

Adaptation locale et évolution de la reproduction sexuée

Denis Roze

UMI 3614

Station Biologique de Roscoff

CNRS

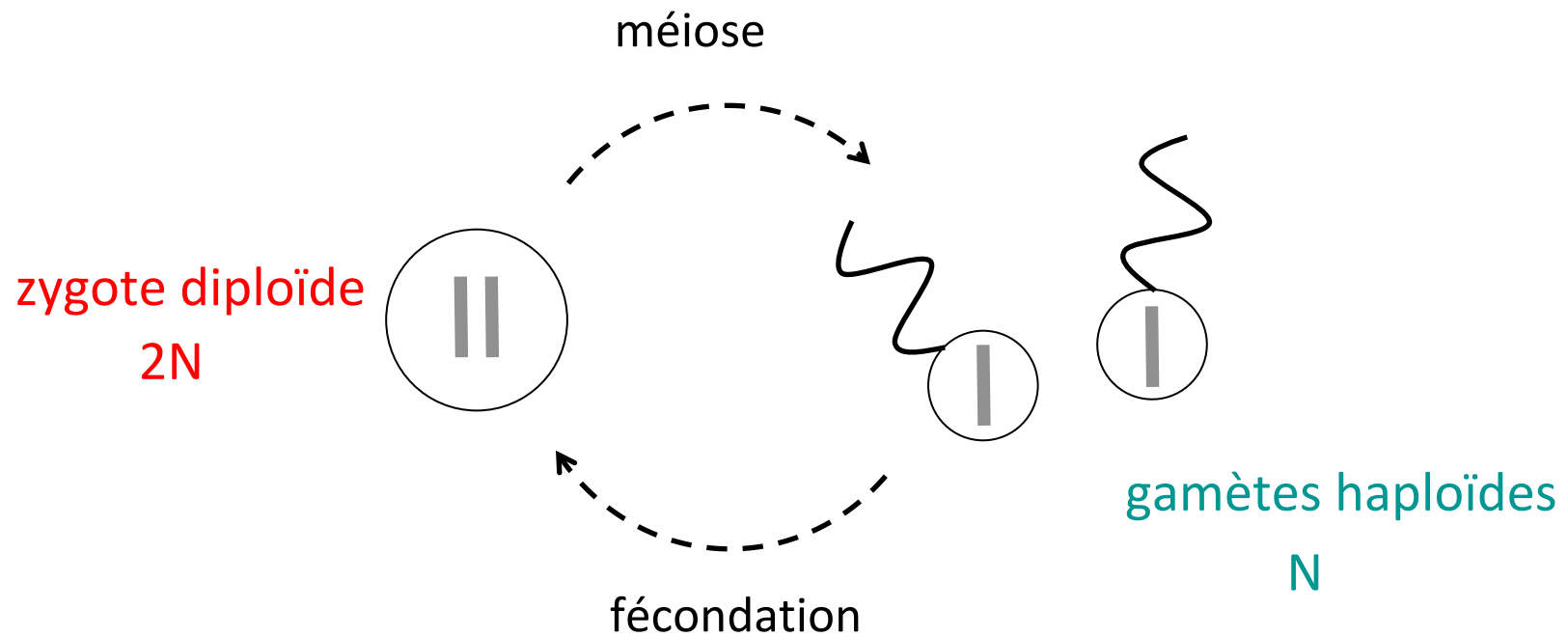
Biodiversité et sexe

Le sexe représente un élément central dans la dynamique de la biodiversité

- **Diversité intra-spécifique**: création de nouvelles combinaisons génétiques (recombinaison + ségrégation)
- **Diversité interspécifique**: le sexe détermine les frontières entre espèces et influence la dynamique de la spéciation

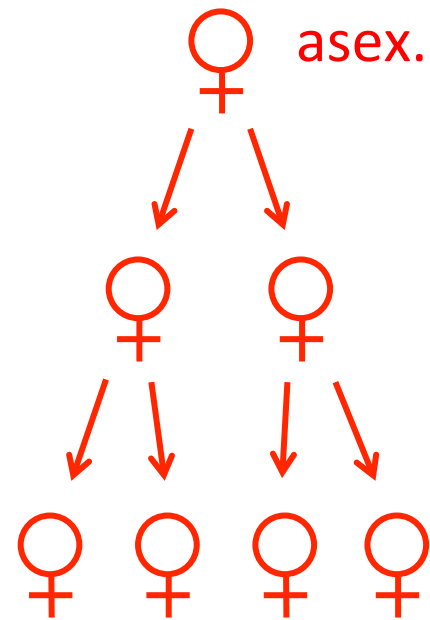
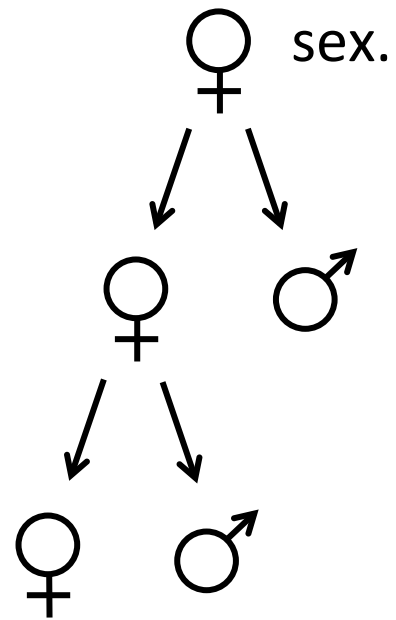
Qu'est-ce que le sexe ?

