



HAL
open science

Les mélanges de génotypes vus par la génétique quantitative (et un peu par l'écologie)

Timothée Flutre

► **To cite this version:**

Timothée Flutre. Les mélanges de génotypes vus par la génétique quantitative (et un peu par l'écologie). Doctorat. Réunion du projet CoBreeding, Lusignan, France. 2023, pp.54. hal-04240813

HAL Id: hal-04240813

<https://hal.inrae.fr/hal-04240813>

Submitted on 13 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Les mélanges de géotypes vus par la génétique quantitative (et un peu par l'écologie)

Timothée Flutre

Unité "Génétique Quantitative et Evolution"
Université Paris-Saclay — INRAE — CNRS — AgroParisTech

02/10/2023

Réunion du projet CoBreeding à Lusignan

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

- Exemples historiques en agriculture

- Modélisation

- Cas avec données au niveau du génotype

- Cas avec données au niveau du groupe

Assemblage de mélanges

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

Exemples historiques en agriculture

Modélisation

Cas avec données au niveau du génotype

Cas avec données au niveau du groupe

Assemblage de mélanges

Catégorisation écologique des interactions

	Entité 1	Entité 2
Compétition	-	-
Mutualisme	+	+
Antagonisme*	+	-
Amensalisme	0	-
Commensalisme	0	+
Neutralisme	0	0

* Prédation, parasitisme, herbivorie

Importance en évolution

Classiquement en génét. quanti. :

$$\sigma_P^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2 + \sigma_{G \times E}^2$$

Interactions écologiques : une partie du E est héritable

et donc aussi présence de $G \times G$ et de $G \times G \times E$

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

Exemples historiques en agriculture

Modélisation

Cas avec données au niveau du génotype

Cas avec données au niveau du groupe

Assemblage de mélanges

Sélection de parentèle (*kin*)

Supposons un groupe de 2 individus, i et j :

$$W_i = \text{constant} + \beta_{W_D,P} P_i + \beta_{W_S,P} P_j + e_i$$

- ▶ W_i : fitness du génotype focal
- ▶ P_i (P_j) : phénotype du caractère chez le focal (le voisin)
- ▶ $\beta_{W_D,P}$: effet direct
- ▶ $\beta_{W_S,P}$: effet social

Sélection de parentèle (*kin*)

Supposons un groupe de 2 individus, i et j :

$$W_i = \text{constant} + \beta_{W_D,P} P_i + \beta_{W_S,P} P_j + e_i$$

- ▶ W_i : fitness du génotype focal
- ▶ P_i (P_j) : phénotype du caractère chez le focal (le voisin)
- ▶ $\beta_{W_D,P}$: effet direct
- ▶ $\beta_{W_S,P}$: effet social

Si caractère = comportement altruiste (ex. Hamilton, 1964) :

- ▶ $\beta_{W_D,P}$: mesure du “coût” pour le focal (si < 0)
- ▶ $\beta_{W_S,P}$: mesure du “bénéfice” pour le voisin (si > 0)

Sélection de groupe / multi-niveaux

$$W_i = \text{constant} + \beta_{W, \bar{P}_g} \bar{P}_g + \beta_{W, \Delta P} \Delta P_i + e_i$$

- ▶ \bar{P}_g : moyenne du caractère dans le groupe
- ▶ ΔP_i : différence entre P_i et \bar{P}_g
- ▶ β_{W, \bar{P}_g} : effet du groupe
- ▶ $\beta_{W, \Delta P}$: effet intra-groupe

Equivalence

Bijma & Wade (2008) (aussi Hamilton 1975, Queller 1992, etc) :

- ▶ $\beta_{W, \bar{P}_g} = \beta_{W_D, P} + \beta_{W_S, P}$
 - ▶ force de la sélection inter-groupe = coût + bénéfice

- ▶ $\beta_{W, \Delta P} = \beta_{W_D, P} - \beta_{W_S, P}$
 - ▶ force de la sélection intra-groupe = coût - bénéfice

Réponse à la sélection

Pré-requis :

- ▶ Fisher : $P_i = A_i + E_i$; $A \perp E$; $\text{cov}(A_i, A_j) = r \text{var}(A)$
- ▶ Price-Robertson : $\Delta \bar{A} = \text{cov}(W_i, A_i)$

$$\Delta \bar{A} = \frac{1}{2} \left[\beta_{W, \bar{P}_g} (1 + r) + \beta_{W, \Delta P} (1 - r) \right] \text{var}(A)$$

Réponse à la sélection

Pré-requis :

- ▶ Fisher : $P_i = A_i + E_i$; $A \perp E$; $\text{cov}(A_i, A_j) = r \text{var}(A)$
- ▶ Price-Robertson : $\Delta \bar{A} = \text{cov}(W_i, A_i)$

$$\Delta \bar{A} = \frac{1}{2} \left[\beta_{W, \bar{P}_g} (1 + r) + \beta_{W, \Delta P} (1 - r) \right] \text{var}(A)$$

L'apparementement entre génotypes intra-groupe, r :

- ▶ augmente la réponse à la sélection inter-groupe
- ▶ diminue la réponse à la sélection intra-groupe

En résumé

Deux paramètres importants :

- ▶ r : apparentement entre génotypes intra-groupe
 - ▶ Sans apparentement ($r = 0$), la sélection de groupe ne contribue pas.

