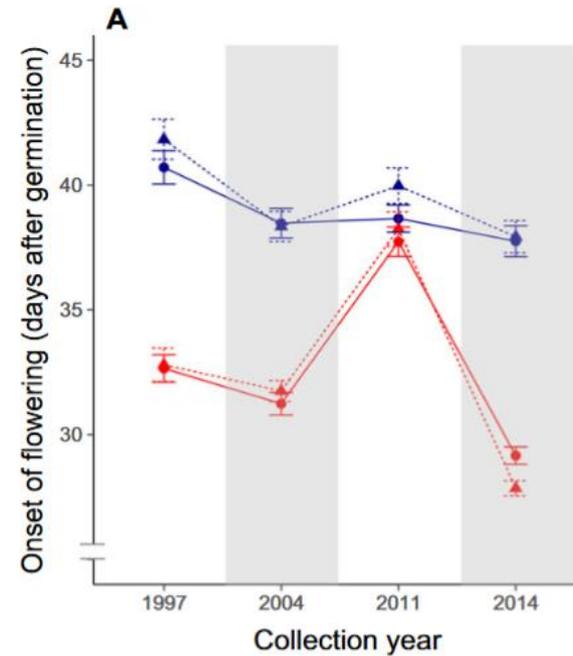
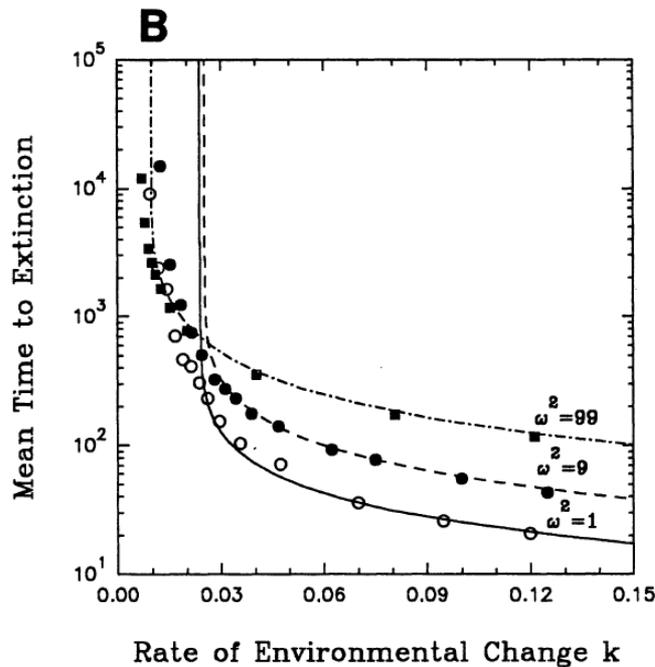
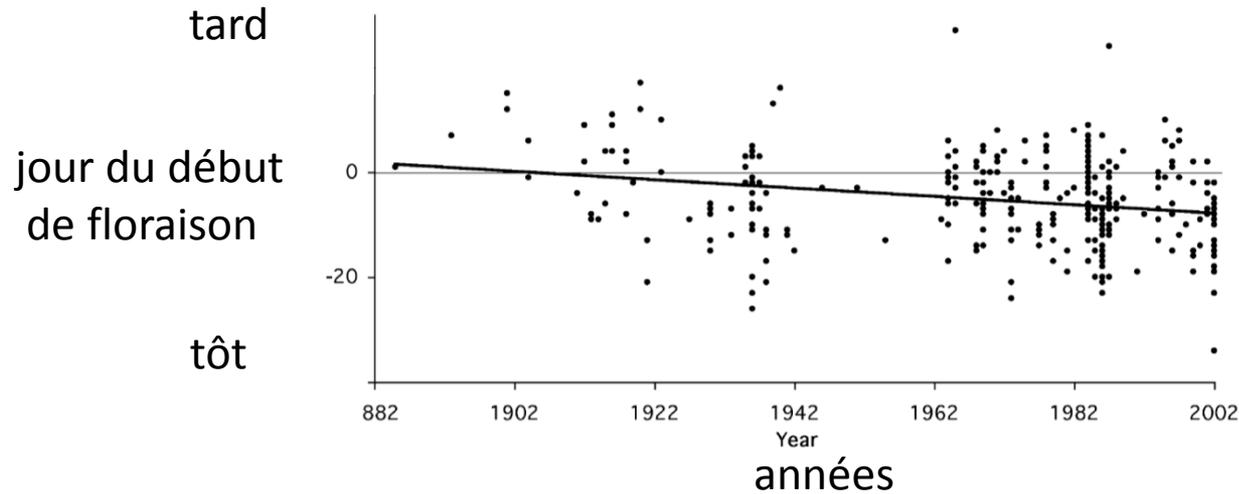


L'homogamie permet une meilleure adaptation, que la panmixie à un environnement changeant



Matthieu Alfaro

- réponses génétiques au changement climatique actuel:
surtout les phénologies et de floraison