Eucaryotes: alternance méiose / fécondation



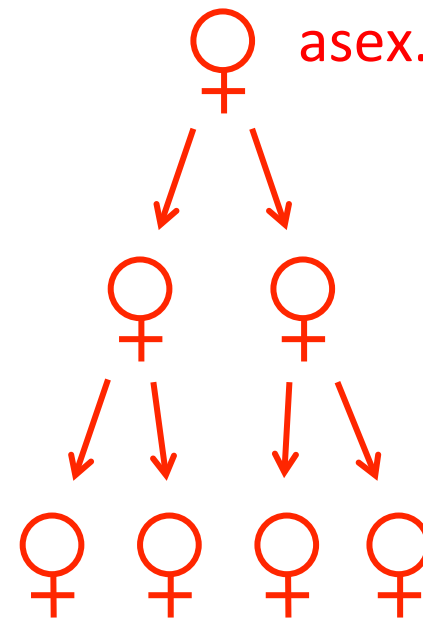
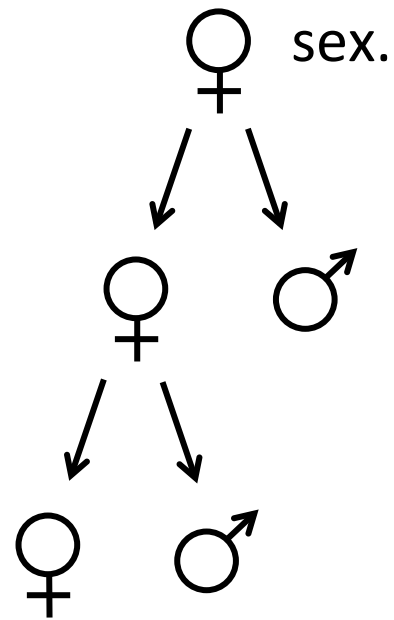
Les coûts du sexe

- Le coût des mâles :



Les coûts du sexe

- Le coût des mâles :

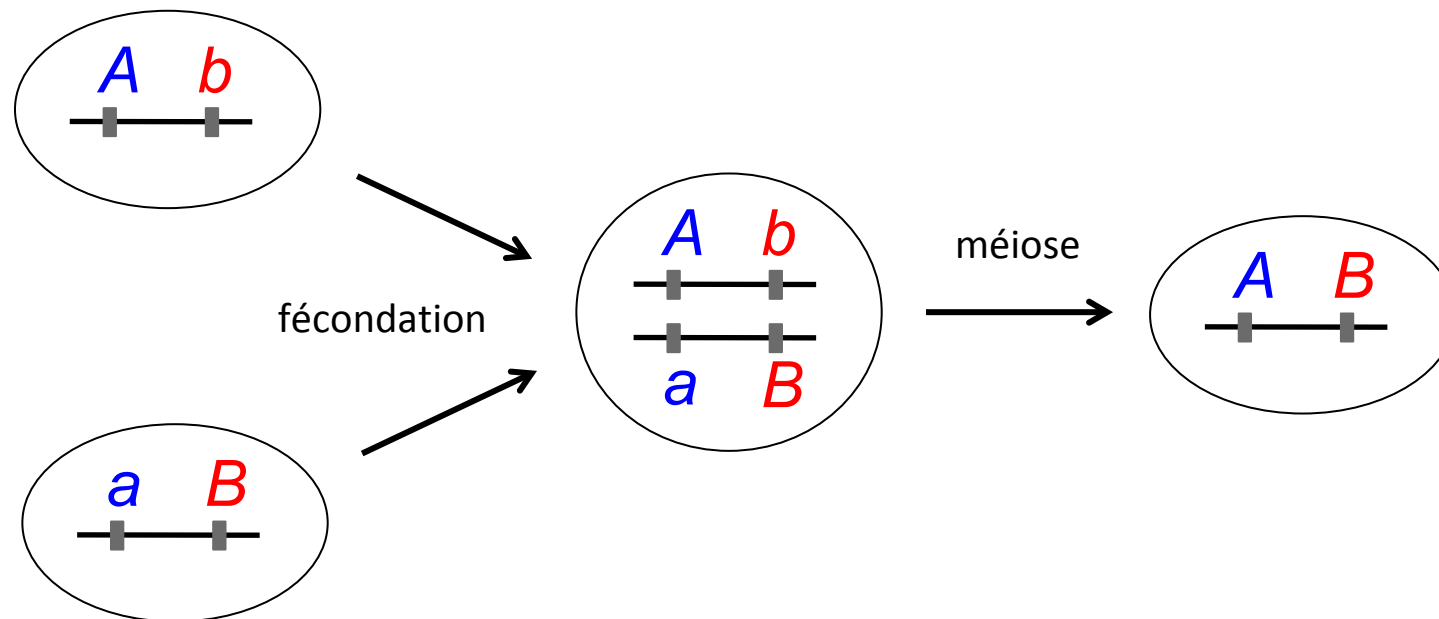


→ coût de deux

Conséquences génétiques du sexe

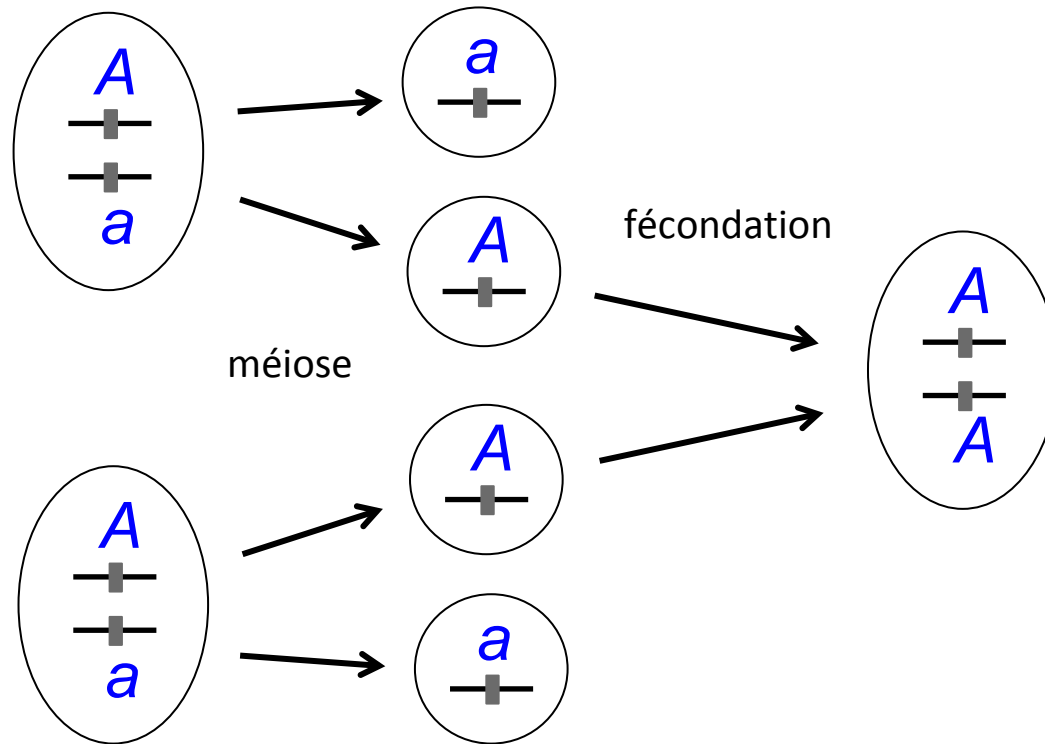
Recombinaison:

Espèce haploïde:



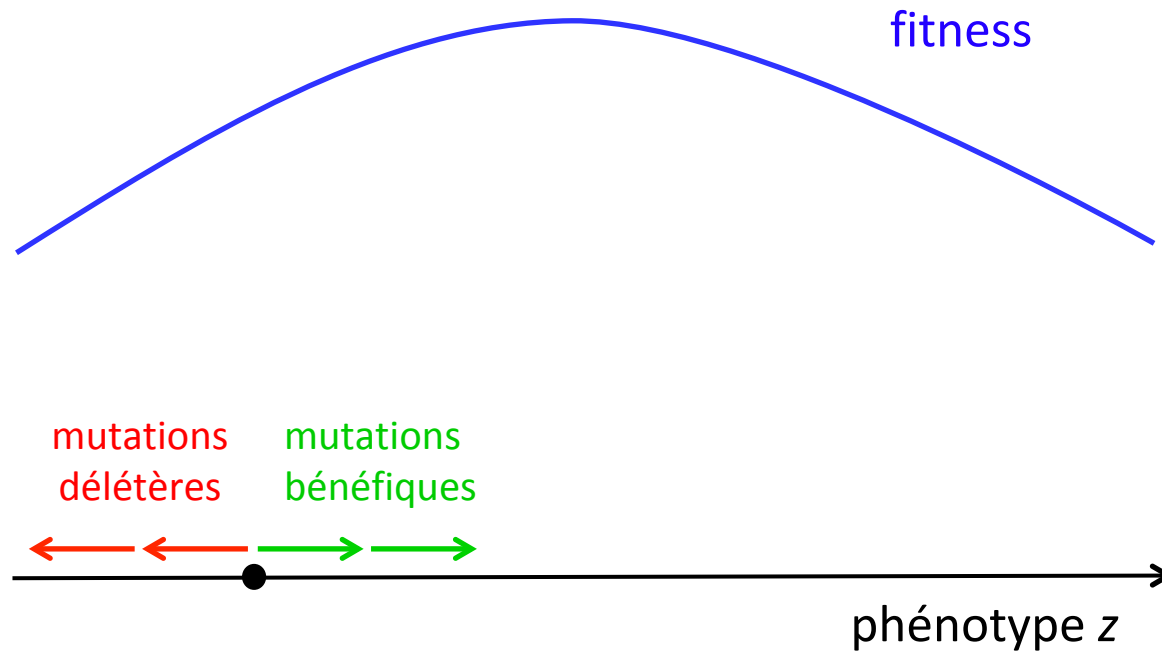
Conséquences génétiques du sexe

Espèces diploïdes: effet sur la fréquence des homozygotes / hétérozygotes (ségrégation):

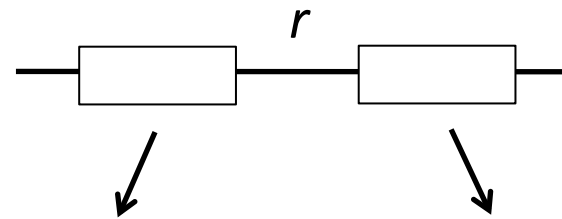
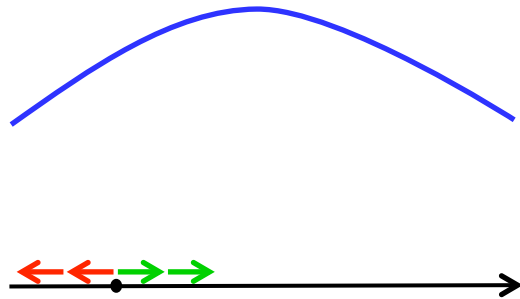


Evolution de la recombinaison

Evolution d'un trait phénotypique:



Evolution de la recombinaison



$$X_A = \begin{cases} 0 & \text{si allèle } a \\ 1 & \text{si allèle } A \end{cases} \quad X_B = \begin{cases} 0 & \text{si allèle } b \\ 1 & \text{si allèle } B \end{cases}$$

Fitness:

a b	1
A b	1 + s
a B	1 + s
A B	(1 + s) ² + e

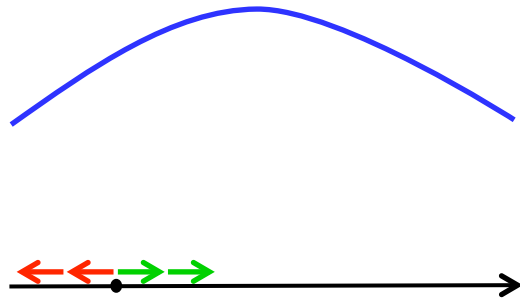
Fréquences alléliques:

$$p_A = E[X_A], \quad p_B = E[X_B]$$

Déséquilibre de liaison:

$$D_{AB} = E\left[\left(X_A - p_A\right)\left(X_B - p_B\right)\right]$$

Evolution de la recombinaison



Fitness:

a b	1
A b	1 + s
a B	1 + s
A B	(1 + s) ² + e

Fréquences alléliques:

$$p_A = E[X_A], \quad p_B = E[X_B]$$

Déséquilibre de liaison:

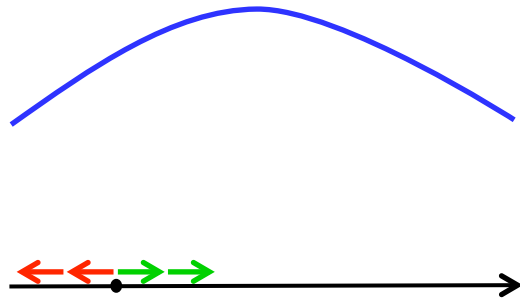
$$D_{AB} = E[(X_A - p_A)(X_B - p_B)]$$

$$\frac{dp_A}{dt} = s p_A q_A + s D_{AB}$$

$1 - p_A$
 ↙

$$\begin{aligned} \frac{dD_{AB}}{dt} = & -r D_{AB} + e p_A q_A p_B q_B \\ & + \left[e(1 - 2p_A)(1 - 2p_B) \right. \\ & \left. - s(1 - 2p_A)(1 - 2p_B) \right] D_{AB} \end{aligned}$$

Evolution de la recombinaison



Fitness:

a b	1
A b	1 + s
a B	1 + s
A B	(1 + s) ² + e

Fréquences alléliques:

$$p_A = E[X_A], \quad p_B = E[X_B]$$

Déséquilibre de liaison:

$$D_{AB} = E[(X_A - p_A)(X_B - p_B)]$$

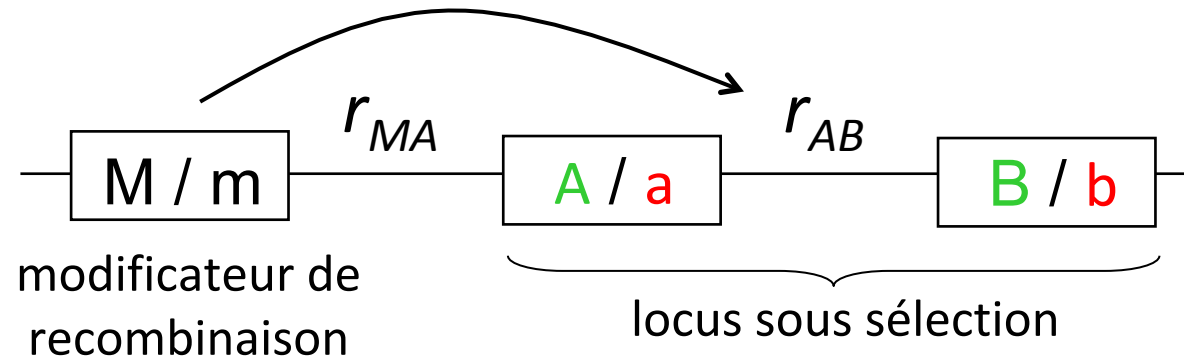
$$\frac{dp_A}{dt} = s p_A q_A + s D_{AB}$$

\swarrow $1 - p_A$

$$\frac{dD_{AB}}{dt} \approx -r D_{AB} + e p_A q_A p_B q_B$$

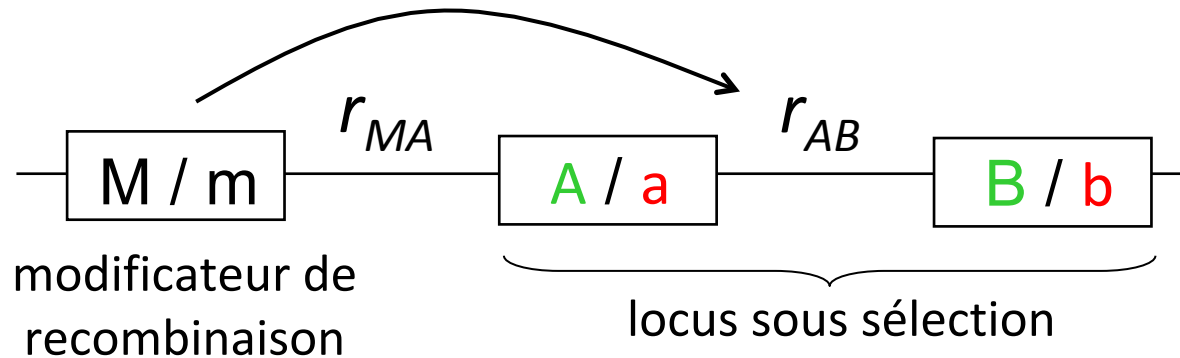
$$D_{AB} \approx \frac{e}{r} p_A q_A p_B q_B$$

Evolution de la recombinaison



e.g. Barton 1995

Evolution de la recombinaison



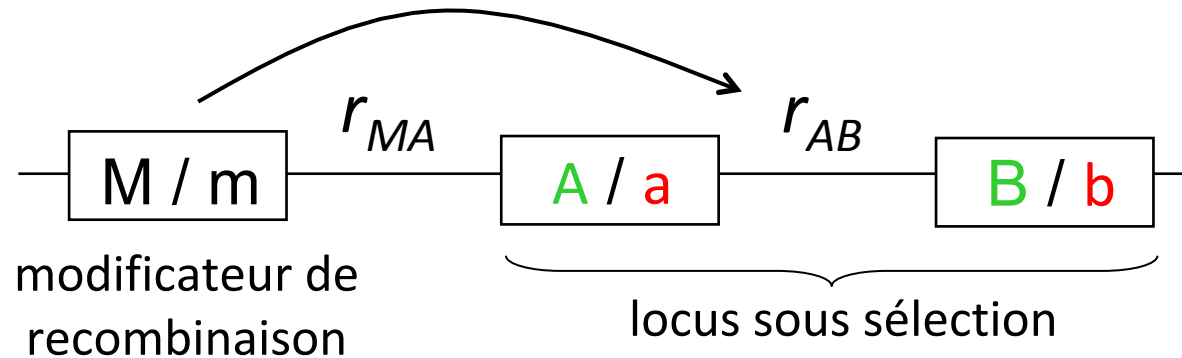
Recombinaison:

mm	r_{AB}
Mm	$r_{AB} + \delta r / 2$
MM	$r_{AB} + \delta r$

Fitness:

a b	1
A b	$1 + s$
a B	$1 + s$
A B	$(1 + s)^2 + e$

Evolution de la recombinaison

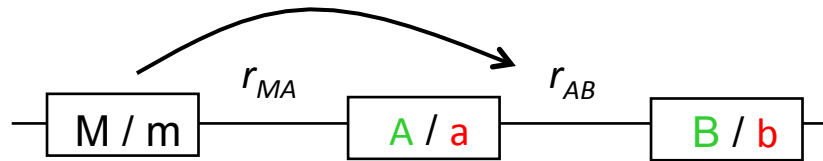


Fréquences alléliques: p_M, p_A, p_B

Déséquilibres de liaison: D_{MA}, D_{MB}, D_{AB}

$$D_{MAB} = E\left[\left(X_M - p_M\right)\left(X_A - p_A\right)\left(X_B - p_B\right)\right]$$