En résumé

Deux paramètres importants :

- ▶ r : apparentement entre génotypes intra-groupe
 - ▶ Sans apparentement ($r = 0$), la sélection de groupe ne contribue pas.
- ▶ $g = \beta_{W_S,P} / \beta_{W_D,P}$: force de la sélection inter-groupe par rapport à la sélection individuelle
 - ▶ Sans sélection de groupe ($g = 0$), l'apparentement ne contribue pas.

En résumé

Deux paramètres importants :

- ▶ r : apparentement entre génotypes intra-groupe
 - ▶ Sans apparentement ($r = 0$), la sélection de groupe ne contribue pas.
- ▶ $g = \beta_{W_S,P} / \beta_{W_D,P}$: force de la sélection inter-groupe par rapport à la sélection individuelle
 - ▶ Sans sélection de groupe ($g = 0$), l'apparentement ne contribue pas.

→ mais ces modèles ne considèrent généralement que les effets sociaux sur la fitness et ignore les effets sociaux/indirects sur les caractères...

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

- Exemples historiques en agriculture

- Modélisation

- Cas avec données au niveau du génotype

- Cas avec données au niveau du groupe

Assemblage de mélanges

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

Exemples historiques en agriculture

Modélisation

Cas avec données au niveau du génotype

Cas avec données au niveau du groupe

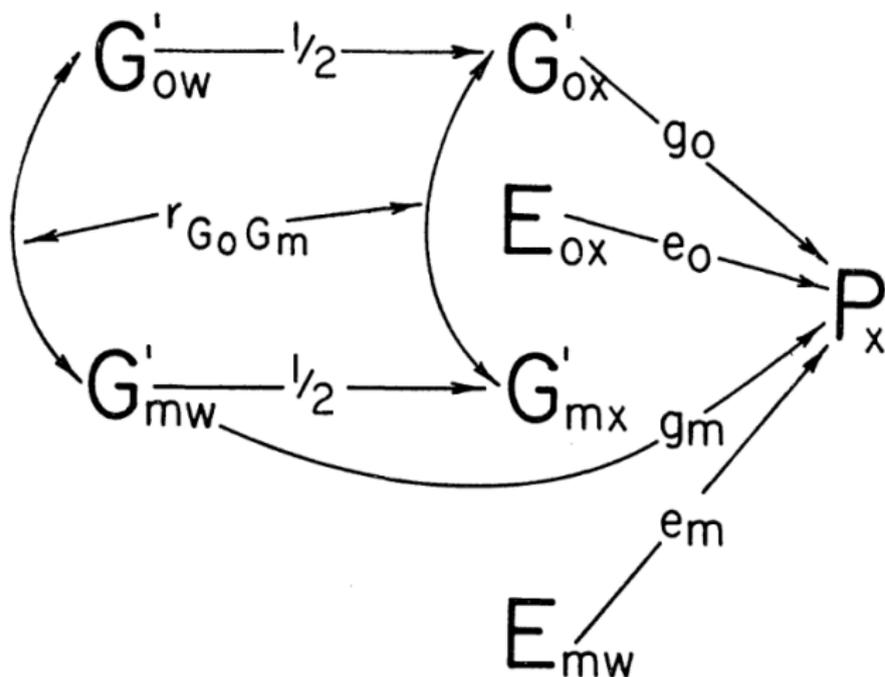
Assemblage de mélanges

Sélection “animale” : effet maternel



<https://www.slu.se/en/departments/animal-nutrition-management/education/undergraduate-and-master-studies/>

Sélection "animale" : effet maternel



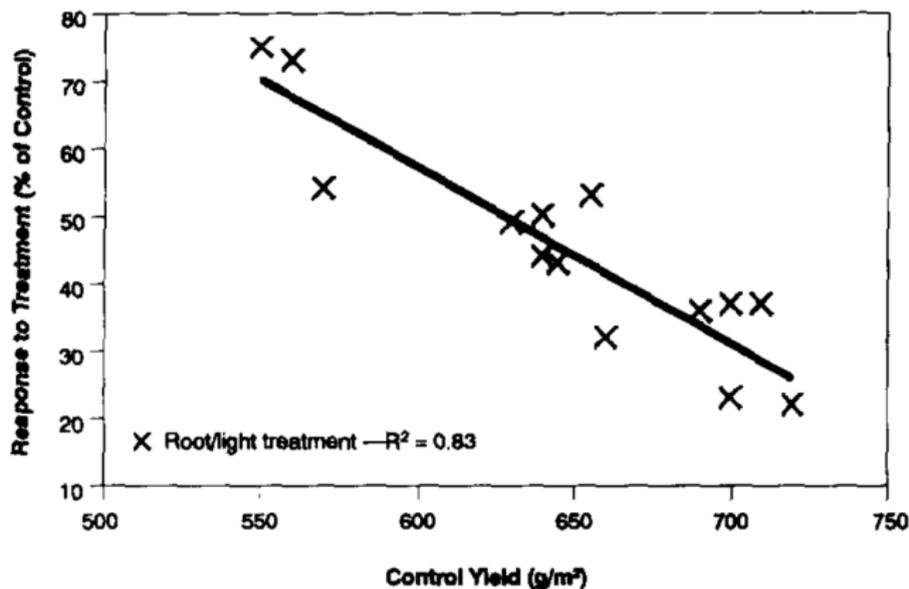
Willham (1963)

