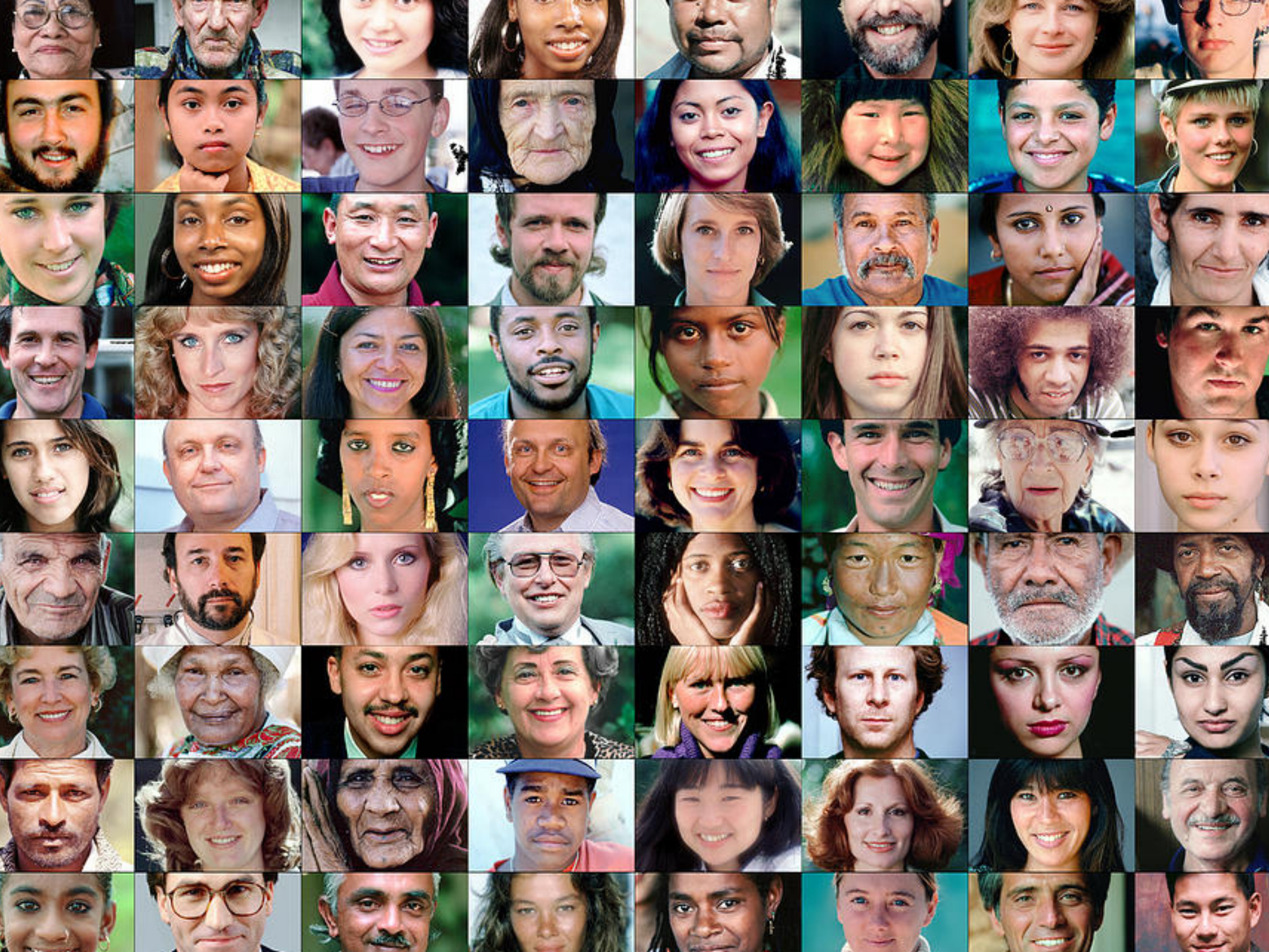
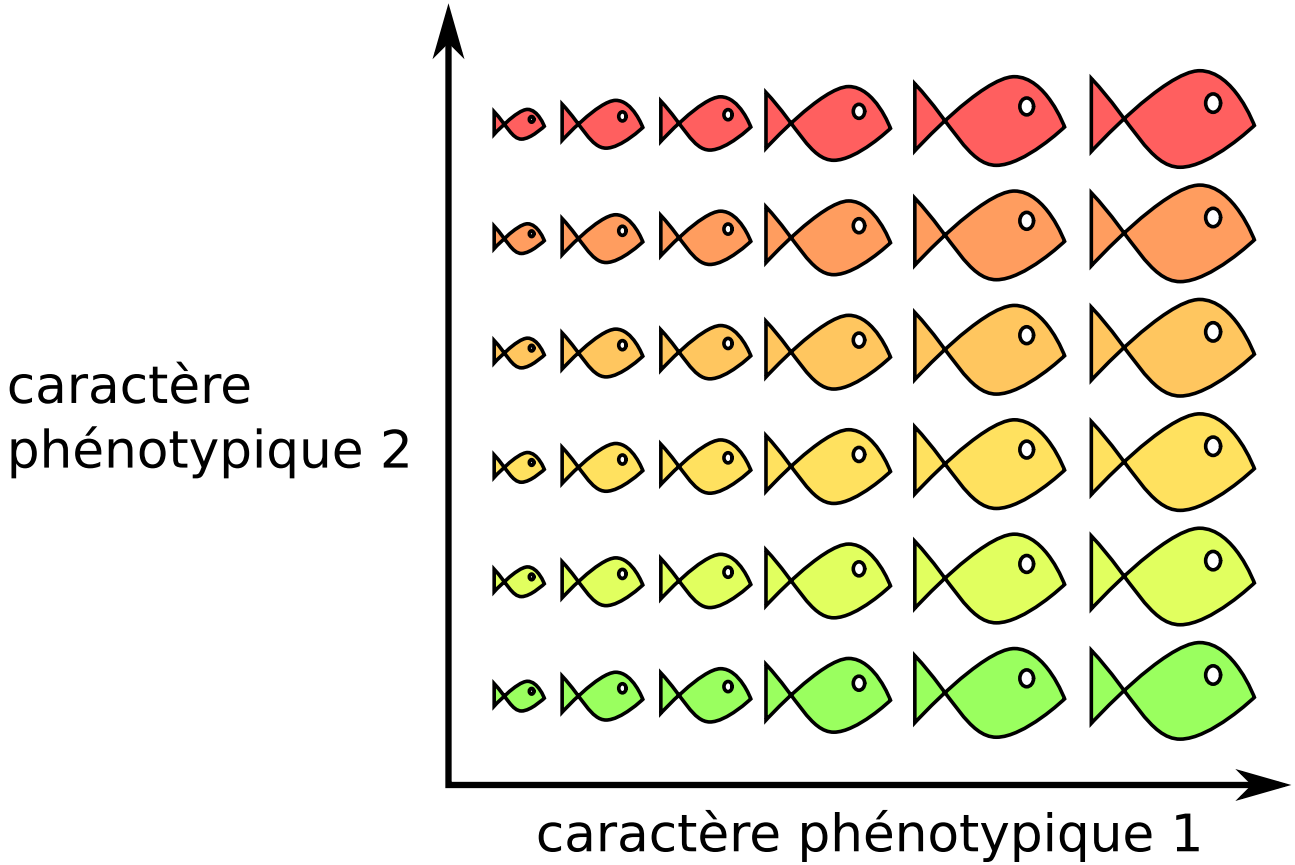
Couplage entre barrières reproductives au cours de la spéciation

