

ÉTABLISSEMENT D'UN MODÈLE DE SÉLECTION GÉNOMIQUE POUR LA QUALITÉ BOULANGÈRE DES BLÉS

Bruno POUPARD



INTRODUCTION

TEST DE QUALITÉ BOULANGÈRE DANS LES PROGRAMMES DE SÉLECTION DE BLÉ TENDRE

- Le test de Qualité Boulangère (BIPEA) est utilisé lors de l'inscription des variétés. Résultat $> 250 \Rightarrow$ BPS,
- Ce critère est donc important pour la sélection, mais le test est cher et requière beaucoup de grains,
- En conséquence, il n'est utilisé que tardivement dans les programmes, ou évalué de façon indirecte (alvéographe...),
- L'offre variétale est donc plus limitée.

LA SÉLECTION GÉNOMIQUE (GS)

- Méthode de Sélection Assistée par Marqueurs proposée par Meuwissen et al. (2001),
- De plus en plus utilisée dans les programmes de sélection,
- Permet de prédire la performance d'un individu (nouvelle lignée de blé) sur la base de son Génotype,
- Basée sur le calcul de l'effet de milliers de marqueurs moléculaires sur un caractère,
- Nécessite une base de calibration (P+G).

OBJECTIF: DÉVELOPPEMENT ET ÉVALUATION DE LA SÉLECTION GÉNOMIQUE POUR LA QUALITÉ BOULANGÈRE

Les objectifs de ce projet étaient donc de :

- Construire une base de calibration GS pour la Qualité Boulangère (et ses composantes),
- Tester l'impact des caractéristiques de la base sur la précision des prédictions,
- Tester l'apport de mesures indirectes en tant que covariables dans les modèles GS,
- Proposer un protocole de calibration optimisé.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

PANELS UTILISÉS

○ Panel Recherche:

- **2318 lignées** de sélection Limagrain, **1 observation** par individu (test BIPEA)
- 8 combinaisons Année x Lieu, 4 témoins répétés.

Commune (Département)	2014	2015	2016	TOTAL
Chartainvilliers (Eure-et-Loir)		184		184
Aigrefeuille-d'Aunis (Charente-Maritime)	388	157	396	941
Revel (Haute-Garonne)	380		387	767
Péronne (Somme)		209		209
Verneuil l'Etang (Seine-et-Marne)		217		217
TOTAL	768	767	783	2318

○ Panel Variétal:

- **192 variétés** commerciales, **20 observations** par individu (Test BIPEA + Alvéographe)
- 158 combinaisons Année x Lieu,
- Base de données Arvalis

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
2003	33										
2004	30	65									
2005	15	49	63								
2006	6	35	43	81							
2007	5	19	22	51	79						
2008	5	18	16	35	59	83					
2009	8	19	19	33	54	68	106				
2010	6	17	15	22	27	38	68	71			
2011	7	16	16	24	25	18	45	44	51		
2012	4	10	11	19	22	17	23	21	25	27	
2013	1	8	10	17	20	16	21	20	19	19	23

LE TEST DE PANIFICATION BIPEA

- Réalisation d'une panification,
- Mesure de différentes caractéristiques (30+) tout au long du process,
 - Pâte (extensibilité...)
 - Pain (Volume...)
 - Mie (régularité...)
- Combinées entre elles en une note finale de l'échantillon (max 300).

NF V 03-716 **GRILLE DE NOTATION**

Client : Référence du client :

Quantité de farine :

Date : Numéro du pétrin : Quantité d'eau :

Nom du responsable de l'analyse : Code échantillon : Hydratation :

Insuffisance 1 4 7 10 **Excès** 7 4 1

PETRISSAGE

LISSAGE x 0,5 = 5

COLLANT DE LA PATE x 0,5 = 5

CONSISTANCE x 0,5 = 3,5

EXTENSIBILITE x 0,5 = 3,5

ELASTICITE x 0,5 = 5

RELACHEMENT x 0,5 = 5

TOTAL x COEFFICIENT = 22 /25

POINTAGE

DETENTE : RELACHEMENT x 1 = 10 /10

FACONNAGE

ALLONGEMENT x 0,5 = 5

DECHIREMENT x 0,5 = 3,5

ELASTICITE x 0,5 = 5

COLLANT DE LA PATE x 1 = 10

TOTAL x COEFFICIENT = 23,5 /25

APPRET

ACTIVITE FERMENTAIRE x 0,5 = 5

PATE : DECHIREMENT x 0,5 = 5

TOTAL x COEFFICIENT = 10 /10

MISE AU FOUR

COLLANT DE LA PATE x 1 = 10

TENU DE LA PATE x 2 = 20

TOTAL x COEFFICIENT = 30 /30

CARACTERISTIQUES DU PAIN

SECTION x 1 = 10

COULEUR x 2 = 20

EPAISSEUR x 0,5 = 5

CROUSTILLANT x 0,5 = 5

TOTAL x COEFFICIENT = 67 /70

COUPS DE LAME

DEVELOPPEMENT x 1 = 10

REGULARITE x 1 = 10

DECHIREMENT x 1 = 7

TOTAL x COEFFICIENT = 78 /100

VOLUME

	1er	2e	3e	4e	Moyenne
VOLUME MOYEN	1550	1550	1575	1550	1556
MASSE MOYENNE	278	275	279	278	277,5