Evolution de la recombinaison

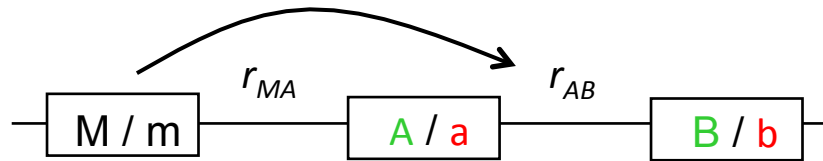


$$\frac{dp_M}{dt} = sD_{MA} + sD_{MB} + eD_{MAB}$$

$$D_{MAB} \approx -\frac{\delta r D_{AB}}{2r_{MAB}} p_M q_M \quad D_{AB} \approx \frac{e}{r_{AB}} p_A q_A p_B q_B$$

→ désavantage la recombinaison

Evolution de la recombinaison

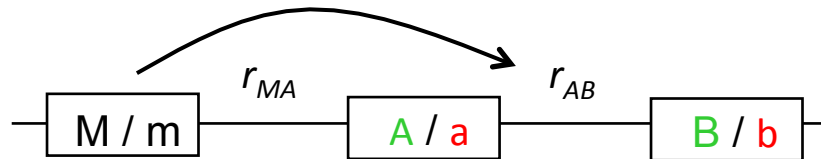


$$\frac{dp_M}{dt} = sD_{MA} + sD_{MB} + eD_{MAB}$$

$$D_{MAB} \approx -\frac{\delta r D_{AB}}{2r_{MAB}} p_M q_M \quad D_{AB} \approx \frac{e}{r_{AB}} p_A q_A p_B q_B$$

$$D_{MA} \approx \frac{s D_{MAB}}{r_{MA}} \quad \rightarrow \text{avantage la recombinaison}$$

Evolution de la recombinaison



$$\frac{dp_M}{dt} = sD_{MA} + sD_{MB} + eD_{MAB}$$

On favorise une augmentation de la recombinaison si:

$$-s^2 \left(\frac{1}{r_{MA}} + \frac{1}{r_{MB}} - 1 \right) < e < 0$$

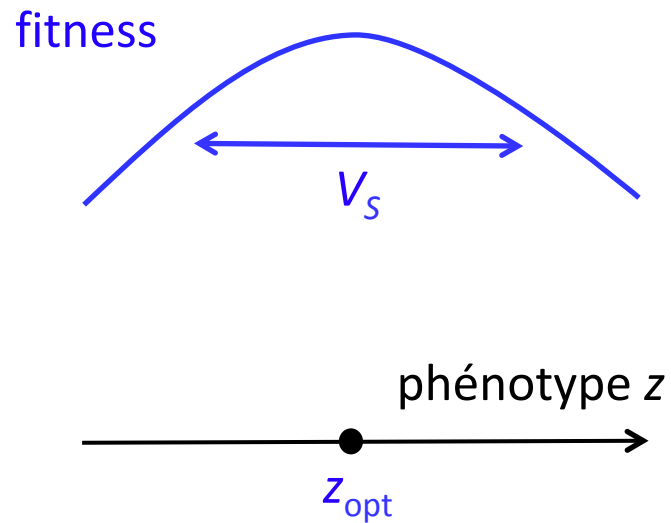
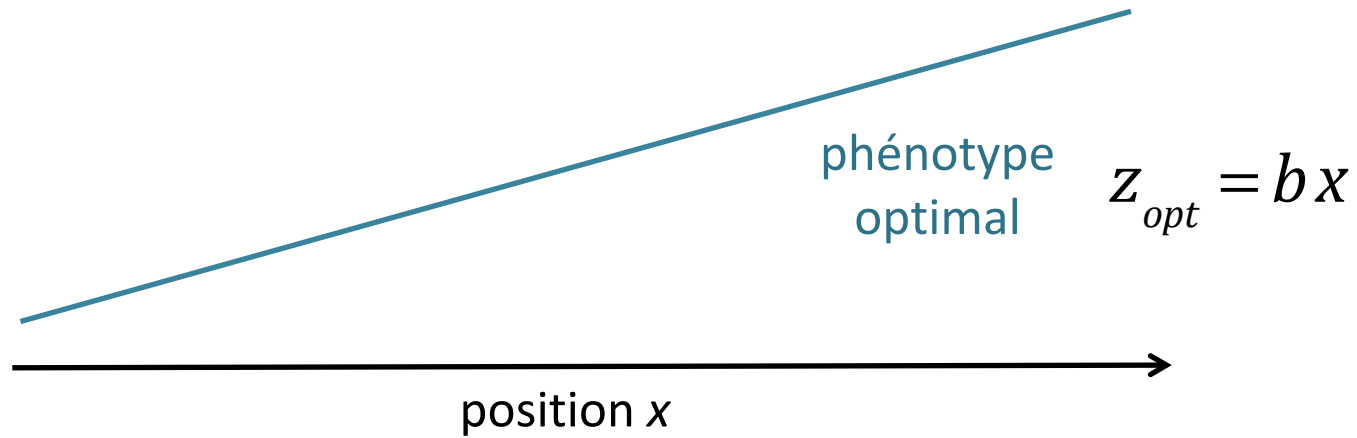
Environnement changeant dans l'espace

Adaptation locale: permet de maintenir une variabilité génétique importante

"Parthénogénèse géographique": populations asexuées en limite d'aire de distribution (+ hautes latitudes, altitudes)