Thomas Aubier

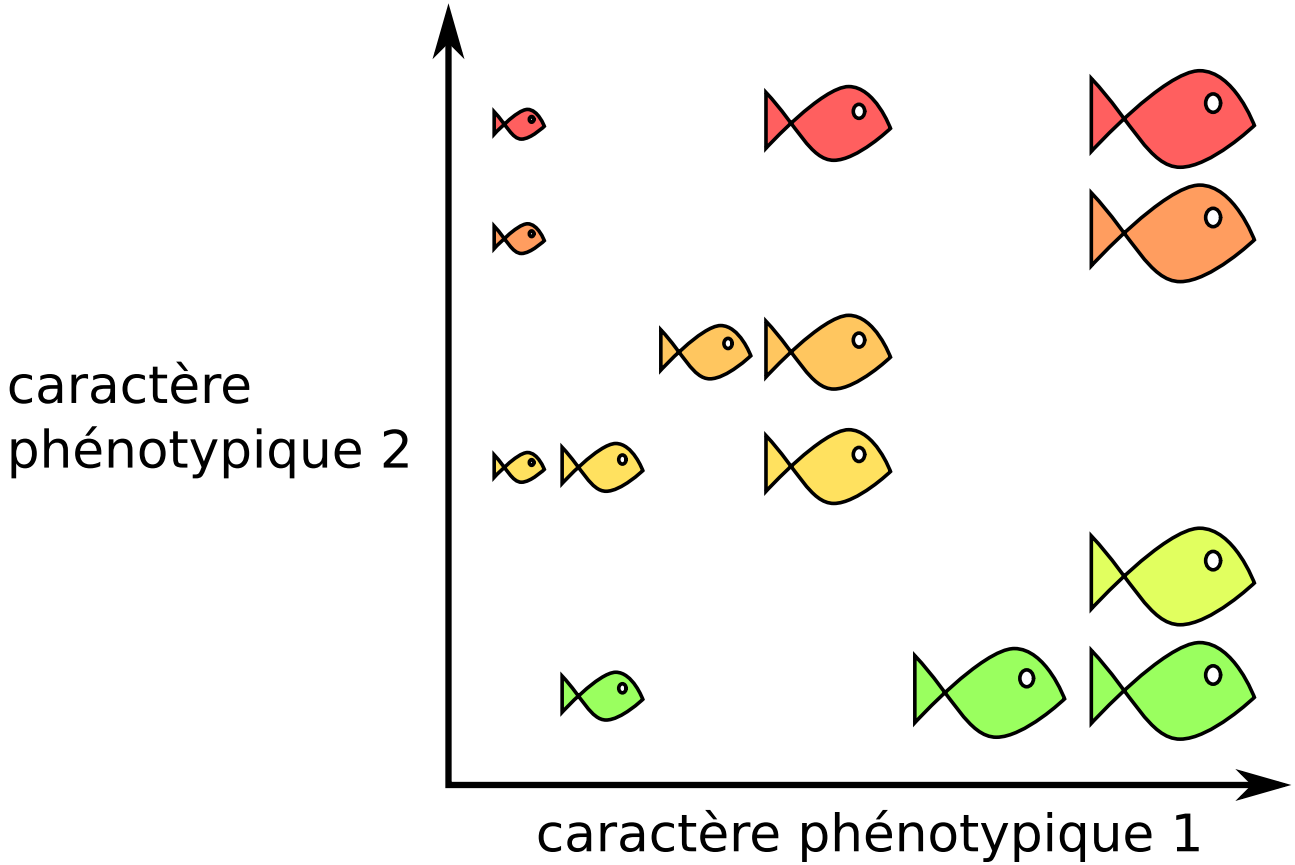
A quoi ressemble le vivant ?



