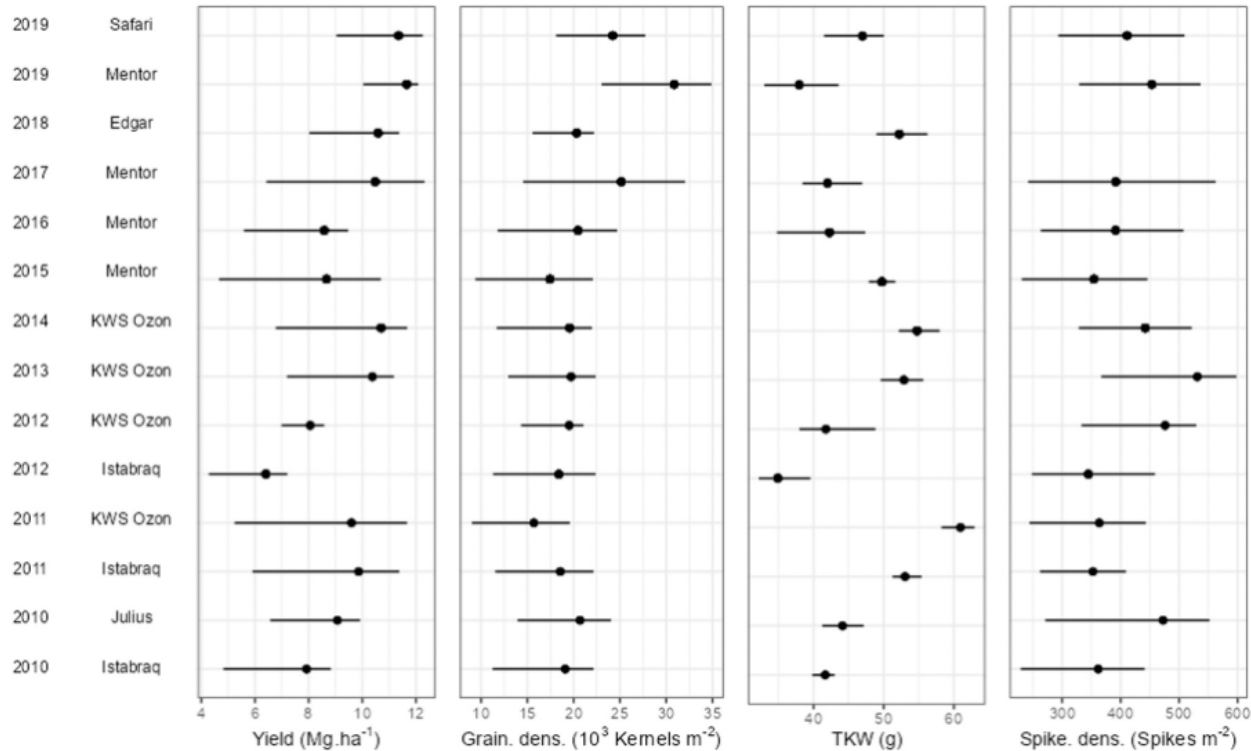


Fig. 1. Annual variations of yield and yield components recorded on the different trials (years and varieties).

# Résultats – Corrélations des données

- Corrélations entre composantes de rendement

**Table 4**

Pearson's correlations among yield components and their relation to yield.

	Yield	Spike density	Spike fertility <sup>a</sup>	Grain density <sup>a</sup>	TKW
Yield	1.00	0.66	0.34	0.76	0.25
Spike density		1.00	-0.17	0.62	-0.01
Spike fertility <sup>a</sup>			1.00	0.65	-0.50
Grain density <sup>a</sup>				1.00	-0.42
TKW					1.00

<sup>a</sup> Estimated yield components

# Résultats – Corrélations des données

- Corrélations entre composantes de rendement

**Table 4**

Pearson's correlations among yield components and their relation to yield.


	Yield	Spike density	Spike fertility <sup>a</sup>	Grain density <sup>a</sup>	TKW
Yield	1.00	0.66	0.34	0.76	0.25
Spike density		1.00	-0.17	0.62	-0.01
Spike fertility <sup>a</sup>			1.00	0.65	-0.50
Grain density <sup>a</sup>				1.00	-0.42
TKW					1.00

<sup>a</sup> Estimated yield components

# Résultats – Corrélations des données


- Corrélations entre composantes de rendement

**Table 4**  
Pearson's correlations among yield components and their relation to yield.



	Yield	Spike density	Spike fertility <sup>a</sup>	Grain density <sup>a</sup>	TKW
Yield	1.00	0.66	0.34	0.76	0.25
Spike density		1.00	-0.17	0.62	-0.01
Spike fertility <sup>a</sup>			1.00	0.65	-0.50
Grain density <sup>a</sup>				1.00	-0.42
TKW					1.00