Sélection “végétale” : compétition pour les ressources



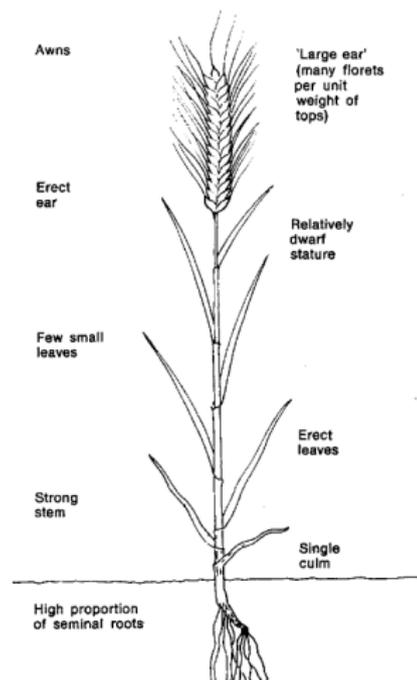
Pépinière de blé tendre, projet MoBiDiv, Saclay, 14/06/2021 ©T. Flutre

Sélection "végétale" : compétition pour les ressources



Reynolds et al (1994)

Sélection "végétale" : compétition pour les ressources



Donald (1968) : un idéotype de blé conçu pour obtenir le rendement le plus élevé au niveau du groupe (*crop community*)

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

Exemples historiques en agriculture

Modélisation

Cas avec données au niveau du génotype

Cas avec données au niveau du groupe

Assemblage de mélanges

Griffing (1967)

Groupe de n génotypes :

$$\begin{aligned}P_i &= A_i + E_i \\&= A_{D,i} + \sum_{j \neq i}^{n-1} P_{S,j} + E_{D,i} \\&= A_{D,i} + \sum_{j \neq i}^{n-1} (A_{S,j} + E_{S,j}) + E_{D,i}\end{aligned}$$

Valeur génétique additive totale

Classiquement, A_i est la somme des effets de substitution des gènes du génotype i sur la valeur du caractère de i lui-même.

Mais là, $totA_i$ représente l'effet héritable de i sur la valeur moyenne du caractère *de la population* :

$$totA_i = A_{D,i} + (n - 1)A_{S,i}$$

→ $A_{S,i}$ n'affecte pas la valeur du caractère du génotype i mais de ses voisins $j \neq i$

Valeur génétique additive totale

Classiquement, A_i est la somme des effets de substitution des gènes du génotype i sur la valeur du caractère de i lui-même.

Mais là, $totA_i$ représente l'effet héritable de i sur la valeur moyenne du caractère *de la population* :

$$totA_i = A_{D,i} + (n - 1)A_{S,i}$$

→ $A_{S,i}$ n'affecte pas la valeur du caractère du génotype i mais de ses voisins $j \neq i$

$$\sigma_{totA}^2 = \sigma_{A_D}^2 + 2(n - 1)\sigma_{A_{DS}} + (n - 1)^2\sigma_{A_S}^2$$

Réponse à la sélection

Bijma & Wade (2008) :

$$\overline{\Delta totA} = \beta_{W_D, P} [(g + r + (n - 2)gr)\sigma_{totA}^2 + (1 - g)(1 - r)(\sigma_{A_D}^2 + (n - 1)\sigma_{A_{DS}}^2)]$$

- ▶ 1er terme : contribution de l'apparentement et de la sélection de groupe ; toujours dans le même sens que la sélection
- ▶ 2e terme : complément ; peut être négatif
 - ▶ négatif typiquement quand compétition pour ressources
 - ▶ stratégie : sélectionner des groupes ($g = 1$) de clones ($r = 1$)
 - ▶ ex. "végétal" : parcelles de lignées pures

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

Exemples historiques en agriculture

Modélisation

Cas avec données au niveau du génotype

Cas avec données au niveau du groupe

Assemblage de mélanges

Exemple “animal” : poulet



<https://www.dailymail.co.uk/news/article-8086869/Shoppers-urged-buy-white-eggs-come-aggressive-hens.html>

Exemple "animal" : poulet



<https://www.britannica.com/topic/poultry-farming>

Exemple “animal” : poulet

The screenshot shows the top navigation bar of the Farmers Weekly website. The logo 'FARMERS WEEKLY' is on the left. The navigation menu includes: Learning, Classified, Property, Jobs, Awards, Advertise, and R&D Tax Cred. Below the navigation bar are four main content categories: LATEST, KNOW HOW, MARKETS, and DISCOVER. The article title 'Cannibalism hits beak trimming trial' is displayed in large text. Below the title are social media sharing icons for Twitter, Facebook, LinkedIn, Email, and Print. The author's name 'Philip Clarke' and the date '01 November 2013' are shown below the icons.

