

COMPRÉHENSION DE L'EFFET DES INTERACTIONS GÉNOTYPE-MILIEU SUR LA VALEUR BOULANGÈRE

Benoît MELEARD

UNILASALLE : THIERRY AUSSENAC, LARBI RHAZI

CETAC : SYLVIE DUTRIEZ, BENOÎT FOUCAULT, PASCAL
GIRAUDEAU, THIERRY MOITTIÉ, JULIEN SEPTIER

GIE CLUB5 : JÉRÔME AUZANNEAU, SÉBASTIEN CAIVEAU,
CLÉMENT DEBITON, LAURE DUCHALAIS, CÉLINE DUQUE, DELPHINE
TAILLIEU

MOULINS SOUFFLET : FABRICE BOURJOT

BANETTE : FABIEN FAISY

ARVALIS : PIERRE LEMEUNIER, SONIA GEOFFROY

PEUT-ON PRÉDIRE SI UN ENVIRONNEMENT EST PROPICE À L'ÉVALUATION VARIÉTALE POUR LA VALEUR TECHNOLOGIQUE?

Quelle est la part d'influence sur les variations du
comportement en panification :

des variables de composition du grain?

des variables climatiques?

CONTEXTE

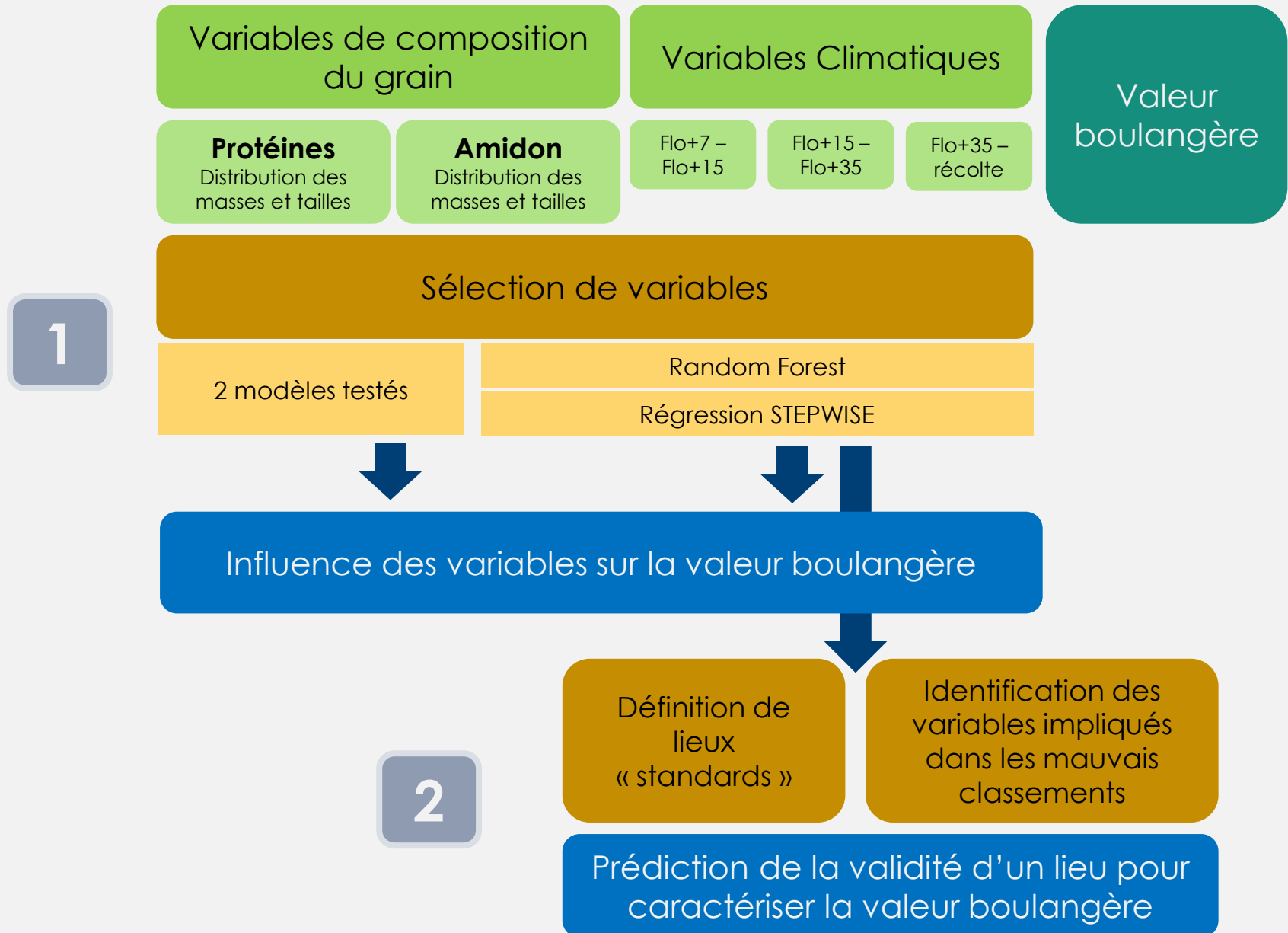
Constat	Conséquences
L'effet des facteurs biotiques et abiotiques sur la qualité n'est pas clairement démontré actuellement (effet de la fusariose, des cécidomyies, du stress thermique,...)	1. Pas de règles de décision formalisées pour valider/conserver ou invalider/éliminer un lieu d'essai ou un point aberrant?
La classe technologique d'inscription est établie sur une seule année	1. Un déclassement de la variété peut la rendre non inscriptible 2. La classe techno d'inscription peut être remise en cause en post-inscription
La qualité que sème l'agriculteur n'est pas garantie à la récolte	1. Requalification systématique par les utilisateurs à la nouvelle récolte

Des difficultés méthodologiques à statuer sur la **validité d'un lieu d'essai** pour qualification du comportement technologique

Des difficultés méthodologiques à statuer sur la **valeur d'usage d'une variété** (sélectionneur, CTPS, post-inscription) et des incertitudes quant à sa stabilité dans le temps et l'espace (utilisateurs)

Une connaissance insuffisante des **facteurs d'influence** de la valeur boulangère