<sup>a</sup> Estimated yield components



# Résultats

## ➤ Densité grains vs. Rendement

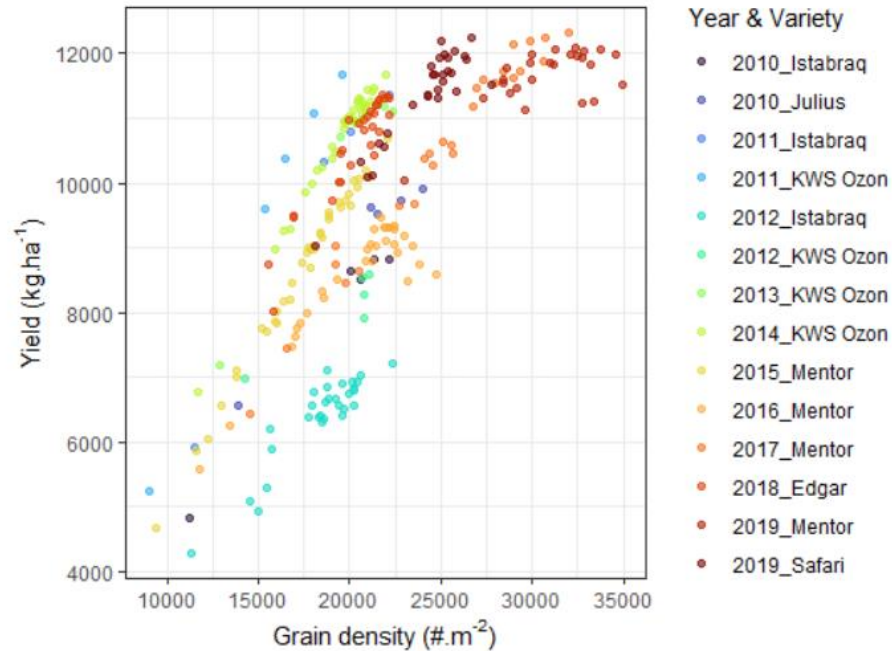


Figure 1: Yield as a function of grain density for each trial (year and variety).

- Correlation = 0.76
- Structuration des données fortement impactée par l'essai (G x E)

# A la recherche d'un pattern...

« *Mathematics is the science of patterns, and nature exploits just about every pattern that there is* »

[Ian Stewart]

# A la recherche d'un pattern...

« *Mathematics is the science of patterns, and nature exploits just about every pattern that there is* »

[Ian Stewart]

- Le phénotype **P** est le fruit d'interactions **G x E x M** qui sont complexes !
- Définir un paradigme :
  - Au sein de chaque saison/essai, on peut identifier un **potentiel** d'expression phénotypique
  - Chaque année, il existera un **schéma de fertilisation (M)** qui va permettre d'atteindre le potentiel
  - Pour bien comprendre l'effet du **M** on doit **réduire la complexité G x E**
  - On propose donc différentes voies de **normalisation** des données

# A la recherche d'un pattern...

- Normalisation I :

$$FracGDmax_{i,j} = \frac{Grain.dens_{i,j}}{\max_i(Grain.dens_{i,j})}$$

$$FracY\_GDmax_{i,j} = \frac{Yield_{i,j}}{Yield_{i_{max},j}}$$

$FracGDmax_{i,j}$  est la densité de grain normalisée pour l'année  $i$  et le traitement  $j$ , par la densité maximale de grains observé l'année  $i$   
 $FracY\_GDmax_{i,j}$  est le rendement normalisé par le rendement obtenu là où la densité de grains était maximale.

# Résultats – la suite

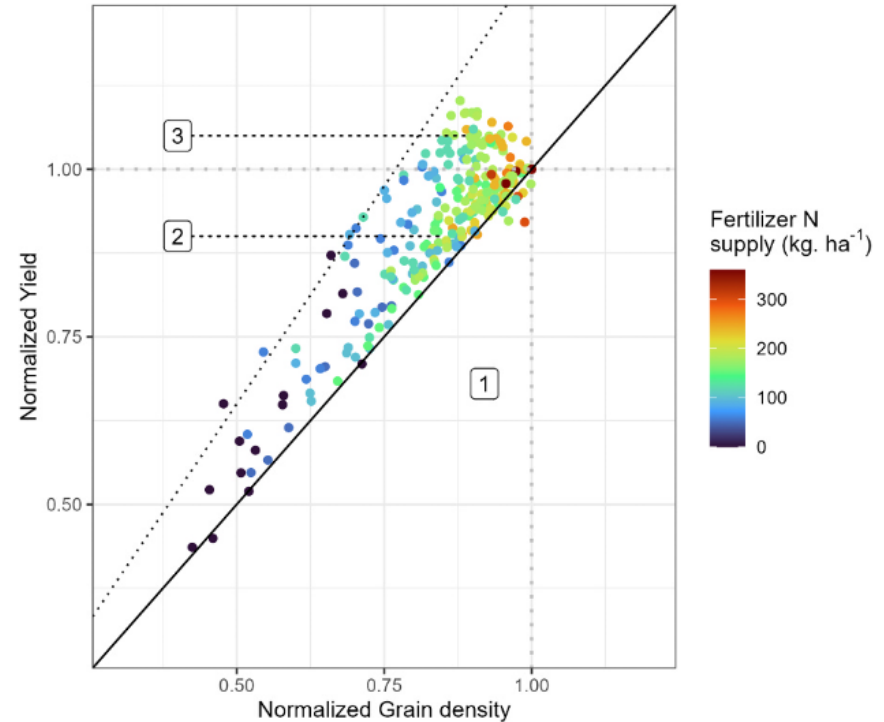
## ➤ Normalisation I

[1] L'absence de valeur en dessous de la bissectrice souligne l'importance de la densité des grains dans le rendement

➔ **COARSE DRIVER !**

[2] Les points sont compris entre les droites 1:1 et 1:1.3 indiquant qu'une variation « + » de 30 % du rendement est possible pour chaque niveau de densité des grains

➔ **FINE TUNER !**




**Fig. 2.** Normalized yield as a function of normalized grain density. Grain density is normalized by its maximum in each trial. Yield is normalized by yield value corresponding to maximum grain density in corresponding trial.