Peck et al 1998: avantage à la reproduction asexuée en limite d'aire de distribution pour préserver des combinaisons génétiques adaptées à des conditions extrêmes

Environnement changeant dans l'espace



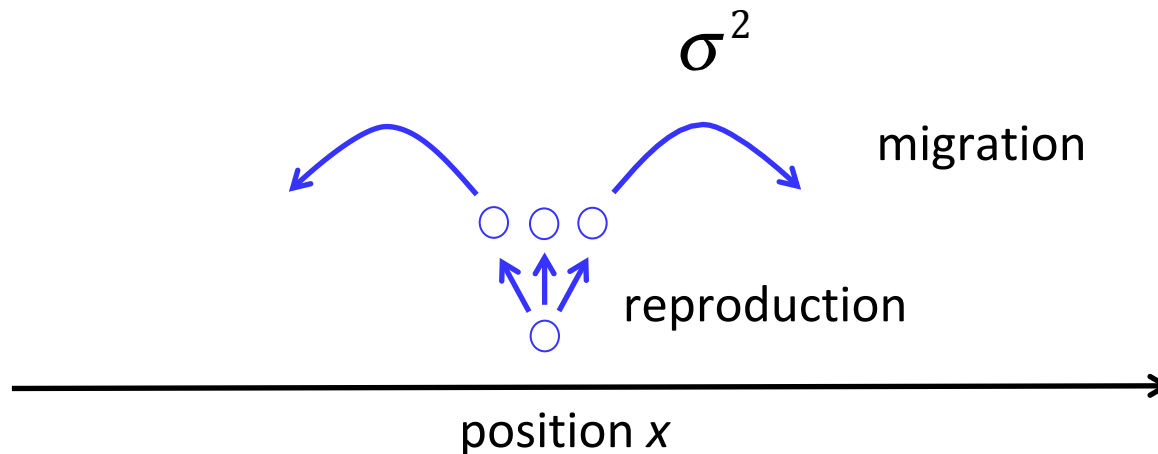
$$W = \exp \left[-\frac{(z - z_{opt})^2}{2V_s} \right]$$

Environnement changeant dans l'espace

Architecture génétique: L locus bialléliques:

.....0010110001011100.....

↑
allèle 1: augmente la valeur du phénotype z de α



Environnement changeant dans l'espace

Architecture génétique: L locus bialléliques:

.....0010110001011100.....

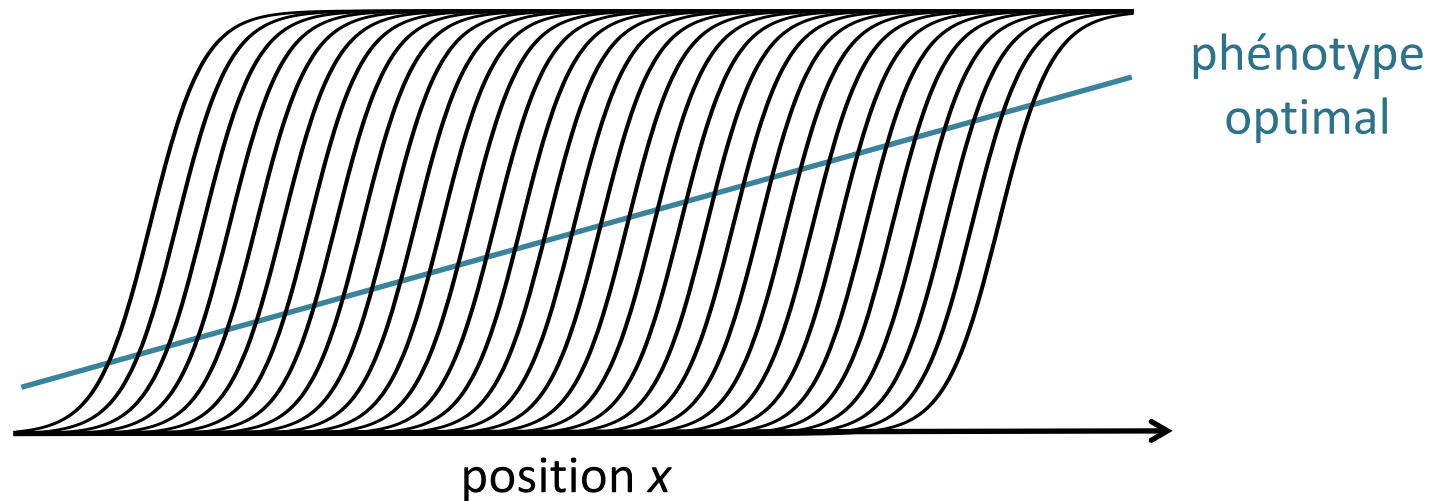


allèle 1: augmente la valeur du phénotype z de α

p_i : fréquence de l'allèle 1 au locus i

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = -\frac{\alpha^2}{2V_s} p_i (1-p_i)(1-2p_i) + \frac{\sigma^2}{2} \frac{\partial^2 p_i}{\partial x^2}$$

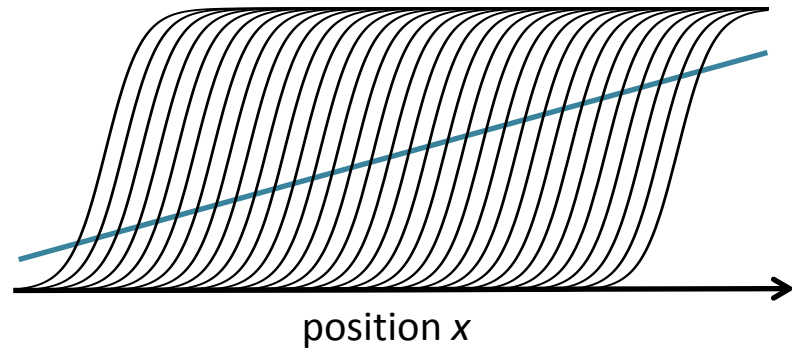
Environnement changeant dans l'espace



$$p_i(x) = 1 / \left(1 + \exp \left[- \frac{\alpha}{\sqrt{\sigma^2 V_s}} (x - x_{0,i}) \right] \right)$$