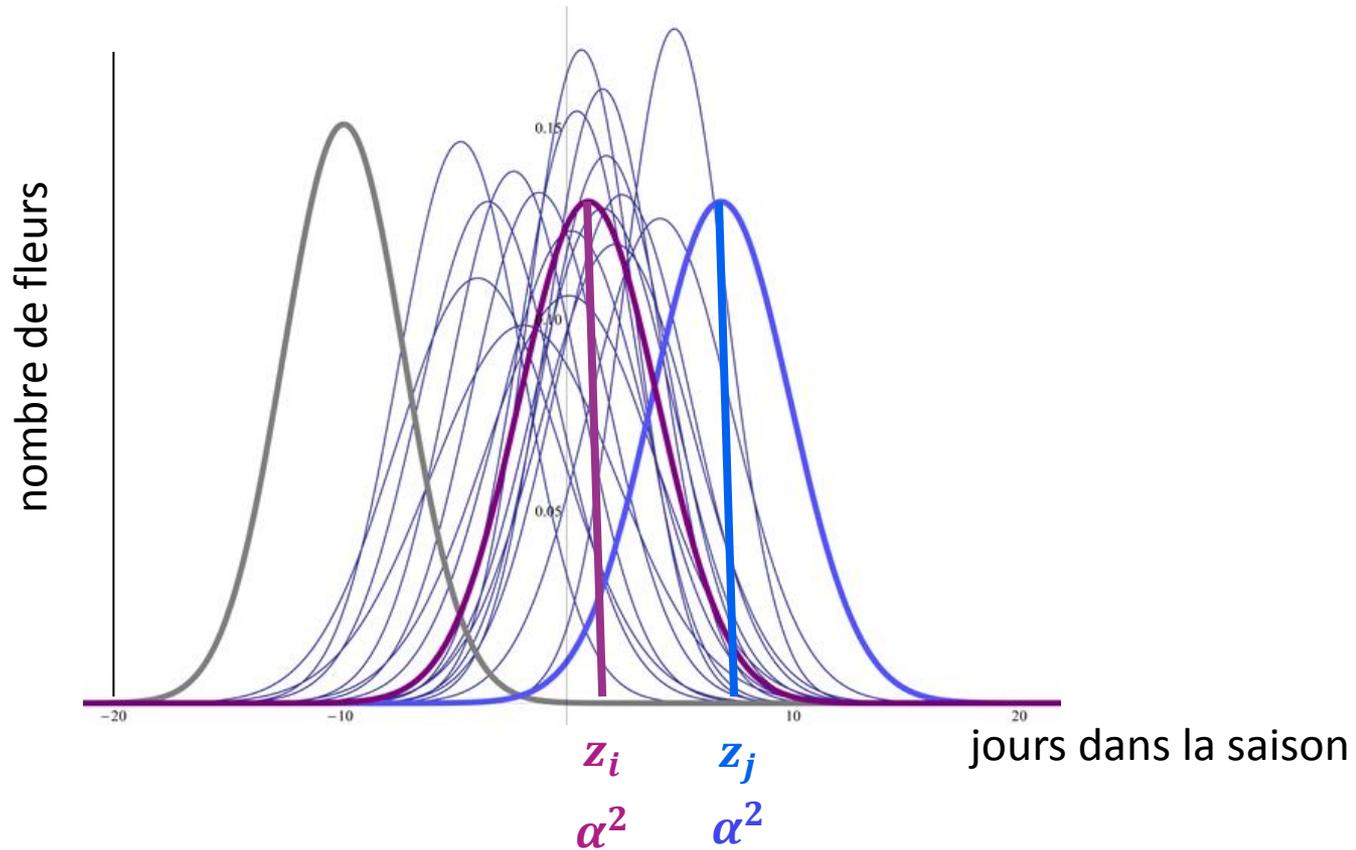
Primack et al 2004

Est-ce l'homogamie obligatoire est en partie responsable de ces fortes réponses?

effet sur V_g

le lag (réponse)