# Résultats – la suite

## ➤ Normalisation I

[3] La densité maximale des grains ne permet pas systématiquement d'obtenir les meilleurs rendements

➔ *Mecanisme de retrocontrole !*

[] Le niveau de fertilisation joue sur les plages de densité plus que sur le niveau de rendement

➔ *La gestion de l'azote permet surtout de limiter le risque de bas rendement en créant la force de puit*

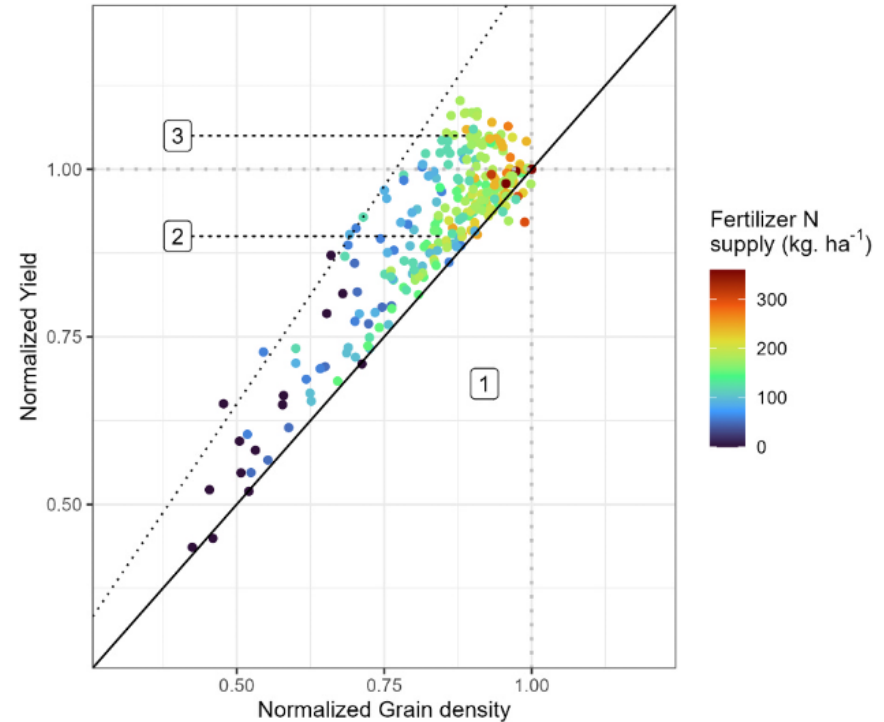


Fig. 2. Normalized yield as a function of normalized grain density. Grain density is normalized by its maximum in each trial. Yield is normalized by yield value corresponding to maximum grain density in corresponding trial.

# A la recherche d'un pattern...

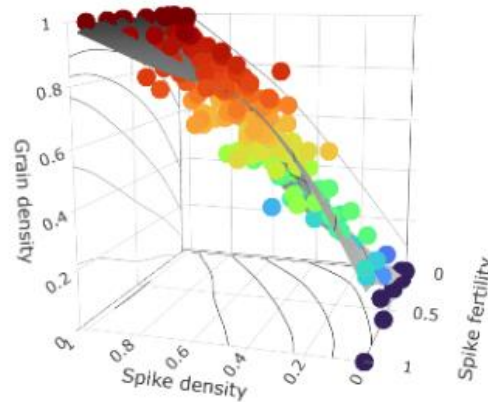
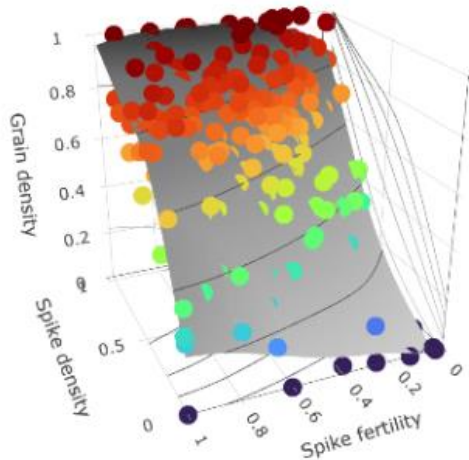
- Normalisation II :

$$SX_{i,j} = \frac{X_{i,j} - \min_i(X_{i,j})}{\max_i(X_{i,j}) - \min_i(X_{i,j})}$$

$X_{i,j}$  est la variable nominale pour l'année  $i$  et le traitement  $j$ ,  $SX_{i,j}$  est la variable normalisée,  $\min_i$  et  $\max_i$  sont les valeurs minimales et maximales de l'année  $i$ .

# Résultats – la suite

## ➤ Normalisation II



- Décomposition de l'importance relative des deux variables explicatives de la densité de grains :  
➔ ***Spike density >> Spike fertility***

- Inflexion de la courbe au dessus d'une densité d'épis = 0.6
- Impossibilité d'atteindre densité de grain maximale si fertilité d'épis < 0.35

Représentation 3D du GAM fitté aux valeurs normalisées de la densité des grains par rapport à la fertilité des épis et à la densité des épis. Les couleurs des points représentent le niveau de densité des grains, le bleu correspondant aux valeurs les plus faibles et le rouge aux densités les plus élevées.

***! \ densité d'épis et fertilité d'épis  
coévoluent avec les apports d'N***

# A la recherche d'un pattern...

- Normalisation III :

$$SY_{i,j} = \frac{S_{i,j}}{\max_i(S_{i,j})}$$

$S_{i,j}$  est la variable nominale pour l'année  $i$  et le traitement  $j$ ,  $SY_{i,j}$  est la variable normalisée,  $\max_i$  est la valeur maximale de l'année  $i$ .

# Résultats – la suite

## ➤ Normalisation II x III

- On retrouve l'aspect  
*Coarse driver vs. Fine tuner*
- Le rendement optimal semble être un trade-off situé quelque-part entre un nombre optimal de grain et un poids optimal de grain
- Il existe un espace ou il est impossible d'avoir les deux optimums qui coexistent

