

# Cours 6 : Interactions $G \times E$

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  $\times$  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

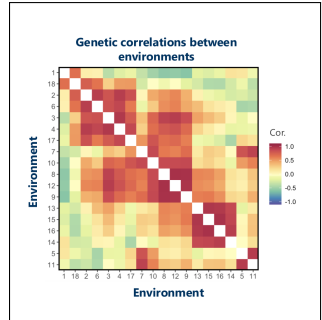
TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

Modèles Linéaires pour MET

# Interactions GXE

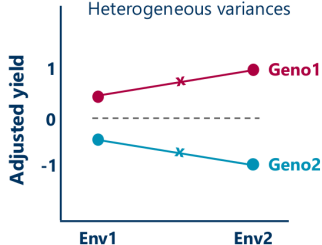
- ▶ La similarité entre environnements est souvent évaluée à l'aide des **corrélations génétiques**
- ▶ Corrélation = 1 : accord parfait des classements des génotypes entre environnements
- ▶ Corrélation = 0 : absence de similarité dans les classements entre environnements
- ▶ Corrélation = -1 : inversion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



# Types d'Interactions $G \times E$

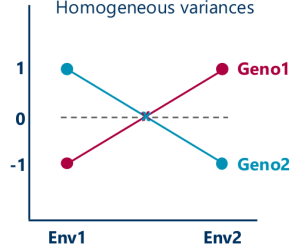
## Non-crossover GxE

Perfect positive correlation  
Heterogeneous variances

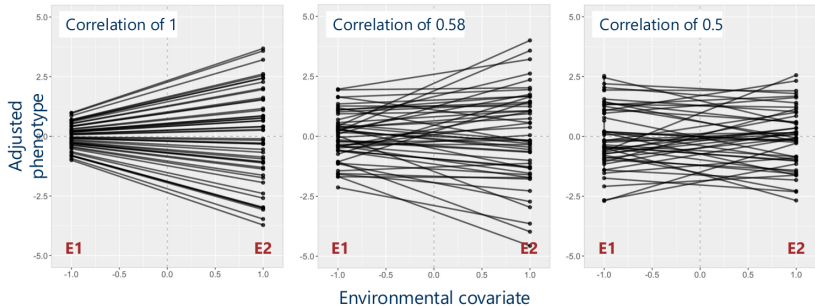


## Crossover GxE

Lack of perfect positive correlation  
Homogeneous variances



# Types d'interactions $G \times E$



Source : EUCARPIA 2025 Biometrics Plant Breeding — adapté de Tolhust



# 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

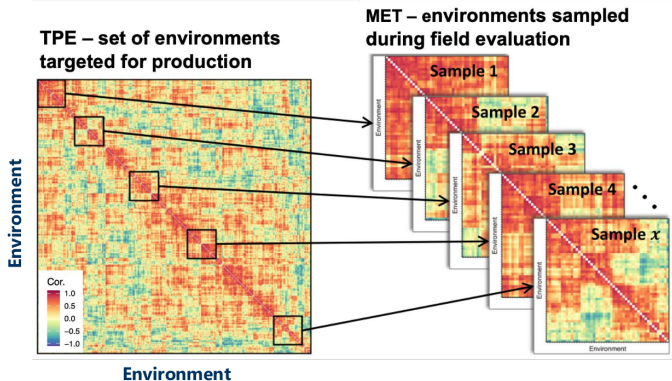
**MET-TPE**

TPE-Target Population Environnement

MET-Multi-environment trial

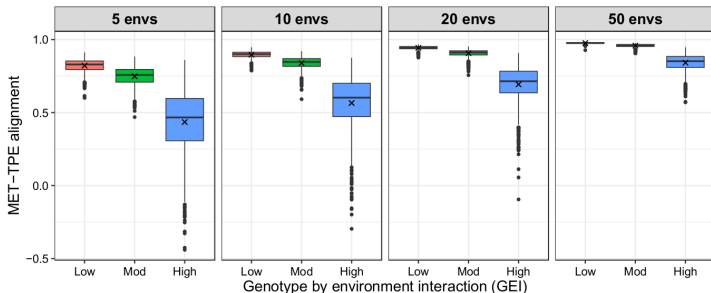
Modèles Linéaires pour MET

# TPE-Target Population Environment



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 $G \times E$ ?

- ▶ Historiquement, l'interaction  $G \times E$  a été abordée de trois manières principales :
  1. **Ignorer la  $G \times E$**  en sélectionnant les génotypes les plus performants en moyenne
  2. **Réduire la  $G \times E$**  en regroupant des environnements similaires et en sélectionnant au sein de chaque groupe
  3. **Exploiter la  $G \times E$**  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

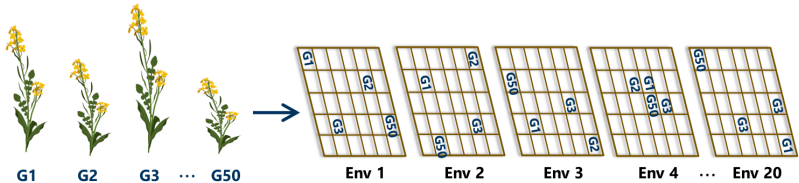
**MET-TPE**

TPE-Target Population Environnement

**MET-Multi-environment trial**

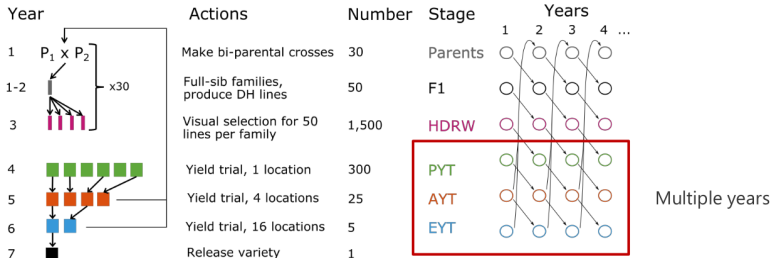
Modèles Linéaires pour MET

# MET-Multi-environment trial



Source : EUCARPIA 2025 Biometrics Plant Breeding — adapté de Tolhust

# MET-Multi-environment trial



Source : EUCARPIA 2025 Biometrics Plant Breeding — adapté de Tolhust



# 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 contruire
- ▶ 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)
- ▶  $\mu$  intercept
- ▶  $\alpha_m$  : effet environnement
- ▶  $b_{jm}$  : effet block
- ▶  $\epsilon_{ijm}$  : residus

# Décomposition des interactions $G \times E$

## Métriques couramment utilisées :

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

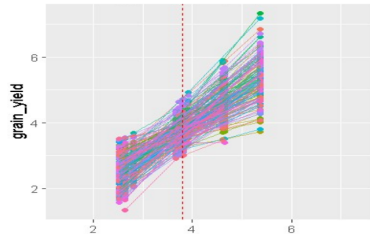
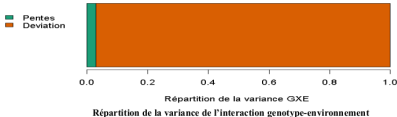
# Décomposition des interactions $G \times E$

□ 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: Genotype; 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)