

Francesca DEGAN¹, Alexia CRÉZÉ¹, Christophe SALON², Fabiano SILLO³, Malcolm HAWKESFORD⁴, Andrew RICHE⁴, Christian JEUDY², Roger SYLVESTER-BRADLEY⁵, Alison ROLLETT⁵, Pete BERRY⁵, Tally WRIGHT⁶, Camila ZANELLA⁶, Delphine HOURCADE¹, Raffaella BALESTRINI³, Yann MANES⁷, Ivan ORTIZ-MONASTERIO⁸, Ana Paola VALLARADES¹, Matthieu BOGARD¹, Regis HELIAS¹, Jean-Pierre COHAN¹

¹ – Arvalis – Institut du végétal, FRANCE

² – INRAE, UMR 1347 Agroécologie, FRANCE

³ – National Research Council of Italy, Institute for Sustainable Plant Protection (CNR-IPSP), ITALIE

⁴ – Rothamsted Research, ROYAUME-UNI

⁵ – ADAS, Royaume-Uni ; ⁶ NIAB, ROYAUME-UNI

⁷ – International Maize Improvement Programs, ex-Syngenta, FRANCE

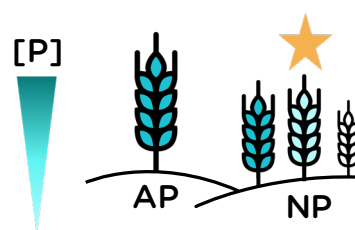
⁸ – CIMMYT, MEXIQUE

*Coordinateur du projet : Francesca DEGAN, f.degan@arvalis.fr

INTRODUCTION

- Le phosphore (P) est essentiel à la croissance des plantes > souvent limité dans le sol
- Les méthodes d'analyses de sol (Dyer Joret-Hébert and Olsen) n'expliquent pas suffisamment la mobilisation du P du sol vers les racines.
- La disponibilité du P dépend des propriétés du sol, de la capacité de la plante à l'explorer et utiliser les ressources en P.

- Améliorer la tolérance génétique à la carence en P chez le blé tendre, afin d'accroître l'efficacité d'utilisation du P (PUE) et réduire la dépendance aux fertilisants phosphatés.



INDICES DE VÉGÉTATION ET COURBES DE RÉPONSES AU P

Plusieurs indicateurs ont été développées pour mesurer l'efficacité du P :

Grain Phosphorus Yield (GPY) :

grain yield (GY) x grain P concentration

Phosphorus Use Efficiency (PUE) :

grain yield /amount of P available (soil + fertilization)

Sensitivity index to P deficiency (DeltaP)

$100 * (GY_{AP} - GY_{NP}) / GY_{AP}$

$$Y_{ijn} = \mu + manag_n \times cult_j + |trial_i| + |cult_j \times trial_i| + \varepsilon_{ijn}$$

Ce modèle statistique permet l'analyse d'un trait mesuré au champ en tenant compte à la fois des effets de conduite, de génotype et d'essai.

Variable	Management (% variance)	Genotype (% variance)	Interaction (% variance)
Rendement	7.38% (*)	3.61% (***)	2.01% (***)
PUE	18.51% (*)	2.22% (***)	2.74% (***)
GPY	6.39% (*)	1.26% (*)	1.64% (***)

Tableau 1 : Part de variance par facteur
(*indique la significativité à 5%)

Trial	P stress	Delta P (%)	Delta AUC (%)	Coefficient de corrélation de Pearson					
				CI _{red edge}	CI _{green}	MTCI	MCARI2	NDRE	NDVI
GIR21	Yes	-40 to 60	30 to 70	0.47	0.45	0.45	0.37	0.43	0.36
VIE21	No*	-5 to 10	-10 to 10	0.34	0.33	0.13 ⁺	0.33	0.25	0.19
GIR22	Yes	-10 to 40	-180 to 60	0.56	0.62	0.56	0.37	0.5	0.51
GIR23	Yes	-10 to 30	-10 to 19	0.13 ⁺	0.16 ⁺	-0.11 ⁺	-0.07 ⁺	-0.07 ⁺	-0.23 ⁺

Tableau 2 : Corrélations de Pearson entre indices de végétation et traits de tolérance à la carence en P

- 6 variétés de blé tendre x 2 années sur une parcelle historique de Rothamsted research (UK).
- Analyses du P dans le sol et dans les grains (Grain P), rendement et PUE.

La PUE est restée stable après 20 ppm les deux années du projet

- Observation d'une corrélation positive nette entre le rendement (t/ha) et Grain P (ppm).
- Les variétés Quasar et RGT Saki sont tolérantes au déficit en P tout en maintenant le rendement.
- Siskin montre une faible Grain P > utile pour limiter l'export de P de la parcelle.

PHÉNOTYPAGE RACINAIRE

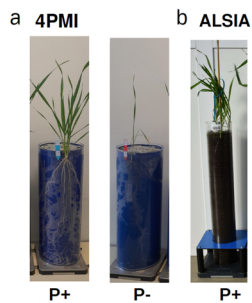


Figure 1 : Deux dispositifs de phénotypage racinaire pour comparaison des condition P+ et P-

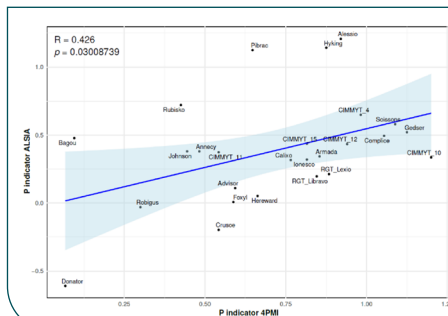


Figure 3 : Comparaison du classement entre les deux plateformes pour l'indicateur composite P. ~30 % des génotypes montrent un rang similaire sur les deux expérimentations.