la fitness de la population

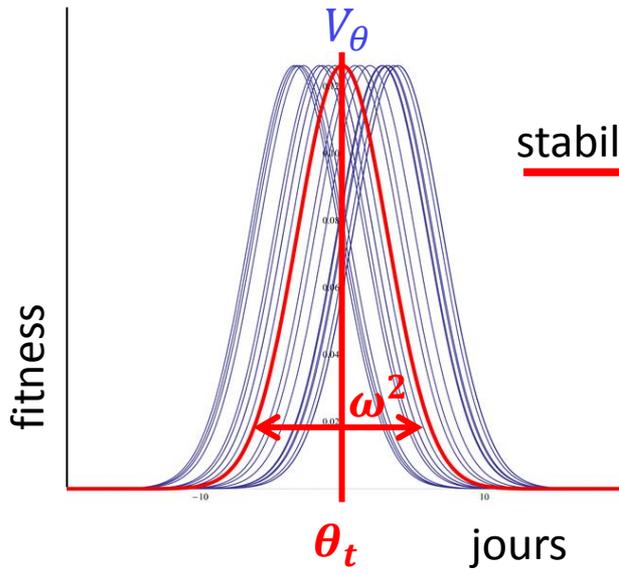


plante annuelle, hermaphrodite, pas de limitation

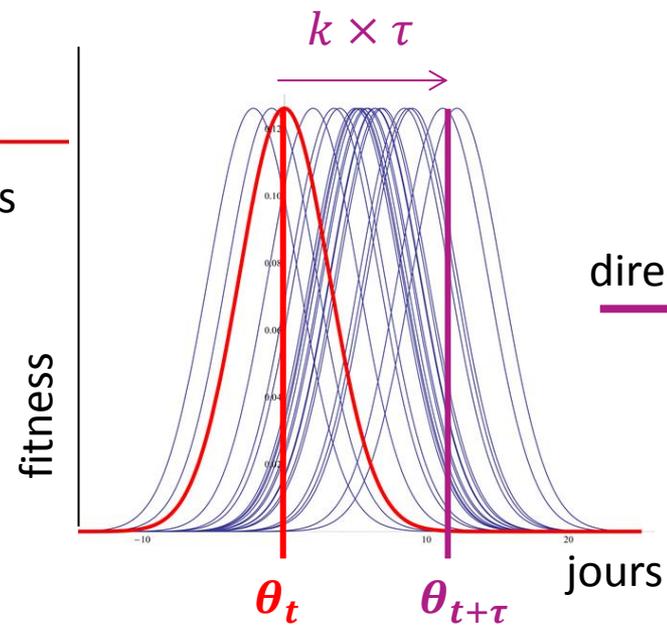
z pic de floraison

$$\rho = \frac{\text{cov}(z_x, z_y)}{\sqrt{\text{Var}(z_x)\text{Var}(z_y)}}$$

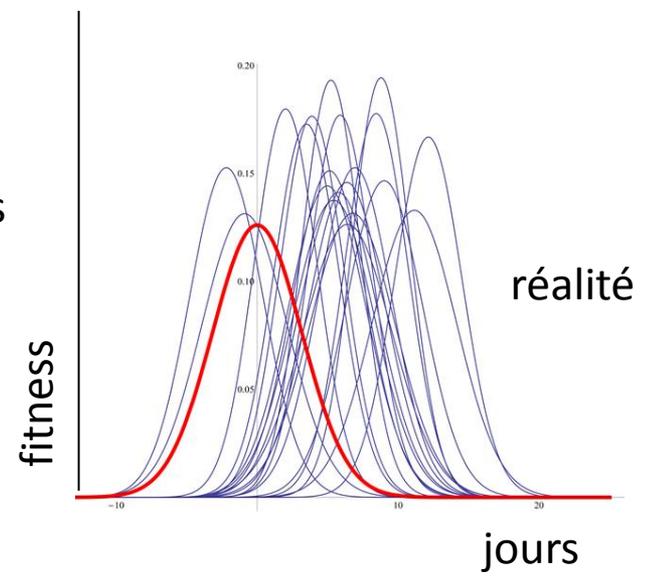
intensité de l'homogamie



stabilisante et fluctuante



directionnelle



réalité

$$z_i = g_i + e_i$$

g « breeding value » $\sim N(\bar{g}, V_g)$

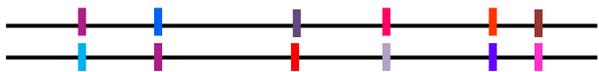
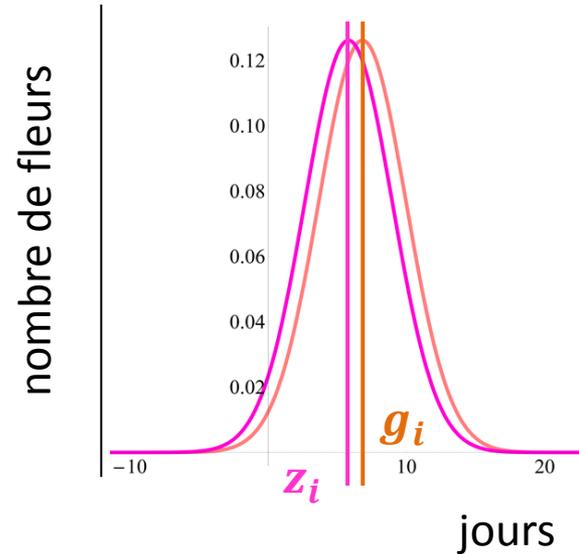
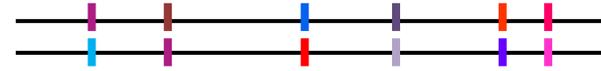
$e \sim N(0, V_e)$

modèle additif des effets alléliques

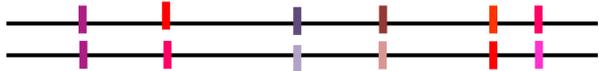
recombinaison libre

mutation $\sim N(0, V_m)$

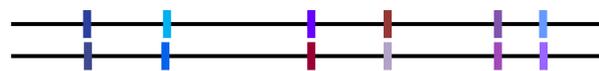
$$V_g = V_{LE} + \text{associations } (< 0 \text{ ou } > 0)$$



< 0 , donc z moyen



> 0 , donc z tardif



> 0 , donc z précoce

- **variance génétique en homogamie**

des associations positives qui augmentent V_g

- **variance génique en homogamie**

presque rien, sauf Kirkpatrick & Nuismer 2004

- **réponse en homogamie**

spéciation sympatrique

sélection (artificielle) directionnelle

- **réponse en panmixie**

Burger & Lynch 1995: le lag à l'optimum et la fitness en fonction de V_g

simulations individus centrés

population finie N
nombre de loci fini L
discrétisation de z en Z

$$\frac{V_{LE}}{V_g}$$

V_{LE} évolue

comparaison entre panmixie et homogamie

lag δ

fitness \bar{w}

z pic de floraison

α^2 variance intra-individuelle
de floraison

1 fleur = 1 journée

pas de sélection sur les mâles en H
sélection sur la viabilité des graines

modèle analytique

population infinie
infinitésimal

$$V_{LE} / V_g$$

V_{LE} constant

simulations
individus centrés

modèle analytique

$$g_j = \sum_{l=1}^L (a_{xjl} + a_{yjl})$$

$$\bar{g}_t = \sum_{j=1}^N g_{tj} / N$$

$$\bar{g}_{t+1} = \bar{g}_t + s_n(\theta_t - \bar{g}_t)$$

simulations
individus centrés

modèle analytique

$$V_{LEt} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^L (a_{xjl} - \bar{a}_{xj})^2 + \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^L (a_{yjl} - \bar{a}_{yj})^2}{N}$$

$$V_{gt} = \frac{\sum_{j=1}^N \left(\sum_{l=1}^L (a_{xjl} + a_{yjl}) - \bar{g}_t \right)^2}{N}$$

$$V_{gt+1} = \frac{V_{LE}}{2} + \frac{V_{gt}}{2} (1 - \tilde{s})$$

$$\frac{V_{LE}}{V_g} = 1 + \tilde{s}$$

simulations
individus centrés

$$\delta_t = \bar{Z}_t - \theta_t$$

$$\bar{w}_t = \sum_{j=1}^N w_j / N$$

modèle analytique

$$\delta = \frac{-k}{s_n}$$

$$\bar{w} = \sqrt{\frac{\omega^2}{\tilde{V}}} e^{-\frac{k^2}{2s_n^2 \tilde{V}}}$$

Modèle analytique

Burger & Lynch 1995 mixé avec Sachedeva & Barton 2004

homogamie, temporelle

$$h^2 \neq 1$$

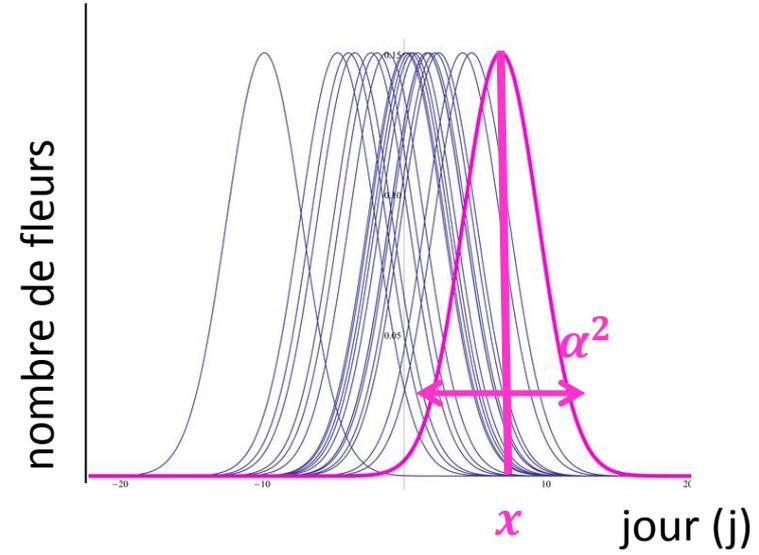
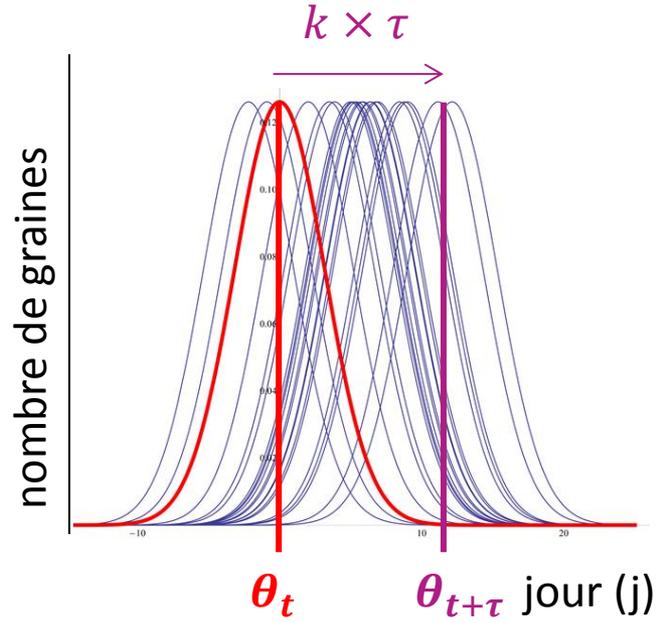
pas de sélection sur les mâles

fitness des fleurs femelles variable dans le temps, α^2

sélection variable dans le temps

1. phénologie efficace pour une mère
2. effet de la sélection naturelle sur les g et les z
3. probabilité de croisements mâles/femelles
4. distribution des g et des z chez les descendants
5. variance génétique à l'équilibre
6. lag et la fitness moyenne à l'équilibre

