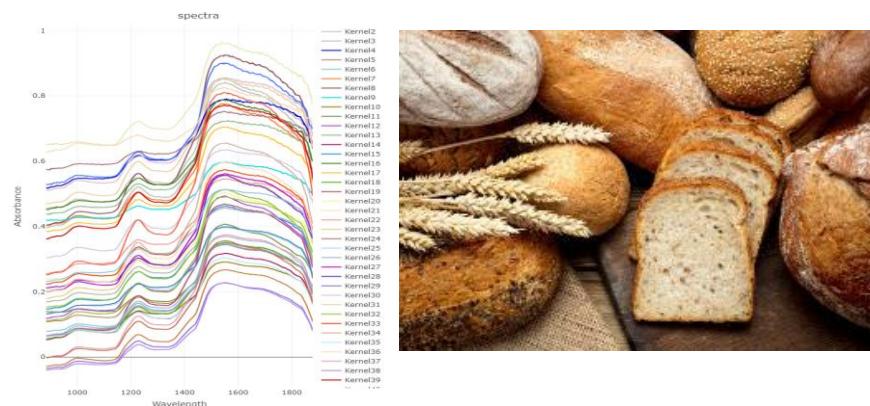


# Tri optique infrarouge grain à grain comme outil de phénotypage haut débit technologique et sanitaire



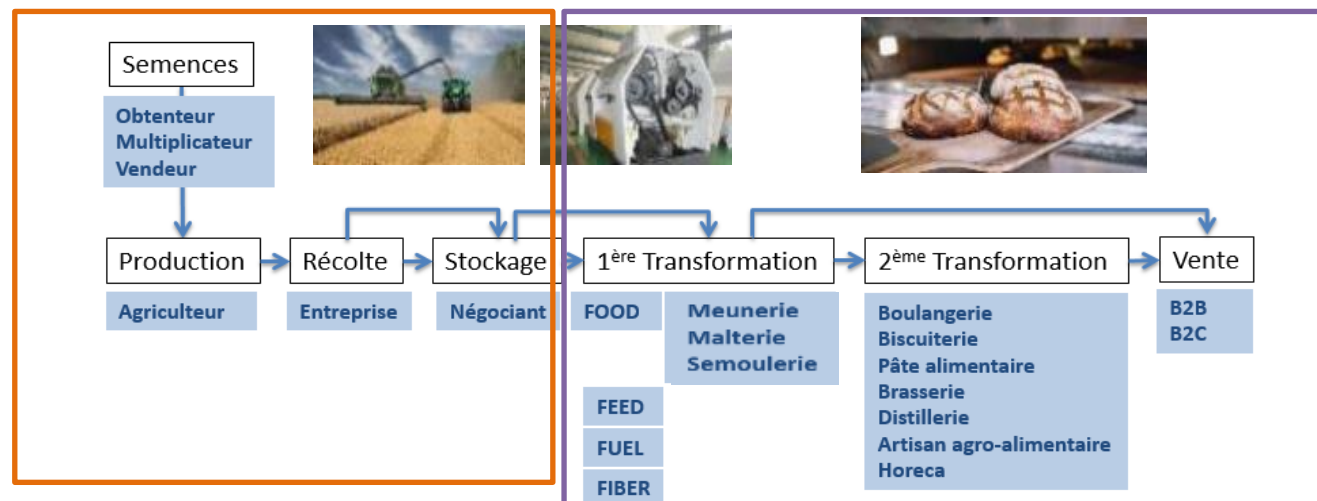
**Pierre-Yves Werrie**, Corentin Demoitie, Philippe Vermeulen et Bruno Godin

Laboratoire de technologie et tri des céréales

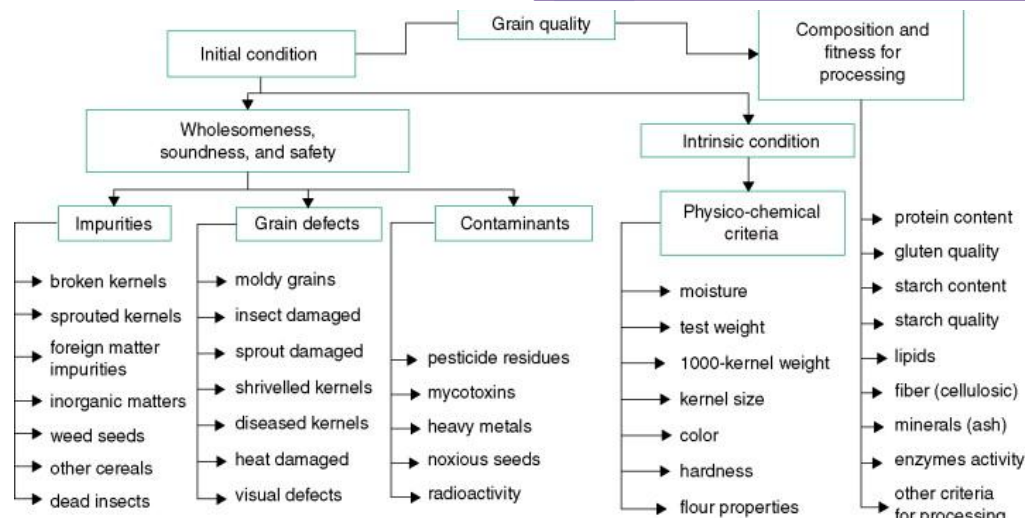
Garantir et maintenir la qualité

Vérifier et exploiter la qualité

La filière céréalière

Les attentes de qualité  
des céréales :

- Technologique
- Sanitaire

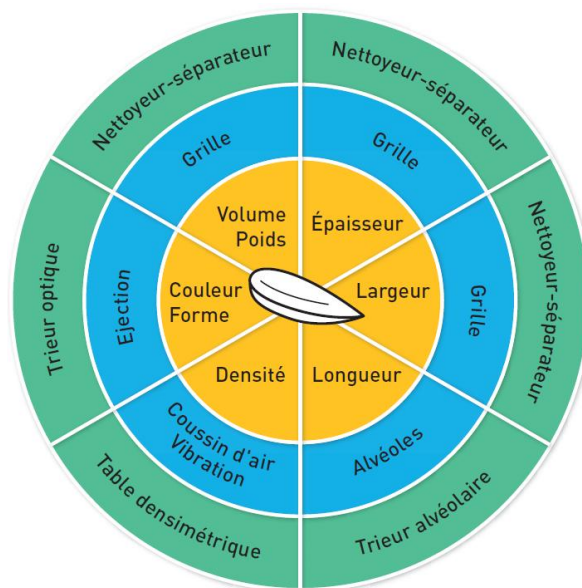
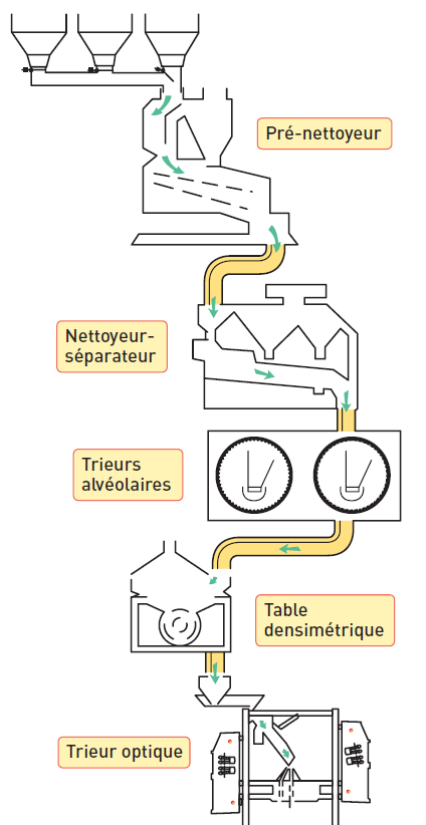


Baidhe, E., Clementson, C. L., Senyah, J., &amp; Hammed, A. (2024)

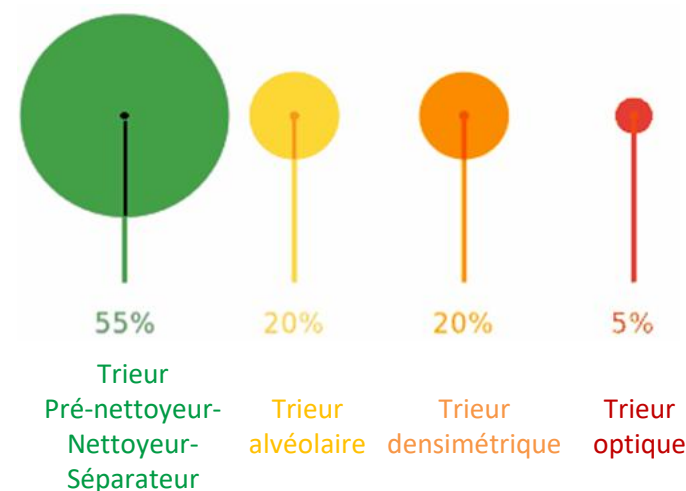
## Leviers

Pré- récolte : Choix variétal & itinéraire technique

Post-récolte : Allotement et tri

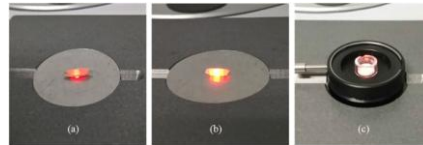


## Répartition des déchets éliminés en production de semences

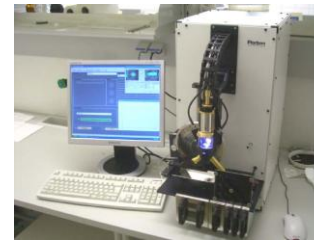


SEMAE 2022

## Tri optique infrarouge grain à grain (Single-Kernel-NIR)



80' - NIR pour un seul grain (dureté, protéines)  
Qualité et sélectionneurs



90' - NIR grain individuel et tri (automate)