STRATÉGIE MISE EN PLACE



UN DISPOSITIF ORTHOGONAL PRIVILÉGIANT LA DIVERSITÉ AGRO-PÉDO-CLIMATIQUE

- 11 lieux x 14 génotypes x 2 années

Site	Responsable site
Italie (Bologne)	SYNGENTA
Espagne (Navarre)	LIMAGRAIN
Hongrie	FLORIMOND DESPREZ
Auchy-Lez-Orchies (59)	LEMAIRE DEFFONTAINES
Froissy (60)	UNISIGMA
Estrées Saint Denis (60)	SAATEN UNION
Orsonville (78)	AGRI OBTENTIONS
Caussade (82)	CAUSSADE
Poitiers (86)	RAGT
Echemines (10)	KWS MOMONT
Attray (45)	SECOBRA



- 3 blocs répétés
- une diversité allélique sur GluD1

Variété	GluD1
AEROBIC	5+10
APACHE	3+12
AREZZO	5+10
ATOUPIC	3+12/2+12
BOREGAR	2+12
FRUCTIDOR	5+10
GALOPAIN	2+12
GRANAMAX	5+10
HYSTAR	3+12/2+12
OREGRAIN	2+12
RUBISKO	2+12
SOLEHIO	5+10
SOLLARIO	5+10
TIEPOLO	5+10

PHÉNOTYPAGE

- Test normalisé (NF V03-716), 34 notations intermédiaires
- 3 laboratoires

	Insuffisant				Forte				
	1	4	7	10	7	4	1		
PÉTRISSAGE									
LISSAGE								× 0.5 -	
<u>COLLANT DE LA PÂTE</u>								× 0.5 -	
CONSISTANCE								× 0.5 -	
EXTENSIBILITÉ								× 0.5 -	
ELASTICITÉ								× 0.5 -	
<u>RELACHEMENT</u>								× 0.5 -	
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{PÉTRISSAGE} \quad \#25$									
POINTAGE									
DETENTE : RELACHEMENT								× 1 -	
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{POINTAGE} \quad \#10$									
FACONNAGE									
<u>ALLONGEMENT</u>								× 0.5 -	
DECHIREMENT								× 0.5 -	
ELASTICITÉ								× 0.5 -	
<u>COLLANT DE LA PÂTE</u>								× 1 -	
$0.0 \times 0.00 = 0.0 \quad \#25$									
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{FACONNAGE} \quad \#100$									
APPRET									
ACTIVITÉ FERMENTAIRE								× 0.5 -	
PÂTE : DECHIREMENT								× 0.5 -	
$0.0 \quad \#10$									
MISE AU FOUR									
<u>COLLANT DE LA PÂTE</u>								× 1 -	
<u>TENUE DE LA PÂTE</u>								× 2 -	
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{MISE AU FOUR} \quad \#30$									
CARACTÉRISTIQUES DU PAIN									
SECTION								× 1 -	
COULEUR								× 2 -	
ÉPAISSEUR								× 0.5 -	
CRUSTILLANT								× 0.5 -	
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{CROUSTILLANT} \quad \#70$									
COUPS DE LAME									
<u>DÉVELOPPEMENT</u>								× 1 -	
RÉGULARITÉ								× 1 -	
DECHIREMENT								× 1 -	
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{COUPS DE LAME} \quad \#100$									
VOLUME									
VOLUME MOYEN								× 1 -	
MASSÉ MOYENNE								× 1 -	
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{VOLUME} \quad \#30$									
CARACTÉRISTIQUES DE LA MIE									
COULEUR								× 1 -	
TEXTURE								× 1 -	
SOUPLESSE								× 1 -	
ELASTICITÉ								× 1 -	
COLLANT								× 1 -	
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{CARACTÉRISTIQUES DE LA MIE} \quad \#100$									
ALVEOLAGE									
RÉGULARITÉ								× 1 -	
ÉPAISSEUR								× 1 -	
ODEUR								× 1 -	
$\text{TOTAL} \times \text{COEFFICIENT} = \text{ALVEOLAGE} \quad \#300$									
NOTE TOTALE									

NB : La grille doit être remplie avec la lettre 'x'. Ne mettre qu'une seule croix par ligne.



ANALYSES DE COMPOSITION

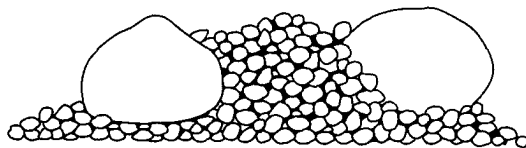
o protéines

A4F-MALLS



[HMWglu]
[LMWglu]
[HMWglu]/[LMWglu]
[Masse molaire en nombre Mn
Masse molaire en masse Mw
Indice de polydispersité Ip]

Échantillon A



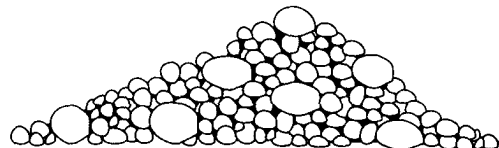
500 macromolécules de 1 kg
2 macromolécules de 250 kg

$$\overline{M}_n = \frac{500 \times 1 + 250 \times 2}{500 + 2} = 1,99.$$

$$\overline{M}_w = \frac{500 \times 1^2 + 2 \times 250^2}{500 \times 1 + 2 \times 250} = 125,5.$$

$$I_p = \frac{125,5}{1,99} = 63.$$

Échantillon B



400 macromolécules de 1 kg
100 macromolécules de 6 kg

$$\overline{M}_n = \frac{400 \times 1 + 100 \times 6}{400 + 100} = 2,0.$$

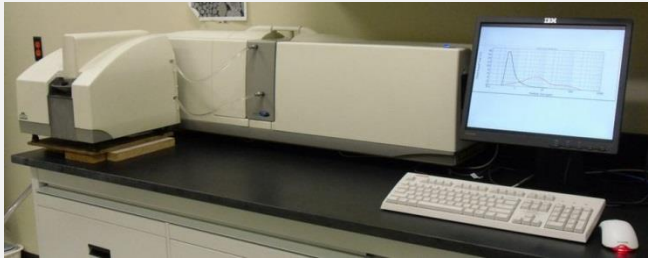
$$\overline{M}_w = \frac{400 \times 1^2 + 100 \times 6^2}{400 \times 1 + 100 \times 6} = 4,0.$$

$$I_p = \frac{4}{2} = 2.$$

ANALYSES DE COMPOSITION

o amidon

Granulomètre laser



[granule A]
[granule B]
[granule C]

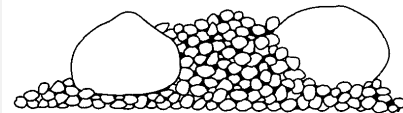
[amidon]
[amylose]
[amylopectine]
[amylose]/[amylopectine]