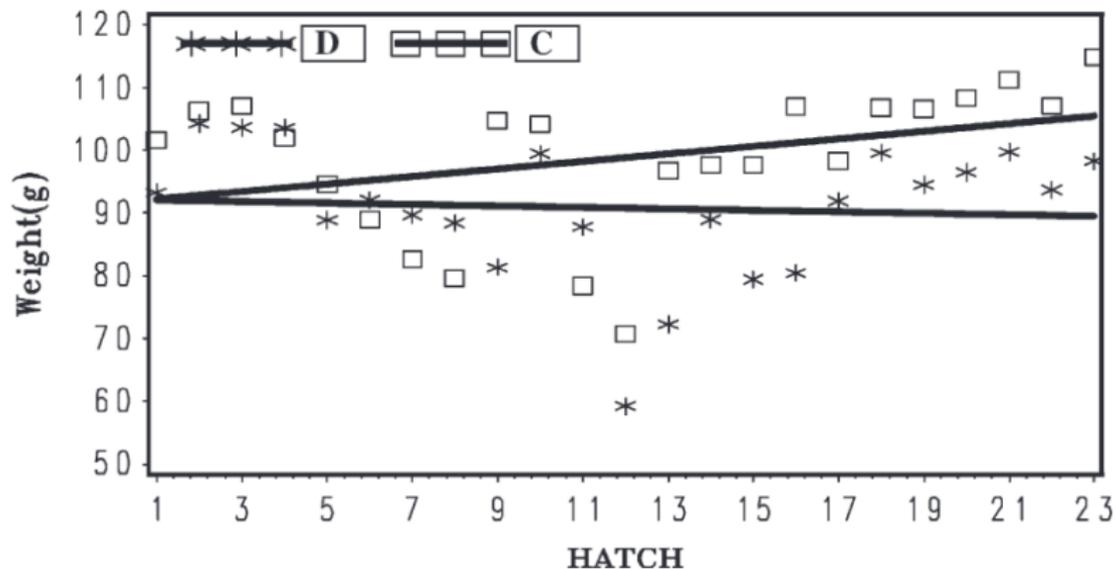
<https://www.fwi.co.uk/livestock/poultry/cannibalism-hits-beak-trimming-trial>

Exemple “animal” : poulet



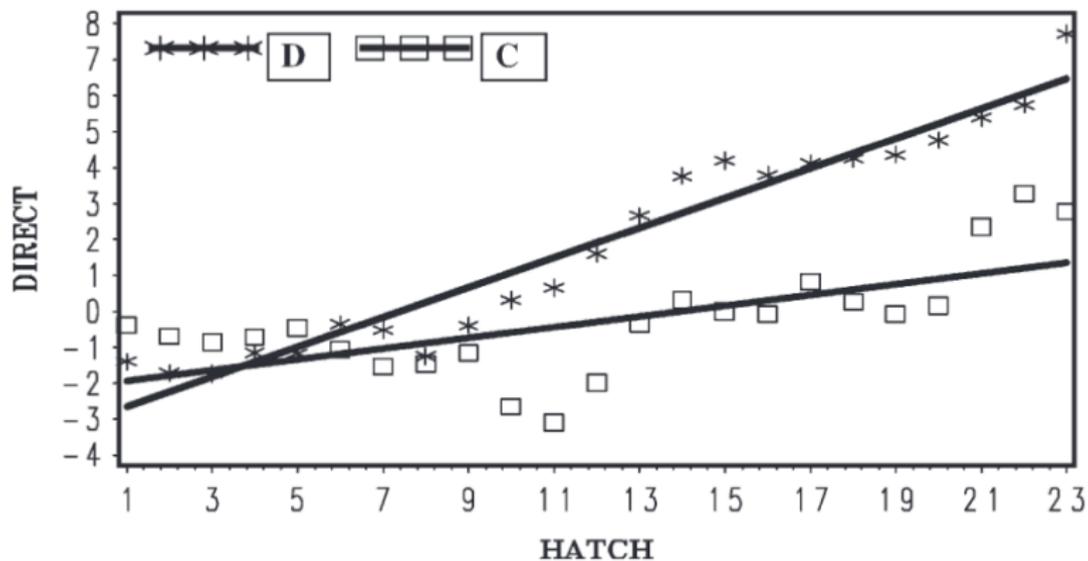
<https://www.hightoppoultry.com/debeak-chickens-debeaking-beak-trimming-tips/>

Comparaison expérimentale



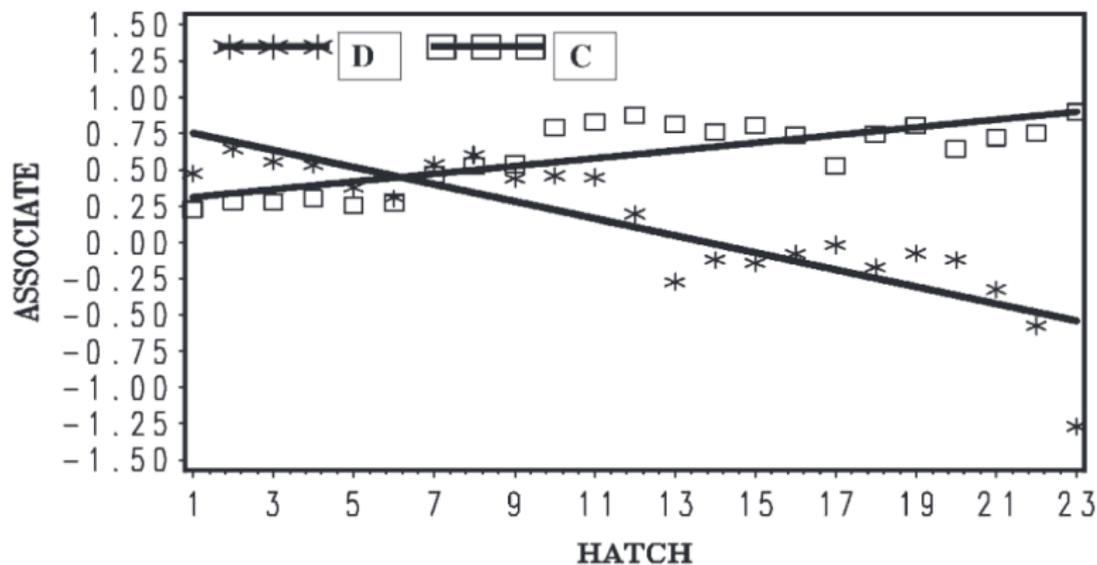
Muir (2005)