VOLUME MOYEN cm³ x = cm³ /30

MASSE MOYENNE g

CARACTERISTIQUES DE LA MIE

COULEUR

TEXTURE

SOUPLESSE x 2 = 20

ELASTICITE x 1 = 10

COLLANT x 1 = 10

ALVEOLAGE

REGULARITE x 1 = 7

EPAISSEUR x 2 = 20

ODEUR x 3 = 30

TOTAL x COEFFICIENT = 97 /100

NOTE PAIN /100

NOTE MIE /100

NOTE TOTALE /300

Température du fournil	19	Température de la pâte	25,1	Amylases	22,64
Température de la farine	18	Hygrométrie	60	Chambre	CHF05
Température de l'eau	14	Lot de levure utilisée	842	AA	15ppm

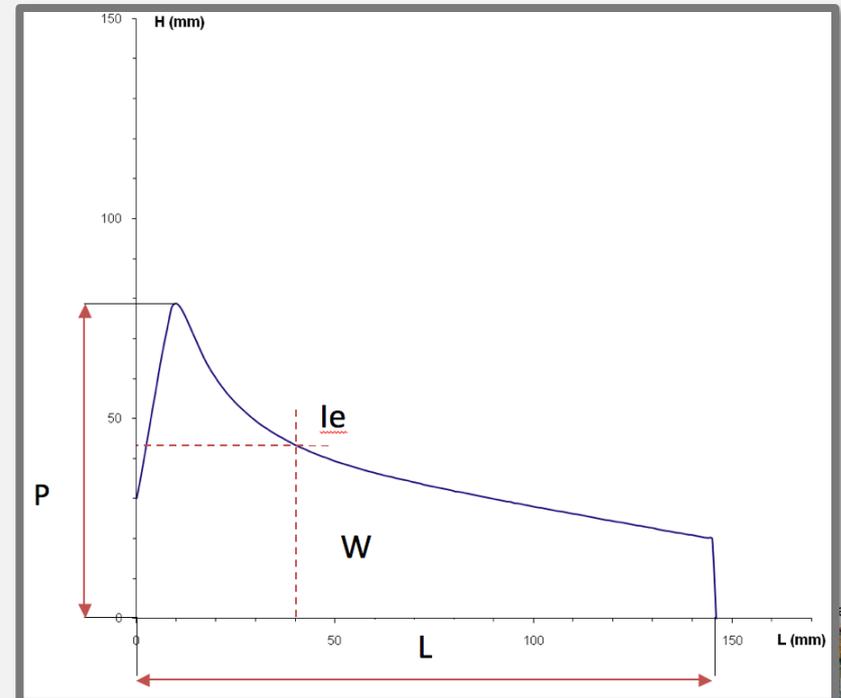
LE TEST DE PANIFICATION BIPEA

- 17011502: 278/300, BPS, proche optimum
- 17011543: 164/300, très faible volume



L'ALVÉOGRAPHE

- Sert à mesurer certaines caractéristiques rhéologiques de la pâte (ténacité P , extensibilité L , force W ...),
- Permet de prédire (partiellement) les résultats du test BIPEA



GÉNOTYPAGE

- Utilisation d'une puce comprenant 14.592 marqueurs SNP,

Chromosome	A	B	D	Inconnu
1	876	948	251	
2	742	1034	285	
3	891	1150	337	
4	659	595	307	
5	945	1038	286	
6	577	859	221	
7	1004	990	276	
Inconnu				321
Total	5694	6614	1963	321

- Nettoyage des marqueurs : $NA > 30\%$, $HTZ > 10\%$, $MAF < 5\%$ => éliminés => **10.500 SNP** disponibles,
- Nettoyage des Individus : $NA > 10\%$ => éliminés => **2300+188** Individus disponibles.