Modèle analytique

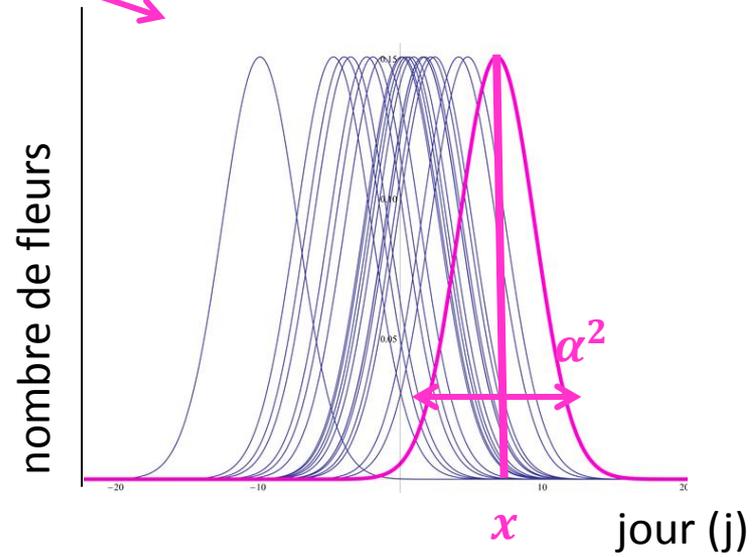
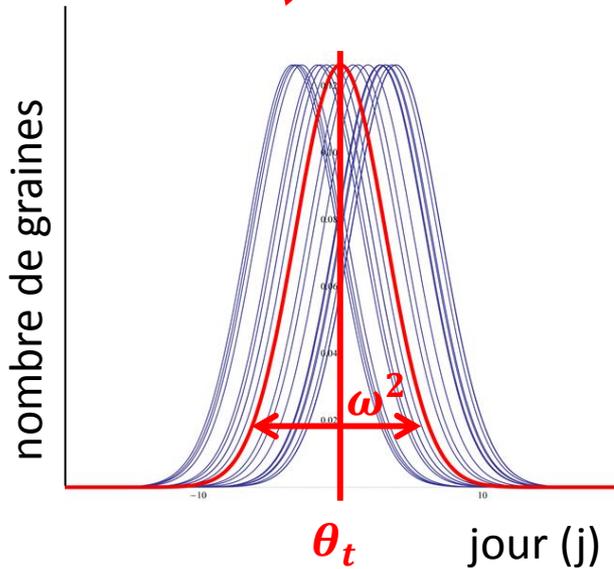


Modèle analytique

1. phénologie efficace pour une mère

fitness d'une mère m de phénotype $x \sim$ nombre de graines viables

$$w_{tm}(x) = \int v_t(j) \Phi(j|x) dj = \sqrt{\frac{\omega^2}{\omega^2 + \alpha^2}} e^{-\frac{(x-\theta_t)^2}{2(\alpha^2 + \omega^2)}} \sim N()$$



Modèle analytique

1. phénologie efficace pour une mère

distribution sur les j des graines viables produites par une mère m de phénotype x

$$\tilde{\Phi}_{tm}(j|x) = \frac{v_t(j)\Phi(j|x)}{w_{tm}(x)} \sim N()$$

$$E_{\tilde{\Phi}_{tm}}(j|x) = x + S_m(\theta_t - x)$$

$$V_{\tilde{\Phi}_{tm}}(j|x) = \alpha^2(1 - S_m)$$

$$S_m = \frac{\alpha^2}{\omega^2 + \alpha^2}$$

sélection naturelle sur la phénologie de reproduction

Modèle analytique

1. phénologie efficace pour une mère

$$E_{\tilde{\Phi}_{tm}}(j|x) = x + S_m(\theta_t - x)$$

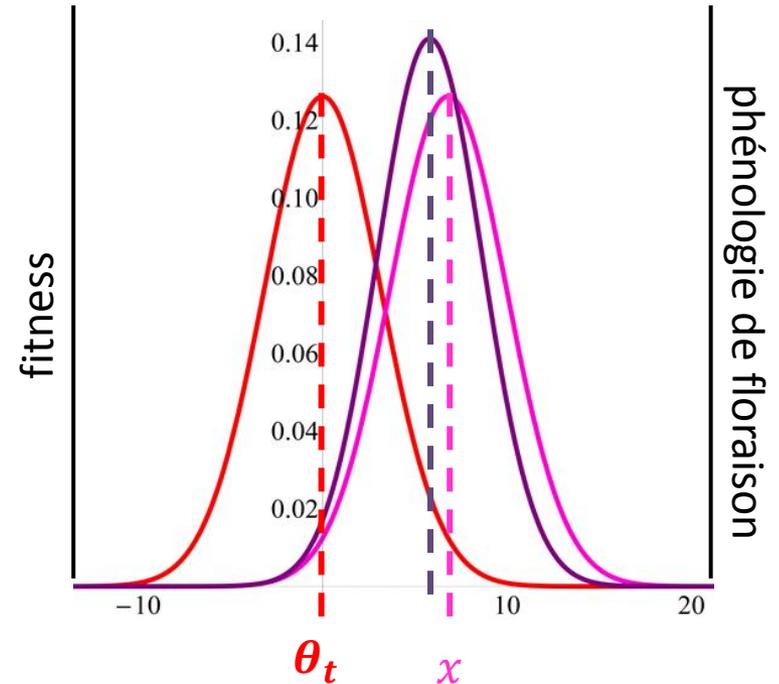
I. décalage du pic de reproduction par rapport au pic de floraison, plus proche de l'optimum

