

Cours 6 : Interactions G × E

Jemay Salomon

UMR GQE Le Moulon

Université Paris-Saclay, INRAE, CNRS, AgroParisTech

Outline

Contexte

Interactions Genotypes x Environnements

MET-TPE

TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

Modèles Linéaires pour MET

Outline

Contexte

Interactions Genotypes x Environnements

MET-TPE

TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

Modèles Linéaires pour MET

Contexte

- ▶ L'interaction génotype × environnement ($G \times E$) complique les décisions de sélection des sélectionneurs
- ▶ Les individus (génotypes) réagissent différemment aux variations de leur environnement
- ▶ Les sélectionneurs s'intéressent aux génotypes bien adaptés à leur population cible d'environnements (TPE)
- ▶ Par exemple : des génotypes à haut rendement et stables à travers les années et les localisations

Env.1



Env.2



Outline

Contexte

Interactions Genotypes x Environnements

MET-TPE

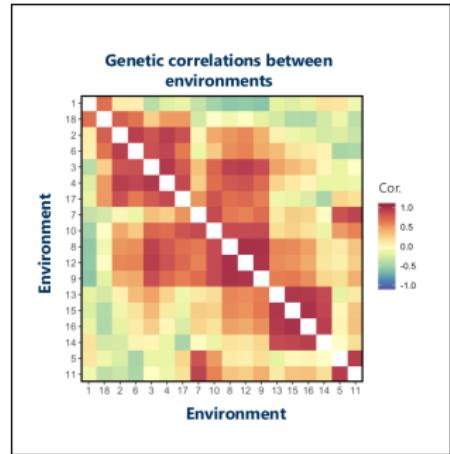
TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

Modèles Linéaires pour MET

Interactions GXE

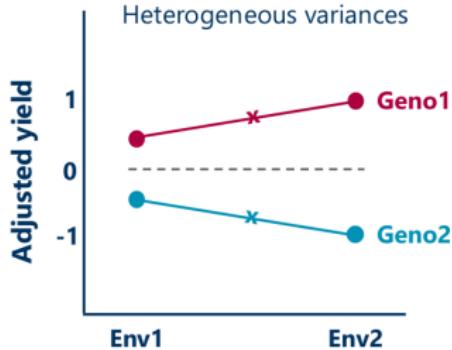
- ▶ La similarité entre environnements est souvent évaluée à l'aide des **corrélations génétiques**
- ▶ Corrélation = 1 : accord parfait des classements des génotypes entre environnements
- ▶ Corrélation = 0 : absence de similarité dans les classements entre environnements
- ▶ Corrélation = -1 : inversion complète des classements des génotypes entre environnements