A4F-MALLS



Masse molaire en nombre M_n
Masse molaire en masse M_w
Indice de polydispersité I_p

Échantillon A



500 macromolécules de 1 kg
2 macromolécules de 250 kg

$$\overline{M}_n = \frac{500 \times 1 + 250 \times 2}{500 + 2} = 1,99.$$

$$\overline{M}_w = \frac{500 \times 1^2 + 2 \times 250^2}{500 \times 1 + 2 \times 250} = 125,5.$$

$$I_p = \frac{125,5}{1,99} = 63.$$

Échantillon B



400 macromolécules de 1 kg
100 macromolécules de 6 kg

$$\overline{M}_n = \frac{400 \times 1 + 100 \times 6}{400 + 100} = 2,0.$$

$$\overline{M}_w = \frac{400 \times 1^2 + 100 \times 6^2}{400 \times 1 + 100 \times 6} = 4,0.$$

$$I_p = \frac{4}{2} = 2.$$

INFLUENCE DES VARIABLES DE COMPOSITION

SUR LES PARAMÈTRES DE LA PANIFICATION

1

○ Régression STEPWISE

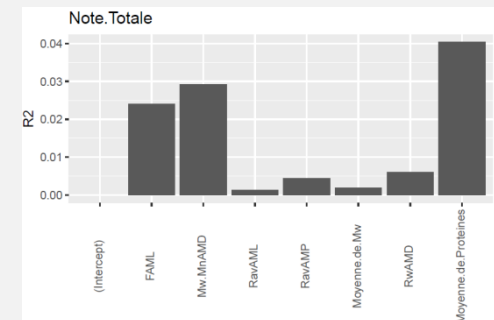
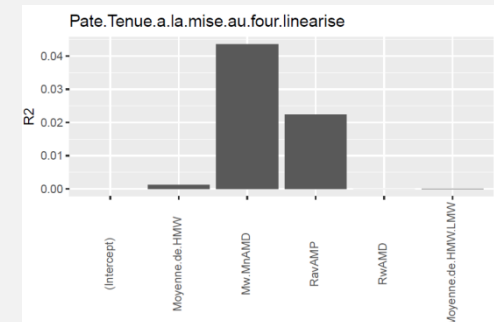
[9 variables de composition PROTEINES +
32 variables de composition AMIDON]
x 34 paramètres du test de panification

R² des variables de composition
sélectionnées par régression
STEPWISE vis-à-vis des principales
caractéristiques au test de
panification

		Hydratation	Collant pétrissage	Allongement	Elasticité	Tenue à la mise au four	Développement	Volume	NTP
PROTEINES	[protéines]	0.089			0.060		0.165		0.040
	HMW/LMW		0.013						
	HMW	0.021	0.019						
	IP=Mw/Mn			0.038				0.011	
	Mn						0.011		
	Rw						0.013	0.021	
AMIDON	[amidon]							0.018	
	d09		0.027					0.018	
	D..4.3.			0.047					
	FAML		0.012						0.024
	IP AML = Mw/Mn AML		0.021						
	MavAMP		0.030						
	IP AMD = Mw/Mn AMD			0.120	0.099	0.044		0.026	0.029

■ Influence >0
■ Influence <0

Le collant de la pâte est
influencé par les
caractéristiques de l'amidon



La répartition des
différentes tailles de
chaînes d'amidon a un
rôle sur un ensemble de
caractéristiques au test

INFLUENCE DES VARIABLES CLIMATIQUES

1) SUR LES VARIABLES DE COMPOSITION

○ Régression STEPWISE

24 variables climatiques x
[9 variables de composition PROTEINES +
32 variables de composition AMIDON]

1

FLO+7 – Flo+15

a_expliquer	somme_pluies_floPlus7_floPlus15
Moyenne.de.HMW.LMW	0.347
Moyenne.de.HMW	0.34
Moyenne.de.Mw	0.198
Moyenne.de.Rz	0.196
Moyenne.de.Proteines	0.182
Moyenne.de.Mw.Mn	0.153
Moyenne.de.Rw	0.101

a_expliquer	somme_Tmin_floPlus7_floPlus15
Moyenne.de.HMW	0.192
Moyenne.de.HMW.LMW	0.178
Mw.MnAMD	0.159
Proteines.ble	0.148
Mw.MnAML	0.129
RavAML	0.115
Proteines.Farine	0.112

a_expliquer	ET_pluies_floPlus7_floPlus15
Moyenne.de.HMW.LMW	0.396
Moyenne.de.HMW	0.378
Moyenne.de.Mw	0.176
Moyenne.de.Rz	0.174
Moyenne.de.Proteines	0.166
Moyenne.de.Mw.Mn	0.133
Moyenne.de.Rw	0.127
RavAML	0.108

a_expliquer	ET_Tmin_floPlus7_floPlus15
Moyenne.de.Proteines	0.461
Moyenne.de.HMW.LMW	0.406
Moyenne.de.HMW	0.404
Proteines.ble	0.392
Proteines.Farine	0.387
Moyenne.de.Rz	0.317
Moyenne.de.Mw	0.245
Mie.Epaisseur.linearise	0.18
Humidite.ble	0.171
Moyenne.de.Rw	0.103

FLO+15 – Flo+35

a_expliquer	somme_Tmax_floPlus16_floPlus35
Moyenne.de.HMW.LMW	0.176
Moyenne.de.HMW	0.166
Moyenne.de.Proteines	0.128

a_expliquer	somme_Tmin_floPlus16_floPlus35
Moyenne.de.Mw	0.192
Moyenne.de.Mw.Mn	0.173
Mw.MnAMD	0.141
RavAML	0.106
Mw.MnAML	0.104

a_expliquer	ET_pluies_floPlus16_floPlus35
FAML	0.199
FAMP	0.132

a_expliquer	ET_Tmax_floPlus16_floPlus35
Moyenne.de.HMW.LMW	0.197
Moyenne.de.HMW	0.197
Moyenne.de.Mw	0.149
Moyenne.de.Proteines	0.18

a_expliquer	ET_diffTminTmax_floPlus16_floPlus35
Moyenne.de.Proteines	0.237
Moyenne.de.Mw	0.225
PS	0.214
Moyenne.de.HMW.LMW	0.196
Moyenne.de.HMW	0.19
Proteines.ble	0.154
Proteines.Farine	0.143

