

Cours 1 – Introduction à la génétique quantitative

Jemay Salomon

UMR GQE Le Moulon

Université Paris–Saclay, INRAE, CNRS, AgroParisTech

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

- Définition

- Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

Concept statistique

- Modèle de base

Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

Définition

Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

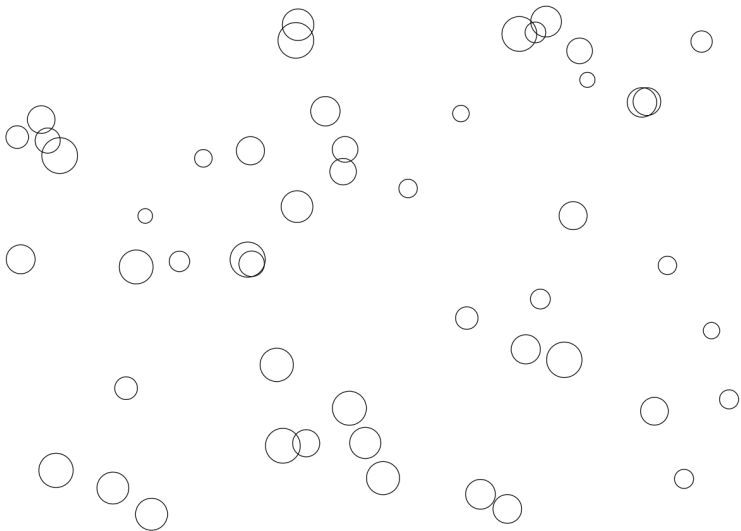
Concept statistique

Modèle de base

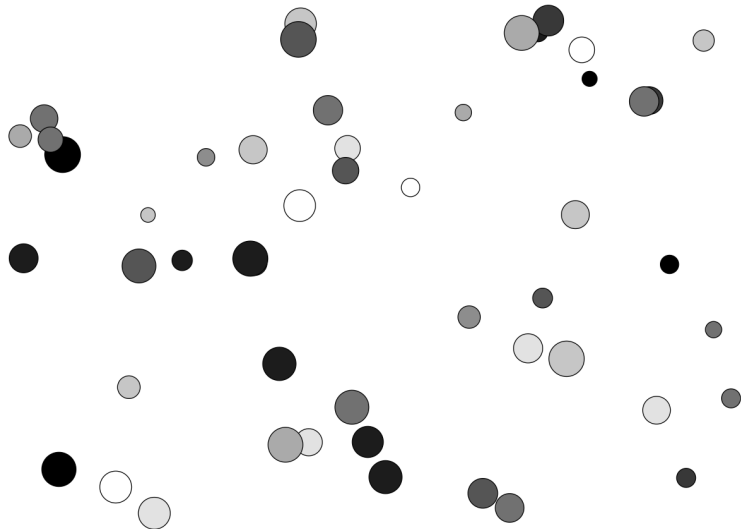
Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Population



Variation phénotypique

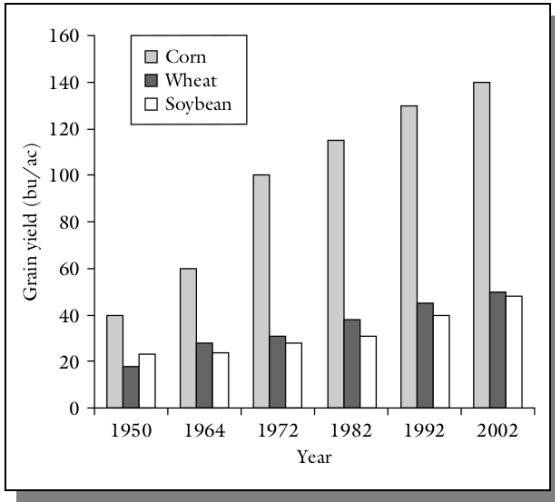


Variation phénotypique

Gènes, Environnement,
Gènes \times Environnement



Conséquences



cf-Principles of Plant Genetics and Breeding (2012)

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

Définition

Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

Concept statistique

Modèle de base

Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

Définition

Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

Concept statistique

Modèle de base

Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Déf.

La génétique quantitative vise à relier la variation des traits complexes à leur base génétique, pour mieux comprendre et prédire l'architecture génétique et l'évolution des populations sur le long terme.

Déf.