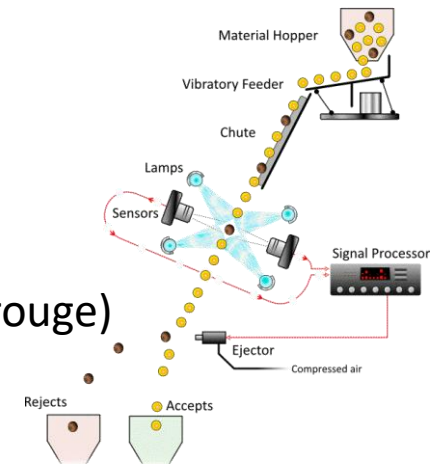


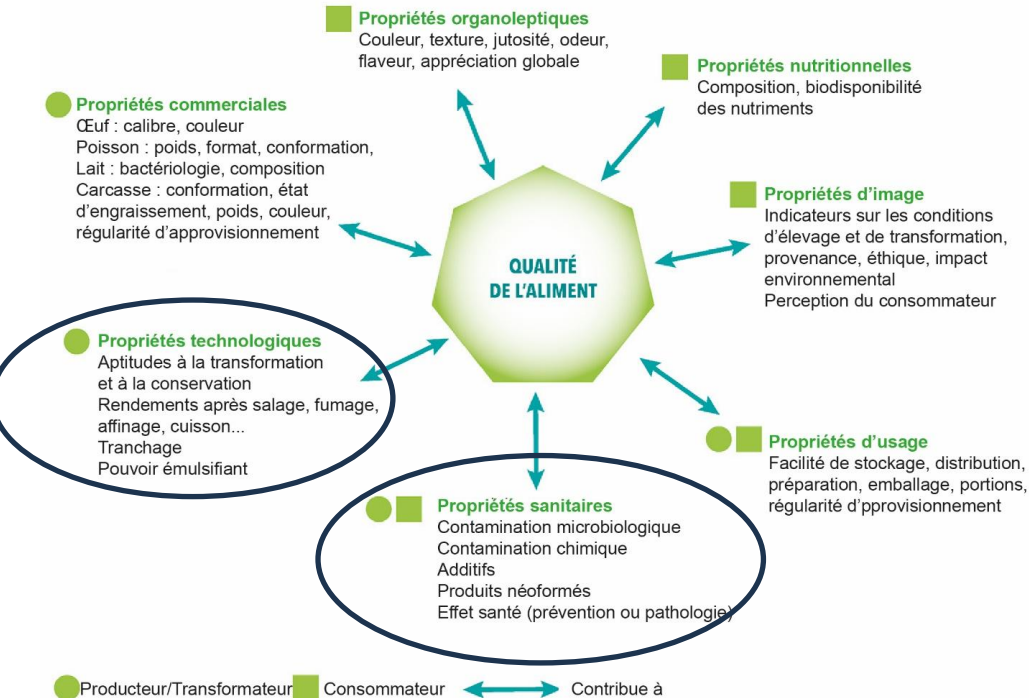
Présent- application industrielle (T/h)

70' – NIR dans le champs des céréales

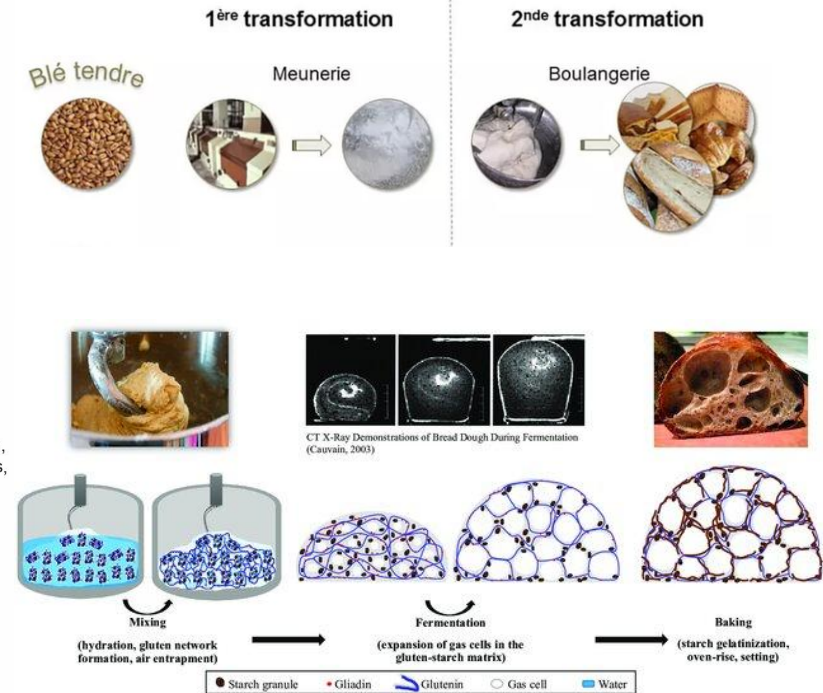
Principe de fonctionnement :

- Singularisation/Séparation des grains
- Détection (transmittance ou réflectance dans le proche infrarouge)
- Ejection (air comprimé)





Prache et al., 2022



## Qualité technologique = Aptitude à la transformation



Aptitude à la transformation en lien avec des caractéristiques :

- **Physiques**  
PMG, PS, Dureté, Humidité,...
- **Physico-chimiques**  
Protéine, Amidon, Enzyme
- **Rhéo-fermentaires**  
Rhéologique, Fermentaire

**Classe de qualité** (valeur commerciale)

Relative selon zone géographique et usage

Classes	Protéines en % de matière sèche	W en 10 <sup>-4</sup> joules/g	PS en kg/hl	Hagberg en seconde
Premium (A1)	> 11.5	> 170	> 77	> 240
Supérieur (A2)	> 11	Non spécifié	> 76	(> 220)
Medium (A3)	> 10.5	Non spécifié	Non spécifié	(> 170)
Access (A4)	Spécifique au contrat	Non spécifié	Non spécifié	Non spécifié

France Agrimer, 2022

Caractéristiques technologiques étudiées		
Gluten	Amidon	Alpha-amylase
Méthodes d'analyses	- Poids à l'hectolitre (Poids spécifique) - Humidité par infrarouge ou conductivité - Protéines et Amidon par infrarouge	
	- SDS/Redman Estimation force du gluten	- Hagberg (ou Stirring Number) Sans inhibition enzymatique
	- Glutomatic Force et estimation nature du gluten	- Viscosimètre RVA et MCR Sans ou Avec inhibition enzymatique Propriétés rhéologiques à chaud et à froid
	- Mixolab Chopin + Stabilité gluten, absorption d'eau et propriétés rhéologiques à chaud et à froid	
	- Zélény et sa mouture rapide Estimation force du gluten	
	- Alvéographe Chopin Force et nature du gluten	

Qualité panifiable belge du froment	Améliorant	Premium	Supérieur
Variété	Q1A	Q1	Q2
Humidité (%)	< 14,5 (< 15,5)		
Hagberg(s)	> 220 (> 180)		
Alvéographe Chopin : W Force boulangère (10-4 J)	> 275 (> 250)	> 225 (> 200)	> 175 (> 150)
Alvéographe Chopin : P/L Rapport Ténacité/Extensibilité	< 1,5 (< 2,0)		
Stabilité du gluten au Mixolab + (min)	> 10	> 9	> 8
Zélény (ml)	> 40	> 35	> 30
Protéines (N*5,7 ; %MS)	> 12,0 (> 11,5) BIO : > 11,5 (> 11,0)	> 11,5 (> 11,0) BIO : > 11,0 (> 10,5)	> 11,0 (> 10,5) BIO : > 10,5 (> 10,0)
Poids à l'hectolitre brut (kg/hl)	> 76,0 (> 73,0)		

Les valeurs entre parenthèses correspondent au seuil limite souple.

Projet FARWAL Vade Mecum sur la création d'une filière céréalière complète

➡ **Classement des variétés et des itinéraires de production**

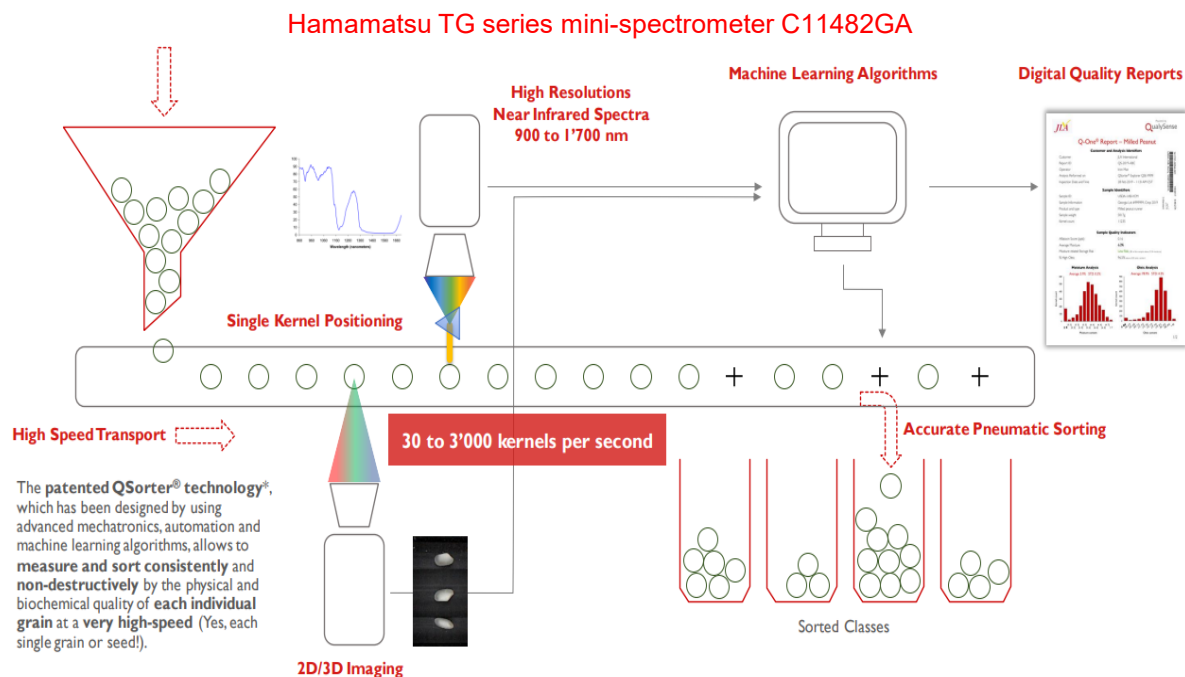
## Trieur Optique



Qsorter Explorer  
Qualysense ©

20-30 ms/graine

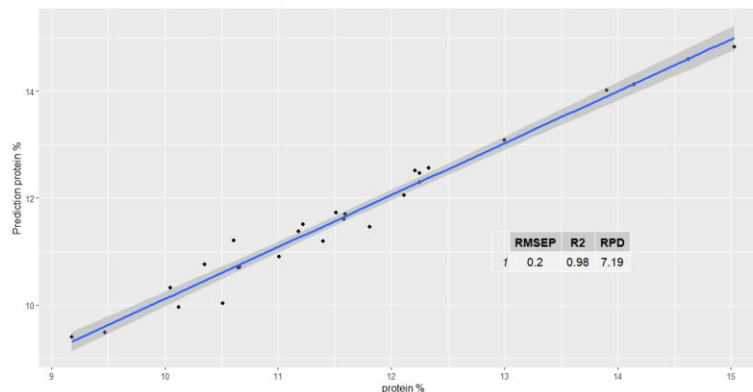
1. Acquisition : Spectre IR par réflexion 900-1700 nm et image RGB
2. Prédiction (machine learning)
3. Tri (seuil de coupure fixe ou variable)



