



Fonds de soutien à l'Obtention Végétale

Genomalt : Prédiction génomique du rendement et de la qualité brassicole chez l'orge d'hiver à 6 rangs

Gilles CHARMET¹, Pierre PIN², Marc SCHMITT³, Nathalie LEROY⁴, Bruno CLAUSTRES⁴, Christopher BURT⁴, Amélie GENTY²

1 - INRAE- UCA UMR GDEC, 5 chemin de Beaulieu 63000 Clermont-Ferrand - France
 2 - SECOBRA Recherches SAS, Centre de Bois Henry, 78580 Maule - France
 3 - IFBM, 7 rue du Bois de la Champelle, F-54500 Vandoeuvre les Nancy -France
 4 - RAGT 2N, Place du bourg, 12510 Druelle - France

La France est le 2^{ème} exportateur d'orge brassicole dans le monde

1,97 million d'hectares d'orge en 2021, soit 21 % de la surface céréalière sur 120 000 exploitations. 10,4 M de tonnes produits, dont 5,7 M exportées. Les orges de brasserie représentent plus de 4 millions de tonnes soit plus d'un tiers du total. La culture de l'orge d'hiver 6 rangs brassicoles est une particularité française qui est grandement responsable de la compétitivité de la filière Orge-Malt-Bière

30 % # <1 % # 70 %



De l'orge au malt...

La malterie française compte 14 unités de production regroupées en 3 groupes faisant parti des 5 premiers mondiaux. En 2020/2021, 1,6 million de tonnes d'orges de brasserie ont été transformées en 1,4 million de tonnes de malt. Depuis 1967, la malterie française est le 1^{er} exportateur mondial de malt. La France exporte 80 % de sa production de malt soit 1,2 million de tonnes par an.



Du malt à la bière...

Des nombreuses brasseries ont été créées en France ces dernières années. Aujourd'hui, avec plus de 2 300 brasseries la France est le 1^{er} pays européen en nombre de brasseries. La brasserie française emploie 7 900 personnes. La consommation française de bière est de 22 millions d'hectolitres en 2020, soit une consommation de 33 litres par habitant et par an. Cette consommation place les Français dans les plus faibles consommateurs de bière européens, juste avant l'Italie.

Les critères de qualité brassicole

Qualité brassicole de l'orge:

- Calibrage: pour assurer une germination rapide et homogène: % grains >2.5mm
- Protéines: suffisamment pour "nourrir" les levures mais pas trop (filtration): 9.5 à 11.5%
- beta-glucanes (fibres solubles): colmatage des filtres, trouble de la bière (mais recherchées pour nutrition humaine)

Qualité du malt:

- Taux d'extrait: rendement en malt / tonne d'orge
- Désagrégation: capacité de friabilité du grain de malt
- Pouvoir diastasique: activité enzymatique des alpha- et beta-amylases



Les tests de micromaltage sont long/coûteux/exigeants en grains
 Intérêt des prédictions génomique en (pré)sélection

Matériel & Méthodes

Matériel végétal:

- 574 lignées avancées des programmes de SECOBRA (Breeder1) et RAGT (Breeder2)
- 105 variétés "fondatrices" inscrites au catalogue officiel

Phénotypage:

- parcelles observation sur 5 lieux, 2 années (2018-2019)
- Mesure du rendement grain, teneur protéine, PMG, PS, calibrage, épiaison et hauteur
- Micromaltage réalisé sur deux lieux par an
- Caractères brassicole mesurés: friabilité, extrait, viscosité du mout et teneur en beta-glucanes

Génotypage:

- 50k Illumina Infinium iSelect genotyping array disponible chez SGS TraitGenetics GmbH

Analyses:

- Ajustement spatial des données phénotypiques
- Analyse GxE
- QC sur données de marquage (24K marqueurs retenus)
- Diversité génétique (multidimensional scaling)
- Modèle de sélection génomique (GBLUP, Bayes Cpi, LASSO, EGBLUP)
- Validation croisées aléatoires et indépendantes

Résultats

- Le pourcentage de la somme des carrés suggère que l'effet du génotype est majeur pour les caractères brassicoles étudiés (Fig1).
- L'ACP des variables phénotypiques suggère des corrélations positives ou négatives entre caractères brassicoles (Fig2).
- L'analyse de diversité montre un large chevauchement du matériel des deux sélectionneurs, avec l'absence de structure apparente (Fig3), malgré un début de divergence génétique (Fst 0.03).
- Les aptitudes prédictives (r) des validations croisées réalisées sur les différents modèles varient de 0.4 à 0.8 (Fig4). Les caractères brassicoles sont très bien prédits avec des aptitudes de 0.77 en moyenne.
- Les validations croisées obtenues avec différents sous-échantillonnages de marqueurs suggèrent qu'un petit set de 1000-2000 marqueurs est suffisant (Fig5) pour construire des modèles prédictifs efficaces.