$$V_{\tilde{\Phi}_{tm}}(j|x) = \alpha^2(1 - S_m)$$

II. réduction de la durée de reproduction par rapport à la durée de floraison

$$S_m = \frac{\alpha^2}{\omega^2 + \alpha^2}$$

sélection naturelle sur la phénologie de reproduction



Modèle analytique

2. effet de la sélection naturelle sur les g et les z

$$\bar{g}_{tm}^* = \bar{g}_t + h^2 S_n (\theta_t - \bar{g}_t)$$

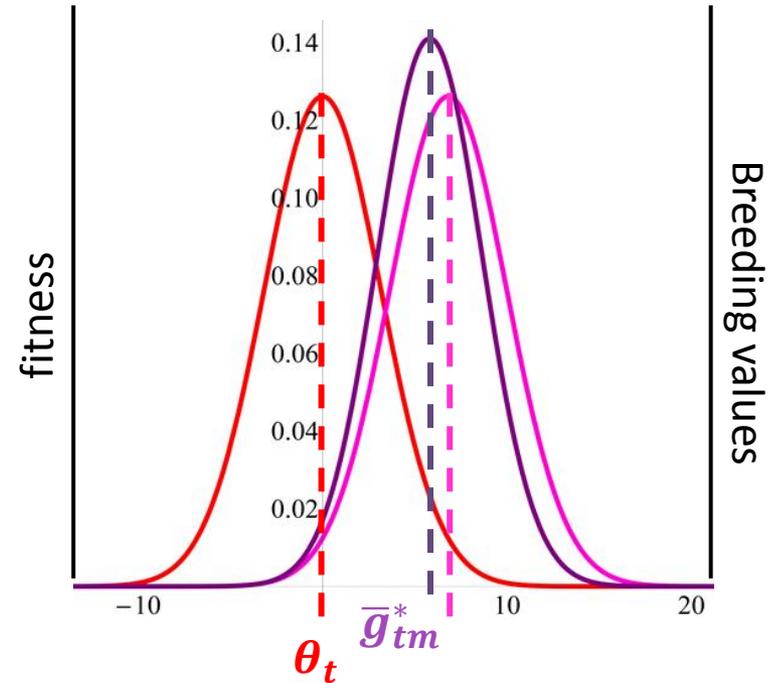
I. décalage vers l'optimum

$$V_{gm}^* = V_g (1 - h^2 S_n)$$

II. réduction de la variance

$$S_n = \frac{V_g + V_e}{V_g + V_e + \omega^2 + \alpha^2}$$

intensité de la sélection naturelle sur le trait



Modèle analytique

3. distribution des graines produites par un mâle y croisé avec une mère x

I. Robuste à la variation de la quantité ou la qualité du pollen émis par une fleur

compétition des mâles seulement dans une journée
compétition des graines se fait dans la saison

$$E_{\Psi_t}(y|x) = \bar{g}_t + S_s(x + S_m(\theta_t - x) - \bar{g}_t)$$

II. décalage vers le pic de reproduction des mères

$$V_{\Psi_t}(y|x) = (V_g + V_e)(1 - S_s)(1 + S_s(1 - S_m))$$

III. réduction de la variance, qui dépend de α^2

$$S_m = \frac{\alpha^2}{\omega^2 + \alpha^2}$$

naturelle sur les reproductions des mères

$$S_s = \frac{V_g + V_e}{V_g + V_e + \alpha^2}$$

sexuelle sur le trait des mâles

Modèle analytique

4. distribution des g et des z chez les descendants

$$\bar{g}_{t+1} = \bar{z}_{t+1} = \frac{1}{2}(\bar{g}_t + h^2 S_n(\theta_t - \bar{g}_t)) + \frac{1}{2}(\bar{g}_t + h^2 S_n(\theta_t - \bar{g}_t))$$

I. sélection sexuelle indirecte sur les mâles induit une réponse égale à celle des mères

pas pour tous les types d'homogamie
car ils se reproduisent avec les meilleures femelles

$$\bar{g}_{t+1} = \bar{g}_t + h^2 S_n(\theta_t - \bar{g}_t)$$

II. même réponse que si panmixie et sélection sur les deux sexes

Modèle analytique

5. variance génétique à l'équilibre

$$V_{gt+1} = \frac{V_{LE}}{2} + \frac{V_g}{2}(1 - \tilde{s})$$

$$V_{Rgt+1} = \frac{V_{LE}}{2} + \frac{V_g}{2}(1 - s_n)$$

$$\tilde{s} = h^2(2S_n - S_s)$$

I. effets antagonistes sur V_g : double effet de S_n et création d'association par S_s

$$\frac{V_{LE}}{V_g} = 1 + \tilde{s}$$

$$\frac{V_{LE}}{V_g} = 1 + s_n$$

II. ratio ne dépend pas de k

III. $V_g > V_{LE}$ si $V_g + V_e + \alpha^2 < \omega^2$

Modèle analytique

6. lag et fitness moyenne

$$\delta = E[\bar{g}_t - \theta_t] \xrightarrow{i \rightarrow \infty} \frac{-k}{s_n}$$

$$\bar{w} = E[\bar{w}_t] \xrightarrow{t \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\omega^2}{\tilde{V}}} e^{-\frac{k^2}{2s_n^2 \tilde{V}}}$$