## Machine learning :

Développement et implémentation de modèles **PLS-DA** et **PLS-R** :

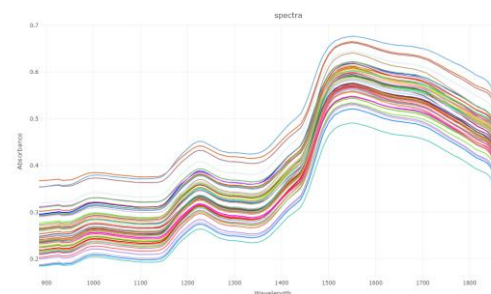
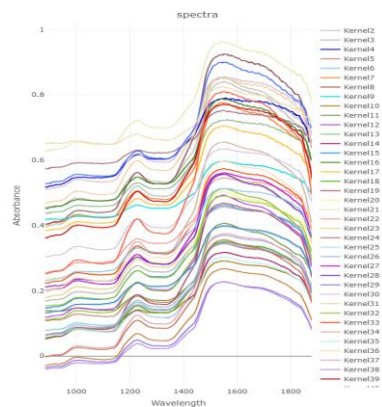
Valeur(s) de référence(s)



Spectres grains

Spectres moyens (+/- 1500)

Spectres



Pré-traitement :

- SNV
- Savitzky-Golay



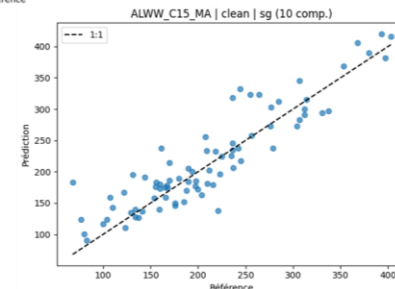
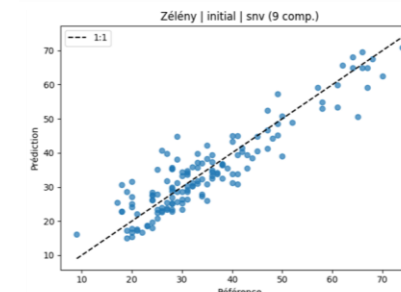
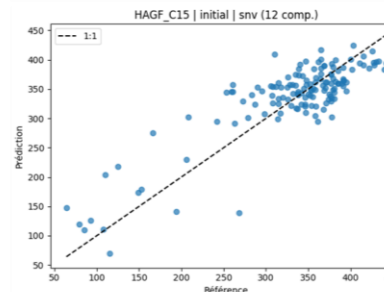
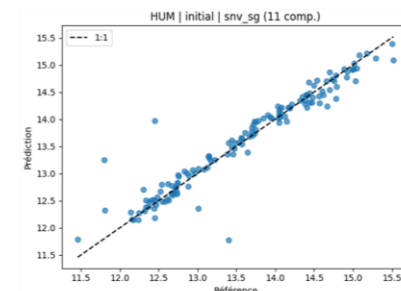
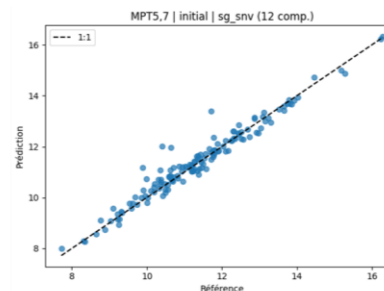
## Modèles de prédiction qualité technologique sur froment

- 5 Preprocessing (RAW, SNV, Savitzky-Golay (11, 2, d = 1), SNV + SG, SG + SNV)
- Validation hold-out 80%/20% (Stratified Split sur valeurs de référence)
- Sélection nLV et preprocessing sur 10-fold CV

	Protéines	Humidité	Zélény	Hagberg	W
Unité	% (M.S.)	%	ml	s	10-4 J
Prétraitement	SG + SNV	SNV + SG	RAW	RAW	SG
N	707	707	707	707	400
Outliers (excluded)	0	0	0	0	0
Année de récolte	2022 – 2023 – 2024	2022 – 2023 – 2024	2022 – 2023 – 2024	2022 – 2023 – 2024	2022 – 2023 – 2024
Min.	6.2	10.34	9	62	52
Max.	17.56	16.02	74	473	532
Moy.	11.37	13.61	34.98	329.65	210.78
SD	1.64	0.97	13.51	78.89	83.12
Nlv	12	11	9	12	10
RMSECV	0.393	0.247	6.361	42.211	44.465
RMSEP	0.341	0.271	5.270	40.452	34.751
R <sup>2</sup>	0.950	0.917	0.843	0.731	0.810
RPD	4.50	3.49	2.53	1.94	2.31

Composition

Rhéologie



## Applications potentielles dans



1) Automatisation du  
contrôle qualité



2) Amélioration de la  
qualité des lots



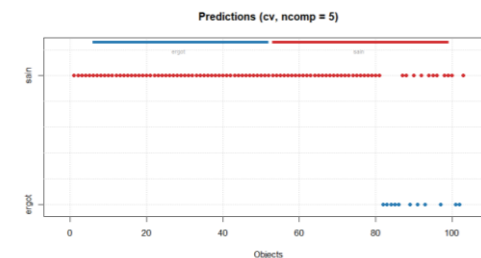
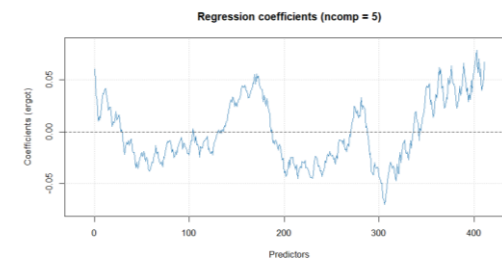
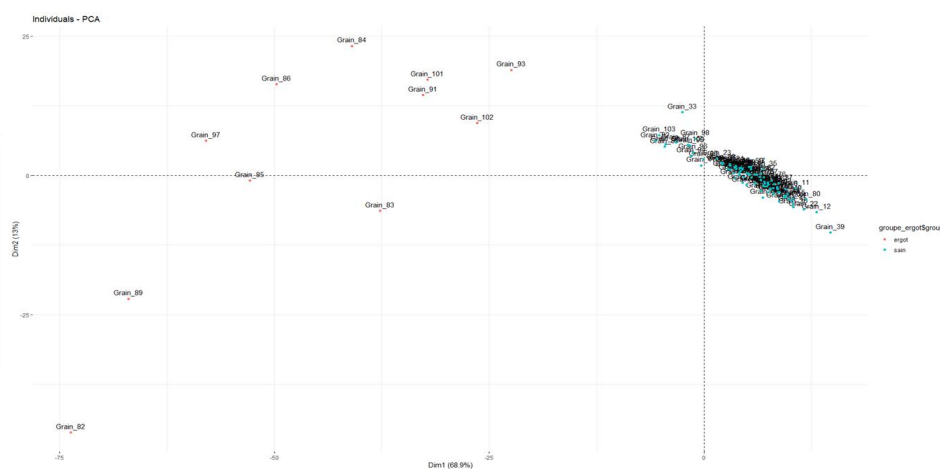
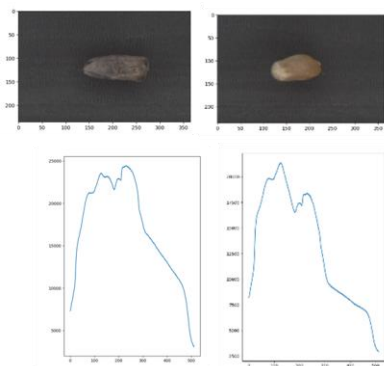
3) Appui à l'amélioration  
variétale

# 1) Automatisation du contrôle qualité (Détection des contaminants)

## Qualité sanitaire : ergot (*Claviceps purpurea*)



**Directive européenne 1399/2021**, la présence de sclérotés dans les lots de céréales destinées aux denrées alimentaires ne doit pas dépasser 0.2 g/kg (3 à 5 sclérotés)

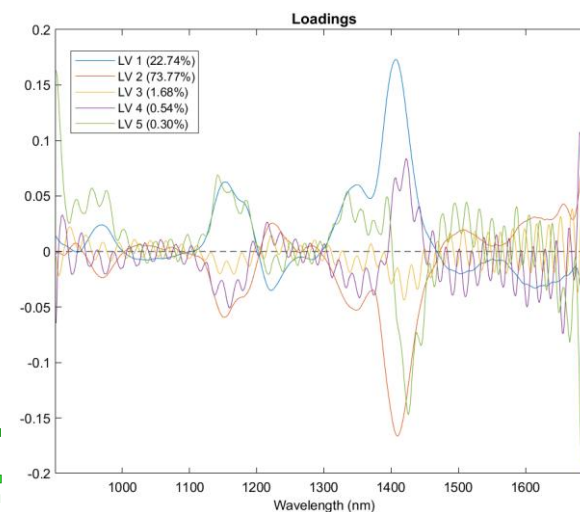
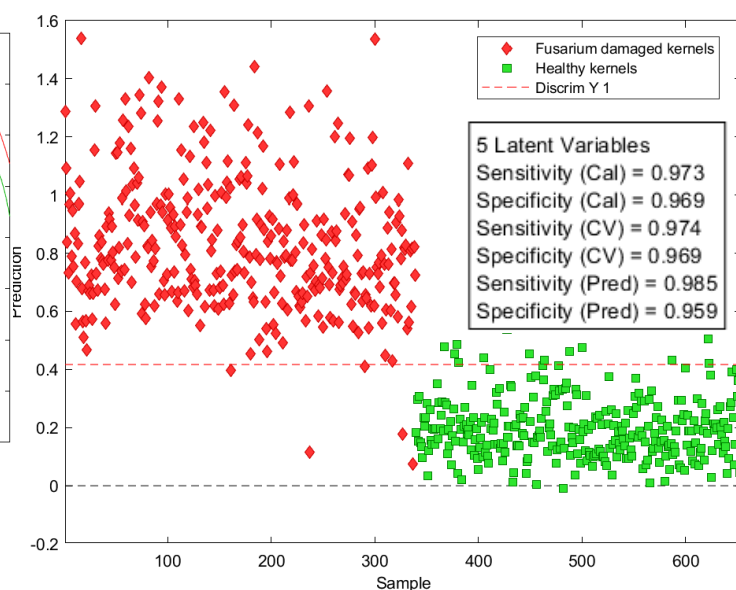
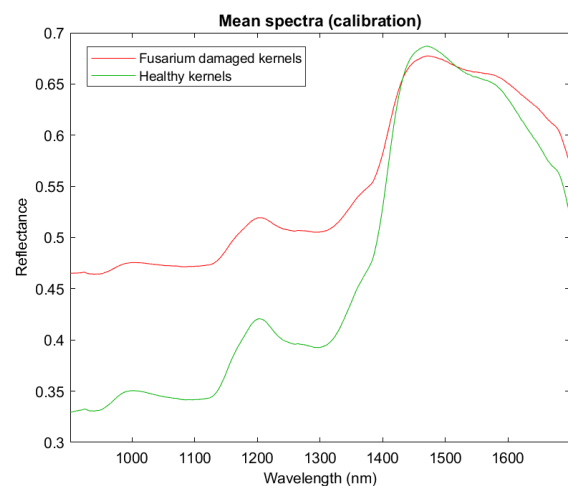