Types d'Interactions G \times E

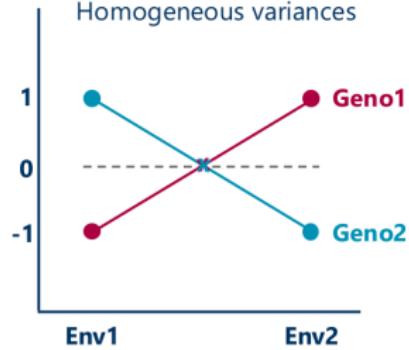
Non-crossover GxE

Perfect positive correlation
Heterogeneous variances

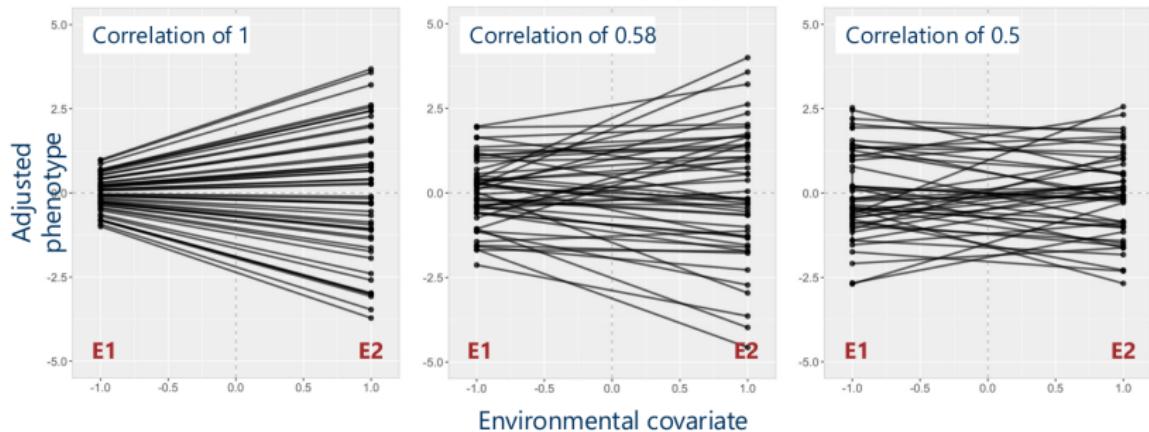


Crossover GxE

Lack of perfect positive correlation
Homogeneous variances



Types d'interactions G \times E



Source : EUCARPIA 2025 Biometrics Plant Breeding — adapté de Tolhurst

Outline

Contexte

Interactions Genotypes x Environnements

MET-TPE

TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

Modèles Linéaires pour MET

Outline

Contexte

Interactions Genotypes x Environnements

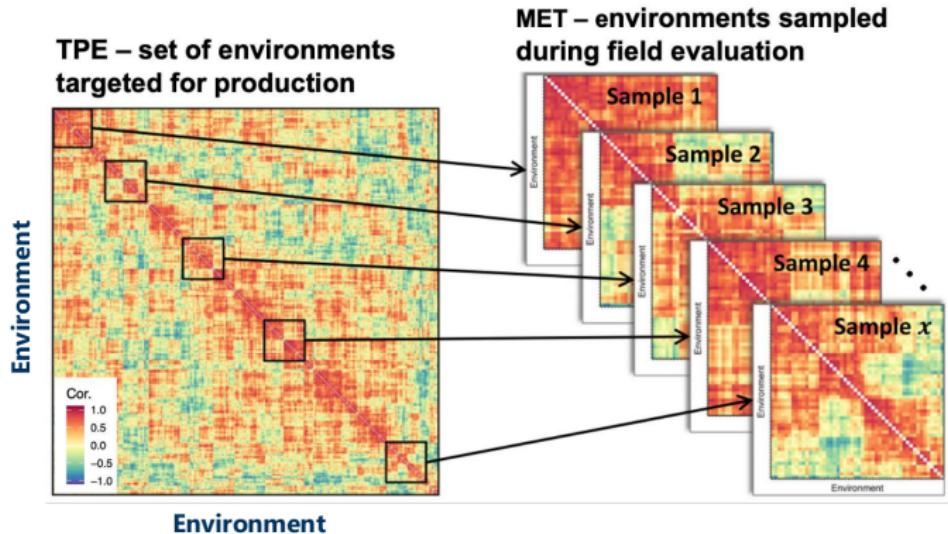
MET-TPE

TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

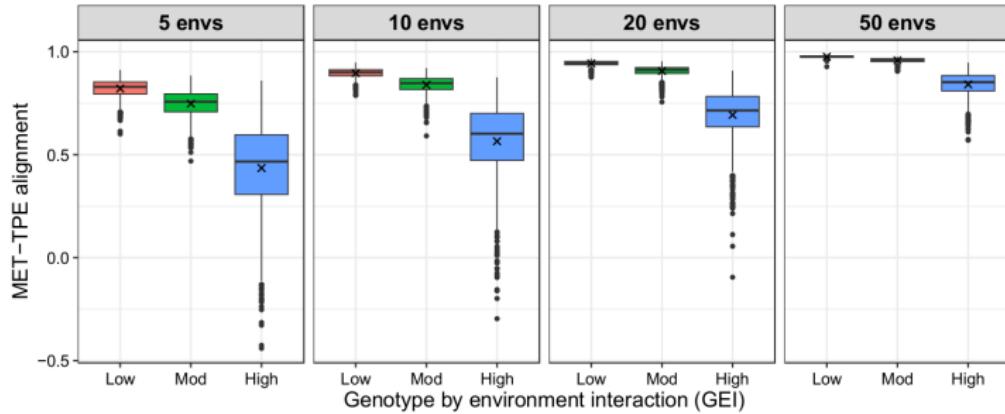
Modèles Linéaires pour MET

TPE-Target Population Environnement



Source : EUCARPIA 2025 Biometrics Plant Breeding — adapté de Tolhurst

TPE-Target Population Environnement



Cooper et al. (2023); Bančič et al. (2024)

Comment gérer l'interaction G×E ?

- ▶ Historiquement, l'interaction G×E a été abordée de trois manières principales :
 1. **Ignorer la G×E** en sélectionnant les génotypes les plus performants en moyenne
 2. **Réduire la G×E** en regroupant des environnements similaires et en sélectionnant au sein de chaque groupe
 3. **Exploiter la G×E** en sélectionnant des individus performants en moyenne et stables (adaptabilité)
- ▶ Une combinaison des approches (2) et (3) peut également être envisagée