FLO+35 – RÉCOLTE

a_expliquer	somme_pluies_meteo_floPlus36_recolte
Mw.MnAMD	0.173
Note.Totale	0.106

a_expliquer	ET_pluies_meteo_floPlus36_recolte
Note.Totale	0.108
Mw.MnAMD	0.106
PS	0.101

a_expliquer	ET_Tmin_meteo_floPlus36_recolte
RavAML	0.102

a_expliquer	ET_Tmoy_meteo_floPlus36_recolte
Mw.MnAMD	0.184
Mw.MnAML	0.117
Note.de.Pate	0.114
elachement.linearise	0.11

a_expliquer	ET_diffTminTmax_floPlus36_recolte
Moyenne.de.Mw	0.139

R² des variables climatiques >0.10
sélectionnées par régression
STEPWISE vis-à-vis de l'ensemble
des variables à expliquer

■ Influence >0
■ Influence <0



INFLUENCE DES VARIABLES CLIMATIQUES

1) SUR LES VARIABLES DE COMPOSITION

○ Régression STEPWISE

24 variables climatiques x
[9 variables de composition PROTEINES +
32 variables de composition AMIDON]

1

FLO+7 – Flo+15

a_expliquer	somme_pluies_floPlus7_floPlus15
Moyenne.de.HMW.LMW	0.347
Moyenne.de.HMW	0.34
Moyenne.de.Mw	0.198
Moyenne.de.Rz	0.196
Moyenne.de.Proteines	0.182
Moyenne.de.Mw.Mn	0.153
Moyenne.de.Rw	0.101

a_expliquer	ET_pluies_floPlus7_floPlus15
Moyenne.de.HMW.LMW	0.396
Moyenne.de.HMW	0.34
Moyenne.de.Mw	0.198
Moyenne.de.Rz	0.196
Moyenne.de.Proteines	0.182
Moyenne.de.Mw.Mn	0.153
Moyenne.de.Rw	0.101

a_expliquer	ET_pluies_floPlus7_floPlus15
Moyenne.de.HMW.LMW	0.396
Moyenne.de.HMW	0.34
Moyenne.de.Mw	0.198
Moyenne.de.Rz	0.196
Moyenne.de.Proteines	0.182
Moyenne.de.Mw.Mn	0.153
Moyenne.de.Rw	0.101

a_expliquer	ET_pluies_floPlus7_floPlus15
Moyenne.de.HMW.LMW	0.396
Moyenne.de.HMW	0.34
Moyenne.de.Mw	0.198
Moyenne.de.Rz	0.196
Moyenne.de.Proteines	0.182
Moyenne.de.Mw.Mn	0.153
Moyenne.de.Rw	0.101

FLO+15 – Flo+35

a_expliquer	somme_Tmax_floPlus16_floPlus35
Moyenne.de.HMW.LMW	0.176
Moyenne.de.HMW	0.166

a_expliquer	somme_Tmax_floPlus16_floPlus35
Moyenne.de.HMW.LMW	0.176
Moyenne.de.HMW	0.166

a_expliquer	ET_pluies_floPlus16_floPlus35
FAML	0.199
FAMP	0.132

a_expliquer	ET_Tmax_floPlus16_floPlus35
Moyenne.de.HMW.LMW	0.197
Moyenne.de.HMW	0.197
Moyenne.de.Mw	0.149
Moyenne.de.Proteines	0.18

a_expliquer	ET_Tmax_floPlus16_floPlus35
Moyenne.de.HMW.LMW	0.197
Moyenne.de.HMW	0.197
Moyenne.de.Mw	0.149
Moyenne.de.Proteines	0.18

FLO+35 – RÉCOLTE

a_expliquer	somme_pluies_meteo_floPlus36_recolte
Mw.MnAMD	0.173
Note.Totale	0.106

a_expliquer	somme_pluies_meteo_floPlus36_recolte
Mw.MnAMD	0.173
Note.Totale	0.106

a_expliquer	ET_Tmin_meteo_floPlus36_recolte
RavAML	0.102

a_expliquer	ET_Tmoy_meteo_floPlus36_recolte
Mw.MnAMD	0.184
Mw.MnAML	0.117
Note.de.Pate	0.114

a_expliquer	ET_Tmoy_meteo_floPlus36_recolte
Mw.MnAMD	0.184
Mw.MnAML	0.117
Note.de.Pate	0.114

a_expliquer	ET_Tmoy_meteo_floPlus36_recolte
Mw.MnAMD	0.184
Mw.MnAML	0.117
Note.de.Pate	0.114

STEPWISE vis-à-vis de l'ensemble
des variables à expliquer

Influence >0
Influence <0



INFLUENCE DES VARIABLES CLIMATIQUES

2) SUR LA NOTE TOTALE

1

○ Régression STEPWISE

24 variables climatiques x 34 paramètres du test de panification

R² des variables climatiques sélectionnées par régression STEPWISE vis-à-vis de la Note Totale de Panification

variable	R ²
ET_Tmax_meteo_floPlus36_recolte	0.12
ET_pluies_meteo_floPlus36_recolte	0.11
somme_pluies_meteo_floPlus36_recolte	0.11
ET_Tmoy_meteo_floPlus36_recolte	0.10
somme_pluies_floPlus16_floPlus35	0.07
ET_Tmin_floPlus7_floPlus15	0.07
ET_pluies_floPlus16_floPlus35	0.06
ET_diffTminTmax_floPlus36_recolte	0.05
ET_Tmin_floPlus16_floPlus35	0.04

 Influence >0
 Influence <0

La période de la phase de remplissage la plus influencée par les variables climatiques est la phase tardive entre 36 jours post-flo et la récolte.

On retrouve la pluie de fin de cycle comme élément explicatif bien connu (influence négative).

Les variables de température incriminées sont complexes.

PEUT-ON PRÉDIRE SI UN ENVIRONNEMENT EST PROPICE À L'ÉVALUATION VARIÉTALE POUR LA VALEUR TECHNOLOGIQUE?