- ▶ **Génétique quantitative classique**

Déf.

- ▶ **Génétique quantitative classique**
 - ▶ S'intéresse à la variation phénotypique globale et à sa base génétique, en considérant l'ensemble des gènes.

Déf.

- ▶ **Génétique quantitative classique**
 - ▶ S'intéresse à la variation phénotypique globale et à sa base génétique, en considérant l'ensemble des gènes.
 - ▶ Analyse holistique de tous les gènes, sans distinguer contributions majeures ou mineures.

Déf.

► **Génétique quantitative classique**

- S'intéresse à la variation phénotypique globale et à sa base génétique, en considérant l'ensemble des gènes.
- Analyse holistique de tous les gènes, sans distinguer contributions majeures ou mineures.
- Fournit une vision globale de la génétique des traits complexes.

Déf.

▶ **Génétique quantitative classique**

- ▶ S'intéresse à la variation phénotypique globale et à sa base génétique, en considérant l'ensemble des gènes.
- ▶ Analyse holistique de tous les gènes, sans distinguer contributions majeures ou mineures.
- ▶ Fournit une vision globale de la génétique des traits complexes.

▶ **Génétique quantitative moléculaire**

Déf.

▶ **Génétique quantitative classique**

- ▶ S'intéresse à la variation phénotypique globale et à sa base génétique, en considérant l'ensemble des gènes.
- ▶ Analyse holistique de tous les gènes, sans distinguer contributions majeures ou mineures.
- ▶ Fournit une vision globale de la génétique des traits complexes.

▶ **Génétique quantitative moléculaire**

- ▶ Se concentre sur l'association entre les sites d'ADN polymorphes et les variations phénotypiques.

Déf.

► **Génétique quantitative classique**

- S'intéresse à la variation phénotypique globale et à sa base génétique, en considérant l'ensemble des gènes.
- Analyse holistique de tous les gènes, sans distinguer contributions majeures ou mineures.
- Fournit une vision globale de la génétique des traits complexes.

► **Génétique quantitative moléculaire**

- Se concentre sur l'association entre les sites d'ADN polymorphes et les variations phénotypiques.
- Analyse détaillée de l'architecture génétique : gènes majeurs (analyse ciblée) et gènes mineurs (vue globale).

Déf.

▶ **Génétique quantitative classique**

- ▶ S'intéresse à la variation phénotypique globale et à sa base génétique, en considérant l'ensemble des gènes.
- ▶ Analyse holistique de tous les gènes, sans distinguer contributions majeures ou mineures.
- ▶ Fournit une vision globale de la génétique des traits complexes.

▶ **Génétique quantitative moléculaire**

- ▶ Se concentre sur l'association entre les sites d'ADN polymorphes et les variations phénotypiques.
- ▶ Analyse détaillée de l'architecture génétique : gènes majeurs (analyse ciblée) et gènes mineurs (vue globale).
- ▶ Permet de comprendre comment des loci spécifiques contribuent aux variations, utile pour la sélection ou la prédiction génétique.