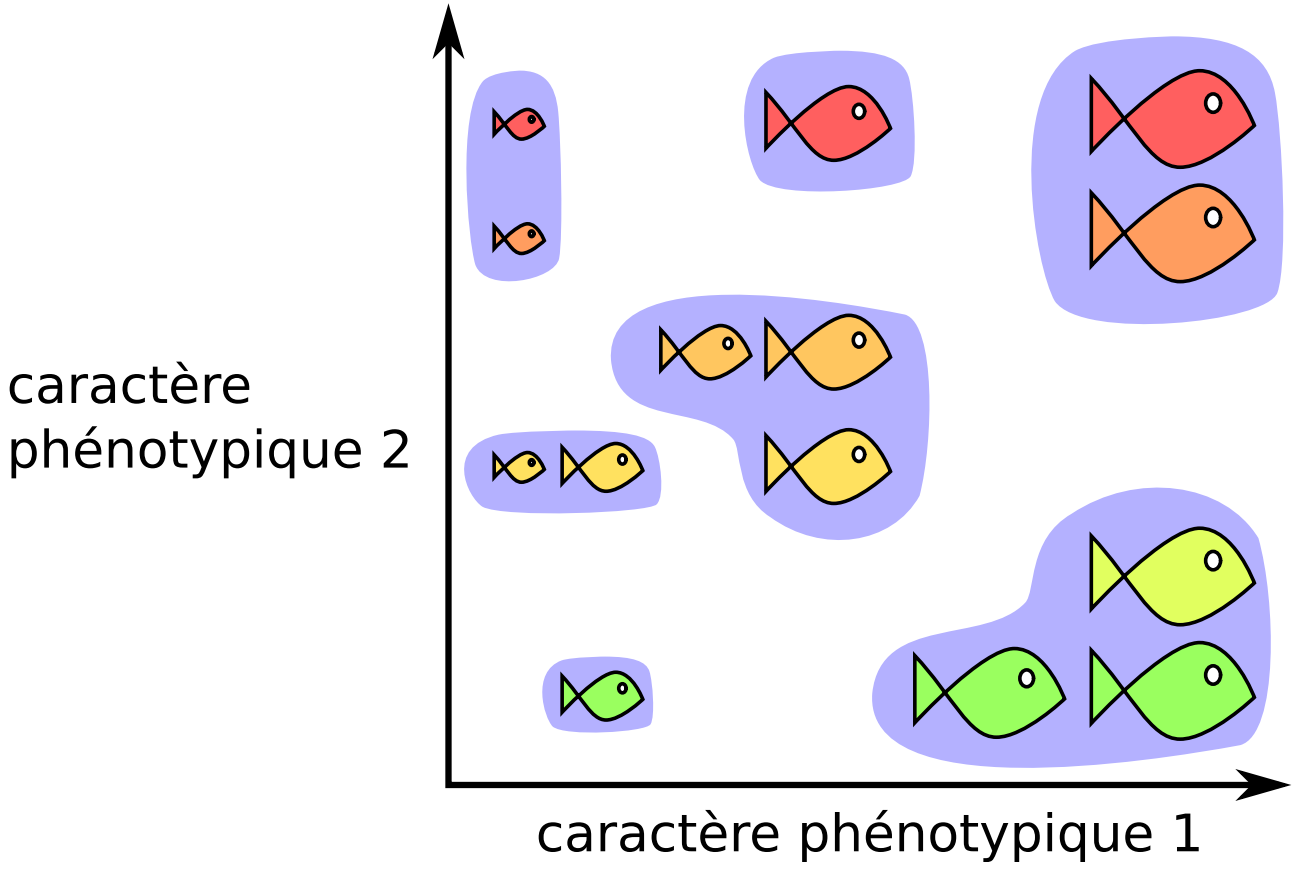
Variation phénotypique



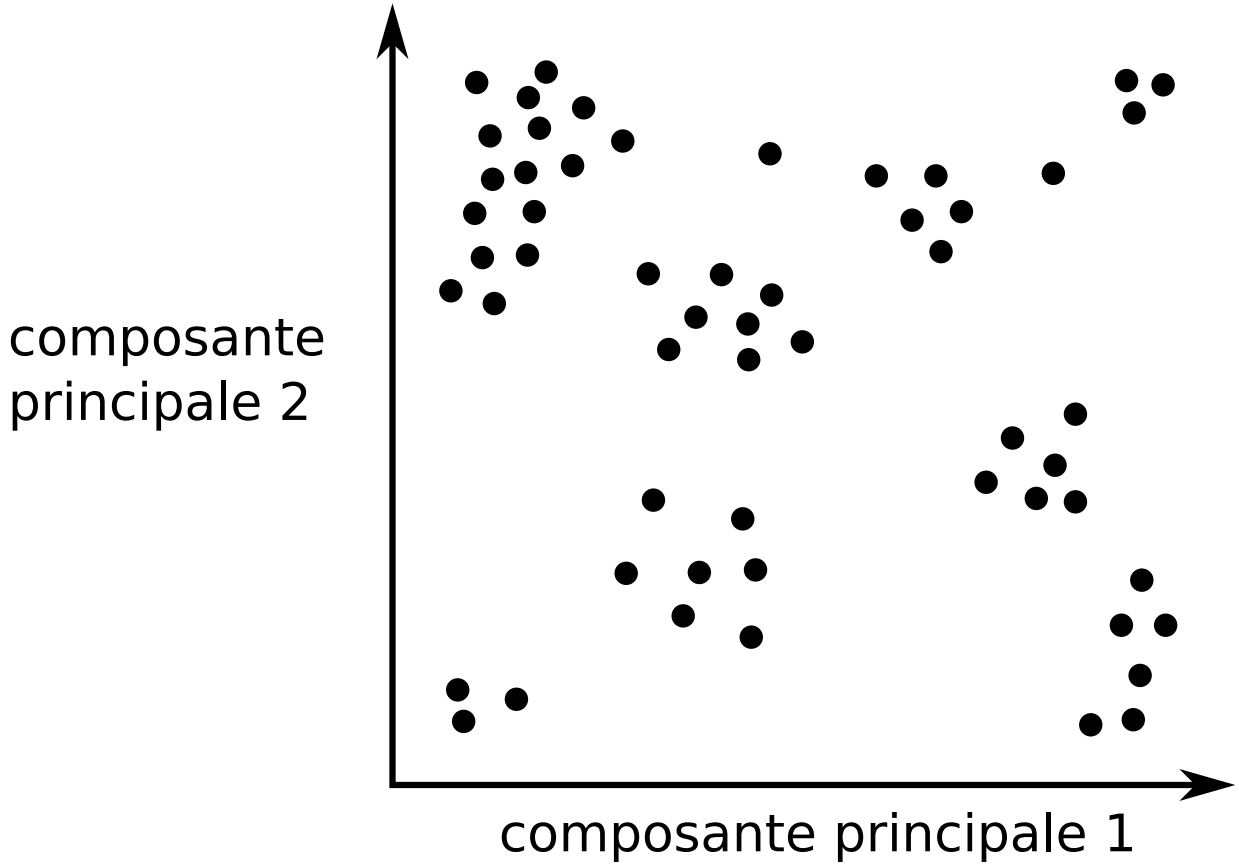
Variation phénotypique



Variation phénotypique



Variation génétique



Le vivant est discontinu et organisé en clusters (= ‘species’).