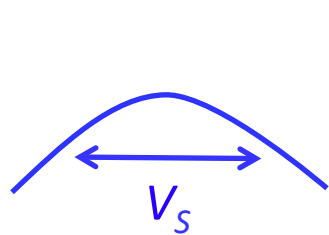
Variabilité génétique: $V_g = \text{Var}[z] = \alpha^2 \sum_i p_i q_i = b \sqrt{\sigma^2 V_s}$

Environnement changeant dans l'espace

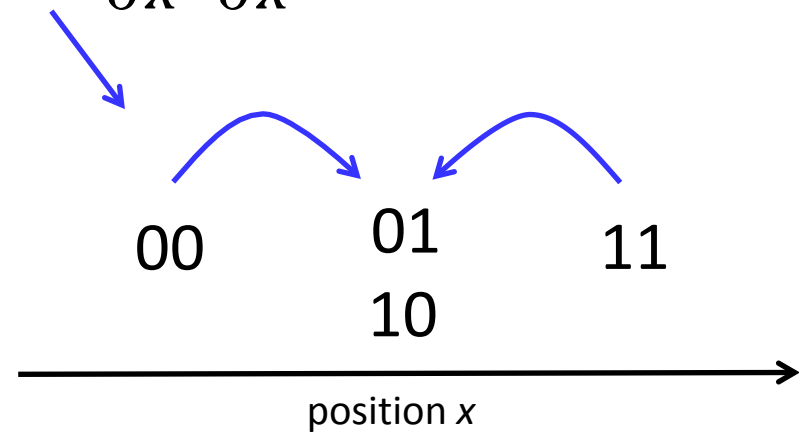


Déséquilibre de liaison:

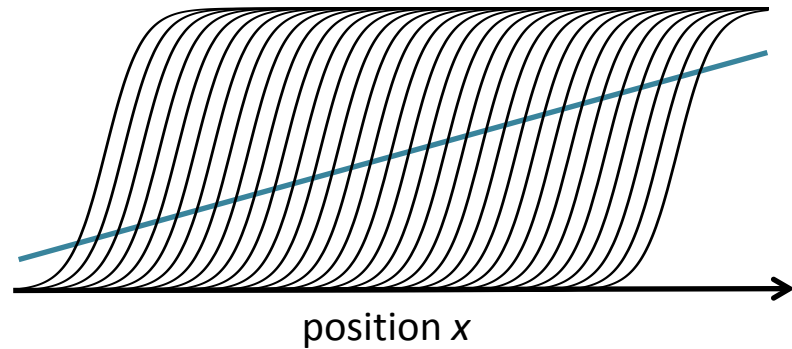
$$\frac{\partial D_{ij}}{\partial t} \approx -r D_{ij} - \frac{\alpha^2}{V_s} p_i q_i p_j q_j + \sigma^2 \frac{\partial p_i}{\partial x} \frac{\partial p_j}{\partial x}$$



phenotype z



Environnement changeant dans l'espace



Déséquilibre de liaison:

$$\frac{\partial D_{ij}}{\partial t} \approx -r D_{ij} - \underbrace{\frac{\alpha^2}{V_S} p_i q_i p_j q_j}_{\text{}} + \sigma^2 \frac{\partial p_i}{\partial x} \frac{\partial p_j}{\partial x}$$

Les deux effets se compensent exactement

Modèle de limite d'aire

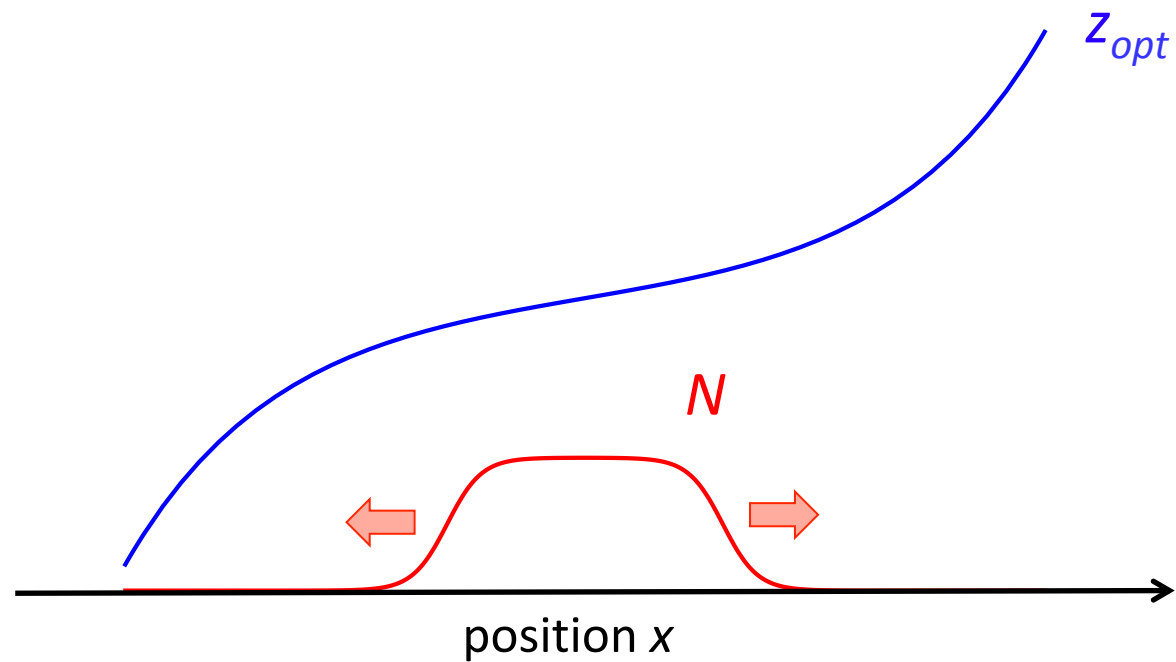
Variables: N, p_i

Taux de croissance:
$$r = r_m \left(1 - \frac{N}{K} \right) - \frac{(z - z_{opt})^2}{2V_s}$$