$$s_n = \frac{V_g}{V_g + \omega^2 + \alpha^2}$$

$$\tilde{V} = V_g + V_e + \alpha^2 + \omega^2 + V_\theta + V[\bar{g}_i]$$

I. mêmes relations avec V_g que pour la panmixie

sélection sexuelle indirecte sur les mâles
s'ajoute à la sélection naturelle

effets antagonistes sur V_g

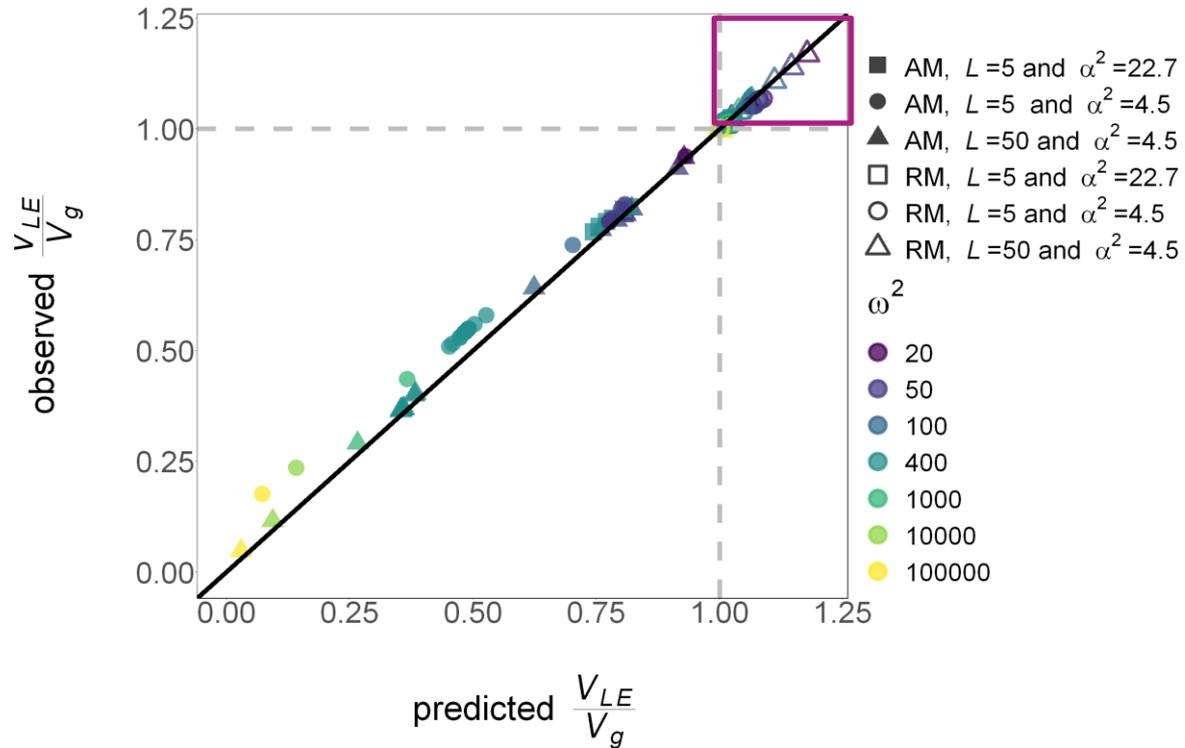
tout semble s'expliquer par V_g



choix pour les simulations:

sélection sur mâles et femelles pour panmixie
autres paramètres issus de la littérature