Méthodes « des contrôles officiels »  
règlements EU 401/2006 et 691/2013

60 à 100 échantillons élémentaires (1 kg) dans une benne de 30 tonnes

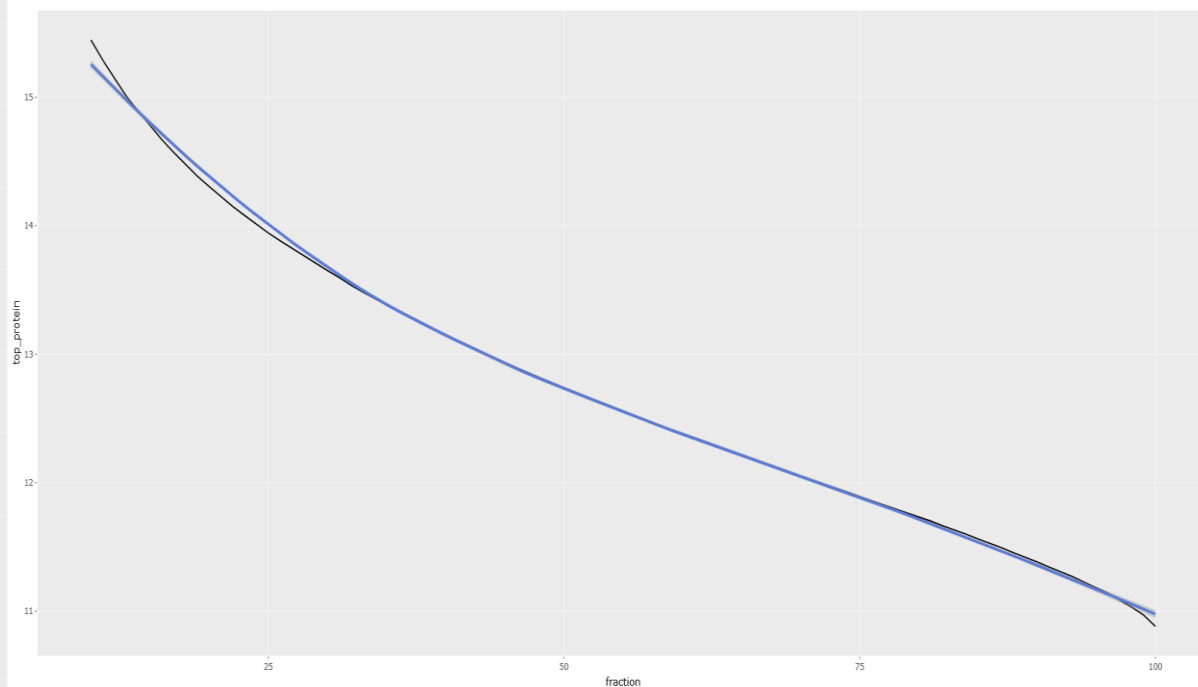
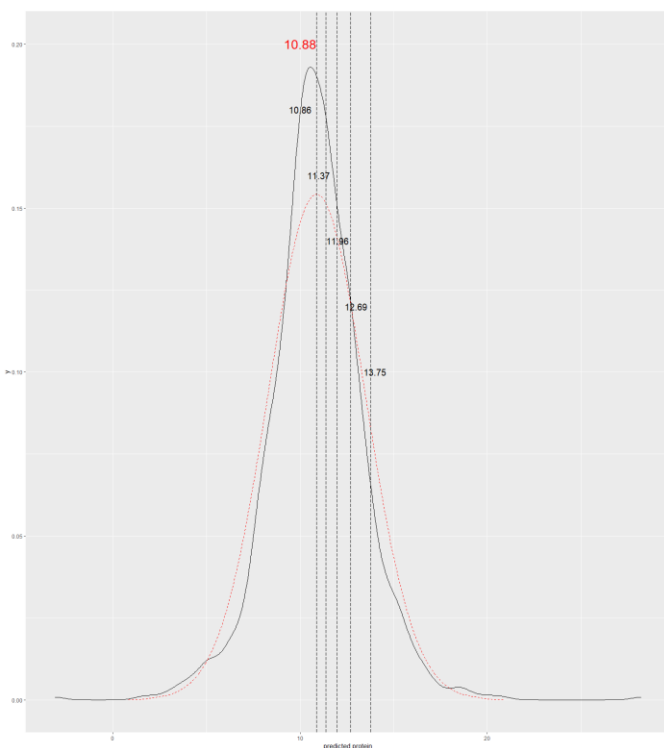
# 1) Automatisation du contrôle qualité (Détection des contaminants)

## Qualité sanitaire : Grains fusariés



## 1) Automatisation du contrôle qualité

Qualité technologique : Teneur en protéine Froment



→ Distribution (homogénéité du lot – Robustesse technologique)  
potentiel de tri



## 2) Amélioration de la qualité des lots

### Qualité technologique : Teneur en protéine Froment



Journal of Cereal Science  
Available online 17 June 2025, 104232  
In Press, Journal Pre-proof [What's this?](#)



#### Improving Breadmaking Quality of Winter Wheat Using Single Kernel NIR Protein Sorting

P.-Y. Warrie<sup>1</sup>, A. Beaugendre<sup>1</sup>, D. Mingeot<sup>1</sup>, C. Demolitié<sup>2</sup>, P. Vermeulen<sup>2</sup>, S. Gofflat<sup>1</sup>,  
I. De Leyn<sup>1</sup>, B. Godin<sup>1</sup>

[Show more](#)

[Add to Mendeley](#) [Share](#) [Cite](#)

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104232>

[Get rights and content](#)

#### Wheat grades/varieties

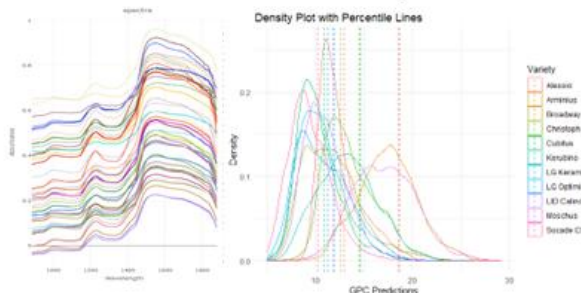
#### Single kernel NIR sorting (GPC)

#### Technological quality evaluation on

##### Standard Breadmaking



##### Based on the 67<sup>th</sup> percentile



##### Unsorted

##### Low Protein fraction (LPF)

##### High protein fraction (HPF)

##### Grain/flour



##### Dough



##### Pan-Bread

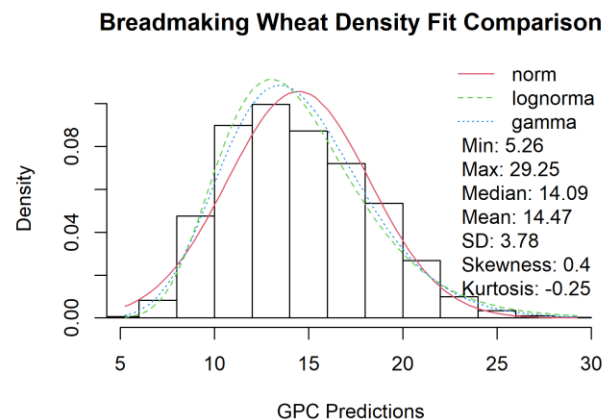
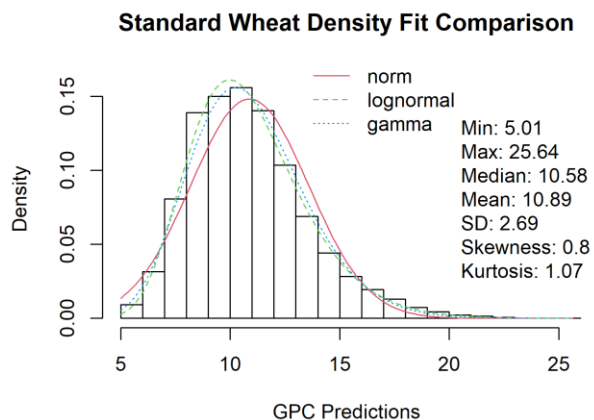
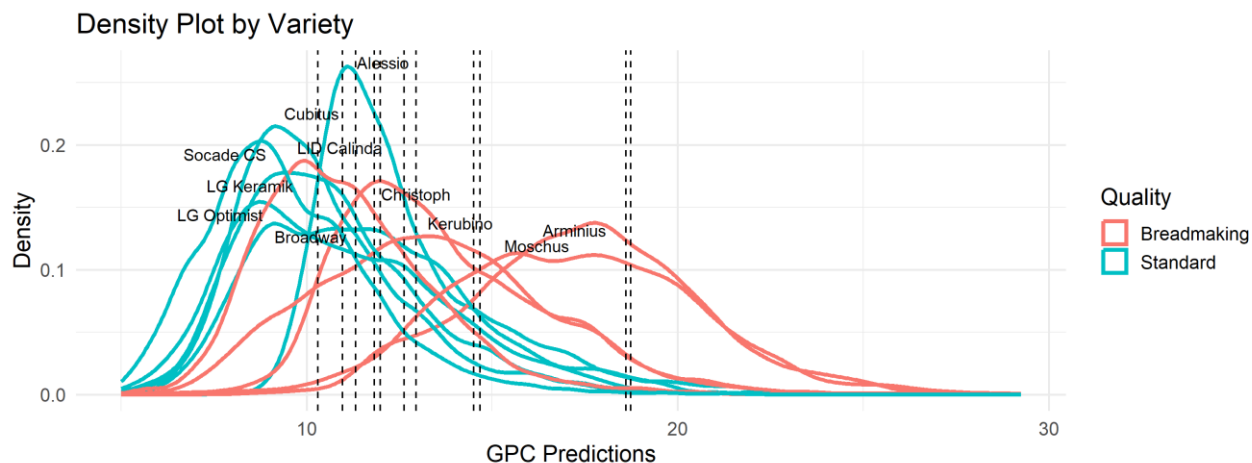