2

o démarche

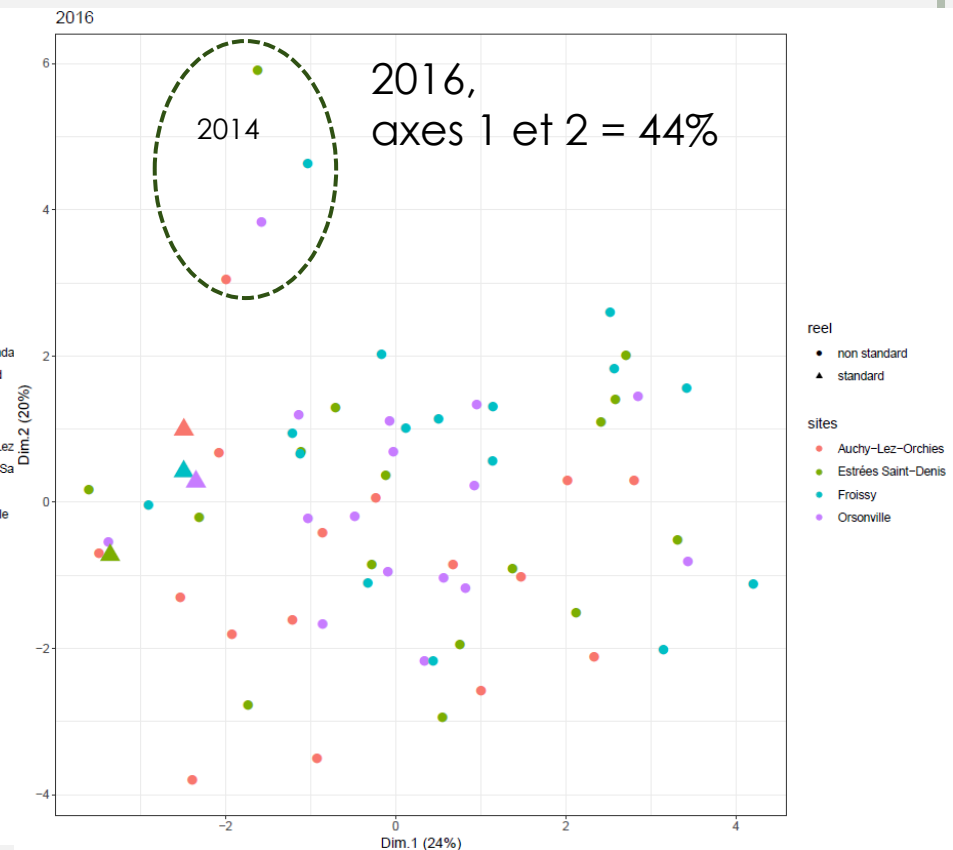
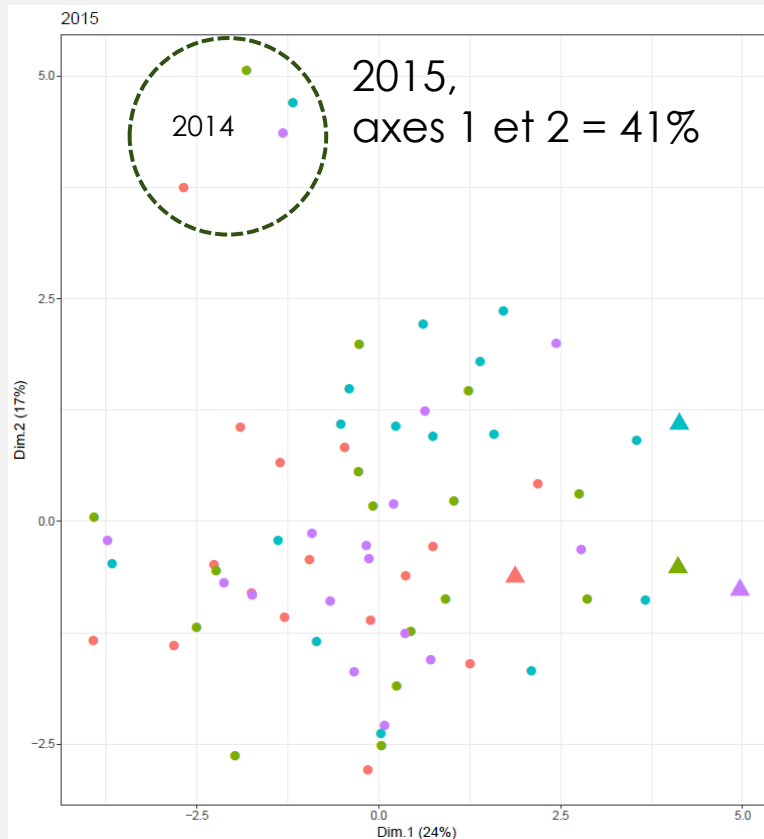
- 1 On identifie les variables climatiques qui influencent la NTP
- 2 On compare le climat pour ces variables sur les lieux jugés « standards » à dire d'expert pour les 2 années d'expérimentation au climat moyen pluriannuel pour ces variables sur une période de 15 ans (1999-2014)
- 3 En absence d'écart, on considère que les 4 environnements constituent la référence (= environnement standard) pour le classement variétal qui est établi en moyennant les NTP des 4 lieux/années
- 4 Pour tous les autres environnements, on détermine la corrélation avec l'environnement standard (covariance)
- 5 On recherche enfin les variables climatiques qui expliquent les mauvais classements. Les variables identifiées seraient celles à tester pour valider les environnements dans les dispositifs à venir.

PEUT-ON PRÉDIRE SI UN ENVIRONNEMENT EST PROPICE À L'ÉVALUATION VARIÉTALE POUR LA VALEUR TECHNOLOGIQUE?

2

2

On compare le climat pour ces variables sur les lieux jugés « standards » à dire d'expert pour les 2 années d'expérimentation au climat moyen pluriannuel pour ces variables sur une période de 15 ans (1999-2014)



PEUT-ON PRÉDIRE SI UN ENVIRONNEMENT EST PROPICE À L'ÉVALUATION VARIÉTALE POUR LA VALEUR TECHNOLOGIQUE?

2

3

En absence d'écart, on considère que les 4 environnements constituent la référence (= environnement standard) pour le classement variétal qui est établi en moyennant les NTP des 4 lieux/années