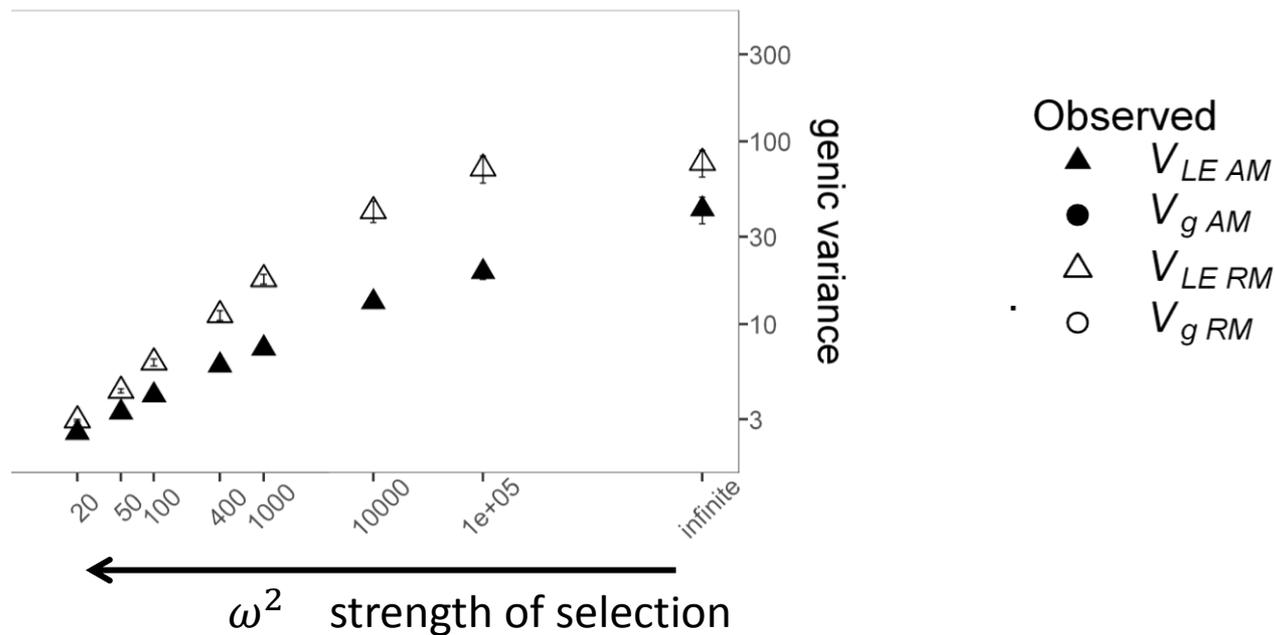
- sur toutes les simulations



$$\frac{V_{LE}}{V_g} = 1 + \tilde{s}$$

$$\tilde{s} = h^2(2S_n - S_s)$$

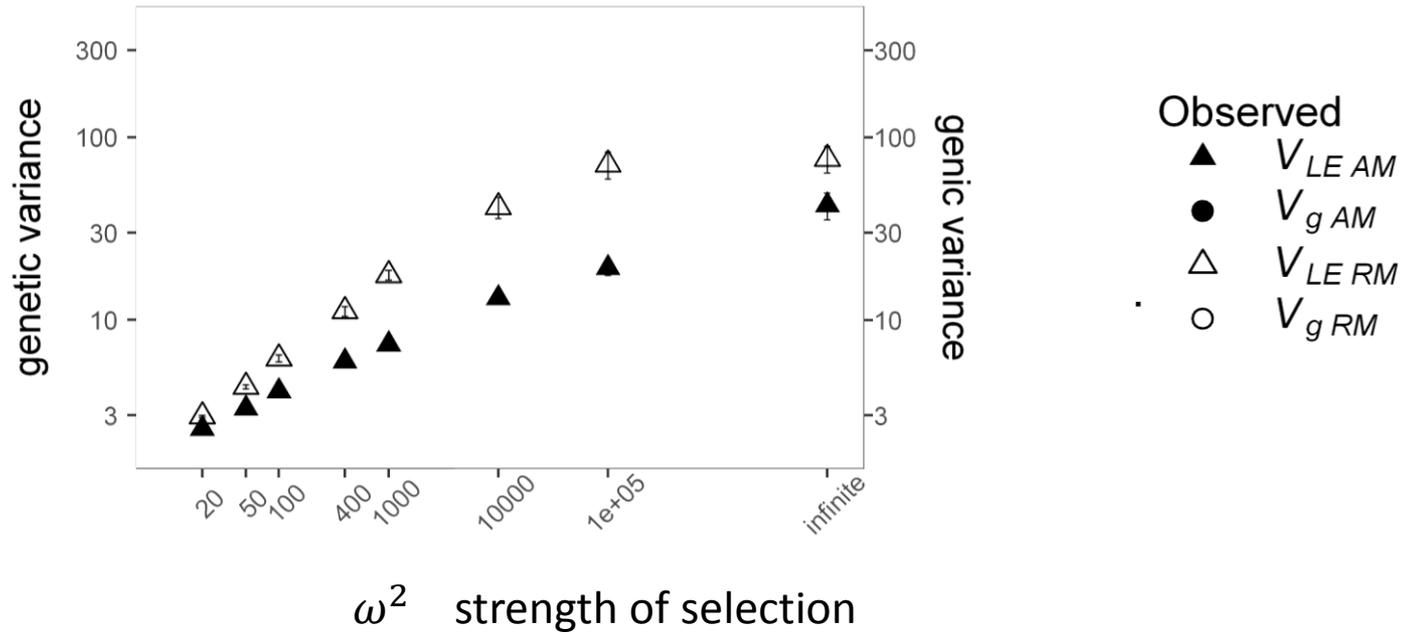
- stabilisante seule



V_{LE} affectée par homogamie et plus petite

sélection sexuelle, différent mécanisme que celui de Kirkpatrick & Nuismer 2004

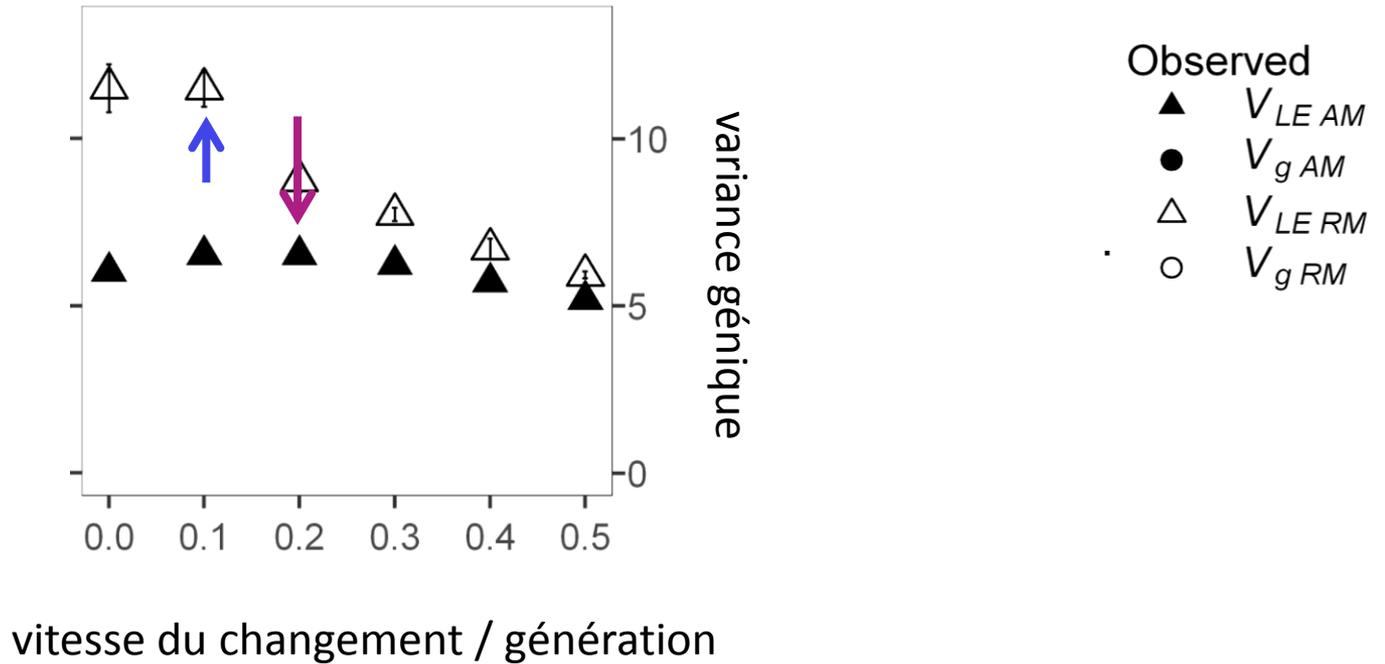
- stabilisante seule



V_{LE} détermine la quantité d'associations entre effets alléliques

compensation ou non par les associations, donc V_g plus grande ou non

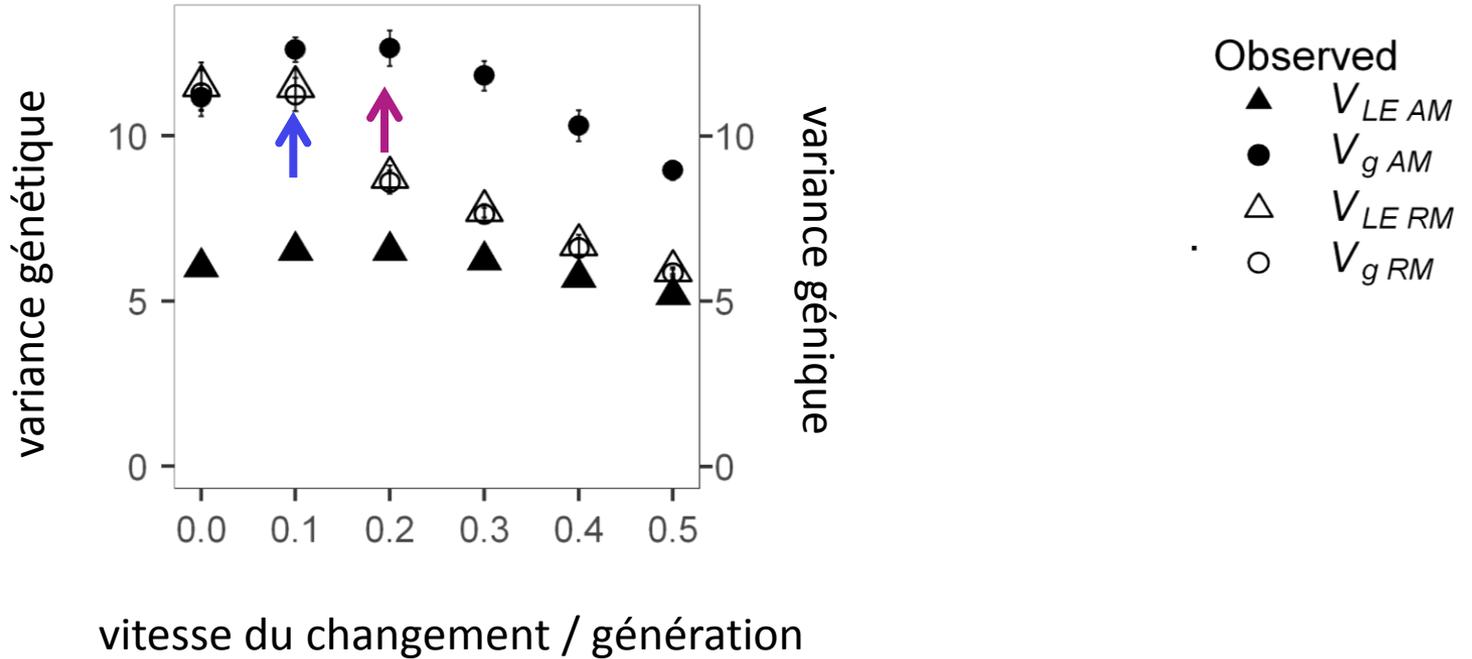
- pour le changement climatique



pic de V_{LE} pour des changements environnementaux plus rapides

augmentation en fréquence des allèles rares, perdus quand le changement est trop rapide