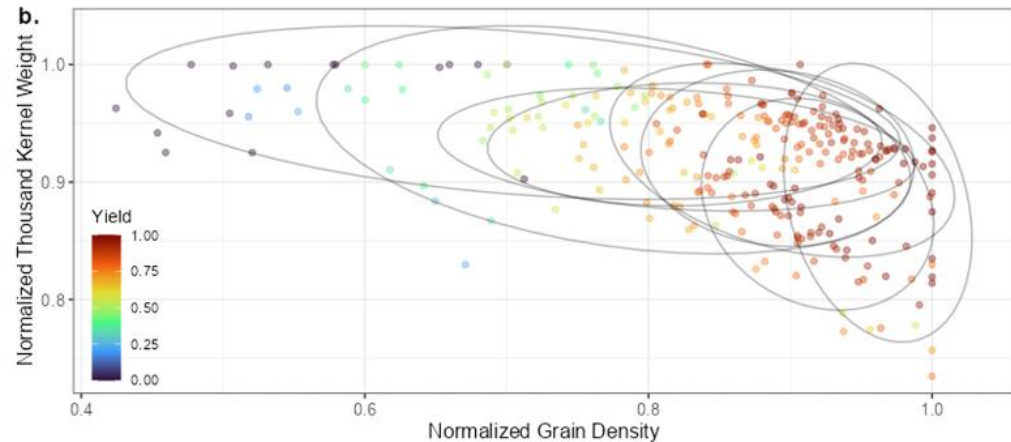


Fig. 5. (a) Relationship between normalized grain density and normalized TKW as impacted by N fertilization strategies. (b) Impact of both variables on normalized yield.

# Résultats – la suite

## Normalisation II x III

- Les données sont très fortement structurées selon les niveaux de fertilisation
- Les sphères correspondant aux stratégies 4 et 6 permettent d'atteindre au mieux l'optimum de rendement (confirmé par test Games-Howell)
- Des schémas intéressants :
  - 60-60-60kgN/ha
  - 80-40-60kgN/ha
  - 40-80-60kgN/ha

$N \geq 60 \text{ kg ha}^{-1} \Rightarrow \mathbf{N+}$   
 $N < 60 \text{ kg ha}^{-1} \Rightarrow \mathbf{N-}$

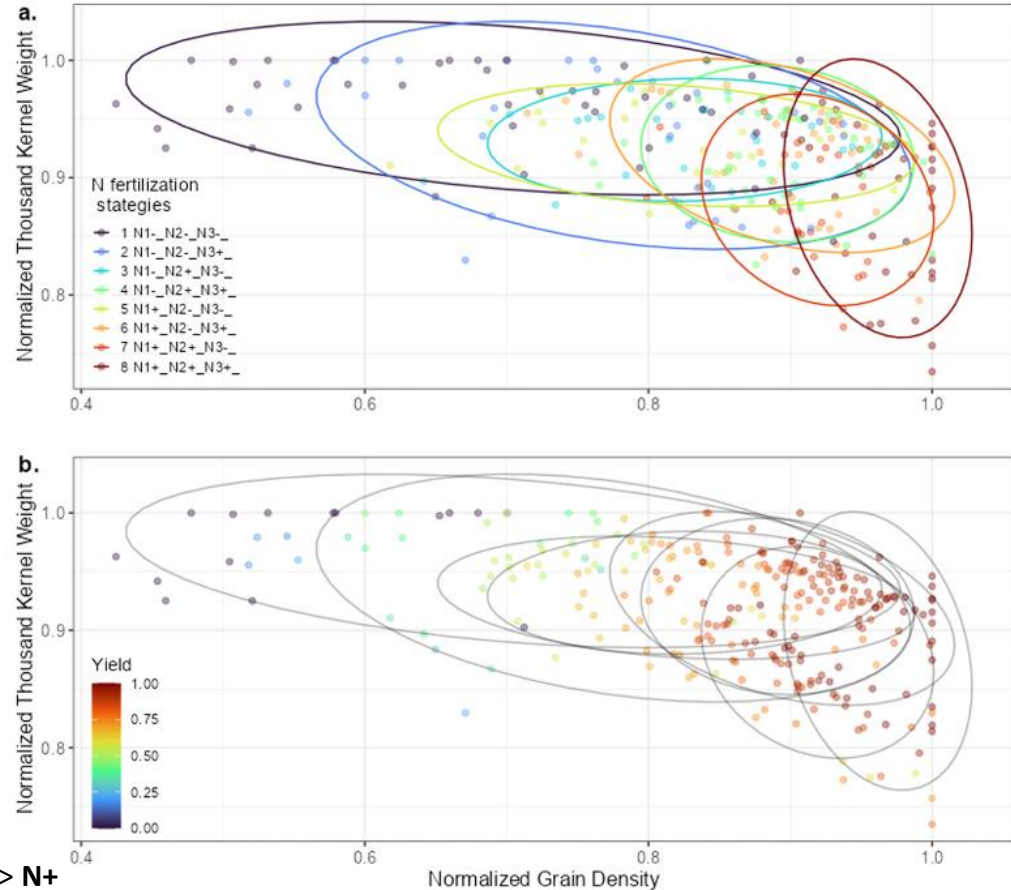


Fig. 5. (a) Relationship between normalized grain density and normalized TKW as impacted by N fertilization strategies. (b) Impact of both variables on normalized yield.



Contents lists available at ScienceDirect

European Journal of Agronomy

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/eja](http://www.elsevier.com/locate/eja)



## Plasticity of wheat yield components in response to N fertilization

Arthur Lenoir<sup>a,b,\*</sup>, Gustavo A. Slafer<sup>c,d</sup>, Ali Siah<sup>b</sup>, Benjamin Dumont<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup> University of Liège, Junia, UMRT 1158 BioEcoAgro - Conduction, Optimization and Design of Cropping Systems Meeting Multi-Criteria Objectives, B-5030 Gembloux, Belgium

<sup>b</sup> Institut Supérieur d'Agriculture, Laboratoire Charles Viollette (EA 7394), 48 Bd Vauban, F-59046, Lille Cedex, France

<sup>c</sup> Department of Agricultural and Forest Sciences and Engineering, University of Lleida - AGROTECNIO-CERCA Center, Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Spain.