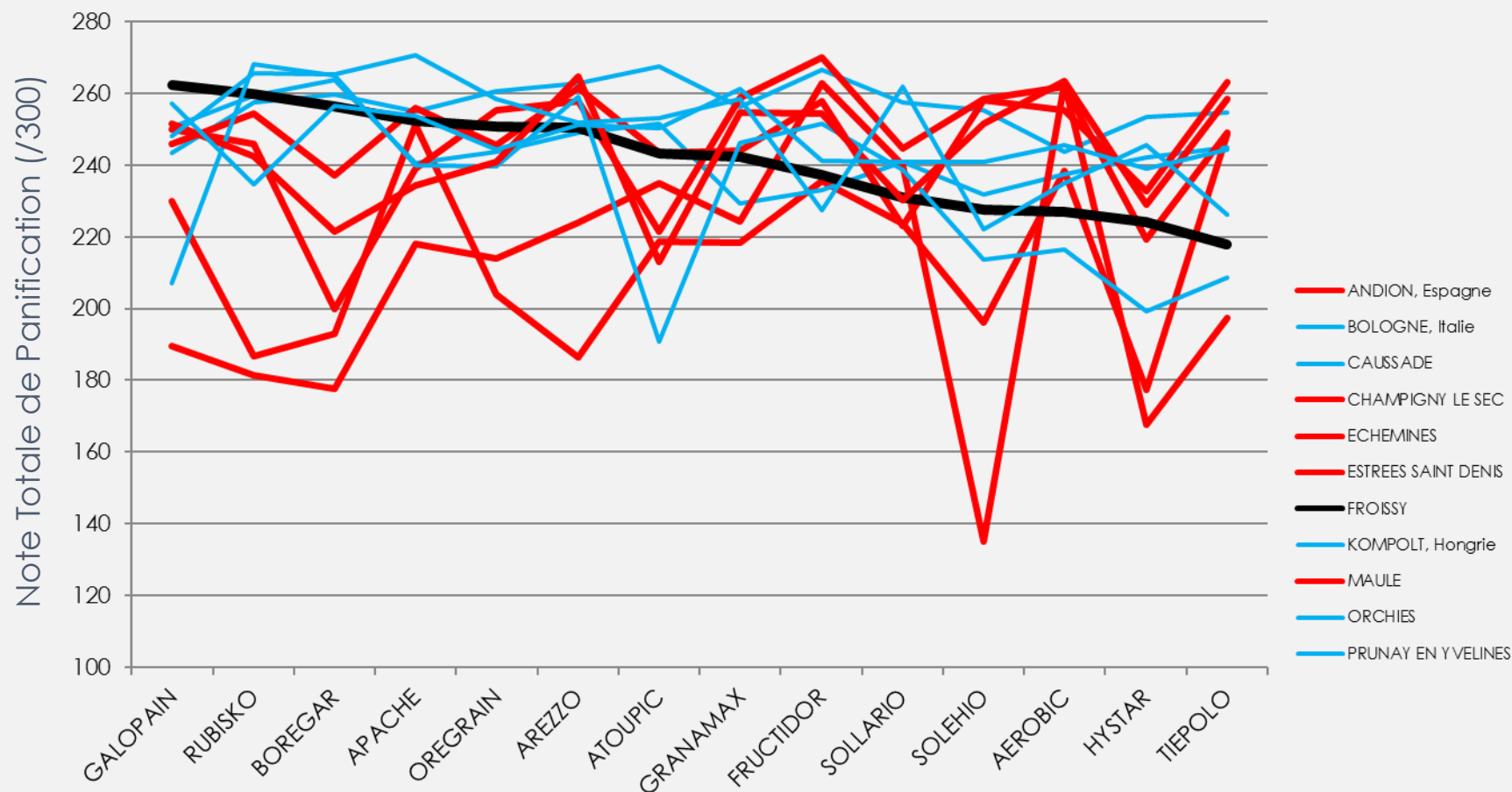
4

Pour tous les autres environnements, on détermine la corrélation avec l'environnement standard



PEUT-ON PRÉDIRE SI UN ENVIRONNEMENT EST PROPICE À L'ÉVALUATION VARIÉTALE POUR LA VALEUR TECHNOLOGIQUE?

2



PEUT-ON PRÉDIRE SI UN ENVIRONNEMENT EST PROPICE À L'ÉVALUATION VARIÉTALE POUR LA VALEUR TECHNOLOGIQUE?

2

5

On recherche enfin les variables climatiques qui expliquent les mauvais classements. Les variables identifiées seraient celles à tester pour valider les environnements dans les dispositifs à venir.

○ Régression logistique

Σ pluie Flo+7 à Flo+15
 Σ pluie Flo+36 à récolte

Matrice de confusion de la régression logistique

	Réel 0	Réel 1
Prédit 0	8	4
Prédit 1	2	2

Modèle mauvais, trop faible effectif d'environnements (16)

UN CHAMP COMPLET A INVESTIGUER

- Variabilité génétique de la granulométrie des granules d'amidon

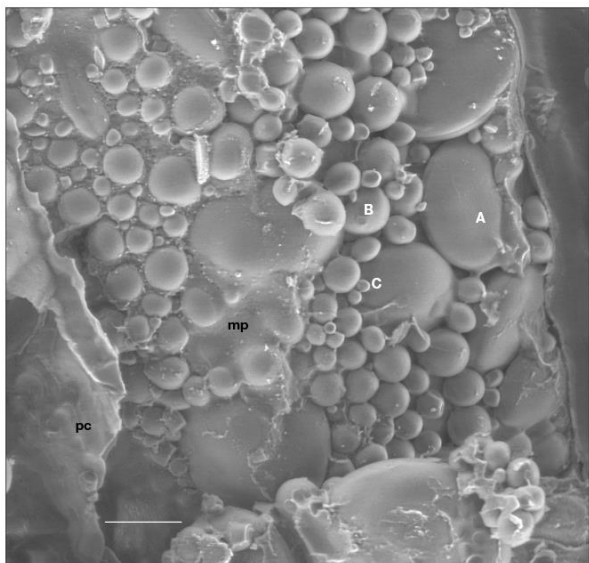
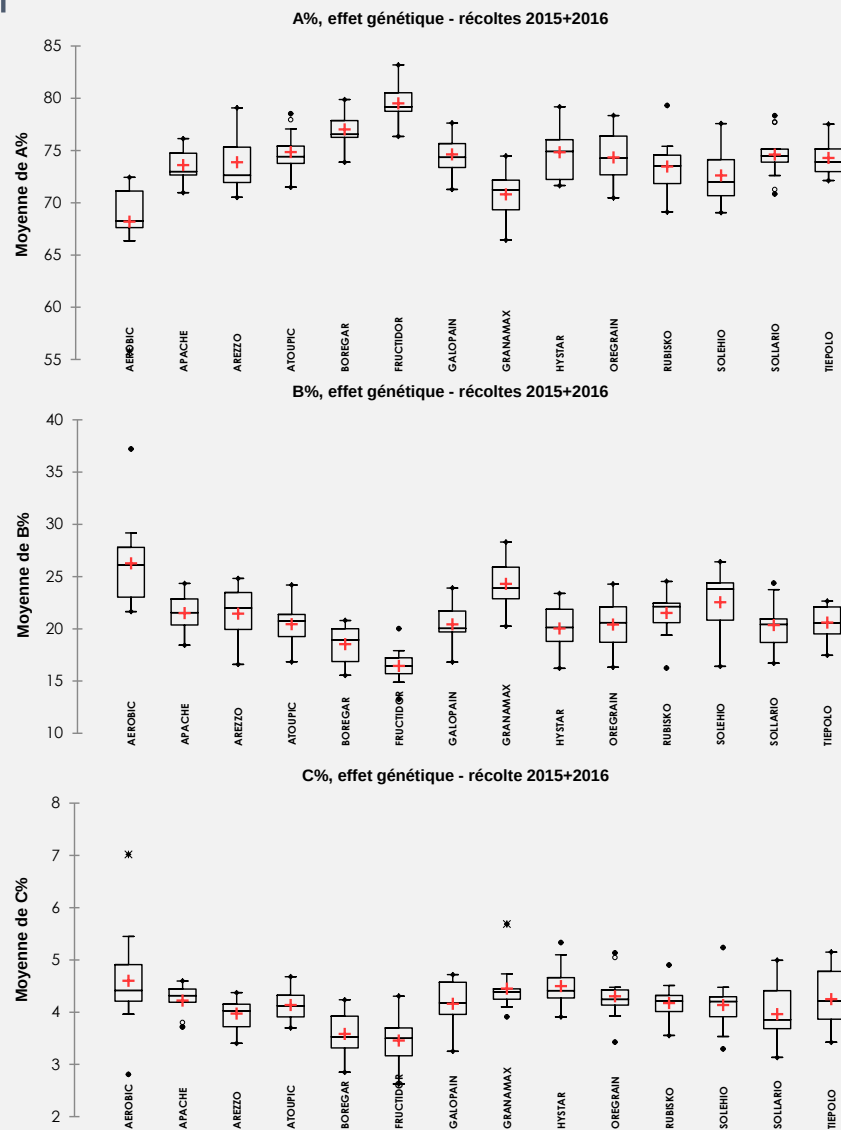