Le vivant est discontinu et organisé en clusters (= ‘species’).

Comment ces clusters se forment-ils ?

Définir “espèce” pour étudier la spéciation

La spéciation (le processus par lequel de nouvelles espèces apparaissent) résulte de l'évolution progressive des caractères phénotypiques

$\hookrightarrow$ C'est un **processus continu**.

Mayr, 1942; Mayr, 1995; Coyne & Orr, 2004

Définir “espèce” pour étudier la spéciation

La spéciation (le processus par lequel de nouvelles espèces apparaissent) résulte de l'évolution progressive des caractères phénotypiques

$\hookrightarrow$ C'est un **processus continu**.

Pour étudier la spéciation:

- il n'est pas important de pouvoir délimiter les espèces
- il est important de pouvoir utiliser la définition d'espèce dans un cadre évolutif

Mayr, 1942; Mayr, 1995; Coyne & Orr, 2004

Définir “espèce” pour étudier la spéciation

La spéciation (le processus par lequel de nouvelles espèces apparaissent) résulte de l'évolution progressive des caractères phénotypiques

$\hookrightarrow$ C'est un **processus continu**.

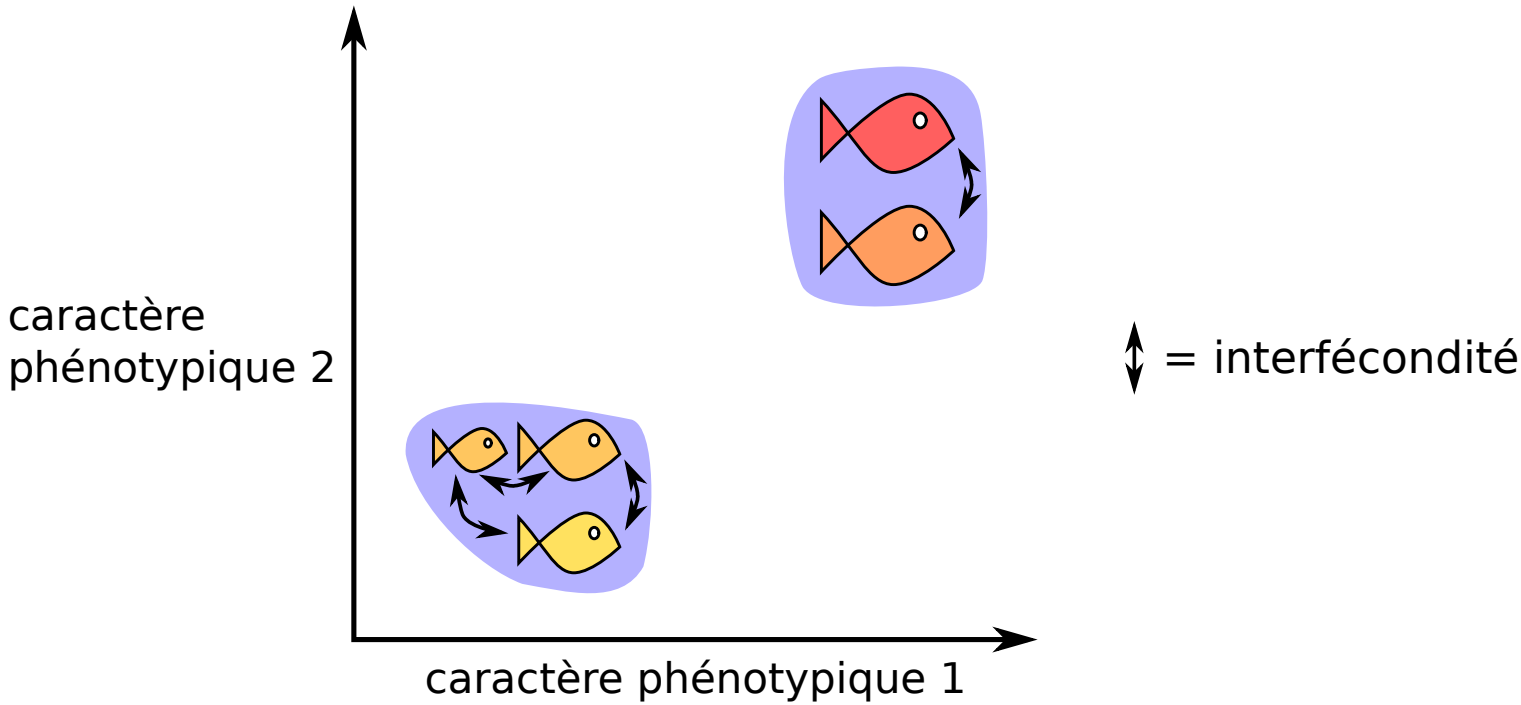
Pour étudier la spéciation:

- il n'est pas important de pouvoir délimiter les espèces
- il est important de pouvoir utiliser la définition d'espèce dans un cadre évolutif

Concept d'espèce biologique: “Les espèces sont des groupes de populations naturelles interfécondes qui sont isolées des autres groupes de ce type.”