Comparaison expérimentale



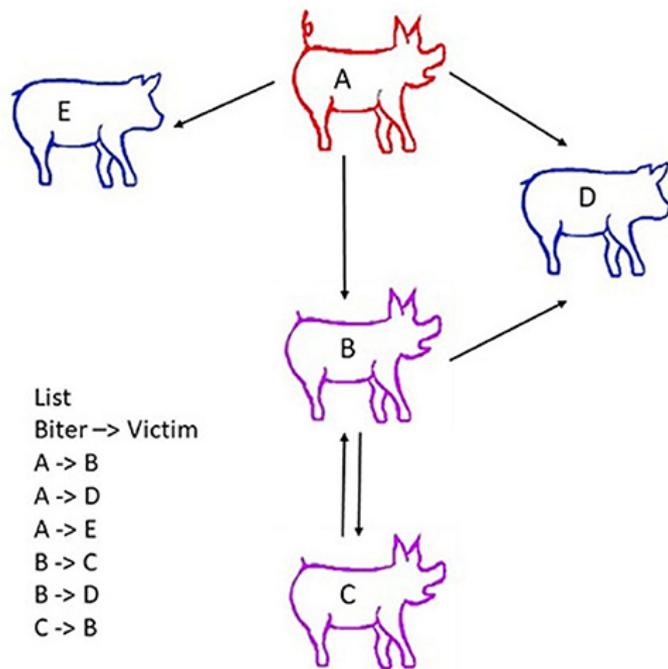
Muir (2005)

Comparaison expérimentale



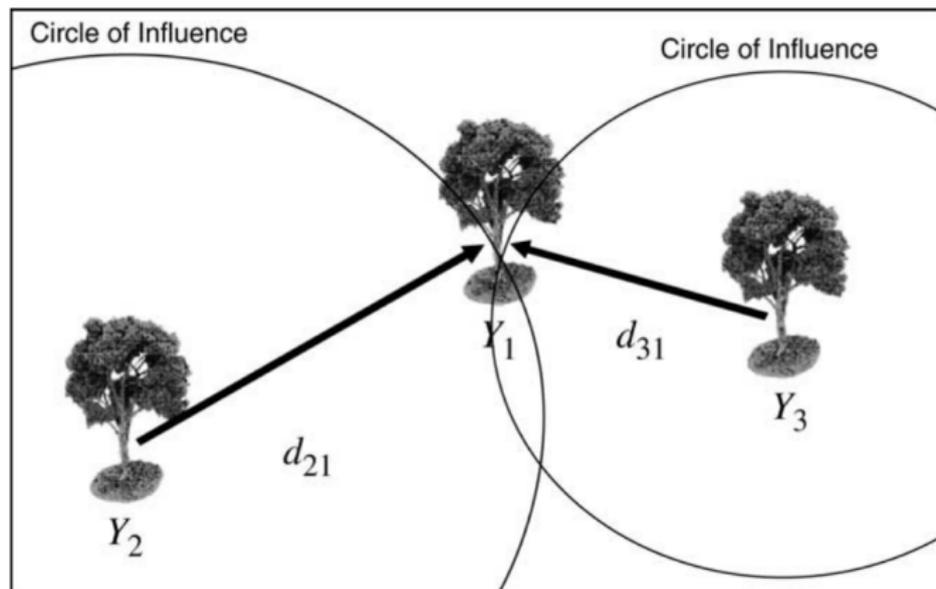
Muir (2005)

Exemple "animal" : porc



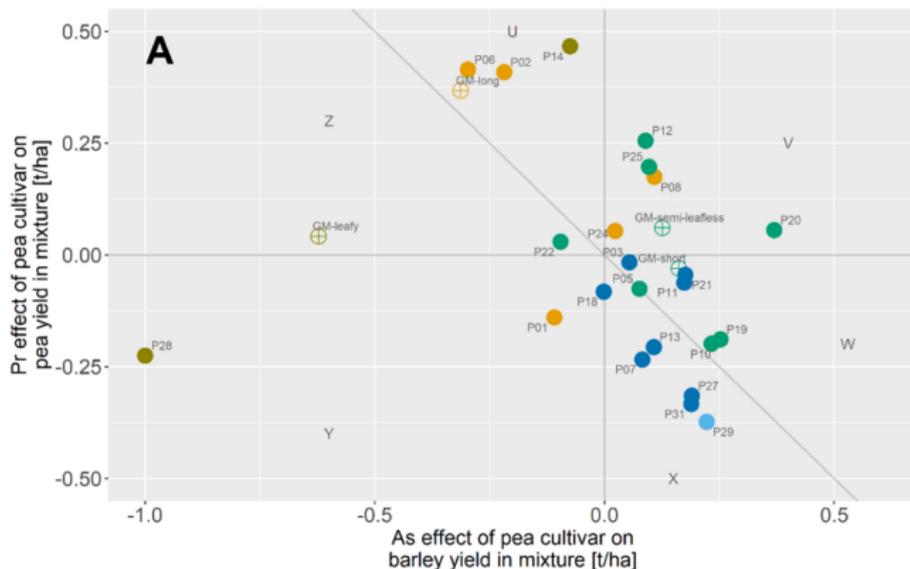
Canario et al (2020)