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

Définition

Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

Concept statistique

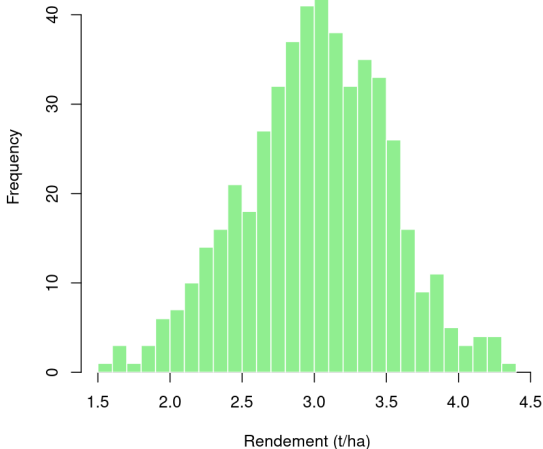
Modèle de base

Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

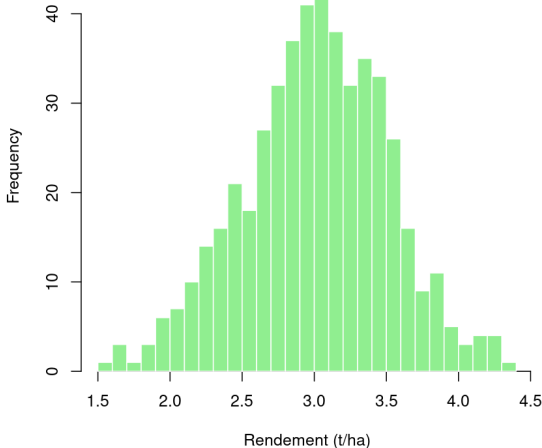
ex. rendement



Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

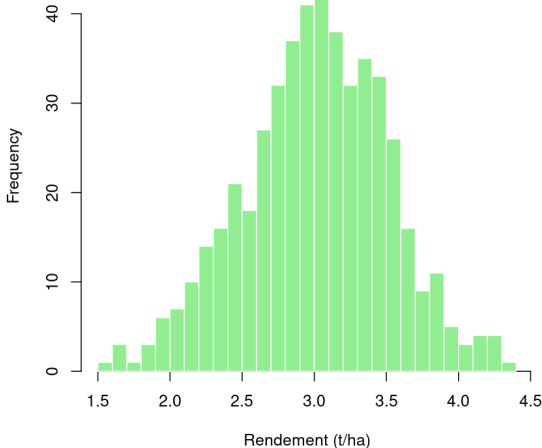
ex. rendement

• Variation continue



Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

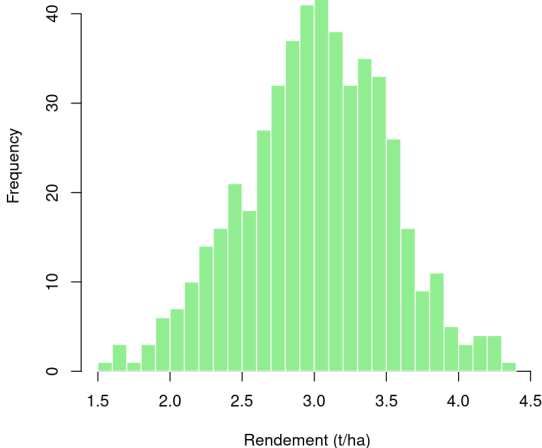
ex. rendement



- Variation continue
- Sous contrôle de nombreux gènes

Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

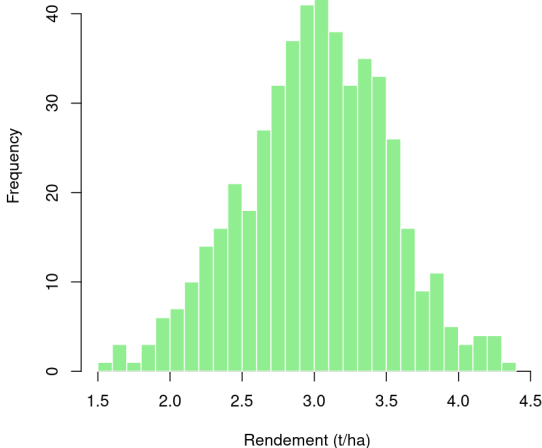
ex. rendement



- Variation continue
- Sous contrôle de nombreux gènes
- Influencer largement par l'environnement
- ...

Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

ex. rendement

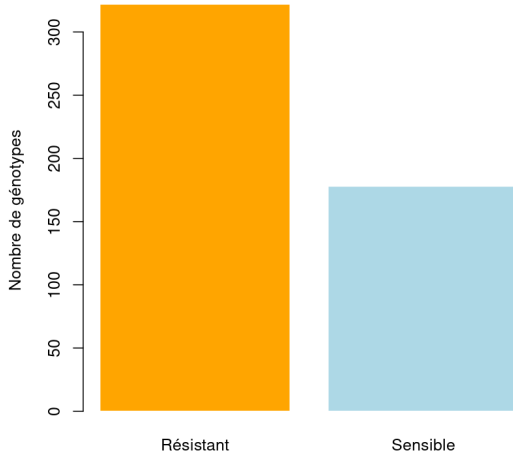


- Variation continue
- Sous contrôle de nombreux gènes
- Influencer largement par l'environnement
- ...
- Ex. Hauteur des plantes, diamètre tige, etc...

Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

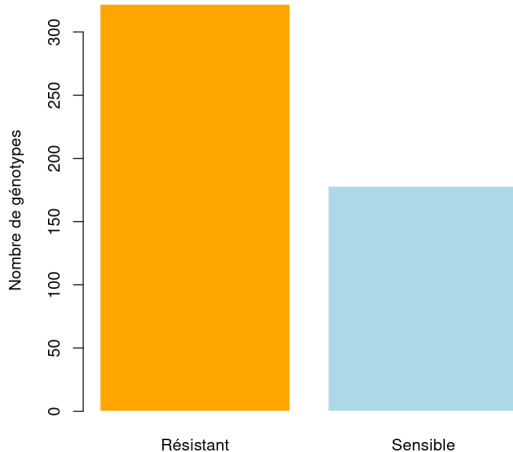
ex. résistance/sensibilité

● Variation discontinue



Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

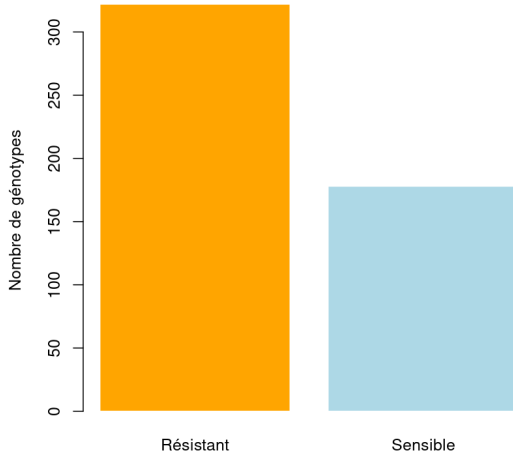
ex. résistance/sensibilité



- Variation discontinue
- Sous contrôle d'un ou peu de gènes

Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

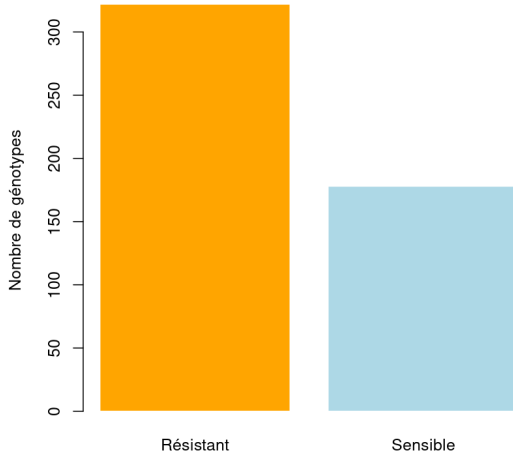
ex. résistance/sensibilité



- Variation discontinue
- Sous contrôle d'un ou peu de gènes
- Peu ou pas d'influence de l'environnement
- ...

Distribution des caractères quantitatifs et qualitatifs

ex. résistance/sensibilité



- Variation discontinue
- Sous contrôle d'un ou peu de gènes
- Peu ou pas d'influence de l'environnement
- ...
- Ex. Couleur des fleurs, résistance/sensibilité, etc..

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

Définition

Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

Concept statistique

Modèle de base

Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

Définition

Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

Concept statistique

Modèle de base

Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Rappel

Décomposition de la variation phénotypique (1/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

Décomposition de la variation phénotypique (1/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

- ▶ P : Phénotype

Décomposition de la variation phénotypique (1/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

- ▶ P : Phénotype
- ▶ μ : moyenne de la population

Décomposition de la variation phénotypique (1/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

- ▶ P : Phénotype
- ▶ μ : moyenne de la population
- ▶ G : Valeur génétique

Décomposition de la variation phénotypique (1/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

- ▶ P : Phénotype
- ▶ μ : moyenne de la population
- ▶ G : Valeur génétique
- ▶ E : Environnement (macro \neq micro, spécifique)

Décomposition de la variation phénotypique (1/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

- ▶ P : Phénotype
- ▶ μ : moyenne de la population
- ▶ G : Valeur génétique
- ▶ E : Environnement (macro \neq micro, spécifique)

$$P = \mu + G + E$$

Décomposition de la variation phénotypique (2/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

$$G = [g_1 + g_i + g_n]$$

Décomposition de la variation phénotypique (2/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

$$G = [g_1 + g_i + g_n]$$

- ▶ P : Phénotype
- ▶ μ : moyenne de la population
- ▶ $G = [g_1 + g_i + g_n]$: Valeur génétique
- ▶ E : Environnement (macro \neq micro, spécifique)