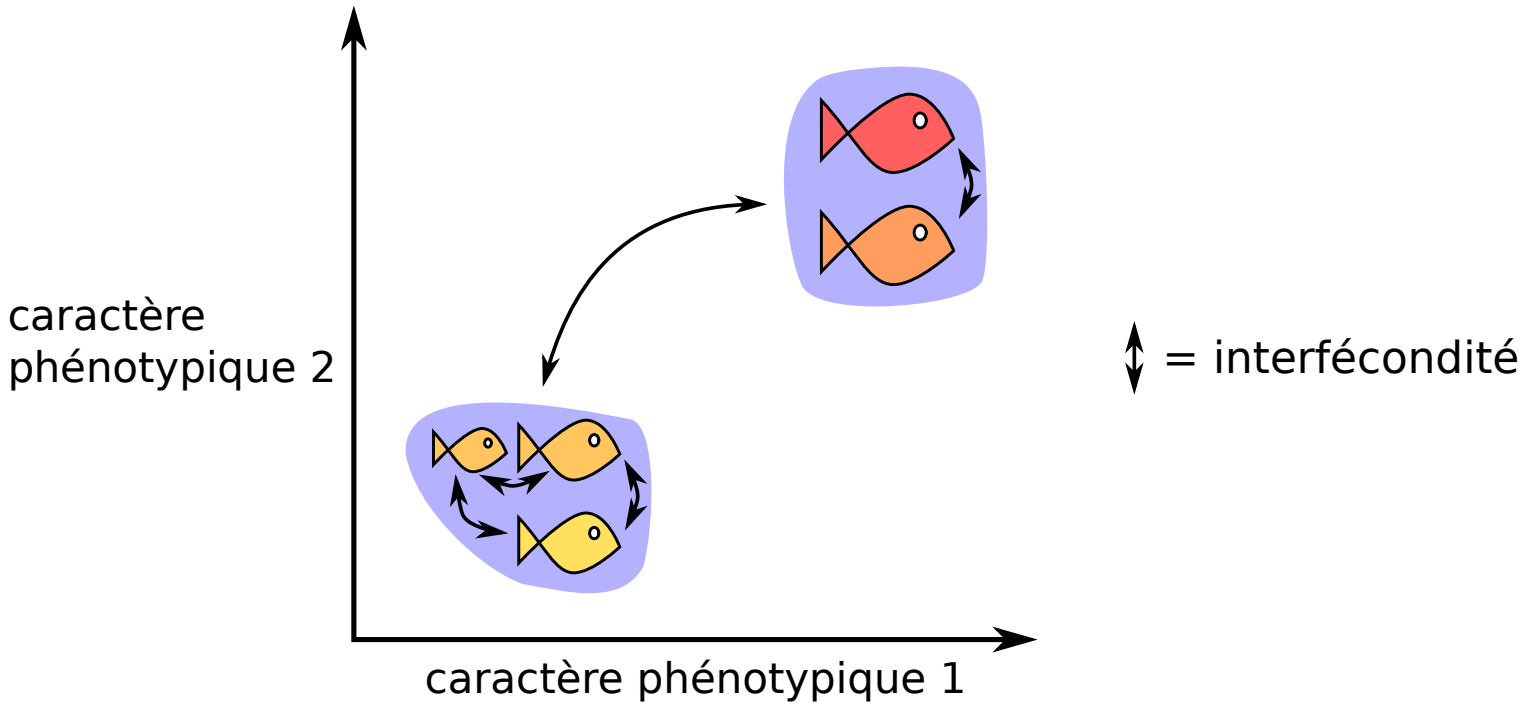
Mayr, 1942; Mayr, 1995; Coyne & Orr, 2004

Définir “espèce” pour étudier la spéciation



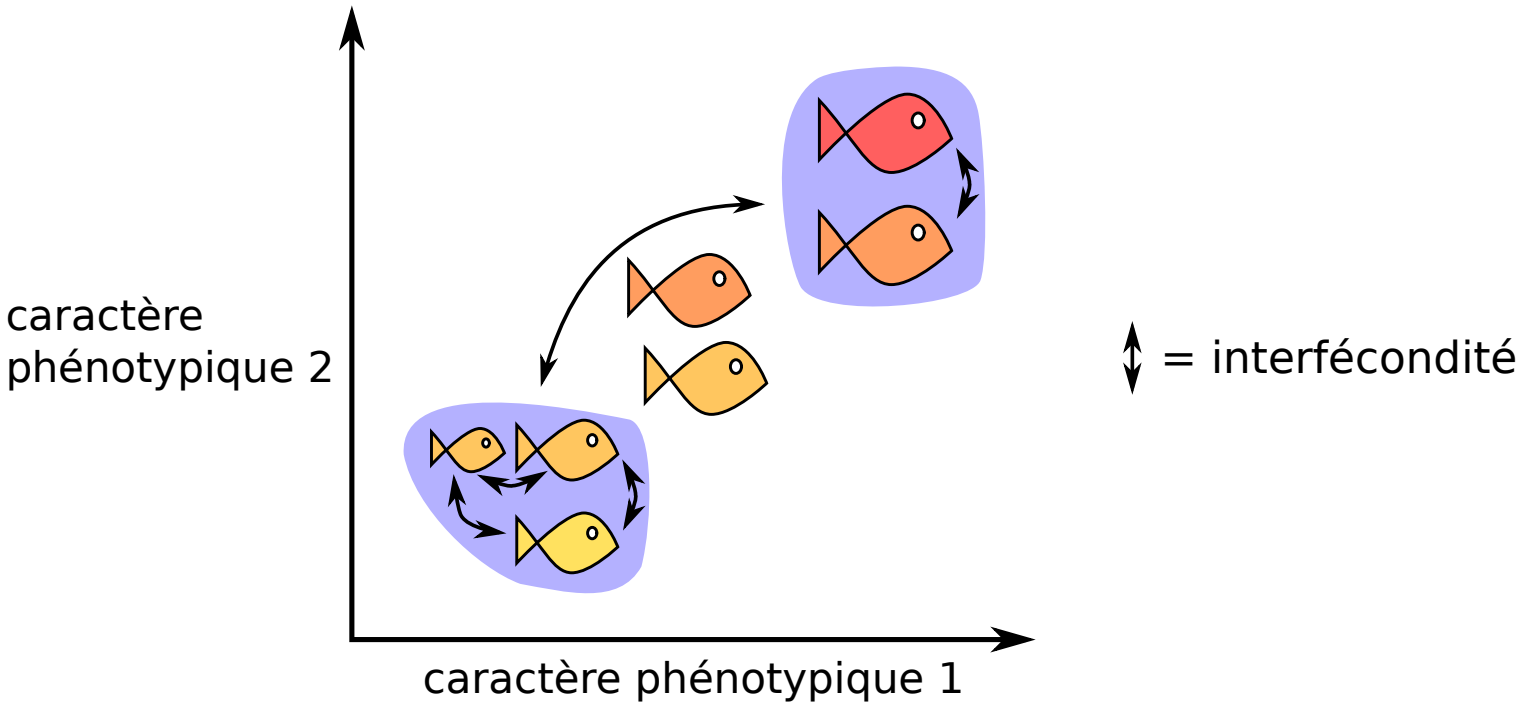
Mayr, 1942; Mayr, 1995; Coyne & Orr, 2004