Figure 2. Cellule d'un albumen de blé vue au microscope électronique à balayage « environnemental » (F.E.I. Co Eindhoven Holland) montrant les granules d'amidon de type A (> 10 microns), B (2-10 microns) et C (< 2 microns), plus ou moins insérées dans la matrice protéique (mp). pc : paroi cellulaire (échelle : 10 microns).

Figure 2. Environmental scanning electron microscopy (F.E.I. Co Eindhoven Holland) of endosperm cell showing starch granules of A type (> 10 microns), B type (2-10 microns) and C type (< 2 microns), more or less entrapped in protein matrix (mp). pc: cell wall (bar scale: 10 microns).

Photo : Brigitte Gaillard-Martini, Inra.

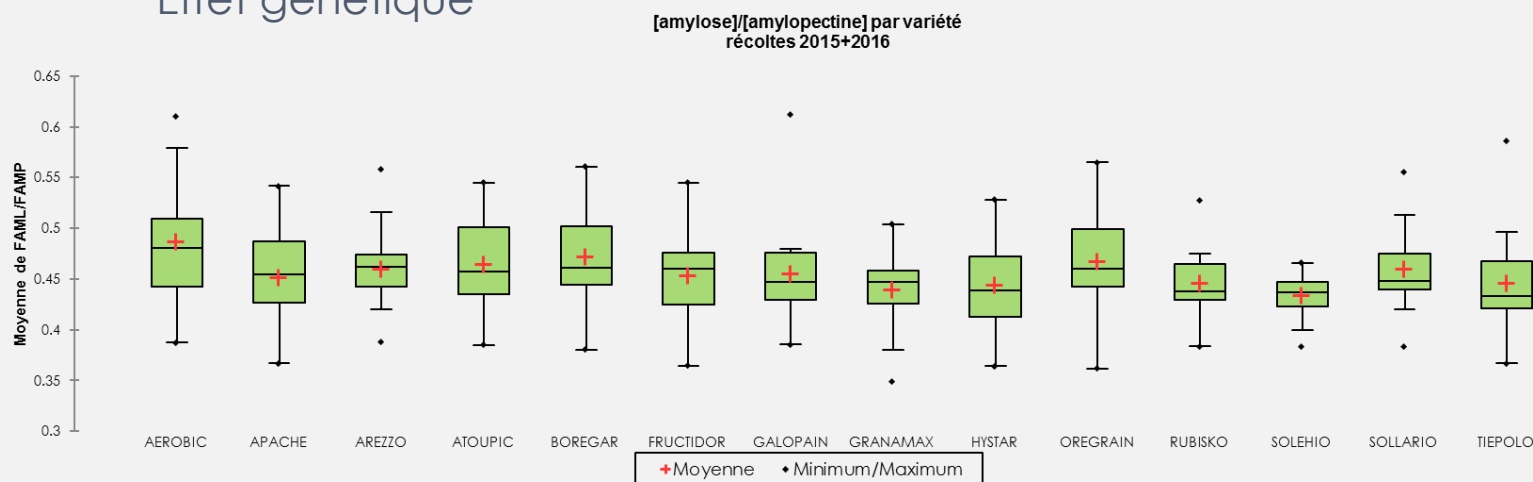
Branlard, 2009



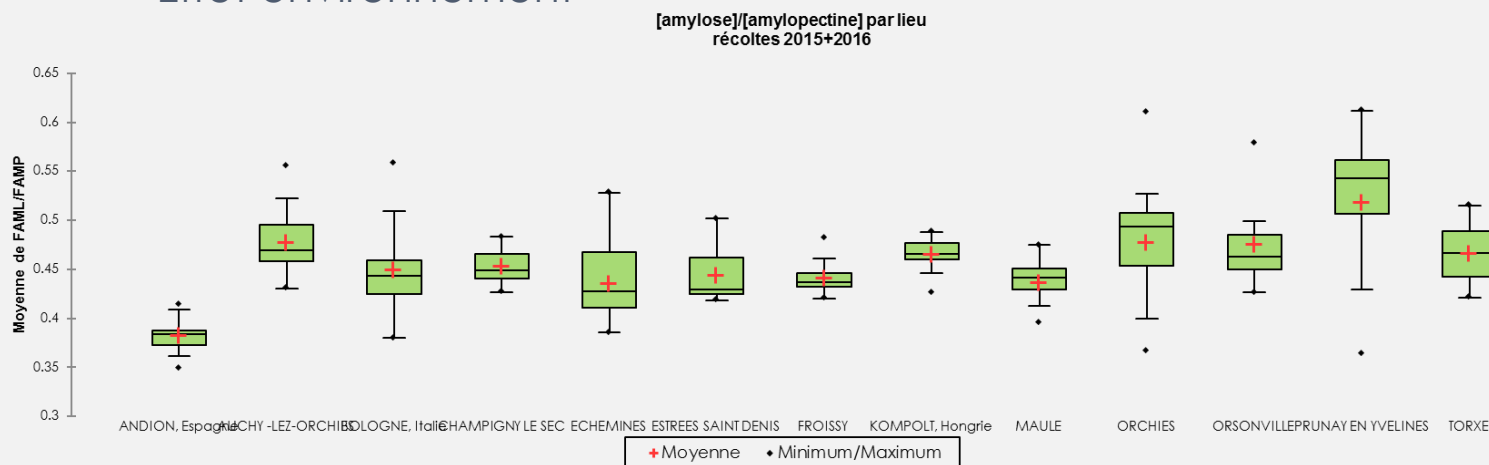
UN CHAMP COMPLET A INVESTIGUER

○ Variations du rapport Amylose/Amylopectine

Effet génétique

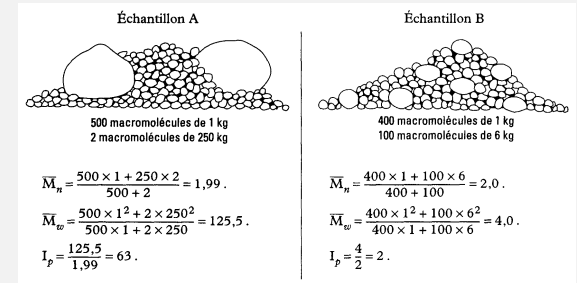


Effet environnement