MODÉLISATION ET TESTS

○ Modèle de GS: GBLUP

- $Y_i = \mu + G_i + \varepsilon_i$, $G \sim N(0, K\sigma^2_g)$
- Package 'rrBLUP' (Endelman, 2011)
- Cross-validation 10-Fold, corrélation entre Observations et Prédictions,

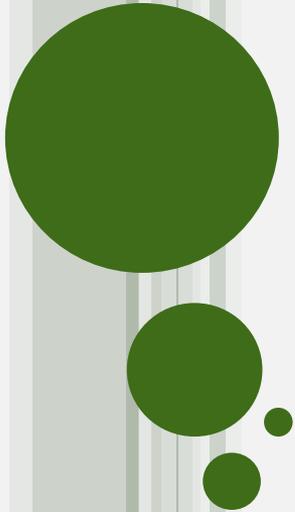
○ Evaluation de l'apport de covariables au modèle GS

- Panel Variétal : ajout des résultats d'Alvéographe,

○ Influence des paramètres

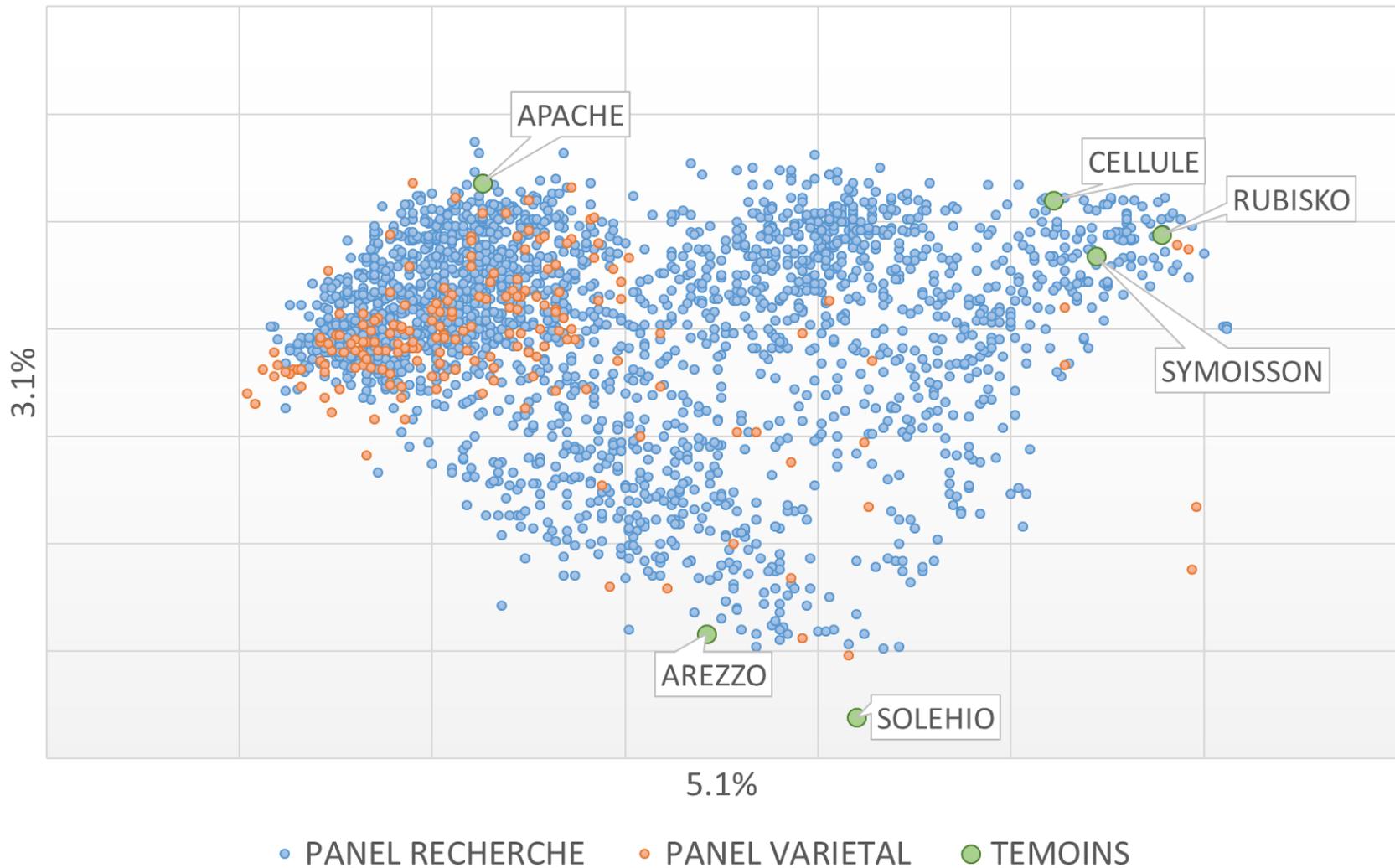
- Panel Recherche : $N_{\text{mark}} = [50, 100, 1000, 5000, 8000, 10000]$
- Panel Recherche : $N_{\text{geno}} = [50, 250, 500, 1000, 1500, 2000]$
- Panel Variétal : $N_{\text{rep}} = [1, 2, 3, 4, 5]$

RÉSULTATS



DES DONNÉES GÉNOTYPIQUES RELATIVEMENT SIMPLES...