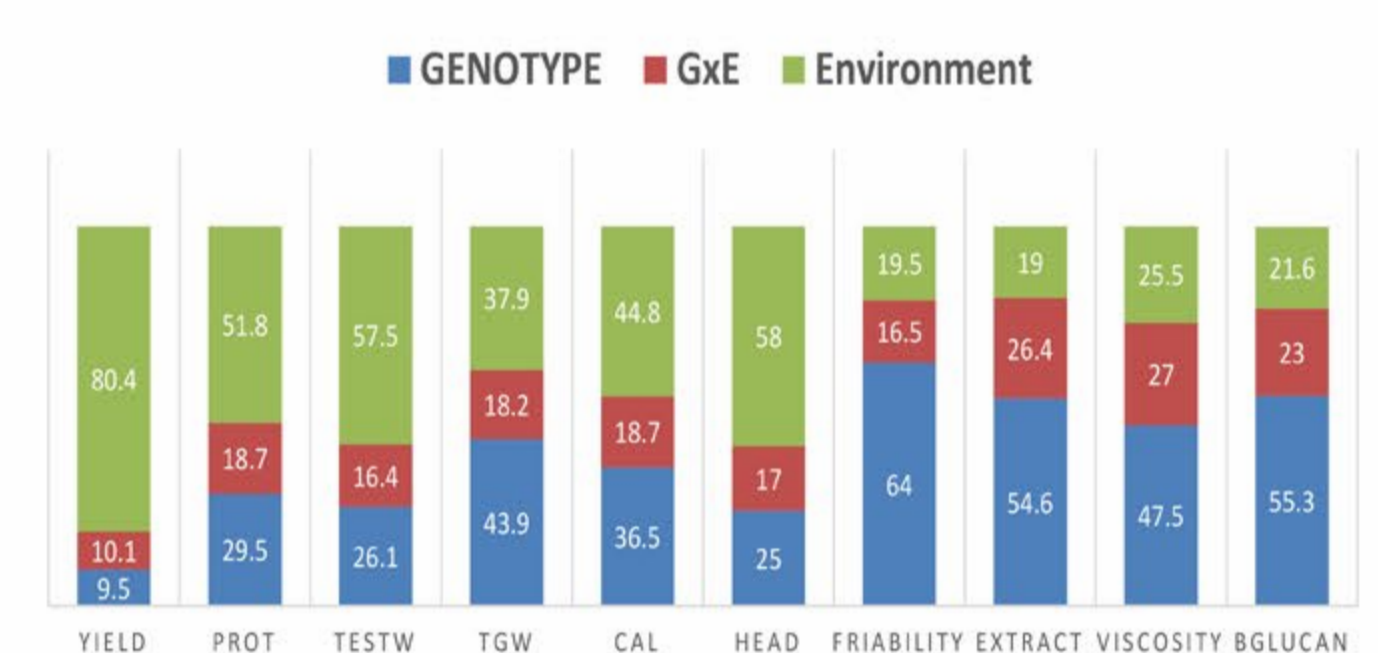


Fig1. Sommes des carrés issus des anova réalisées sur les différents caractères étudiés