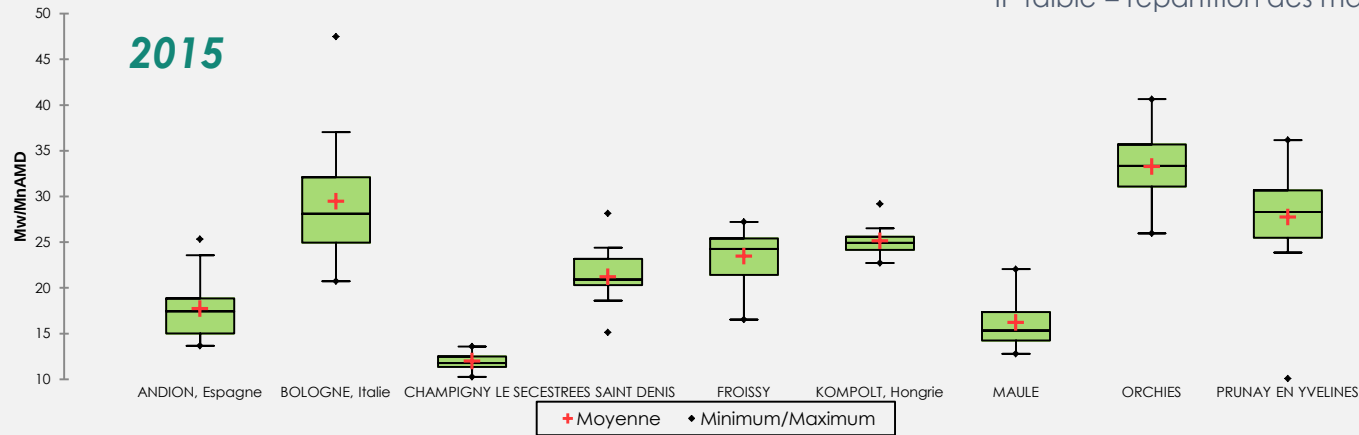


UN CHAMP COMPLET A INVESTIGUER

Variations de l'indice de polydispersité de l'amidon

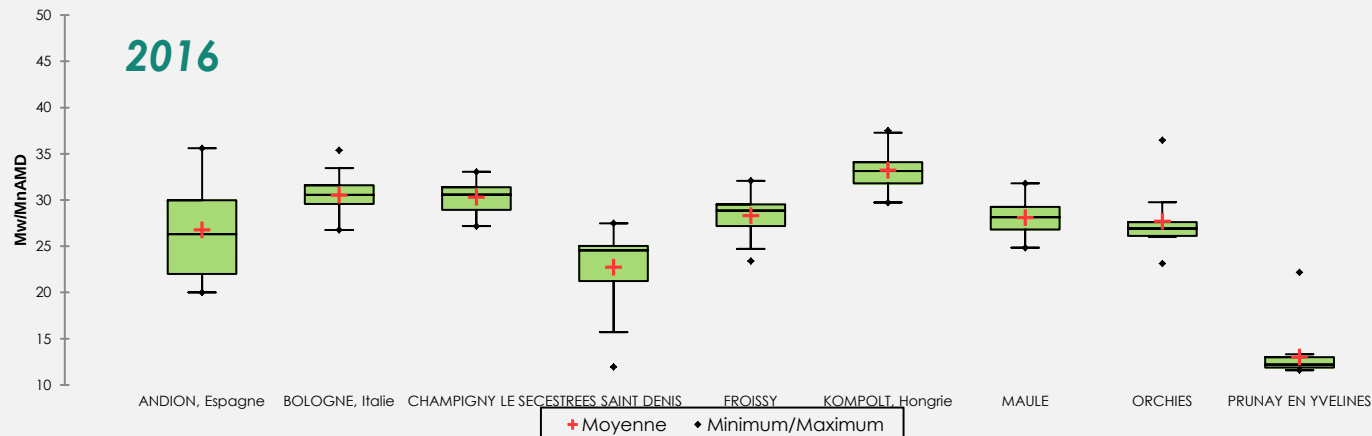


Indice de polydispersité Mw/Mn de l'amidon par lieu récolte 2015



IP faible = répartition des masses plus homogène

Indice de polydispersité Mw/Mn de l'amidon par lieu récolte 2016



PERSPECTIVES

- Sur la validation de lieux : éprouver la méthodologie sur un grand jeu de données
- Sur l'approfondissement de la compréhension des liens de cause-effet entre variables climatiques et composition ou comportement boulanger:
 - envisager des essais en conditions contrôlées (tel qu'envisagé à la construction du Projet)
 - analyser la composition des pâtes au cours du process
- Pour des besoins de prédiction de la NTP, tester des empilements de modèles
- Pour approfondir la compréhension de la construction de la qualité, investiguer + l'amidon