Définir “espèce” pour étudier la spéciation



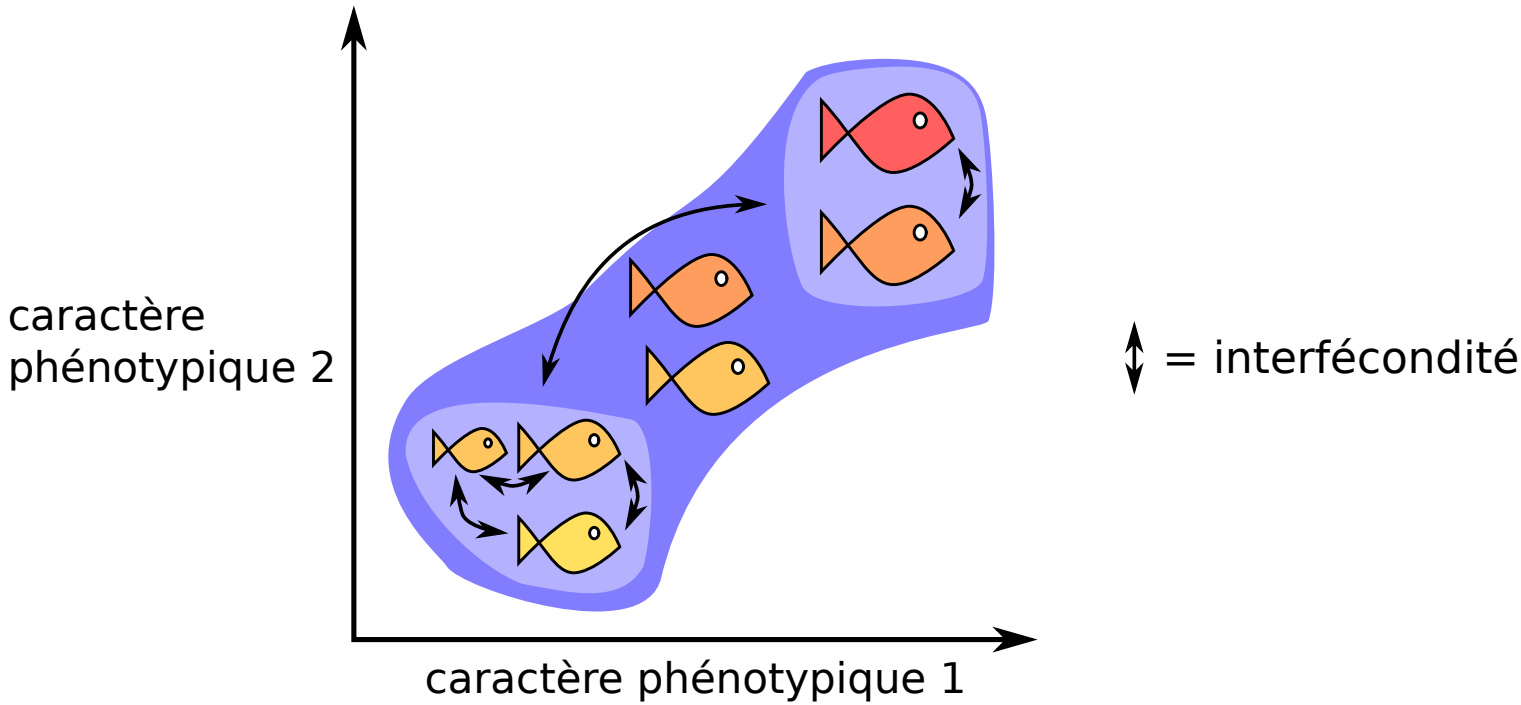
Mayr, 1942; Mayr, 1995; Coyne & Orr, 2004

Définir “espèce” pour étudier la spéciation



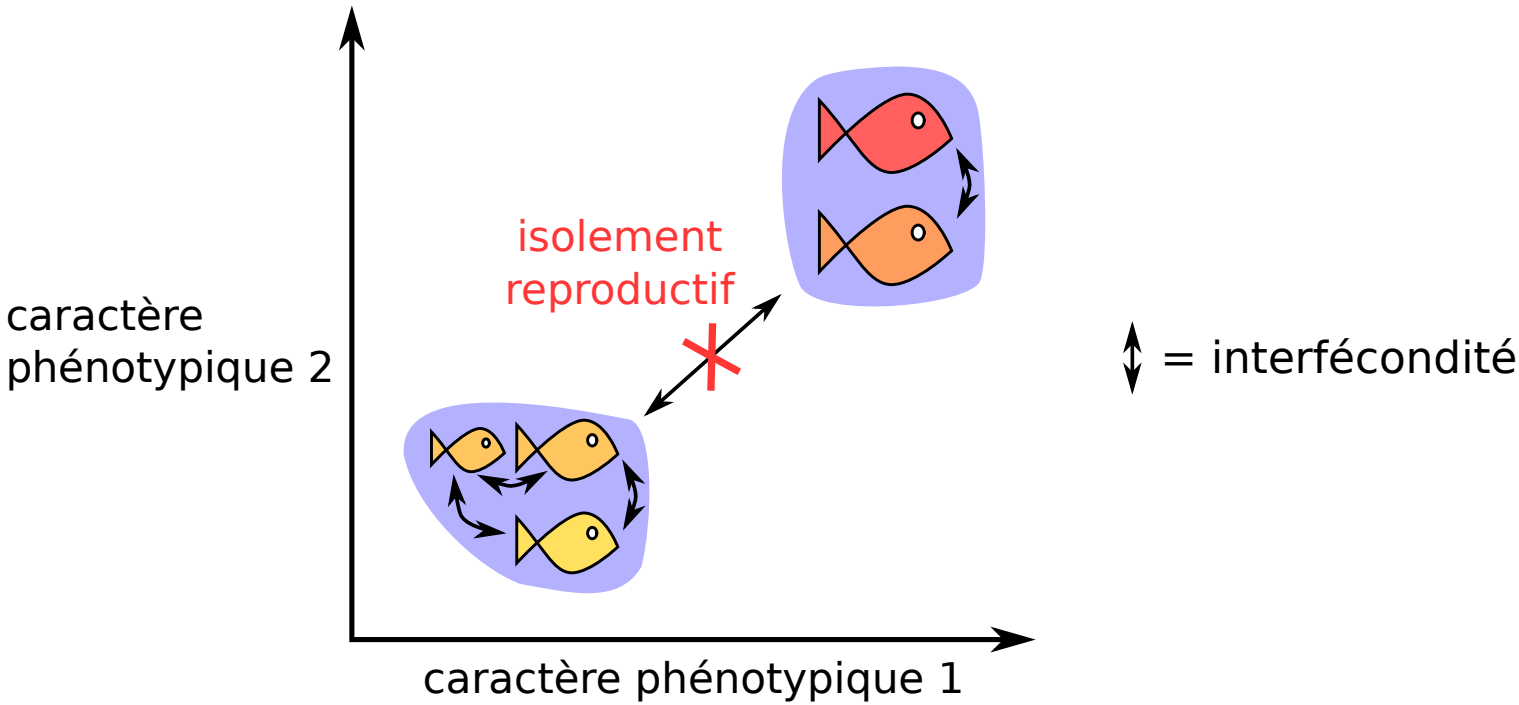
Mayr, 1942; Mayr, 1995; Coyne & Orr, 2004