Exemple “végétal” : arbres



Muir (2005) ; voir aussi Cappa & Cantet (2008)

Exemple “végétal” : céréale-légumineuse



Haug et al (2023)

Exemple “végétal” : céréale-légumineuse

c.f. CoBreeding C.1.c (V. Freitas, J. Enjalbert, T. Flutre, J.-M. Gilliot) et MoBiDiv 4.1.c (J. Salomon, J. Enjalbert, T. Flutre)

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

Exemples historiques en agriculture

Modélisation

Cas avec données au niveau du génotype

Cas avec données au niveau du groupe

Assemblage de mélanges

Exemple “végétal” : mélanges variétaux et d'espèces

Exemple de mélanges variétaux 50/50 à partir de 5 génotypes :

	G1	G2	G3	G4	G5
G1		y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_{15}
G2			y_{23}	y_{24}	y_{25}
G3				y_{34}	y_{35}
G4					y_{45}

Griffing (1956)

Modélisation en effets fixes :

$$E[y_{12}] = \mu + \frac{GMA_1 + GMA_2}{2} + SMA_{12}$$

$$\blacktriangleright \widehat{GMA}_1 = \frac{y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15}}{4} - \hat{\mu}$$

$$\blacktriangleright \widehat{SMA}_{12} = y_{12} - \hat{\mu} - \frac{\widehat{GMA}_1 + \widehat{GMA}_2}{2}$$

Exemple “végétal” : mélanges variétaux et d'espèces

Forst et al (2019) :

- ▶ gestion de designs incomplets (modèle mixte, ReML+BLUP)
- ▶ inclusion des pures dans l'analyse (SMA_{ii})
- ▶ prise en compte des probabilités de voisinage
- ▶ généralisation à des mélanges d'ordre > 2

Exemple “végétal” : mélanges variétaux et d'espèces

Rendement total :

- ▶ $y_{ijk} = x_{i(j)k} + x_{j(i)k}$

Rendements partiels :

- ▶ $x_{i(j)k} = \frac{1}{2} (\mu + DGE_i + IGE_j) + (DGE_i \times IGE_j) + \epsilon_{i(j)k}$

- ▶ $x_{j(i)k} = \frac{1}{2} (\mu + DGE_j + IGE_i) + (DGE_j \times IGE_i) + \epsilon_{j(i)k}$

Lien entre les deux modélisations :

- ▶ $GMA_i = DGE_i + IGE_i$

- ▶ $SMA_{ij} = (DGE_i \times IGE_j) + (DGE_j \times IGE_i)$

Exemple “végétal” : mélanges variétaux et d'espèces

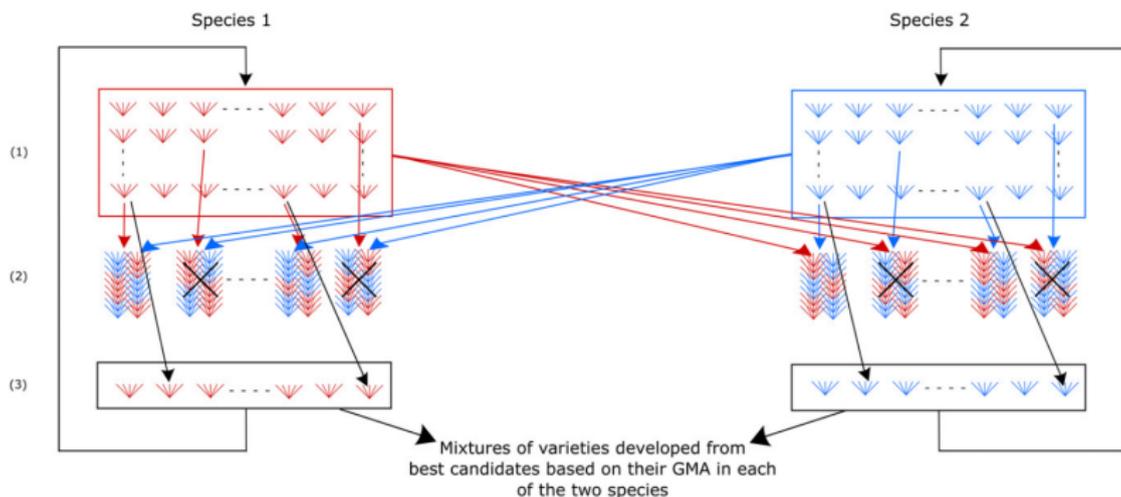


Figure 2 Parallel recurrent selections for General Mixture Ability (SGMA) in two species. (1): Populations of selection candidates at cycle n , (2): Experimental evaluation of mixtures of progeny families of selection candidates from one species with a bulk of all progeny families of candidates from the other species, (3): Recombination of the selected candidates.