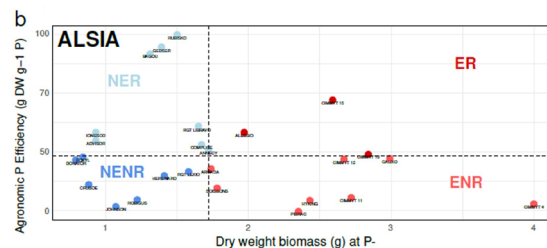
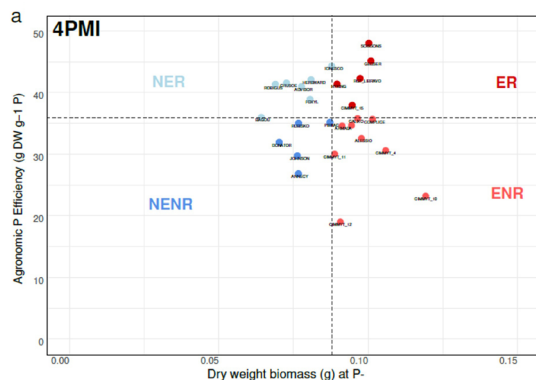


Figure 2 : Relation entre la matière sèche (MS) des plantes à P- et la réactivité au phosphore, mesurée par l'APUE, pour les différents génotypes de blé tendre. Dans le panneau (a), résultats de 4PMI ; dans le panneau (b), résultats d'ALSIA. NER : non-efficace et réactif ; ER : efficace et réactif ; ENR : efficace et non réactif ; NENR : non-efficace et non réactif.

GWAS ET MODÈLES DE PRÉDICTION GÉNOMIQUE

Données phénotypiques ajustées pour traits de tolérance au P (**n=199**)

Données de génotypage nettoyées

GWAS : Identification de QTLs associées à des traits de tolérance à la carence en P

Prédiction génomique

201 557 marqueurs SNP



DNA variation

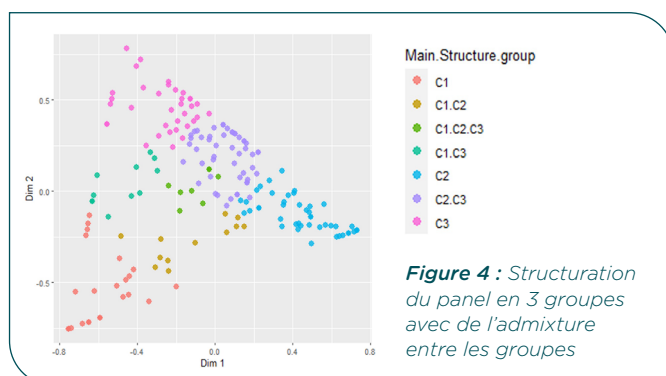


Figure 4 : Structuration du panel en 3 groupes avec de l'admixture entre les groupes

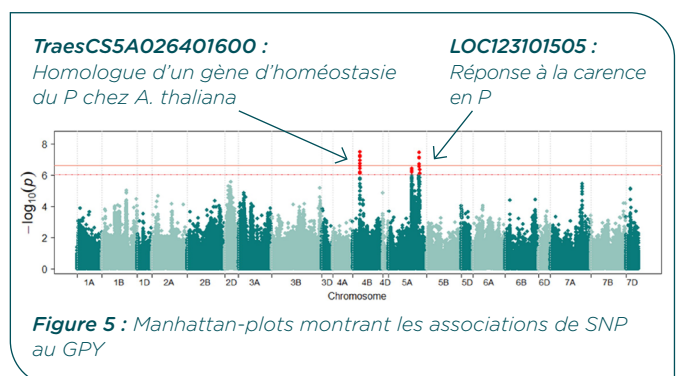


Figure 5 : Manhattan-plots montrant les associations de SNP au GPY

Trait	Nombre de QTLs	Chromosomes
PUE	5	2A, 2B, 2D, 4D, 6B
GPY	6	2D, 4B, 5A, 5B, 7B
DeltaP	2	2B
GY_NP	2	3A, 5B
CIREd_edge	2	6B

Tableau 3 : Répartition des QTLs par trait et chromosome

► Les meilleures prédictions génomiques ont été obtenues pour PUE ($r=0.6$) et GY_NP ($r=0.65$)

CONCLUSION

Objectif

Viser des génétiques combinant **haut rendement**, **PUE élevée** et **P grain modéré**, afin de **limiter l'export P** tout en sécurisant la production, surtout lorsque $P\text{-Olsen} \leq 15 \text{ ppm}$.

Sélection

Associer **pré-screening** avec le **phénotypage racinaire** (P-indicator) et **prédiction génomique** (PUE, GY en NP) pour accélérer l'identification des **lignées tolérantes** ; cibler des profils **ER/ENR** (APUE) selon l'objectif (productivité vs sobriété P).

Conseil/diagnostic

Privilégier **CI_red-edge** comme proxy de stress P (AUC $\Delta AP\text{-}NP$), avec calage local ; utiliser les **cartographies P-Olsen** fines pour positionner la contrainte et interpréter correctement les réponses variétales.

Ce pipeline offre une base solide pour accélérer l'amélioration génétique :

GWAS > prédiction génomique > Les techniques de phénotypage racinaire > validation champ sur sols $\leq 15 \text{ ppm}$ avec indices drone