Définir “espèce” pour étudier la spéciation



Mayr, 1942; Mayr, 1995; Coyne & Orr, 2004

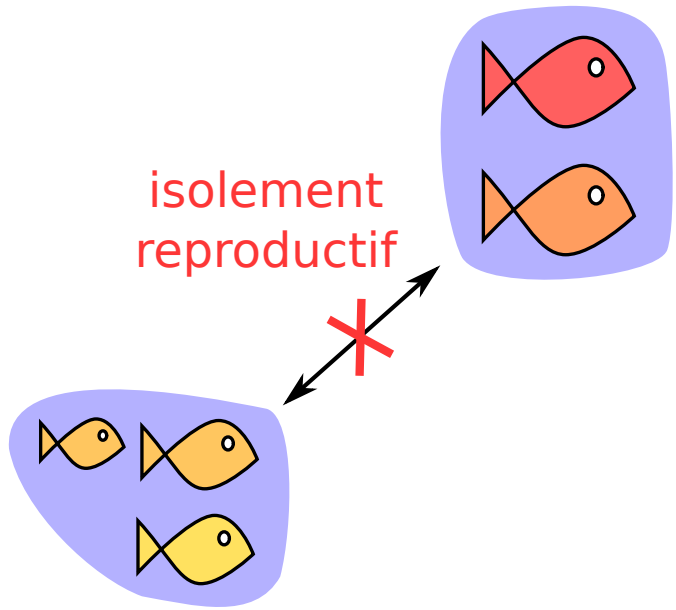
Définir “espèce” pour étudier la spéciation



Mayr, 1942; Mayr, 1995; Coyne & Orr, 2004

Etudier la spéciation

Étudier l'évolution des barrières conduisant
à l'isolement reproductif entre les populations

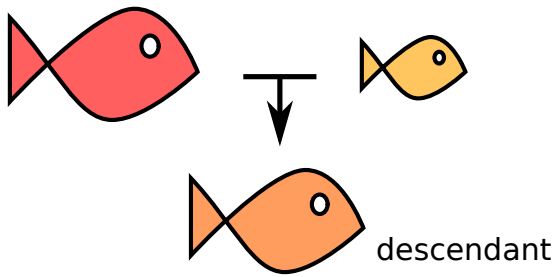


Barrières reproductives

Coyne & Orr, 2004

Barrières reproductives

sans isolement reproductif

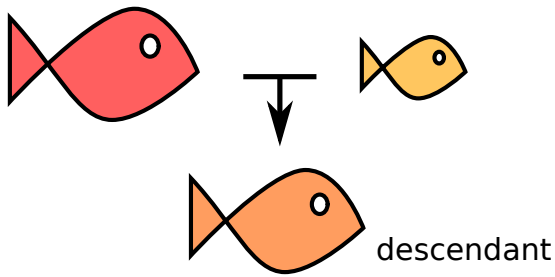


= flux de gènes

Coyne & Orr, 2004

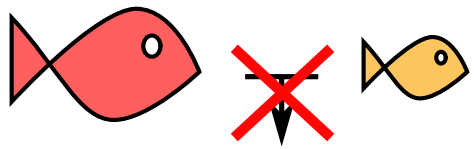
Barrières reproductives

sans isolement reproductif



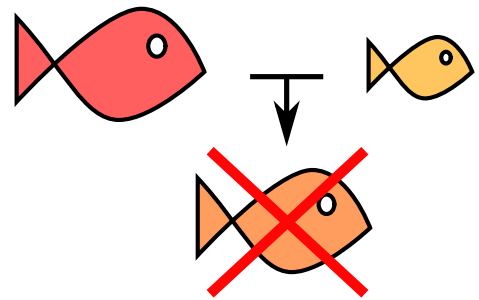
= flux de gènes

isolement prézygotique



lorsqu'il n'y a pas de formation de zygotes hybrides (par ex, à cause du choix de partenaire sexuel)

isolement postzygotique



lorsque les génotypes hybrides sont associés à une faible fitness (par ex, en raison d'incompatibilités génétiques)

Coyne & Orr, 2004

Couplage entre barrières

Certains processus favorisent la concomitance des barrières (= couplage)