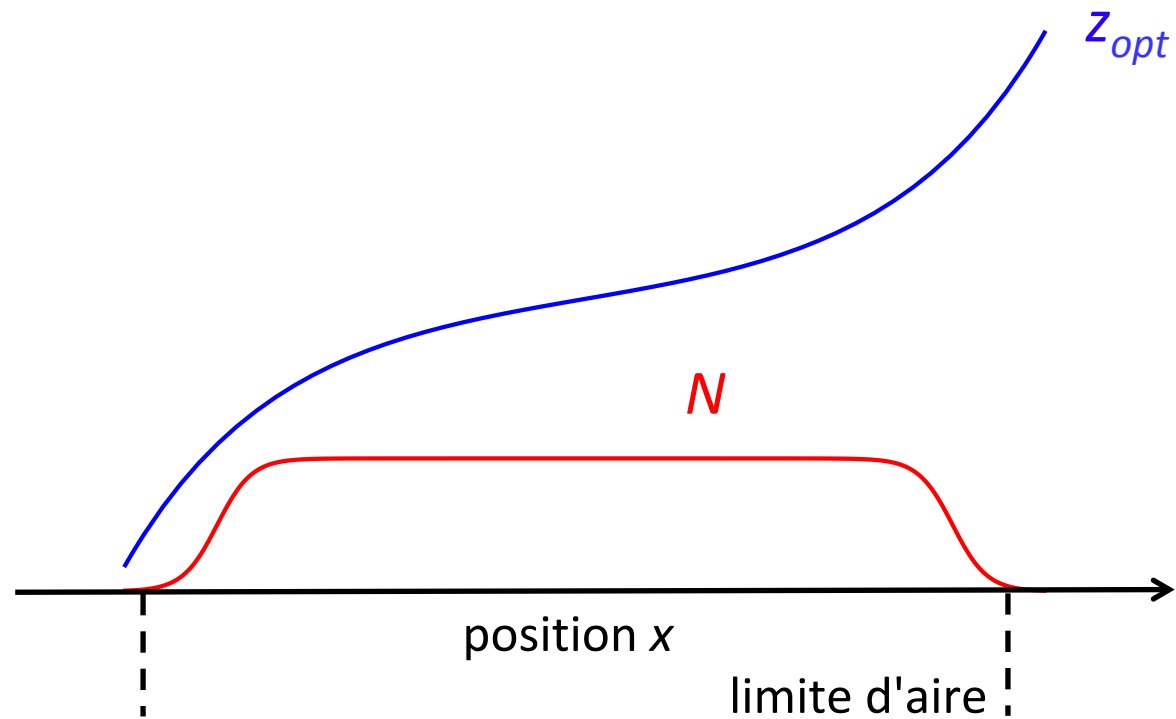
$$\frac{\partial N}{\partial t} = \bar{r} N + \frac{\sigma^2}{2} \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \sqrt{N} dW_N$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p_i}{\partial t} = & -\frac{\alpha^2}{2V_s} p_i (1 - p_i) (1 - 2p_i) + \frac{\sigma^2}{2} \frac{\partial^2 p_i}{\partial x^2} \\ & + \sigma^2 \frac{\partial \log(N)}{\partial x} \frac{\partial p_i}{\partial x} + \sqrt{\frac{p_i q_i}{N}} dW_{p_i} \end{aligned}$$

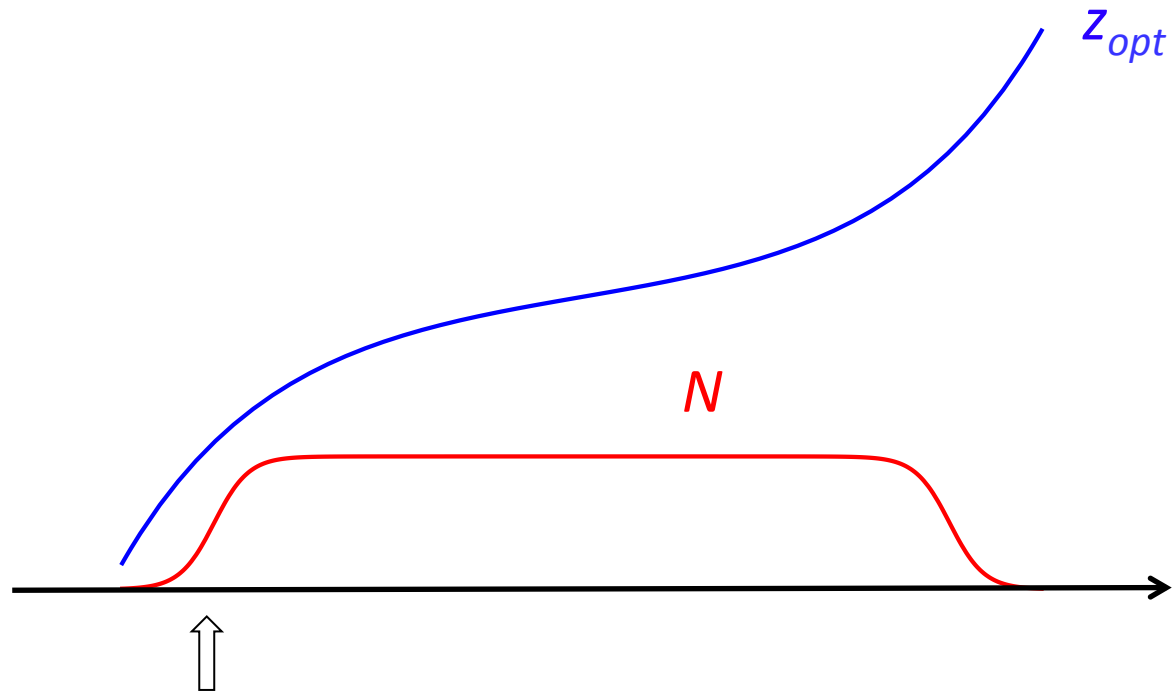
Modèle de limite d'aire



Modèle de limite d'aire



Modèle de limite d'aire



déséquilibres de liaison ?

sélection pour le sexe et la recombinaison ?