Sampoux et al (2019)

Exemple “animal” : truite

c.f. CoBreeding C.2.a (G. Rovere, F. Phocas, S. Allais, S. Pouil)

Plan

Omniprésence des interactions sociales

Sélection de groupe vs parentèle

Effets génétiques indirects (*IGE*)

- Exemples historiques en agriculture

- Modélisation

- Cas avec données au niveau du génotype

- Cas avec données au niveau du groupe

Assemblage de mélanges

Effet portfolio vue par l'écologie

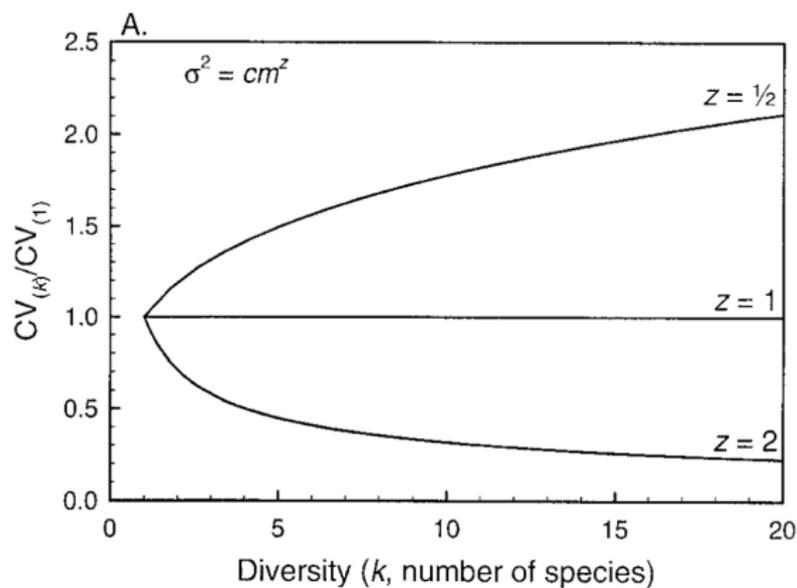
Si les fluctuations imprévisibles de l'environnement ne peuvent plus être autant tamponnées par les intrants de synthèse, les σ_E^2 , $\sigma_{G \times E}^2$ et $\sigma_{G \times G \times E}^2$ vont augmenter.

Risque = aléa \times vulnérabilité (Veyret & Reghezza, 2005)

- ▶ groupes diversifiés \rightarrow vulnérabilité diminuée ?

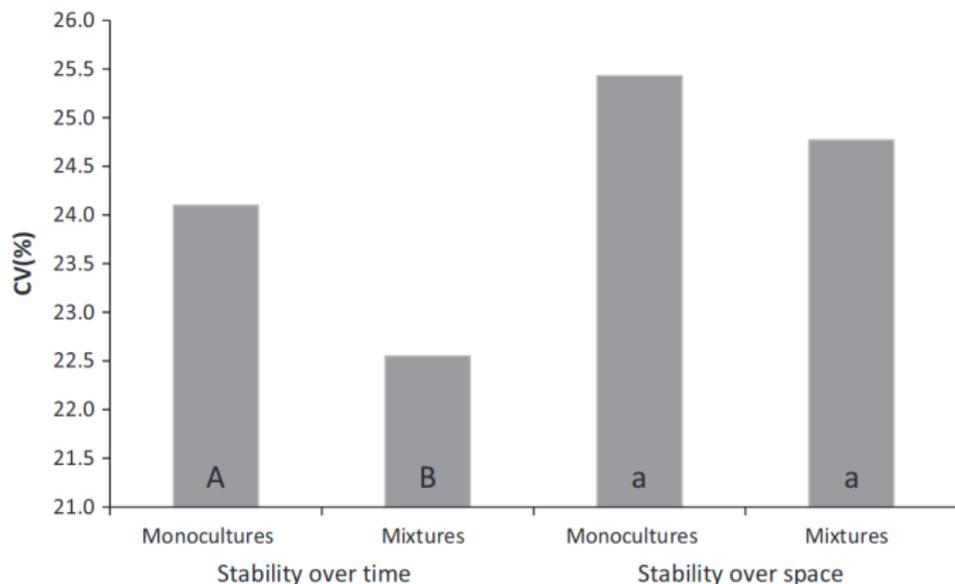
Exemples documentés en gestion des épidémies.