Décomposition de la variation phénotypique (2/2)

Pour un génotype dans un environnement donné on a :

$$G = [g_1 + g_i + g_n]$$

- ▶ P : Phénotype
- ▶ μ : moyenne de la population
- ▶ $G = [g_1 + g_i + g_n]$: Valeur génétique
- ▶ E : Environnement (macro \neq micro, spécifique)

$$P = \mu + [g_1 + g_i + g_n] + E$$

Héritabilité

La variance de la distribution phénotypique se calcule comme la variance de la somme de deux variables aléatoires.

$$V(P) = V(G) + V(E) + 2cov(G, E) \quad \text{Eq. (1)}$$

où $cov(G, E)$ est la covariance entre les effets génotypiques et environnementaux.

Héritabilité

La variance de la distribution phénotypique se calcule comme la variance de la somme de deux variables aléatoires.

$$V(P) = V(G) + V(E) + 2cov(G, E) \quad \text{Eq. (1)}$$

où $cov(G, E)$ est la covariance entre les effets génotypiques et environnementaux.

- ▶ En espérance $cov(G, E) = 0$ si les valeurs des génotypes sont élaborées de manière indépendantes des valeurs environnementales (randomisation des expériences)

Héritabilité

L'équation 1 devient :

$$V(P) = V(G) + V(E) \quad \text{Eq. (2)}$$

Héritabilité

Héritabilité au sens large, H_{SL}^2 :

$$H_{SL}^2 = \frac{V(G)}{V(P)} = \frac{V(G)}{V(G) + V(P)}$$

Héritabilité

Héritabilité au sens large, H_{SL}^2 :

$$H_{SL}^2 = \frac{V(G)}{V(P)} = \frac{V(G)}{V(G) + V(P)}$$

- quantifier Quantifier la part de la variation d'origine génétique dans la variation phénotypique totale.

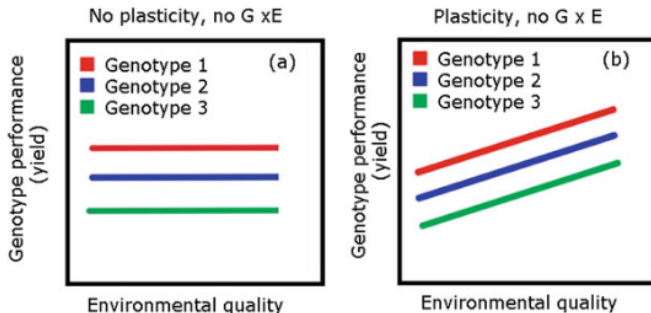
Héritabilité

Héritabilité au sens large, H_{SL}^2 :

$$H_{SL}^2 = \frac{V(G)}{V(P)} = \frac{V(G)}{V(G) + V(P)}$$

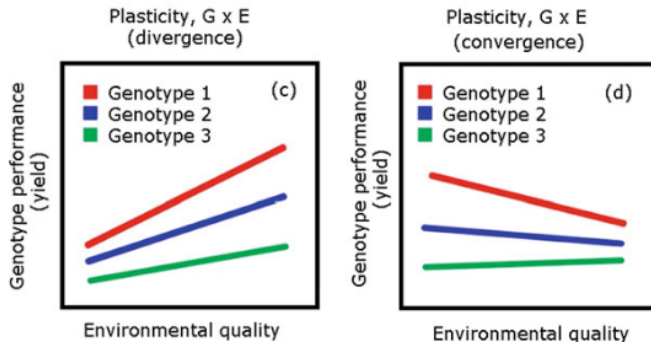
- ▶ quantifier Quantifier la part de la variation d'origine génétique dans la variation phénotypique totale.
- ▶ L'héritabilité $H^2 \in [0, 1]$: $H^2 \uparrow \Rightarrow$ plus la variation phénotypique est due aux gènes.