Outline

Contexte

Interactions Genotypes x Environnements

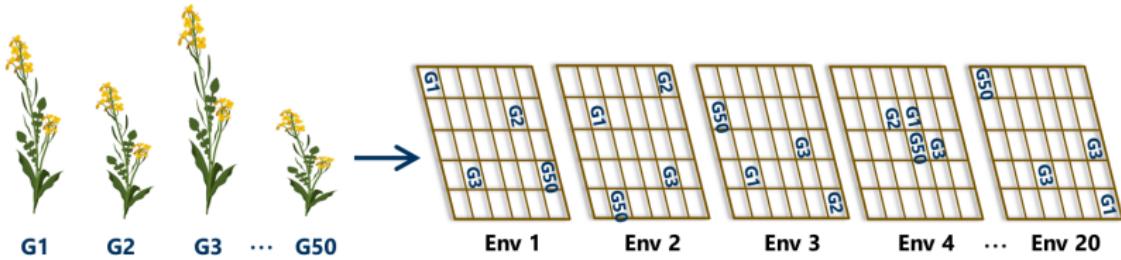
MET-TPE

TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

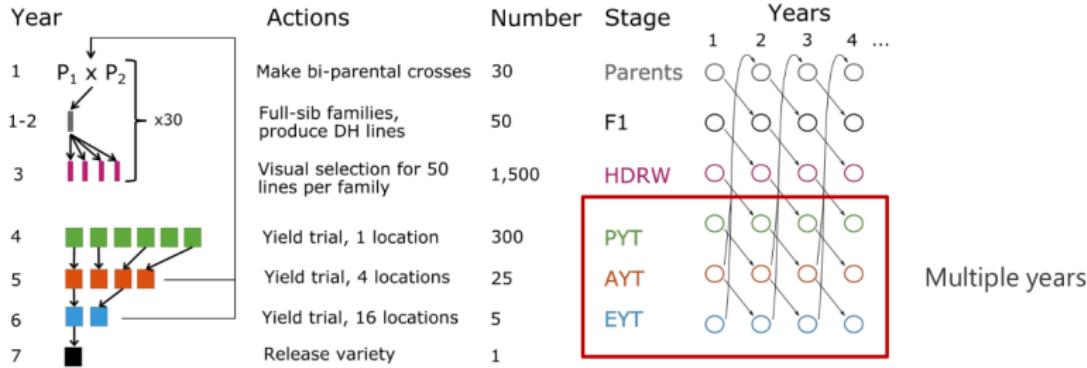
Modèles Linéaires pour MET

MET-Multi-environment trial



Source : EUCARPIA 2025 Biometrics Plant Breeding — adapté de Tolhurst

MET-Multi-environment trial



Source : EUCARPIA 2025 Biometrics Plant Breeding — adapté de Tolhurst

Outline

Contexte

Interactions Genotypes x Environnements

MET-TPE

TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

Modèles Linéaires pour MET

RCBD

$$y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \epsilon_{ij}$$

- ▶ simple à construire
- ▶ Complet/équilibré
- ▶ Facile à résoudre

Block 1

Block 2

G1	G4	G5	G12
G14	G11	G10	G16
G6	G8	G7	G2
G10	G16	G3	G15
G2	G5	G9	G8
G3	G13	G1	G6
G12	G15	G11	G4
G9	G7	G14	G13

Extension aux MET

$$y_{ijm} = \mu + \alpha_m + g_{im} + b_{jm} + ..Interactions... + \epsilon_{ijm}$$

- ▶ y : phenotype (ex. rendement)
- ▶ μ intercept
- ▶ α_m : effet environnement
- ▶ b_{jm} : effet block
- ▶ ϵ_{ijm} : residus

Décomposition des interactions G×E

Métriques couramment utilisées :

- ▶ Analyse de la variance (ANOVA)
- ▶ Modèles de régression (Finlay & Wilkinson, 1963 ; Eberhart & Russell, 1966)
- ▶ Écovariance de Wricke (1962)
- ▶ Variance de Shukla (1972)
- ▶ Indice de Kang (YSi) / rKang (1991)
- ▶ Indice de supériorité (Lin & Binns, 1988)
- ▶ Rendement moyen

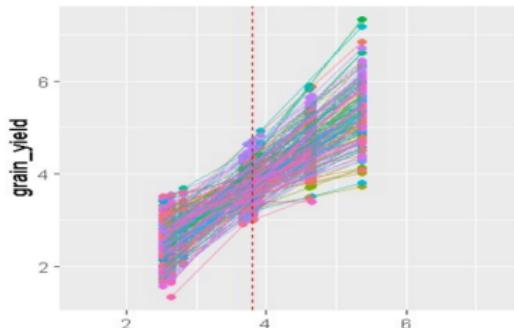
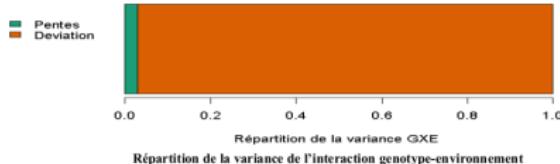
Décomposition des interactions G×E

□ Analyse de variance et décomposition de l'interaction génotype-environnement

Tableau d'analyse de variance pour le rendement grain

	DL	SCE	SCM	Test F	Sign.	%var
E	10	1574.11	157.41	323.85 ***		34.3427
G	249	461.08	1.85	3.81 ***		10.0595
GE	1885	1369.15	0.73	1.49 ***		29.8711
Résid	2426	1179.19	0.49			

G: Génotype; E: Environnement; GE: interaction génotype-environnement



Droites de régression du rendement moyen des génotypes sur le rendement moyen des environnements.

- ✓ E et GE expliquent 64% (variance)
- ✓ Pentes (bi) expliquent très peu de la GE
- ✓ Variabilité génétique pour les “bi”

Mémoire de Master 2 (Salomon, 2023)