ACP des données Génotypiques des 2 Panels et des témoins

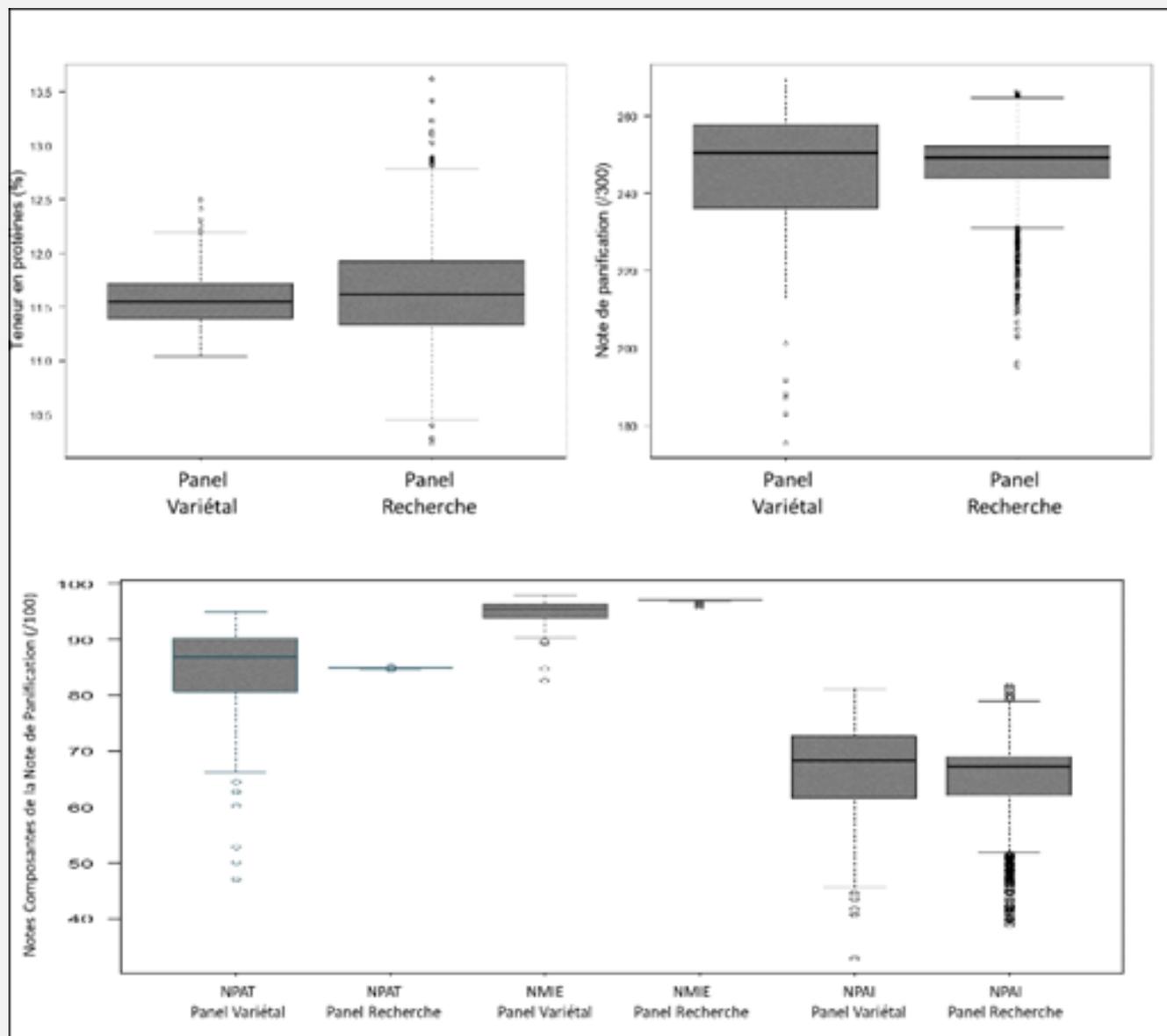


MAIS DES DONNÉES PHÉNOTYPIQUES ASSEZ COMPLEXES...

- Panel Recherche :
 - Perte de 4 environnements à cause des conditions climatiques des récoltes 2014 et 2016,
 - Année 2014 difficile à prédire sans explications claires,
- Panel Variétal : des héritabilités médiocres pour la plupart des caractères du test BIPEA.