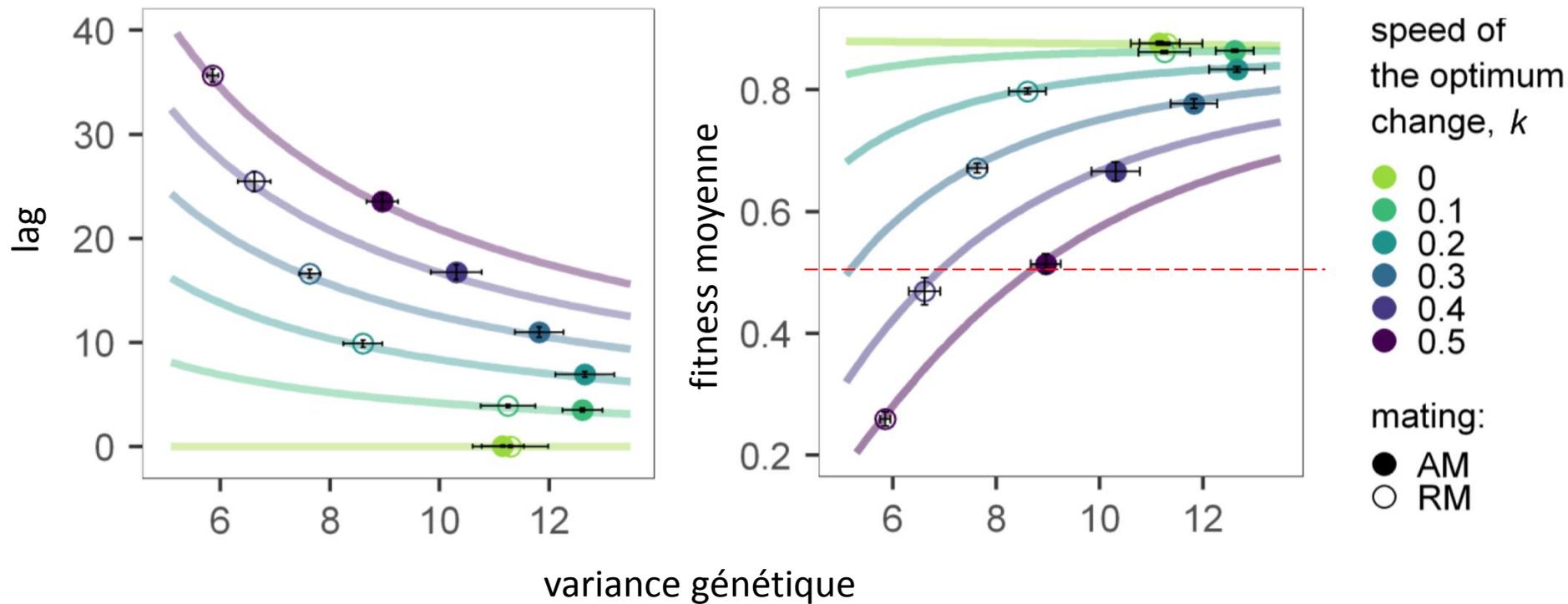
- pour le changement climatique



V_g plus grande en homogamie

pic au même endroit car les associations sont proportionnelles à V_{LE}

- pour le changement climatique



V_g plus grande en homogamie

lag plus petit et fitness plus grande

effet parfois inverse ou petit, selon que V_g est limitante pour l'adaptation

oui

nombre loci

architecture génétique, y compris SHC

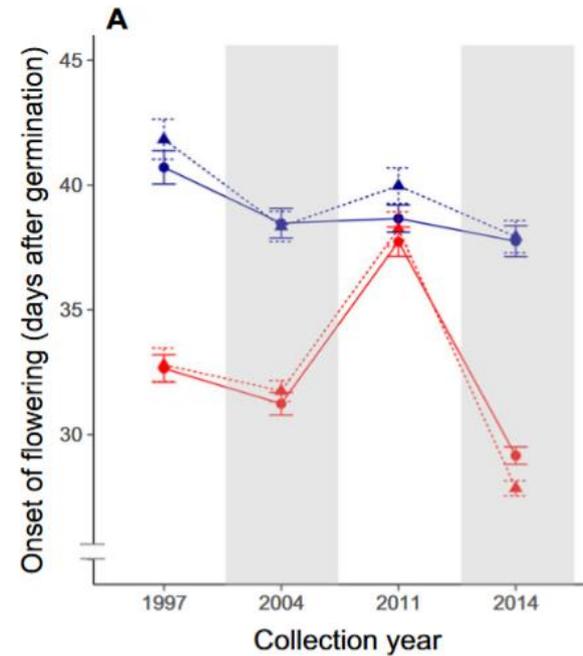
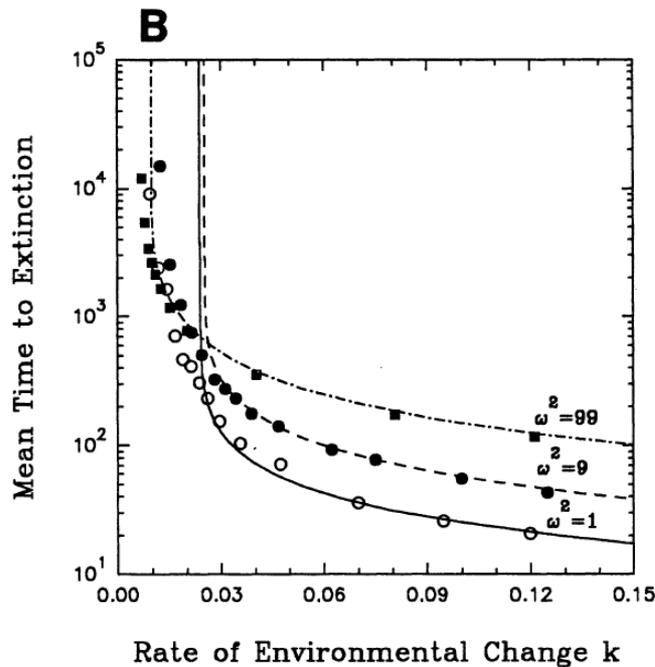
intensité de sélection fluctuante et stabilisante

- L'homogamie temporelle
 - augmente la sélection via la sélection sexuelle indirecte
 - diminue le polymorphisme génétique
 - permet dans quasi tous les cas de mieux suivre l'environnement

- Le modèle de Burger & Lynch peut être utilisé pour l'homogamie car tout s'explique à travers les effets sur V_g

- L'homogamie peut être utilisée dans des plans de sauvegarde pendant quelques générations pour booster V_g
érosion sur le long-terme de V_{LE} ??

L'homogamie permet une meilleure adaptation, que la panmixie à un environnement changeant



Matthieu Alfaro