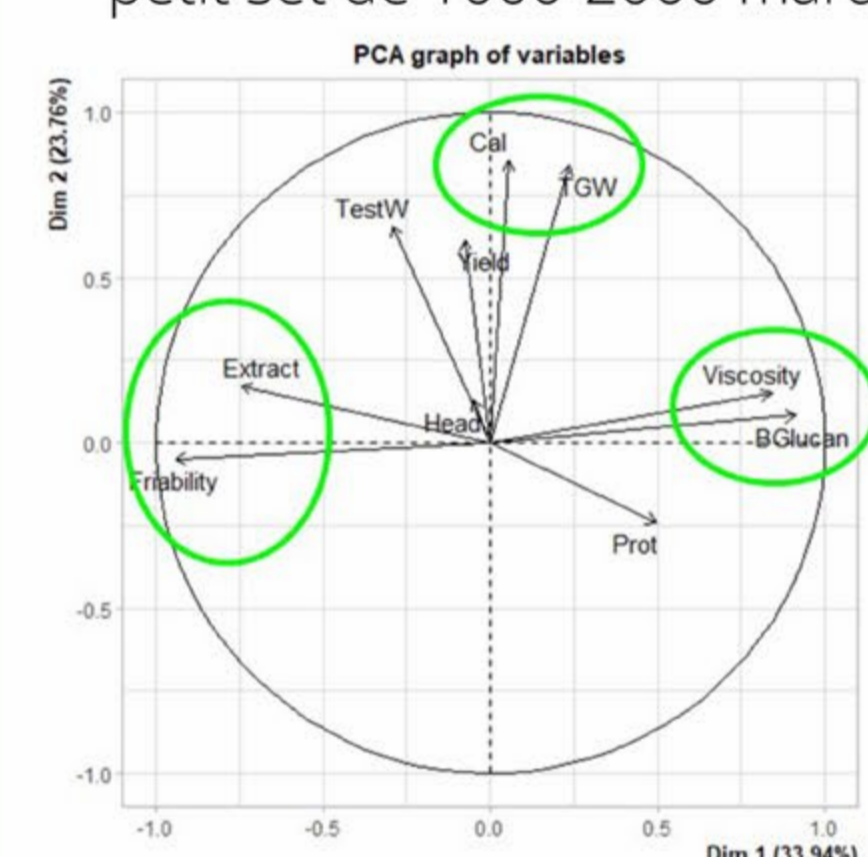


Fig2. Analyse en composantes principales des caractères phénotypiques

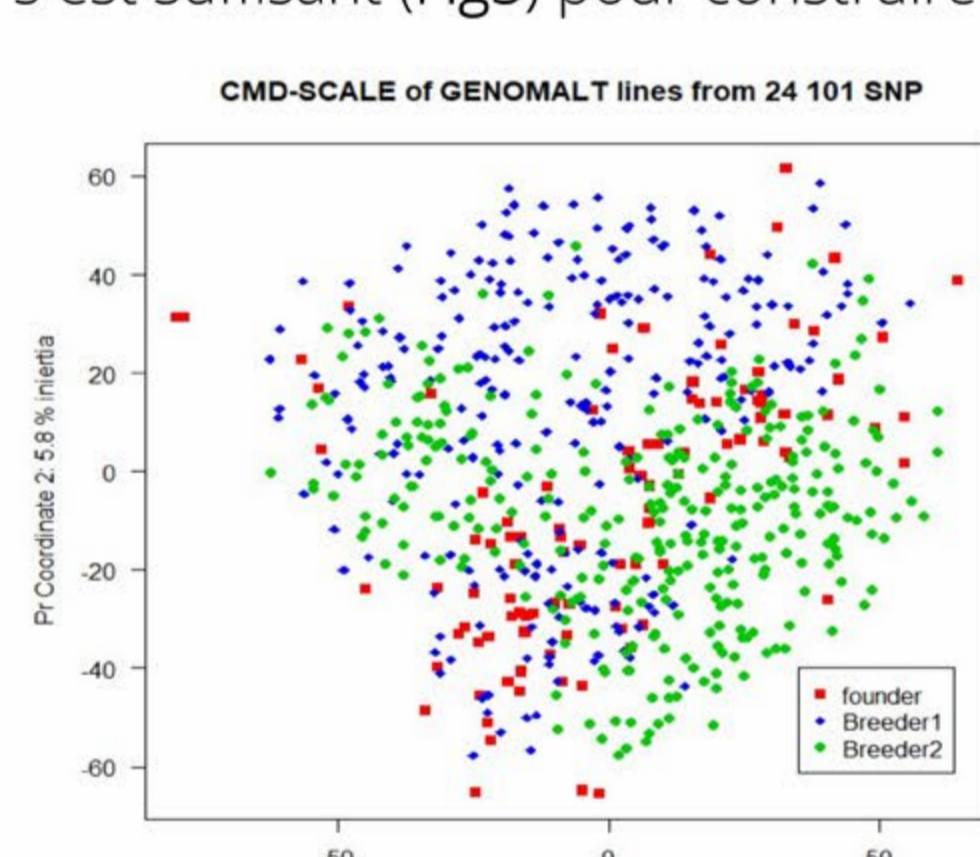


Fig3. Analyse en coordonnées principales du matériel végétal

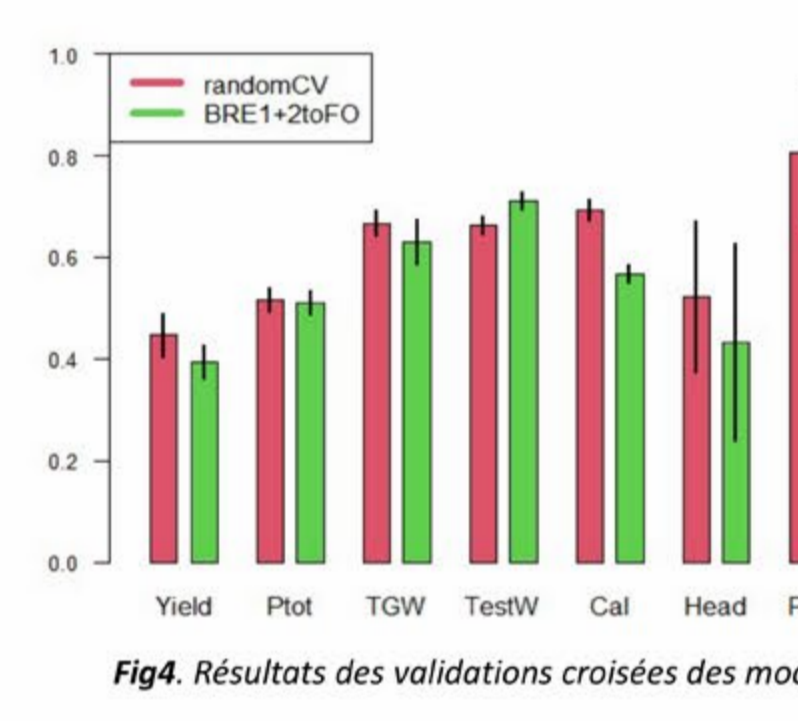


Fig4. Résultats des validations croisées des modèles prédictifs (GBLUP)

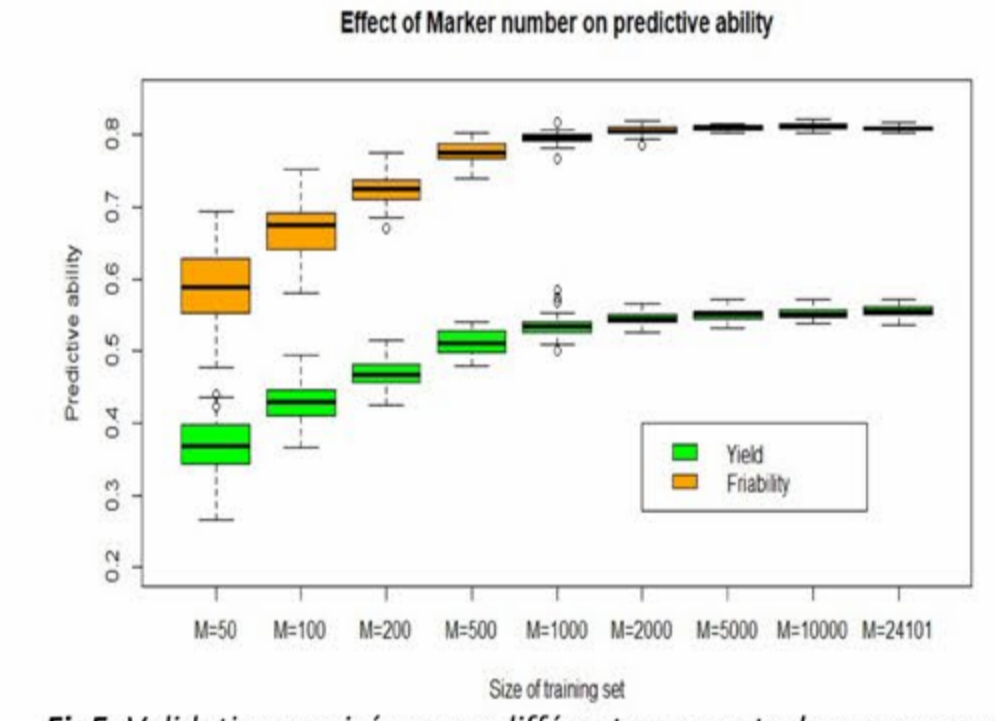


Fig5. Validations croisées avec différents sous-sets de marqueurs

Conclusions

- Les caractères brassicoles observés sont peu sujets aux interactions GxE et sont corrélés favorablement pour atteindre les objectifs en sélection (cad fort extrait, forte friabilité, faible viscosité et faible teneur en bêta-glucanes)
- Faible divergence entre les germplasmes des deux sélectionneurs (Fst 0.03)
- Aptitude prédictive pour les caractères brassicoles très élevée avec la méthode GBLUP et quelque soit la méthode de validation croisée
- Sous-échantillonnage de 1000-2000 marqueurs semble suffisant et optimal

➔ Résultats extrêmement encourageants pour envisager un déploiement de la sélection génomique dans les programmes d'orge d'hiver 6 rangs pour assister la sélection des caractères brassicoles

INRAE: Gilles CHARMET – IFBM: Marc SCHMITT – RAGT 2n: Nathalie LEROY, Bruno CLAUSTRES, Christopher BURT – SECOBRA Recherches: Amélie GENTY, Pierre PIN