Variables	Note de panification	Note de pâte	Note de pain	Note de mie	Composantes Note de pâte	Composantes Note de pain	Composantes Note de mie	Alvéographe	Dureté	Volume	Protéine (%)
Héritabilité Panel Variétal (écartype)	0.41	0.46	0.33	0.30	0.35 (0.11)	0.31 (0.12)	0.31 (0.18)	0.69 (0.08)	0.85	0.41	0.37

DES PERFORMANCES MOYENNES COMPARABLES ENTRE LES 2 PANELS

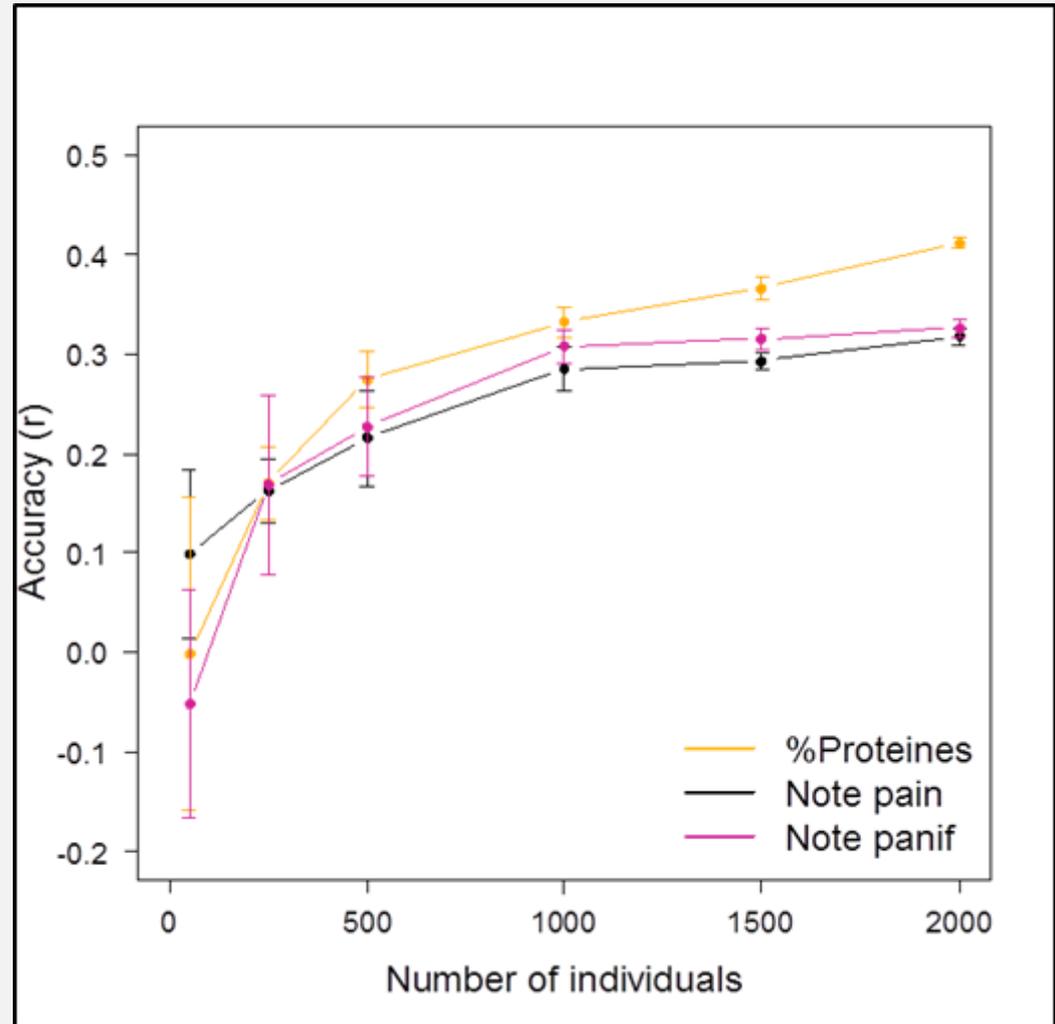


DES PRÉCISIONS DE PRÉDICTION CONTRASTÉES SELON LES CRITÈRES, LE PANEL RECHERCHE PLUS EFFICACE

CATEGORIE	VARIABLE	r Validation croisée Panel Variétal	r Validation croisée Panel Recherche
NOTE TOTALE	Note de panification	0.14	0.35
NOTE PATE	Note de pâte	0.16	0.32
NOTE PAIN	Note de pain	0.22	0.35
VOLUME	Volume	0.41	0.37
PROTEINE (%)	Protéine (%)	0.41	0.43
PETRISSAGE	Rapidité lissage	0.26	0.32
PETRISSAGE	Collant	0.26	0.33
PETRISSAGE	Extensibilité	0.32	0.48
PETRISSAGE	Elasticité	0.16	0.45
PETRISSAGE	Relâchement	0.14	0.24
FACONNAGE	Extensibilité	0.43	0.56
FACONNAGE	Elasticité	0.35	0.51
FACONNAGE	Déchirement	0.24	0.15
APPRET	Activité fermentaire	0.17	0.23
MISE AU FOUR	Tenue	0.17	0.23
ASPECT DU PAIN	Section	0.34	0.30
ASPECT DU PAIN	Couleur	0.23	0.23
COUP DE LAME	Développement	0.11	0.31
COUP DE LAME	Régularité	0.14	0.16
COUP DE LAME	Déchirement	0.38	0.21
MIE	Couleur Mie	0.56	0.50
MOYENNE	MOYENNE	0.27	0.34