Grain/flour protein content  
Falling number/sedimentation index  
Flour milling  
(Yield, Particle size, ash, Glutomatic)

Dough rheological quality  
(Glutopack, Alveolab, Mixolab)

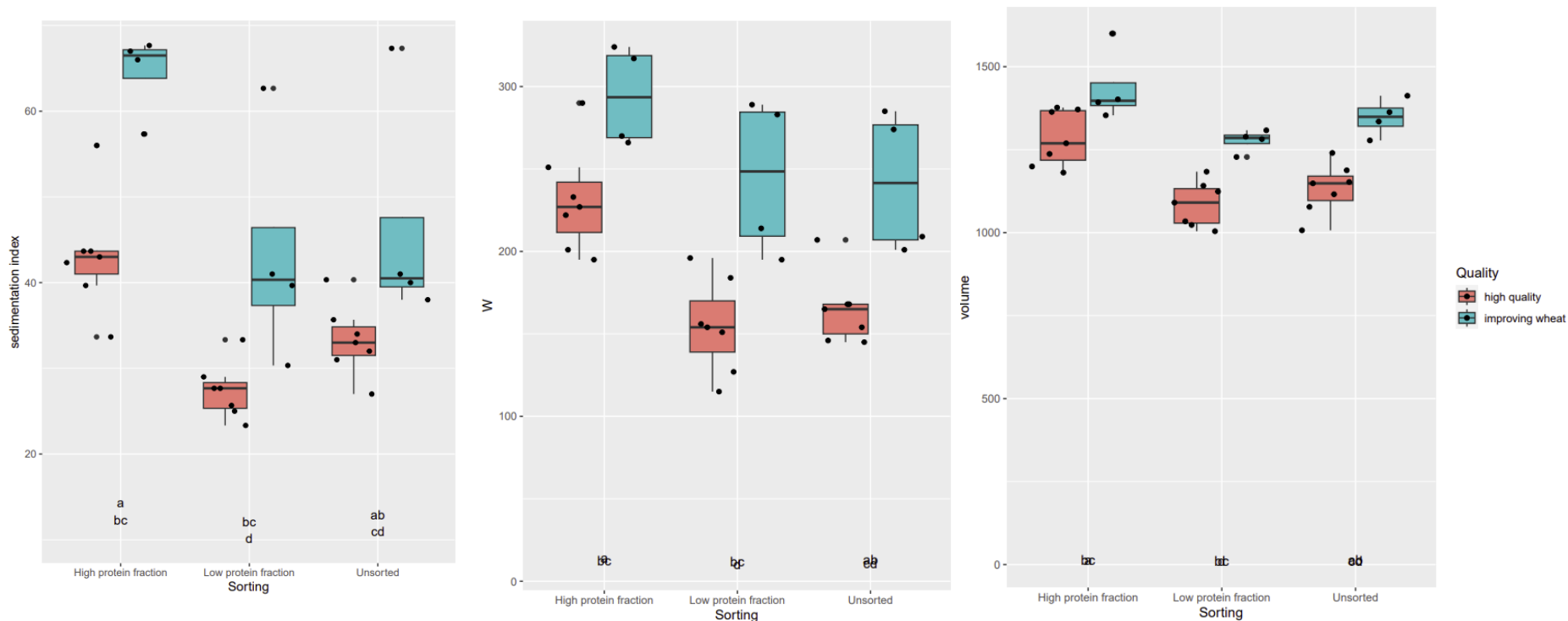
Bread morphology  
Texture profile analysis (TPA)  
Crumb structure

## 2) Amélioration de la qualité des lots



## 2) Amélioration de la qualité des lots

### Qualité technologique : Teneur en protéine Froment



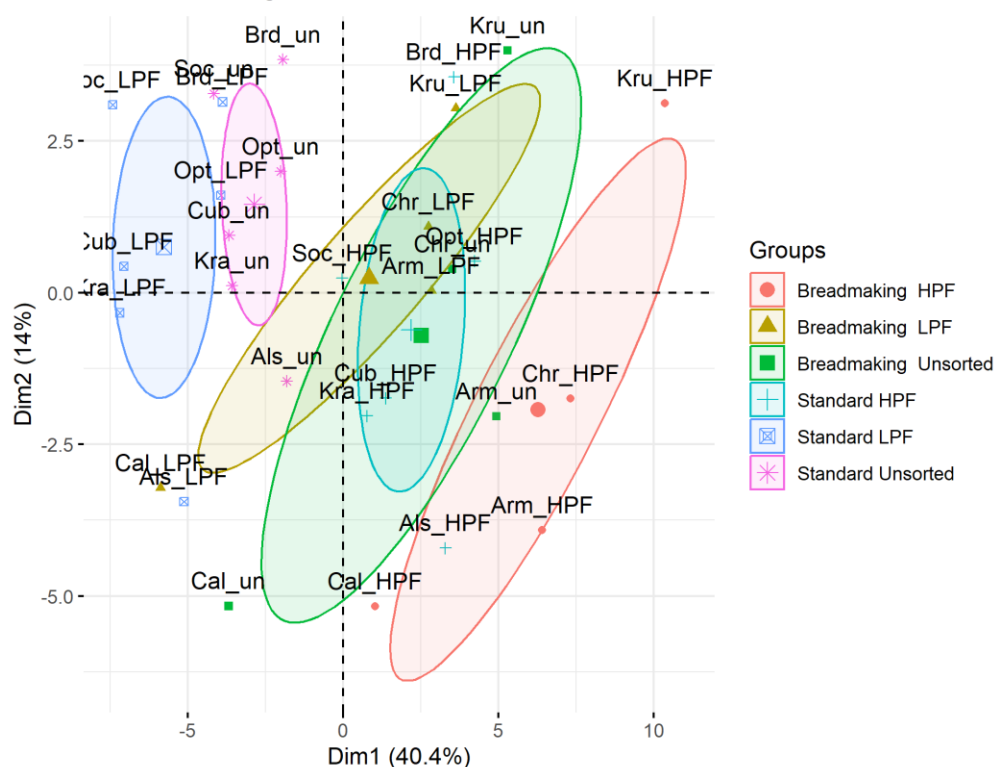
### Évaluation robustesse technologique

## 2) Amélioration de la qualité des lots

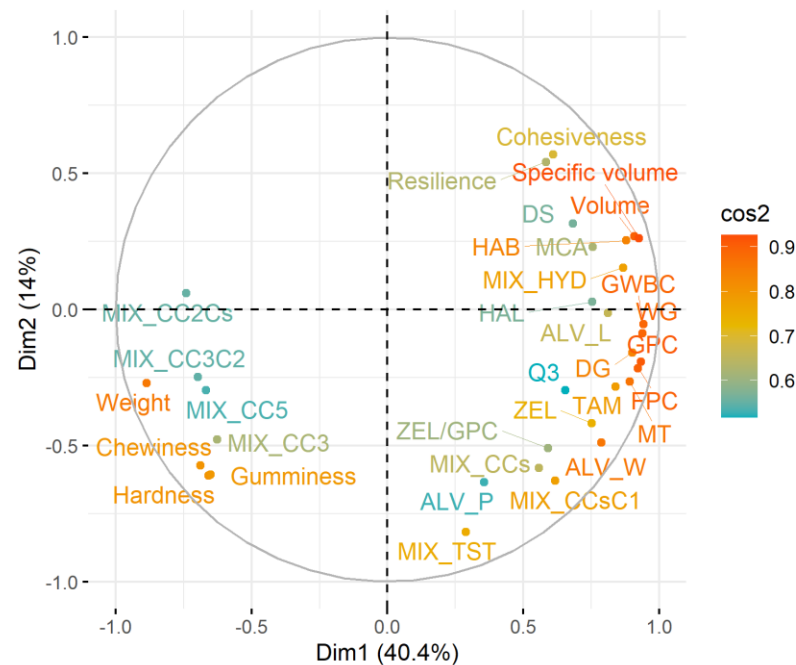
### Qualité technologique : Teneur en protéine Froment