Effet portfolio vue par l'écologie



Tilman et al (1998)

Ex. des mélanges variétaux de céréales



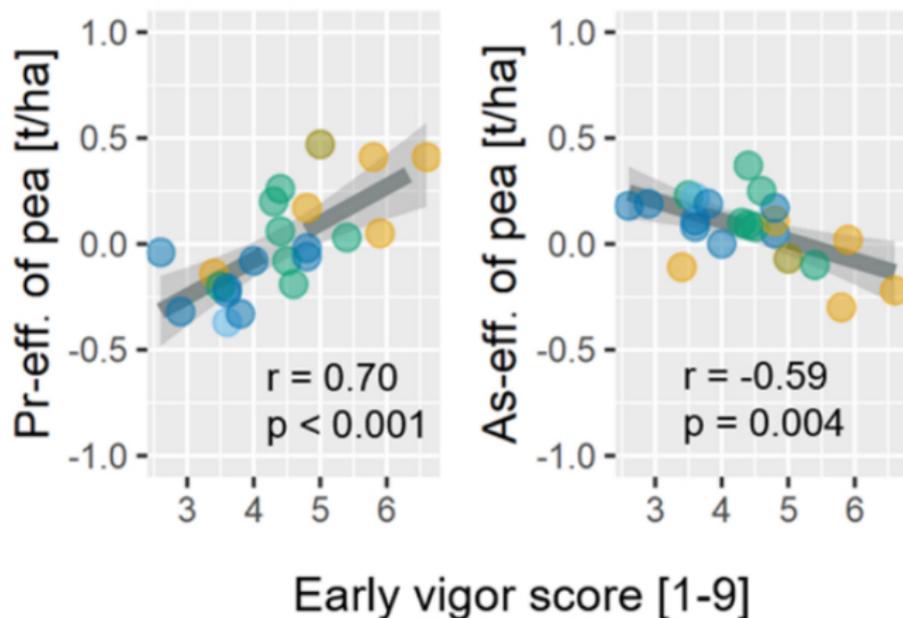
Reiss & Drinkwater (2018)

Liens entre aptitude au mélange et caractères

GMA_{pea}	Pr_{pea}	As_{pea}	Biological interaction-function (BIF) of pea trait	pattern
			Commensalism	+/0
			Commensalism	0/+
			Mutualism	+/+
			Antagonism	+/-
			Antagonism	-/+
			Neutralism	0/0
			Amensalism	0/-
			Amensalism	-/0
			Competition	-/-

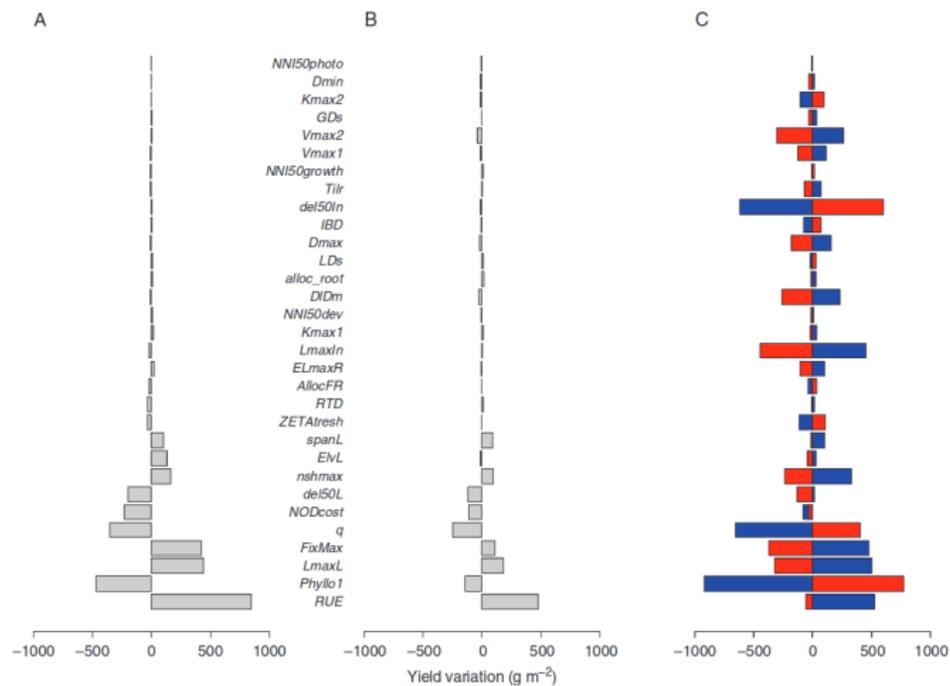
Haug et al (2023)

Liens entre aptitude au mélange et caractères



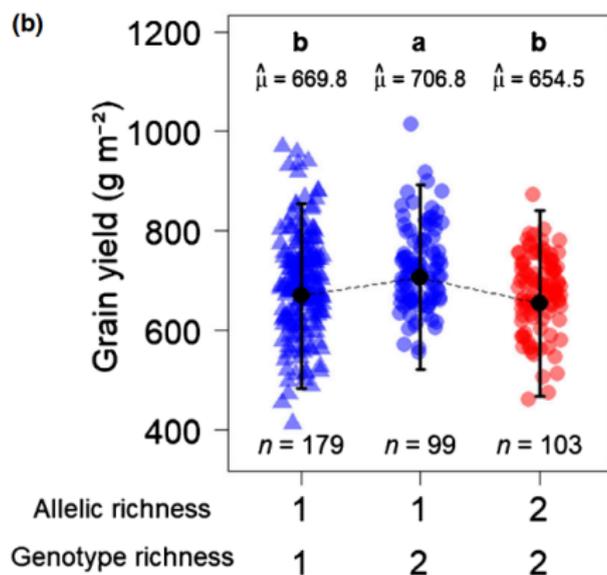
Haug et al (2023)

Assemblage de caractères



Louarn et al (2020)

Assemblage d'allèles



Montazeaud et al (2022)

Remerciements

J. Enjalbert, ainsi que les partenaires du projet ANR PPR MoBiDiv