<sup>d</sup> ICREA (Catalonian Institution for Research and Advanced Studies), Barcelona, Spain

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Nitrogen fertilization  
*Triticum aestivum*  
Yield components  
Phenotypic plasticity  
N fertilization strategy

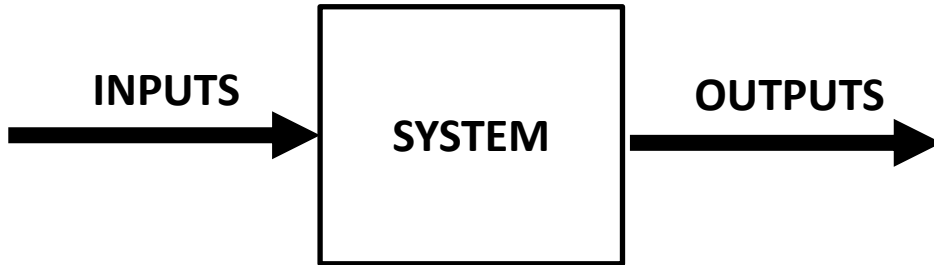
### ABSTRACT

Nitrogen fertilization is one of the major issues of crop productions in west-Europe. Every year, large quantities of synthetic nitrogen are used to fertilize crops, such as winter wheat (*Triticum aestivum*), and ensure them high yielding conditions. In return, substantial amount of nitrogen ends up in the environment where it generates pollutions. The combination of strategic and tactical approaches has been suggested to improve the accuracy of nitrogen fertilization decisions and their implementation. Combining strategic and tactical approaches requires a detailed understanding of the dynamic of nitrogen use by the plant to both anticipate and adapt fertilization practices. Inspired by the concept of yield component phenotypic plasticity, this study aimed to analyze the influence of nitrogen fertilization dynamics on yield elaboration and infer strategic decision rules dedicated to wheat yield optimization in a Belgian context. The analysis, implemented from ten-year experiment, was conducted in two different steps. (1) We characterized the effect of nitrogen fertilization on yield and yield components when the crop was submitted to different agro-pedo-climatic contexts, (2) we analyzed the specific influence of nitrogen fertilization dynamic on yield elaboration, normalizing the variables of the experiment to exclude genetic and environmental influences. The study revealed that highest nitrogen fertilization did not automatically lead to the highest yields. High nitrogen fertilization contributed to increase the negative trade-offs between yield components, which limited the efficiency of nitrogen supplies. Conversely, a balanced dynamic of nitrogen supplies was essential to reach high yields while supplying effective amount of nitrogen. From this Belgian dataset, optimal nitrogen fertilization strategies supposed early nitrogen supplies split in two applications to support the initiation phases of grains per m<sup>2</sup> and another nitrogen supply at flag leaf stage to maintain components of grain per m<sup>2</sup> while still allowing grain filling. This fertilization structures, adapted to different pedoclimatic contexts would support strategic approach in crop nitrogen nutrition.

Plasticité de l'efficiencia d'utilisation des nutriments  
***TICKING A CLOCK BACKWARDS !***

# Plasticité du froment d'hiver

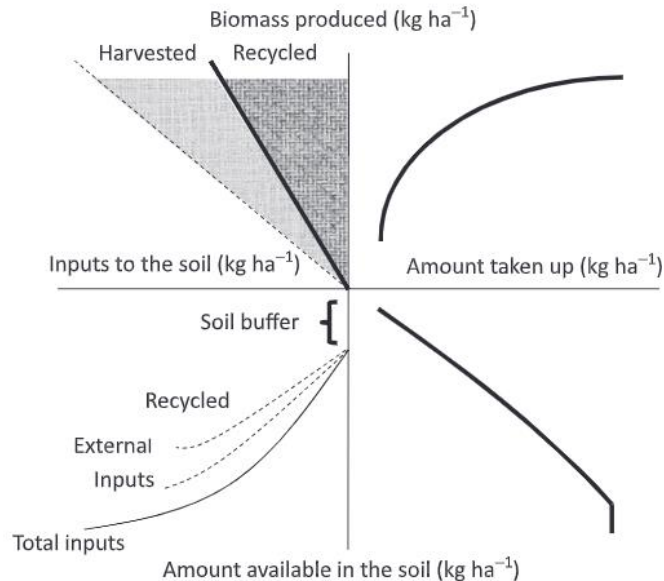
- Porter et Christensen, 2013 – Décomposition de la NUE par les équations identités



$$NUE \equiv \frac{biomass}{N\ uptake}$$

# Plasticité du froment d'hiver

- Porter et Christensen, 2013 – Décomposition de la NUE par les équations identités



$$NUE \equiv \frac{\text{biomass}}{N \text{ uptake}}$$

$$NUE \equiv \frac{\text{biomass}}{N \text{ input soil}} \times \frac{N \text{ input soil}}{N \text{ available soil}} \times \frac{N \text{ available soil}}{N \text{ uptake}}$$

**Figure 2.** A four-quadrant visual representation of the processes involved in the nutrient-use efficiency of an agro-ecosystem. Adapted from van Noordwijk & de Willigen (1986).