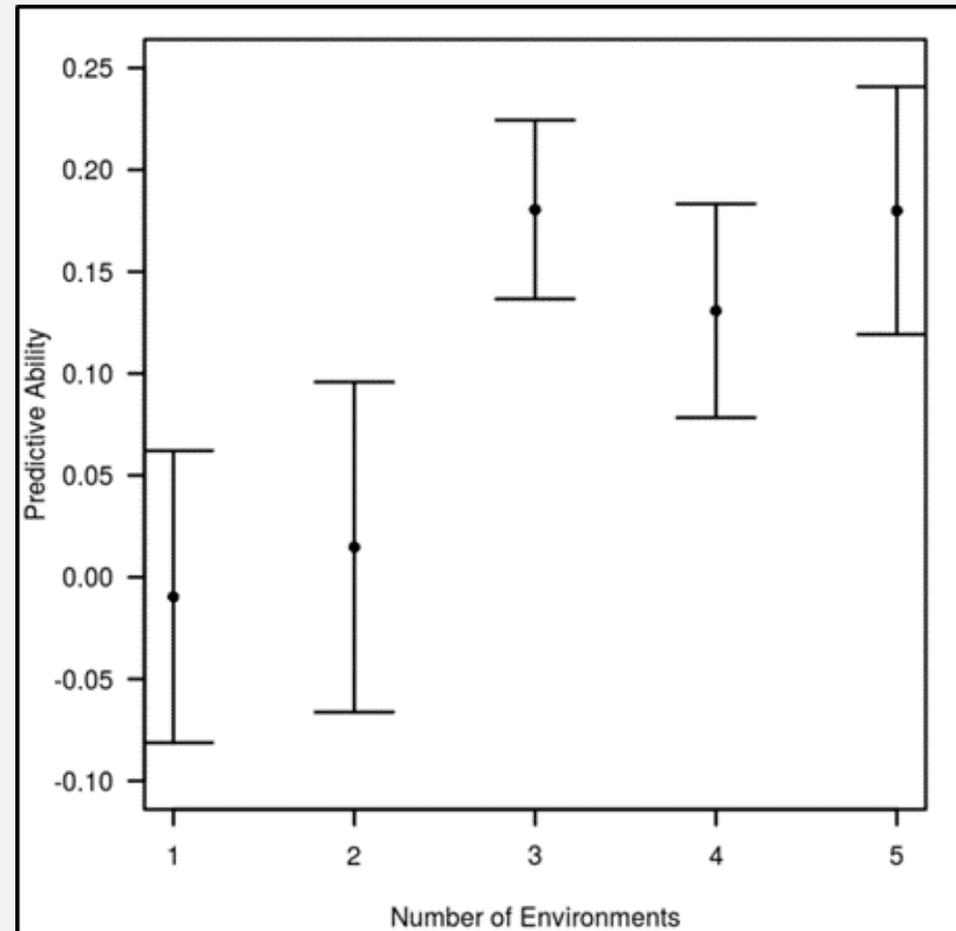
LES CARACTÉRISTIQUES DES BASES DE CALIBRATION IMPACTENT LEUR PRÉCISION: NOMBRE D'INDIVIDUS

- La capacité de prédiction (r) augmente quand on augmente le nombre d'individus,
- Panel Recherche, variables présentées:
 - Teneur en protéine (%Proteines),
 - Note de Pain (Note pain)
 - Note Totale de Panification (Note panif)