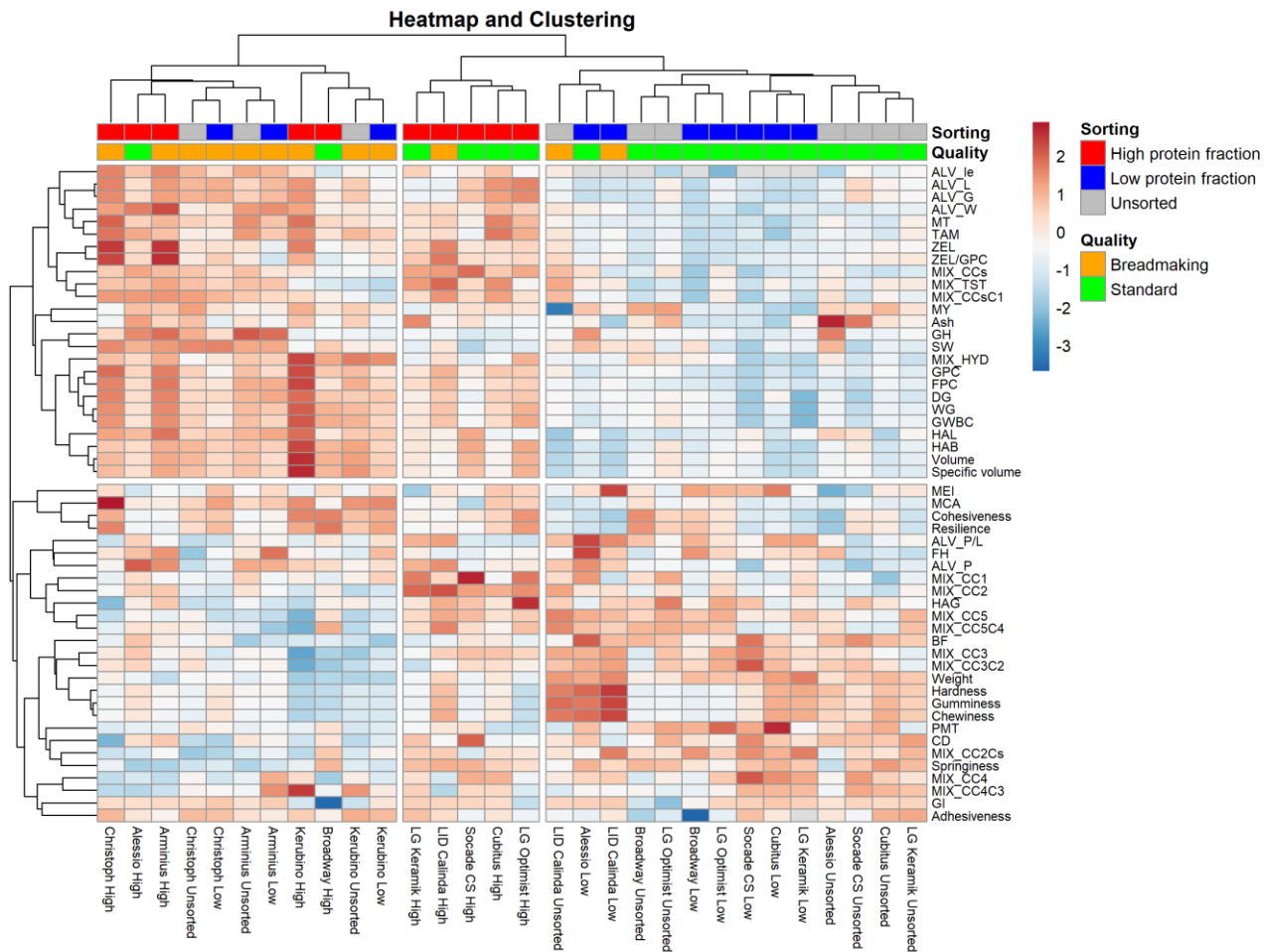
Individuals - PCA



Variables - PCA



## 2) Amélioration de la qualité des lots



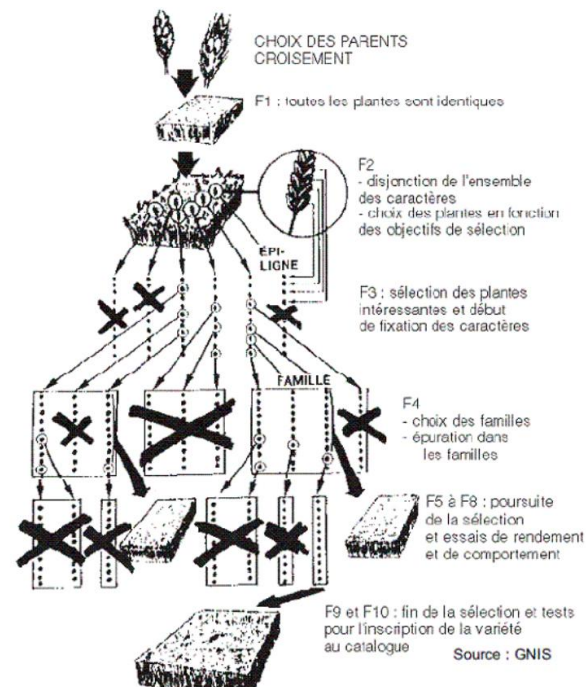
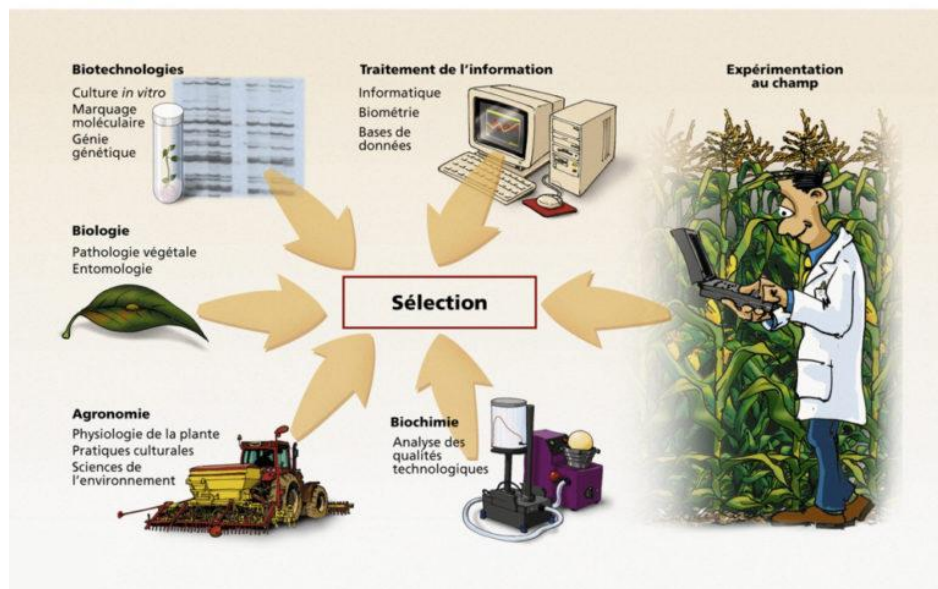


### 3) Appui à l'amélioration variétale

Qualité technologique : Teneur en protéine & mitadinnage Blé dur



**La sélection : une activité pluridisciplinaire**

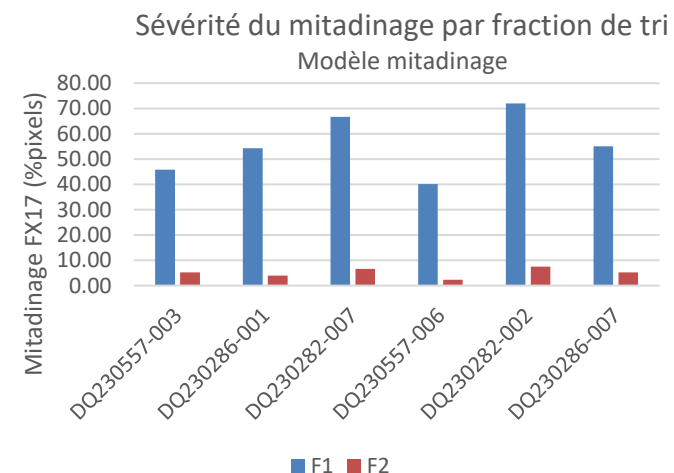
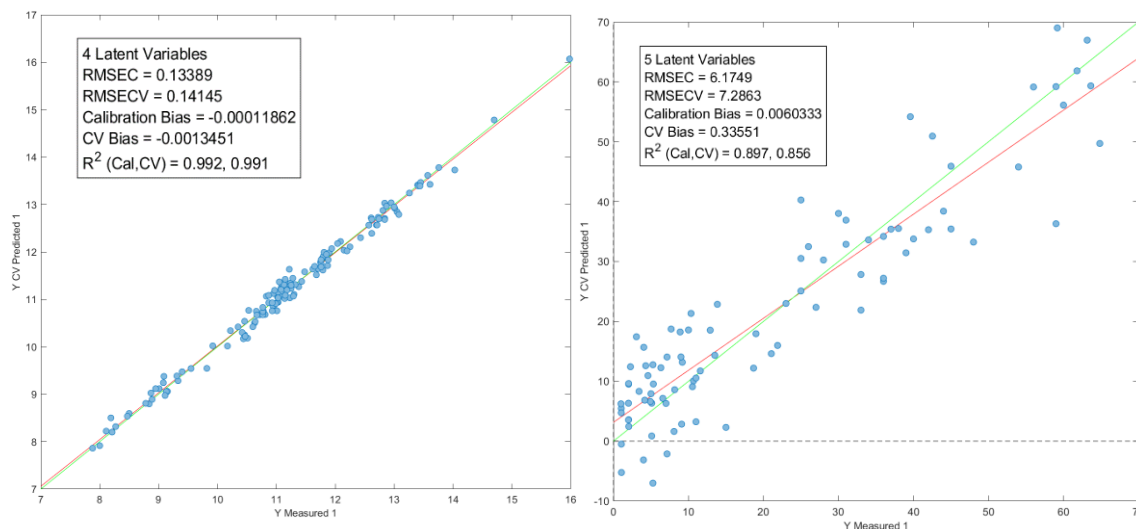


Blé dur de qualité (protéine/mitadinnage) adapté au (futur) climat belge



### 3) Appui à l'amélioration variétale

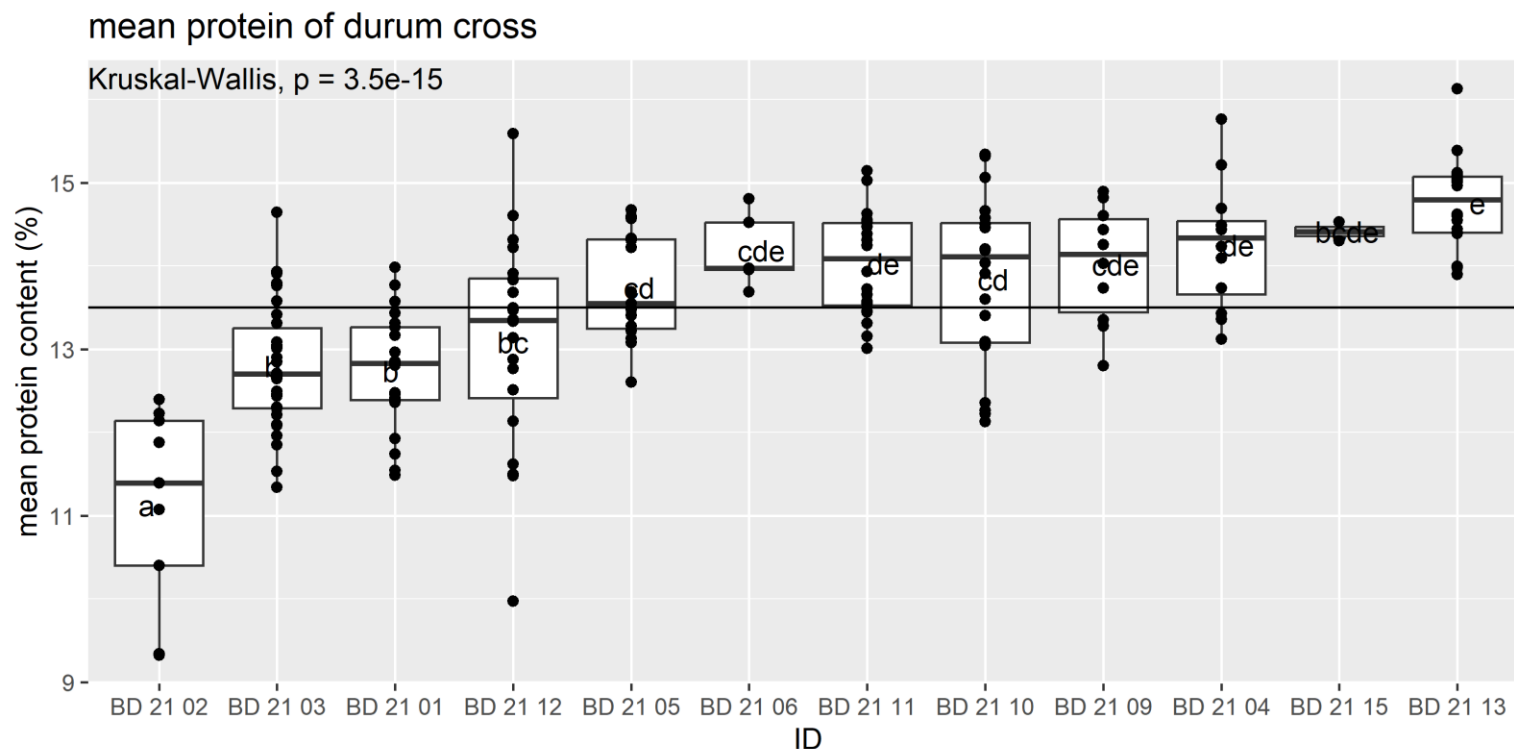
Qualité technologique : Teneur en protéine & mitadinnage Blé dur