# Plasticité du froment d'hiver

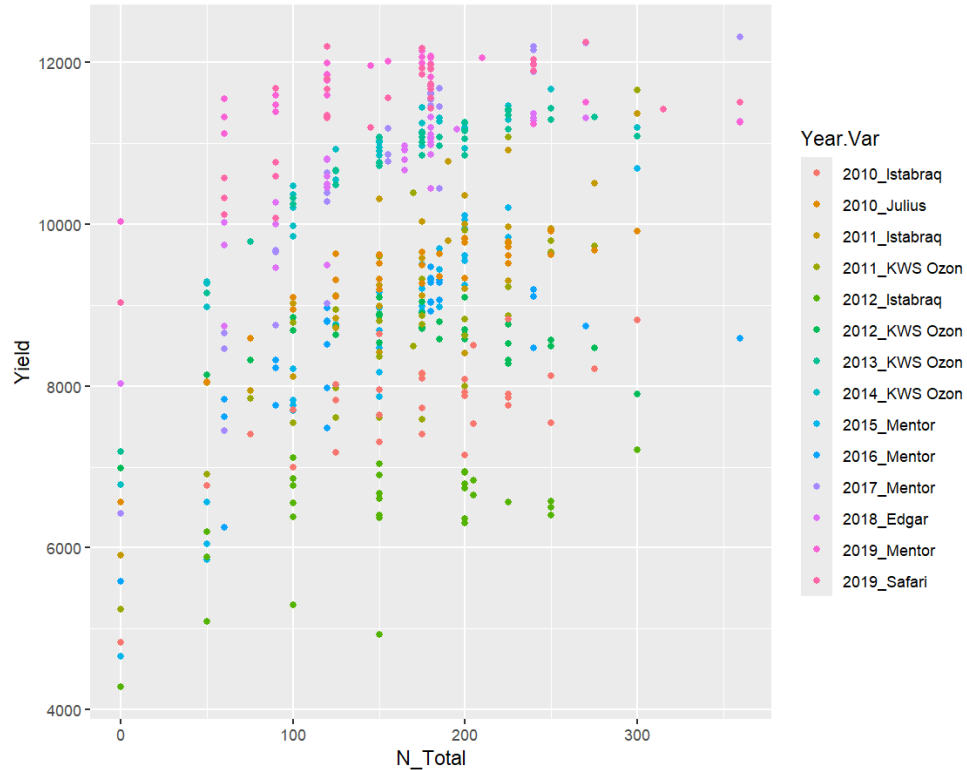
- Adaptation de l'équation

$$NUE \equiv \frac{\textit{Grain Yield}}{\textit{N input}} \equiv \frac{\textit{N soil available}}{\textit{N input}} \times \frac{\textit{Grain N uptake}}{\textit{N soil available}} \times \frac{\textit{Grain Yield}}{\textit{Grain N uptake}}$$

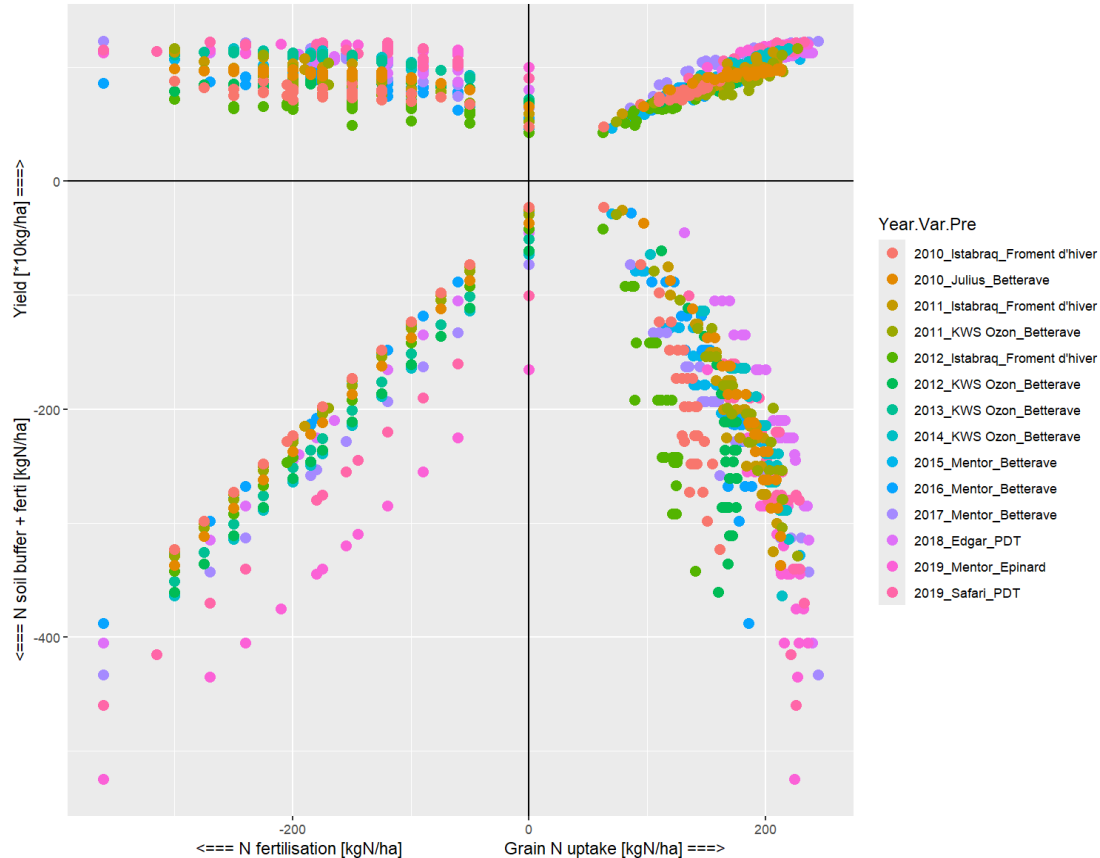
- Hypothèse
  - ~80% de l'azote totale assimilé par la plante a été assimilé dans la plante à floraison
  - L'indice de récolte de l'azote est ~80%
  - *N soil available* = Reliquat N sortie hiver + Fertilisation