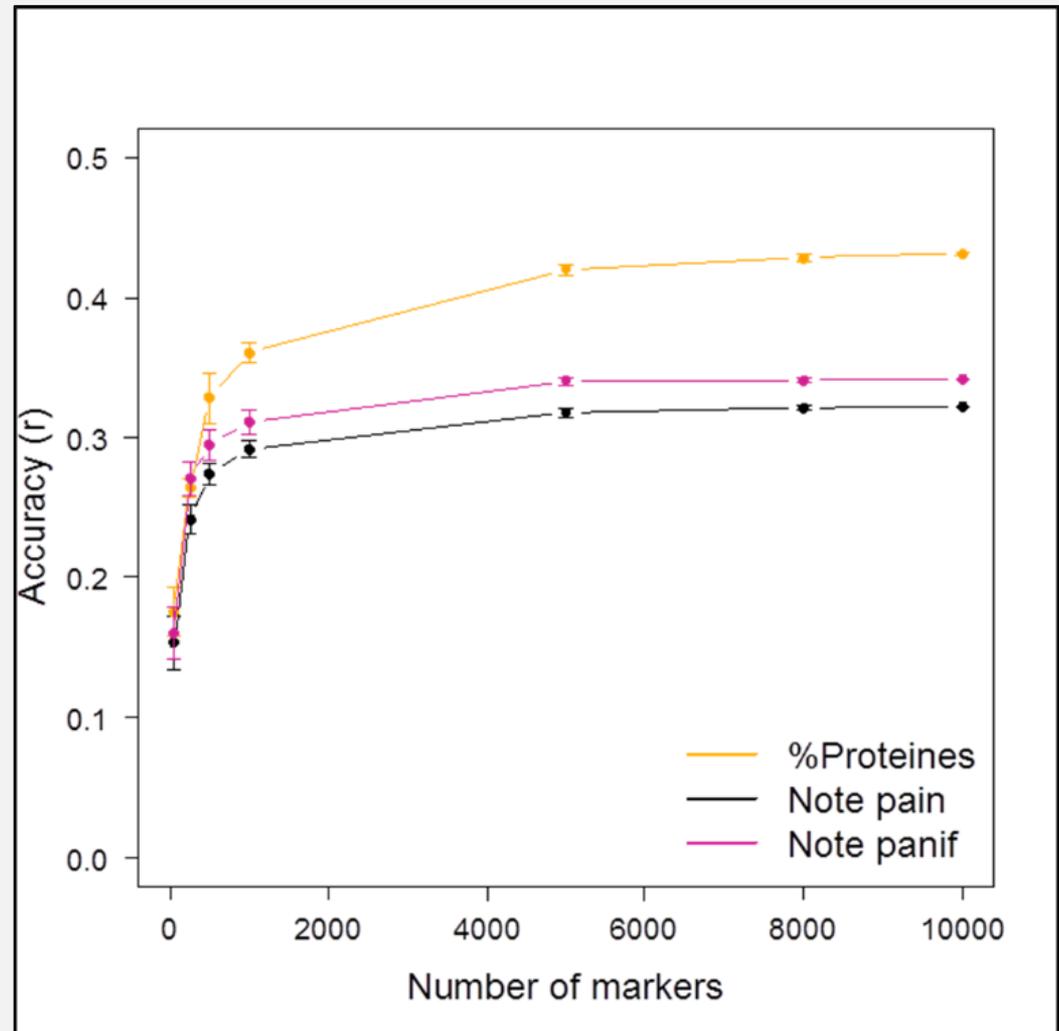
LES CARACTÉRISTIQUES DES BASES DE CALIBRATION IMPACTENT LEUR PRÉCISION: NOMBRE D'OBSERVATIONS

- La capacité de prédiction (r) augmente quand on augmente le nombre d'observations par individu,
- Impact très sensible entre 1 et 3 observations (Environnements),
- Panel Variétal, toutes variables confondues.