Interactions entre le génotype et l'environnement



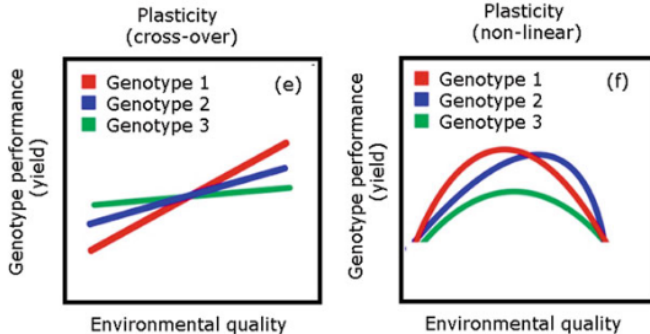
Priyadarshan, P.M. (2019)

Interactions entre le génotype et l'environnement



Priyadarshan, P.M. (2019)

Interactions entre le génotype et l'environnement



Priyadarshan, P.M. (2019)

Interactions entre le génotype et l'environnement

L'équation 1 devient :

$$P = G + E + G \times E \quad (\text{Eq. 3})$$

Interactions entre le génotype et l'environnement

L'équation 1 devient :

$$P = G + E + G \times E \quad (\text{Eq. 3})$$

- Stabilité des génotypes (adaptation générale vs adaptation spécifique)

Interactions entre le génotype et l'environnement

L'équation 1 devient :

$$P = G + E + G \times E \quad (\text{Eq. 3})$$

- ▶ Stabilité des génotypes (adaptation générale vs adaptation spécifique)
- ▶ Prise en compte de $V(G \times E)$ dans les stratégies de sélection

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

Définition

Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

Concept statistique

Modèle de base

Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Application à l'amélioration des plantes

Objectifs :

- ▶ Choisir les génotypes à garder

But :

Points clés :

Application à l'amélioration des plantes

Objectifs :

- ▶ Choisir les génotypes à garder
- ▶ Choisir les génotypes pour la prochaine génération (croisement)

But :

Points clés :

Application à l'amélioration des plantes

Objectifs :

- ▶ Choisir les génotypes à garder
- ▶ Choisir les génotypes pour la prochaine génération (croisement)
- ▶ Répéter les deux étapes précédentes \Rightarrow "amélioration de la population"

But :

Points clés :

Application à l'amélioration des plantes

Objectifs :

- ▶ Choisir les génotypes à garder
- ▶ Choisir les génotypes pour la prochaine génération (croisement)
- ▶ Répéter les deux étapes précédentes \Rightarrow "amélioration de la population"

But :

- ▶ Obtenir un gain génétique \Rightarrow "progrès génétique"

Points clés :

Application à l'amélioration des plantes

Objectifs :

- ▶ Choisir les génotypes à garder
- ▶ Choisir les génotypes pour la prochaine génération (croisement)
- ▶ Répéter les deux étapes précédentes \Rightarrow "amélioration de la population"

But :

- ▶ Obtenir un gain génétique \Rightarrow "progrès génétique"
- ▶ Efficacement

Points clés :

Application à l'amélioration des plantes

Objectifs :

- ▶ Choisir les génotypes à garder
- ▶ Choisir les génotypes pour la prochaine génération (croisement)
- ▶ Répéter les deux étapes précédentes \Rightarrow "amélioration de la population"

But :

- ▶ Obtenir un gain génétique \Rightarrow "progrès génétique"
- ▶ Efficacement
- ▶ À court terme mais aussi à long terme

Points clés :

Application à l'amélioration des plantes

Objectifs :

- ▶ Choisir les génotypes à garder
- ▶ Choisir les génotypes pour la prochaine génération (croisement)
- ▶ Répéter les deux étapes précédentes \Rightarrow "amélioration de la population"

But :

- ▶ Obtenir un gain génétique \Rightarrow "progrès génétique"
- ▶ Efficacement
- ▶ À court terme mais aussi à long terme

Points clés :

- ▶ Évaluer les génotypes pour leur descendance attendue

Application à l'amélioration des plantes

Objectifs :

- ▶ Choisir les génotypes à garder
- ▶ Choisir les génotypes pour la prochaine génération (croisement)
- ▶ Répéter les deux étapes précédentes \Rightarrow "amélioration de la population"

But :

- ▶ Obtenir un gain génétique \Rightarrow "progrès génétique"
- ▶ Efficacement
- ▶ À court terme mais aussi à long terme

Points clés :

- ▶ Évaluer les génotypes pour leur descendance attendue
- ▶ Maintenir la diversité génétique

Outline

Contexte et motivation

Concept theorique

Définition

Caractères quantitatifs versus caractères qualitatifs

Concept statistique

Modèle de base

Application à l'amélioration des plantes

Activité - 45 min

Activité

- Code R