# De la NUE agronomique à sa décomposition

- Rendement vs. Fertilisation

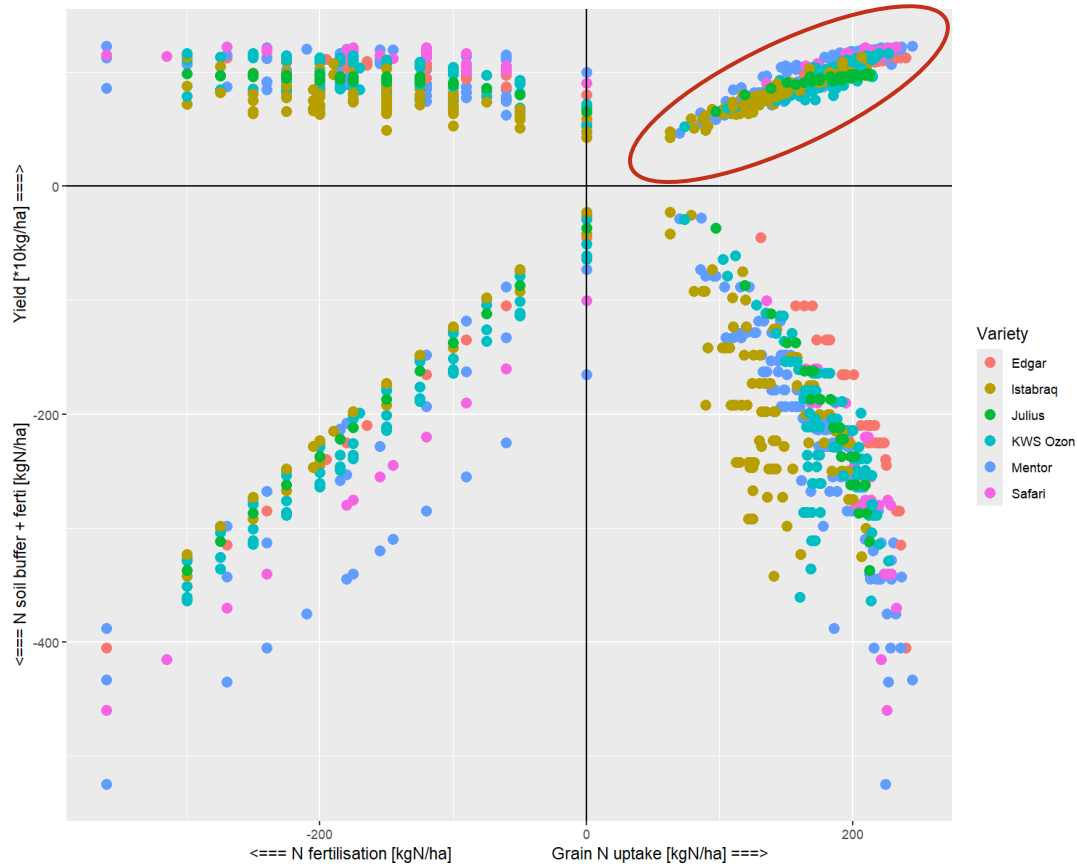


# De la NUE agronomique à sa décomposition



- $Q_I$  : Fertilization
- $Q_{II}$  : Soil biochemistry
- $Q_{III}$  : Root ecology
- $Q_{IV}$  : Crop nutrition

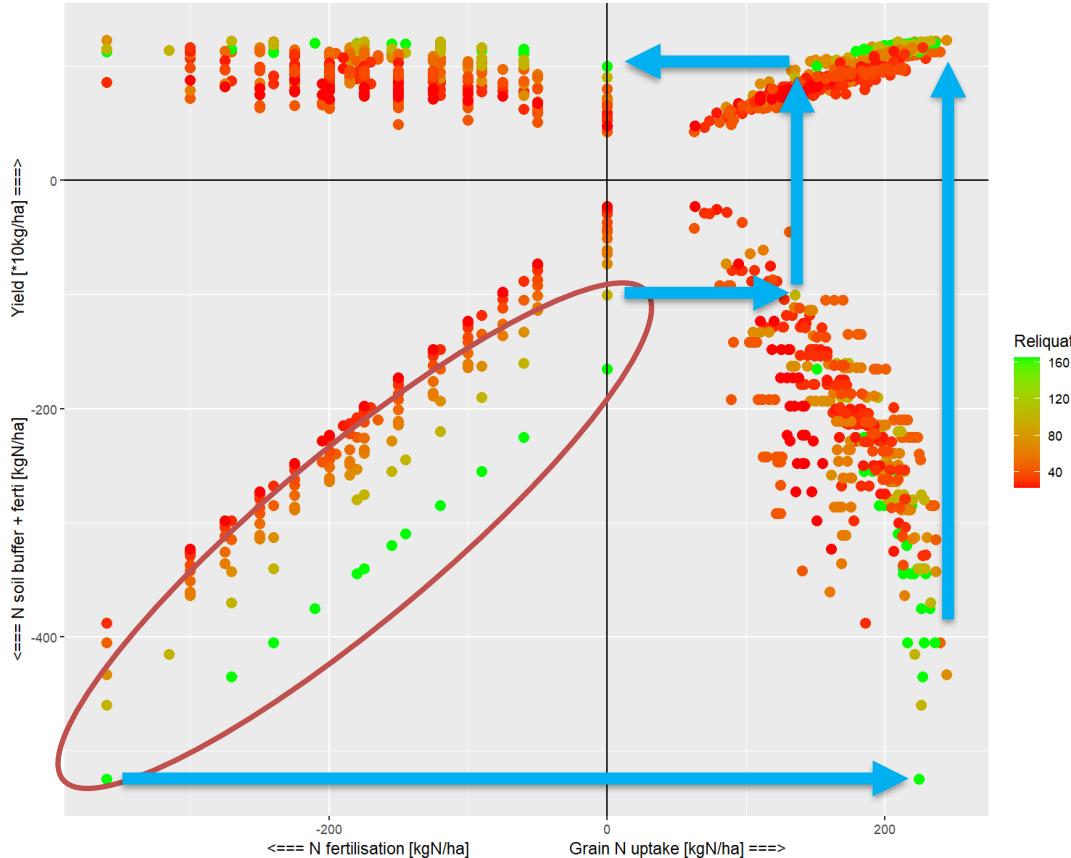
# De la NUE agronomique à sa décomposition