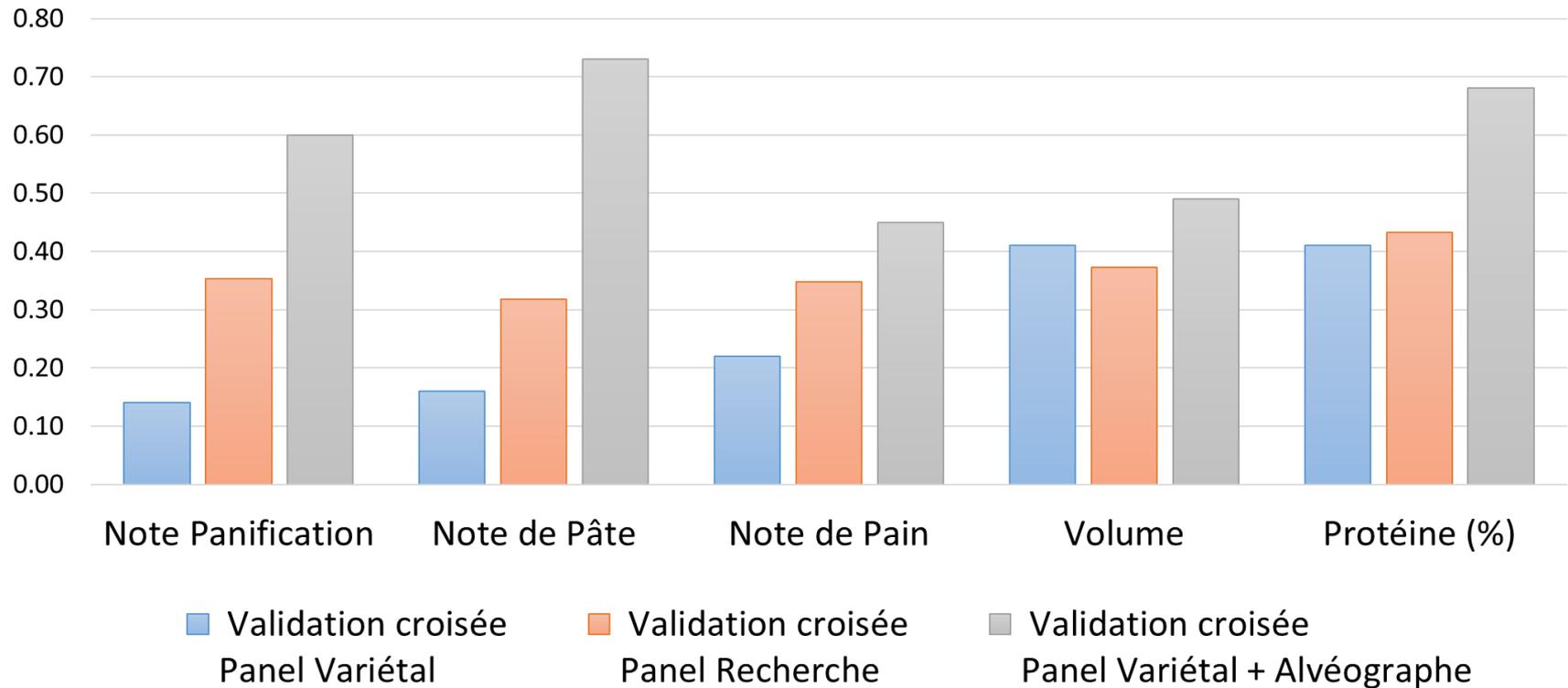
LES CARACTÉRISTIQUES DES BASES DE CALIBRATION IMPACTENT LEUR PRÉCISION: NOMBRE DE MARQUEURS

- La capacité de prédiction (r) augmente quand on augmente le nombre de marqueurs,
- Impact fort entre 0 et 1000 marqueurs, faible au-delà de 5000,
- Panel Recherche, variables présentées:
 - Teneur en protéine (%Proteines),
 - Note de Pain (Note pain)
 - Note Totale de Panification (Note panif)



L'AJOUT DE MESURES INDIRECTES AUGMENTE FORTEMENT LA PRÉCISION DES PRÉDICTIONS

Précision de prédiction (r) des modèles GS estimée par cross-validation



CONCLUSIONS

PROTOCOLE DE CALIBRATION GS PROPOSÉ POUR LA QUALITÉ BOULANGÈRE

- ≥ 5.000 marqueurs SNP,
- Réseau d'essais multi-local et multi-annuel (fort risque de perte!),
- 2 à 3 observations pour chaque individu (dans différents environnements), de manière à contrôler la qualité des données phénotypiques,
- Le nombre d'individus doit aussi élevé que possible ($>1000?$), et il vaut mieux utiliser des individus non présélectionnés pour la qualité (maximisation de la variance génétique),
- Inclure des mesures indirectes si possible.

UTILISATION DES PRÉDICTIONS GS DANS LES PROGRAMMES DE SÉLECTION

- Il est possible de prédire les composantes du test BIPEA par GS,
- Cependant la précision des prédictions est moyenne à faible,
- Nous recommandons d'appliquer une pression de sélection modérée dans les stades précoces de la sélection,
- Dans les stades plus avancés, combiner les prédictions GS avec des mesures indirectes (alvéographe...) permet un tri plus précis.

REMERCIEMENTS



- François Guion, Nicolas Perardel



- Matthieu Bogard, Magali Thierry,
Benoît Méléard, David Gouache



- Céline Duque, Sébastien Deshayes,
Valérie Herteman



- Sophie Bouchet, Pierre Colin, Antonin
Galien, Gilles Charmet

Insuffisance				Excès		
1	4	7	10	7	4	1

1 2.5 4 5.5 7 8.5

PETRISSAGE

LISSAGE	10	-	-	■	-	-	-	x 0,5 =	5
<u>COLLANT DE LA PATE</u>	-	-	-	■	-	-	-	x 0,5 =	5
CONSISTANCE	-	-	-	■	-	-	-		
EXTENSIBILITE	-	-	■	-	-	-	-	x 0,5 =	3,5
ELASTICITE	-	-	-	■	-	-	-	x 0,5 =	5
<u>RELACHEMENT</u>	-	-	-	■	-	-	-	x 0,5 =	5

23,5	x	1	=	23,5	/25
TOTAL		COEFFICIENT		PETRISSAGE	