Diminution mitadinnage fraction vitreuse en-dessous norme industrie même pour lots très mitadins

### 3) Appui à l'amélioration variétale

Qualité technologique : Teneur en protéine & mitadinnage Blé dur



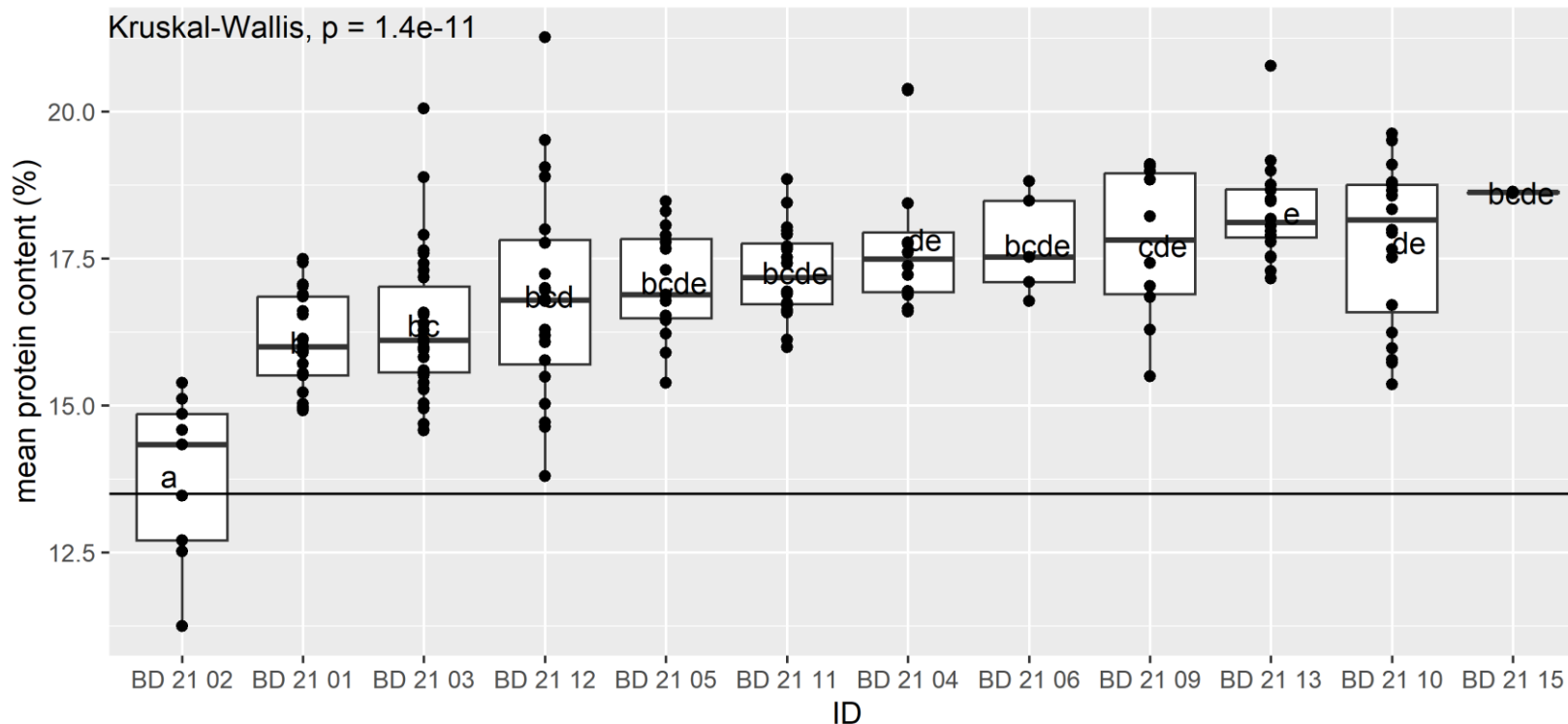
Chaque point est une répétition d'un croisement de blé dur en F3

Ecart important entre les croisements et au sein des répétitions de ceux-ci

### 3) Appui à l'amélioration variétale

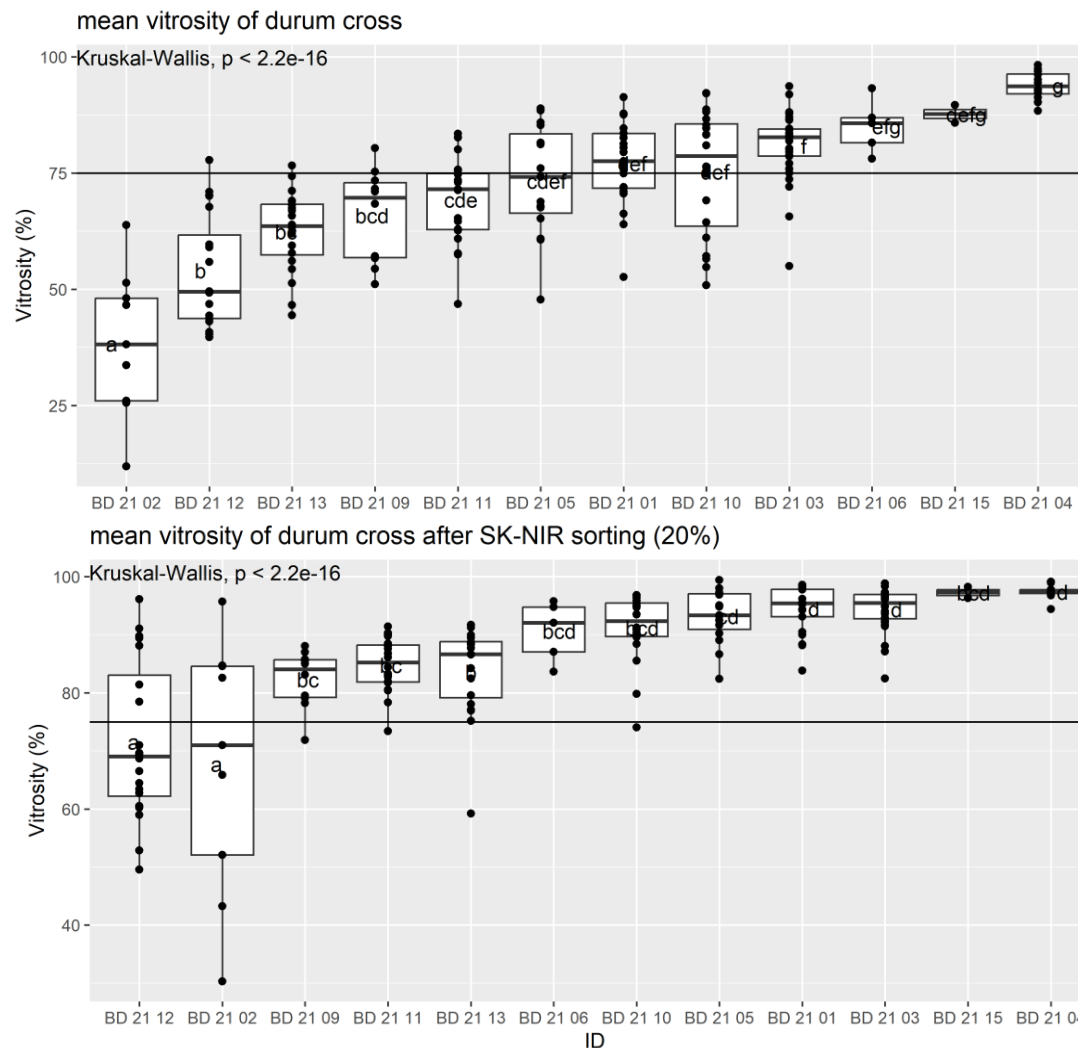
Teneur en protéine moyenne après tri des 20% supérieurs

mean protein of durum cross after SK-NIR sorting (20%)



### 3) Appui à la création variétale

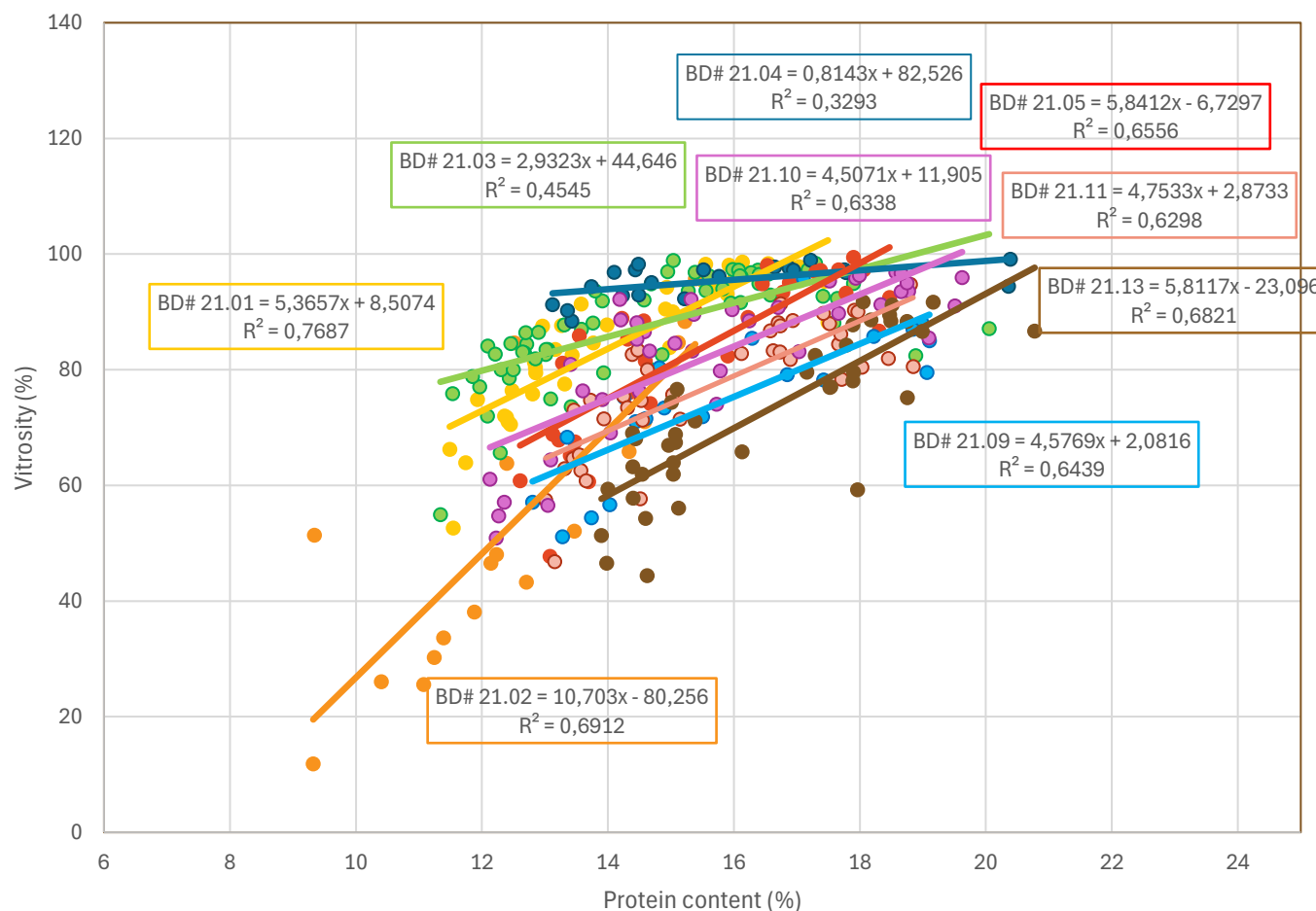
Tendance similaire pour la vitrosité des grains