→ Peu d'effet du cultivar

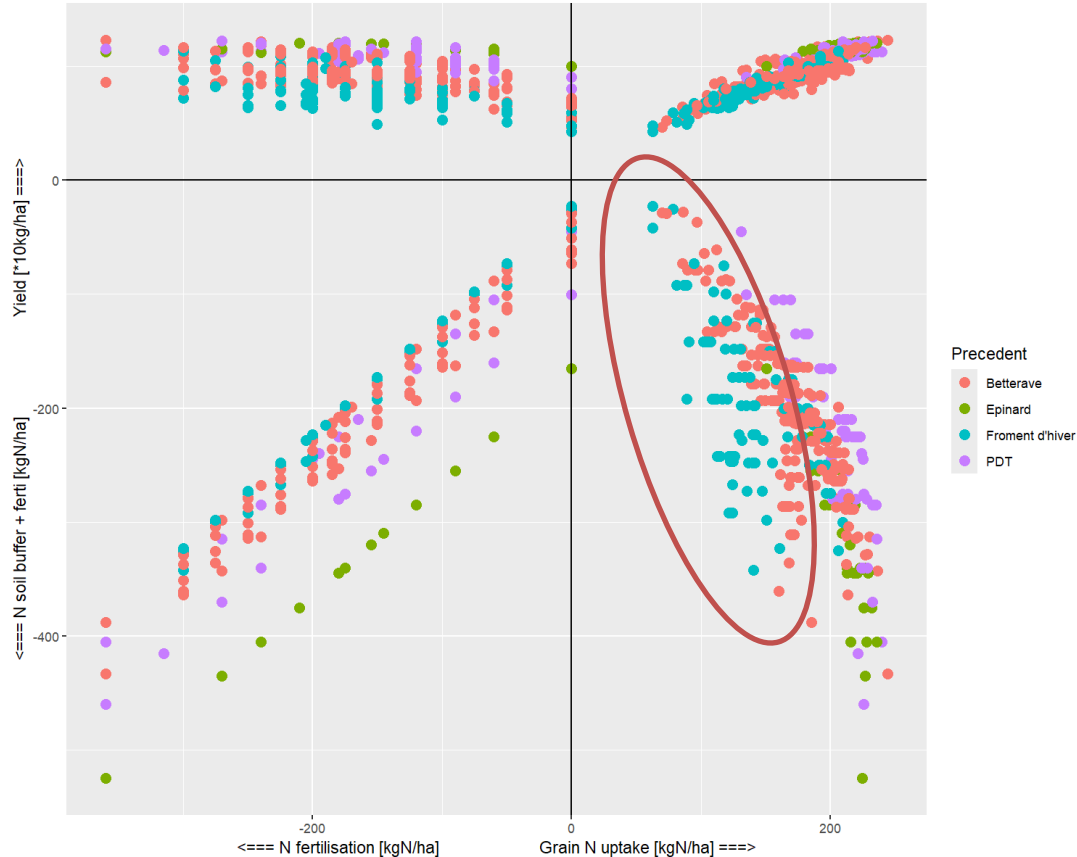
→ Relation assez stable

# De la NUE agronomique à sa décomposition



- Effet du reliquat N limité
- Permet de se rapprocher des optimum de rendement, mais pas de déplaçonner
- Le  $Q_{III}$  agit comme un filtre « passe bas »

# De la NUE agronomique à sa décomposition



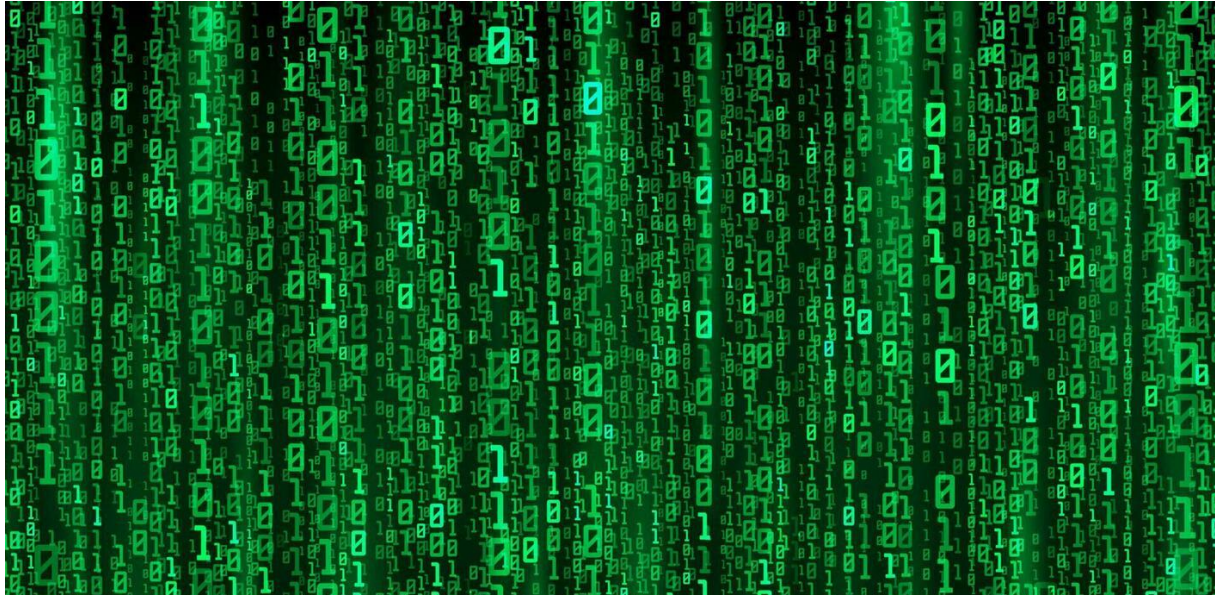
- L'effet du précédent est fort important
- PdT et épinard laissent des reliquats importants
- Les succession blé-blé sont peu efficaces – effet de champignons du sol ?

Conclusions

***TAKE HOME MESSAGES***

# Take home messages

- Cherchons les patterns et les invariants dans le monde végétal !



## Take home messages

- Le chemin le plus court n'est pas toujours le plus intéressant !



Merci de votre attention

**? QUESTIONS ?**