### 3) Appui à l'amélioration variétale

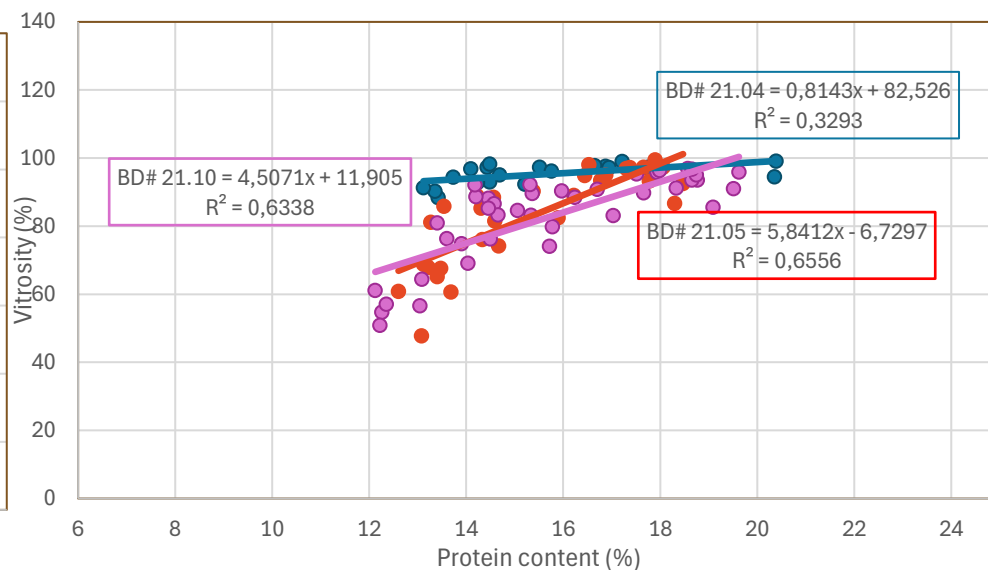
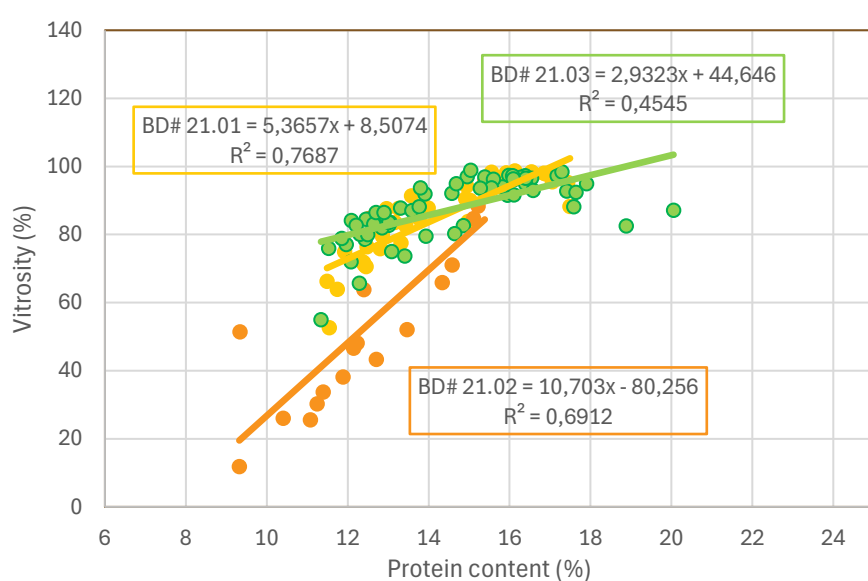
Relation Vitrosité vs Protéines selon chaque croisement



### 3) Appui à l'amélioration variétale

Croisement incluant  
Wintergold

Croisement incluant  
Karur



### 3) Appui à l'amélioration variétale

Classement rapide et bon marché de la descendance

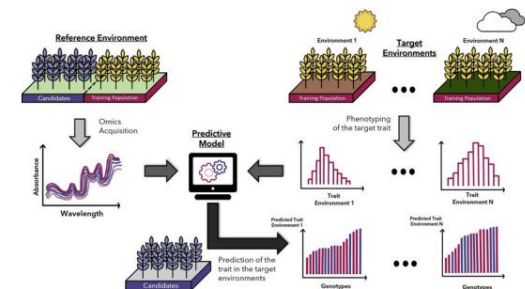
- La pépinière F4 est sur 6 rangs
- 2 rangs avec des grains à haute teneur en protéines



- Les spectres NIR en tant qu'indicateur du caractère cible
- Possibilité d'étendre à d'autres environnements (GEI)
- Inclure des données génomiques



Sélection phénomique

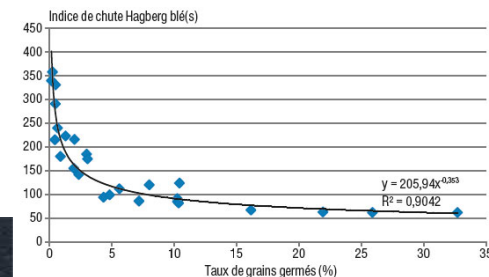


**Fig. 1** Prediction of a target trait for the selection candidates in different environments with GLOB selection. Training population is phenotyped for the target traits (e.g., productivity) in the target environments. Omics or phenomic data (e.g., NIR spectra) are collected on both the candidate and the training individuals in a same reference environment, for capturing a genetic similarity between individuals. Genotypic values of the selection candidates are predicted for the target traits in each target environment

Pauline Robert, Charlotte Brault, Renaud Rincet, Vincent Segura. Phenomic Selection: A new and efficient alternative to genomic selection. *Methods in Molecular Biology*, 2022, *Methods in Molecular Biology*, 2467, pp.397-420. [ff10.1007/978-1-0716-2205-6\\_14ff](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2205-6_14ff). [ffhal-03654962f](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2205-6_14ff)

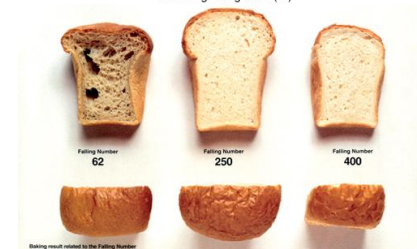
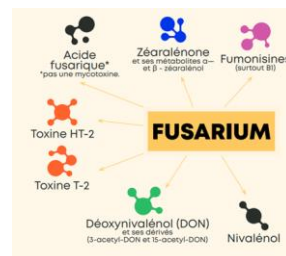
## Technologique

- Temps de chute de Hagberg (pré-germination physiologique)
- Qualité des protéines (Zélény, W,...)



## Qualité sanitaire

- Grains fusariés (mycotoxines)
- Carie



## Amélioration variétale



Des questions / collaborations ?  
[p.werrie@cra.wallonie.be](mailto:p.werrie@cra.wallonie.be)

**Merci pour votre attention !**



# Join us!

## DATES

From Monday 29 September PM  
to Friday 3 October AM

## REGISTRATION FEE

2500 €  
50% discount for students (1250 €)  
including attendance to the training, training material,  
coffee breaks, lunches and participation to a social  
event

## REGISTRATION

<https://gqr.sh/bbn2>



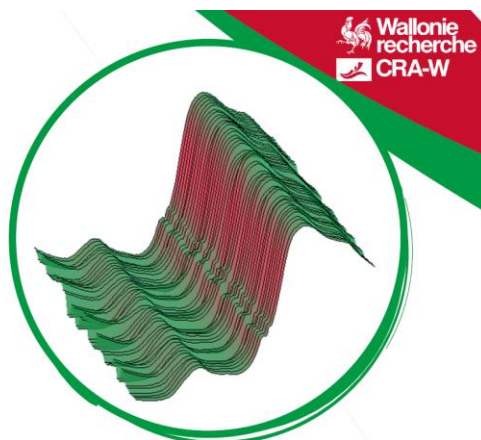
## CRA-W

Walloon Agricultural  
Research Center

+32 81 87 52 05

f.stevens@cra.wallonie.be

www.cra.wallonie.be



Wallonie  
recherche  
CRA-W

## XVII<sup>th</sup> Vibrational Spectroscopy and Chemometrics Training Course

29 September to 3 October 2025

Walloon Agricultural  
Research Center (CRA-W)  
Gembloux, Belgium

**Theoretical and practical course  
dedicated to  
scientists and industry professionals  
seeking to discover  
or improve their skills in  
spectroscopy and chemometrics**

## Speakers

### Spectroscopy

- Vincent BAETEN
- Audrey PISSARD
- Louis PATERNOSTRE
- Octave CHRISTOPHE

### Applications

- Philippe VERMEULEN
- Corentin DEMOITIE
- Damien VINCKE

### Chemometrics

- Juan Antonio  
FERNANDEZ PIERNA
- Antoine DERYCK
- François STEVENS

## Invited speakers



**Beatriz Carrasco**  
Mining4Quality



**Tom FEARN**  
University College  
London



**Wouter Saey**  
KU Leuven



**Pierre DARDENNE**  
Consultant

Wallonie  
recherche  
CRA-W