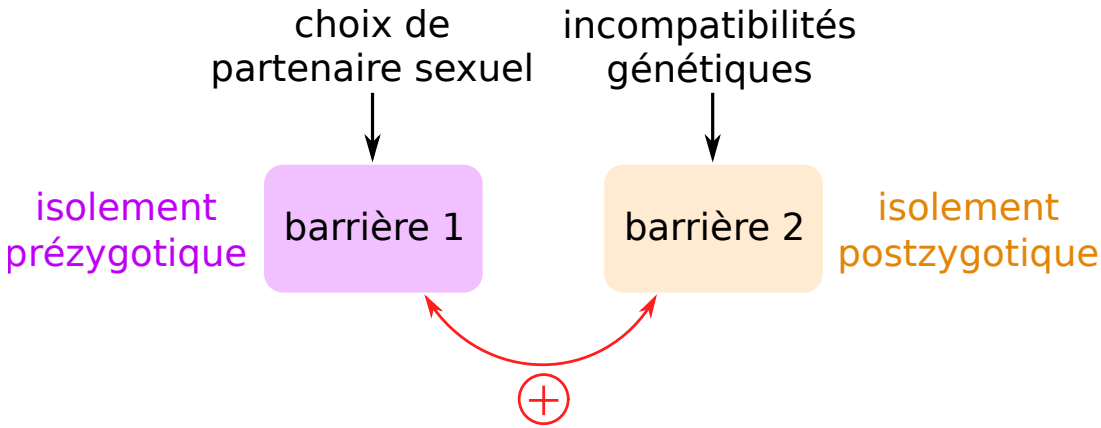
$\hookrightarrow$ l'isolement reproductif est augmenté

Butlin & Smadja, 2018; Dopman et al., 2024

Couplage entre barrières

Certains processus favorisent la concomitance des barrières (= couplage)

↪ l'isolement reproductif est augmenté

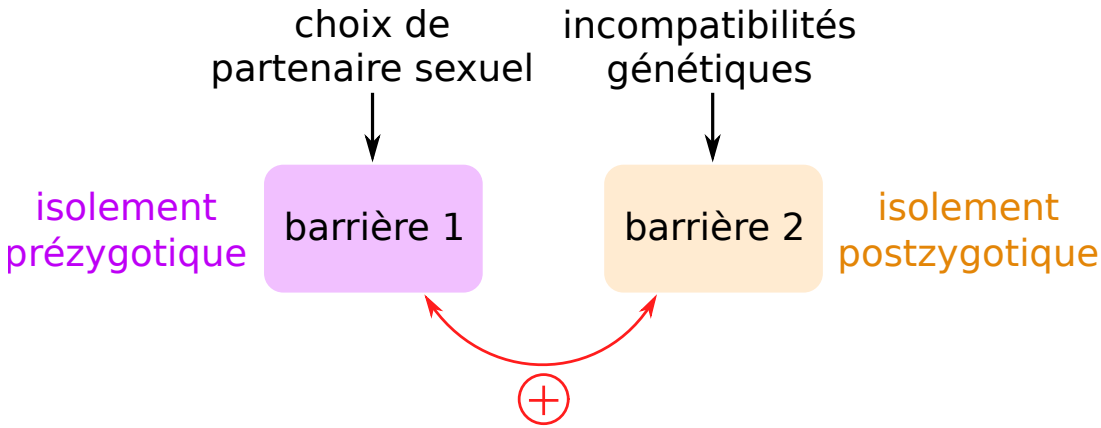


Butlin & Smadja, 2018; Dopman et al., 2024

Couplage entre barrières

Certains processus favorisent la concomitance des barrières (= couplage)

↪ l'isolement reproductif est augmenté



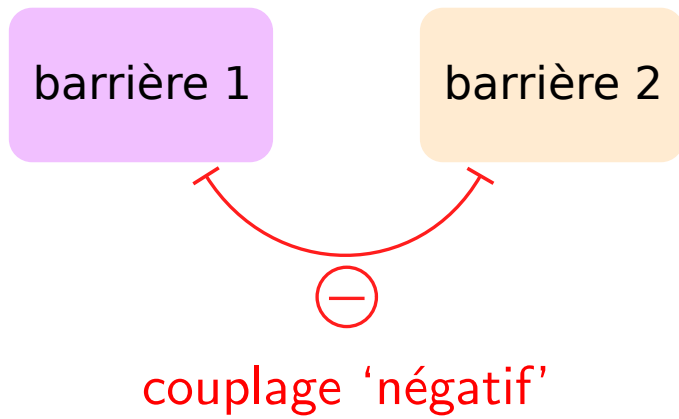
Dans ce contexte, la spéciation repose sur l'accumulation de barrières.

Butlin & Smadja, 2018; Dopman et al., 2024

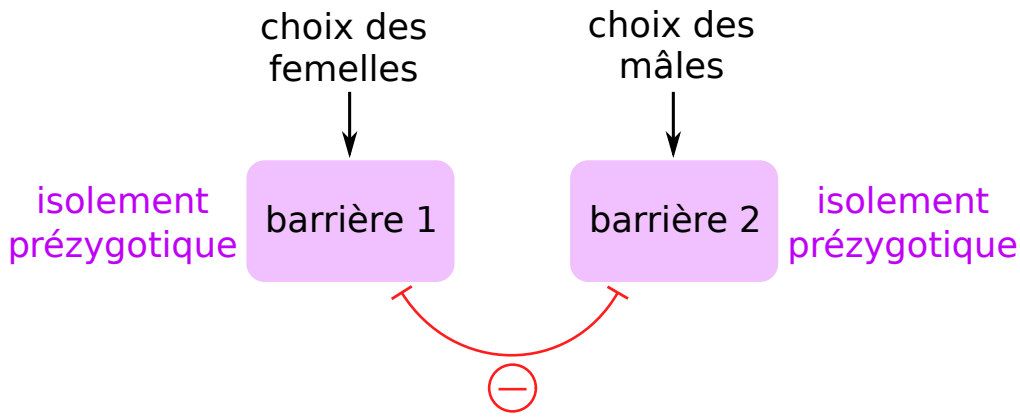
Le couplage entre les barrières reproductives augmente-t-il *nécessairement* l'isolement reproductif ?

Le couplage entre les barrières reproductives augmente-t-il *nécessairement* l'isolement reproductif ?

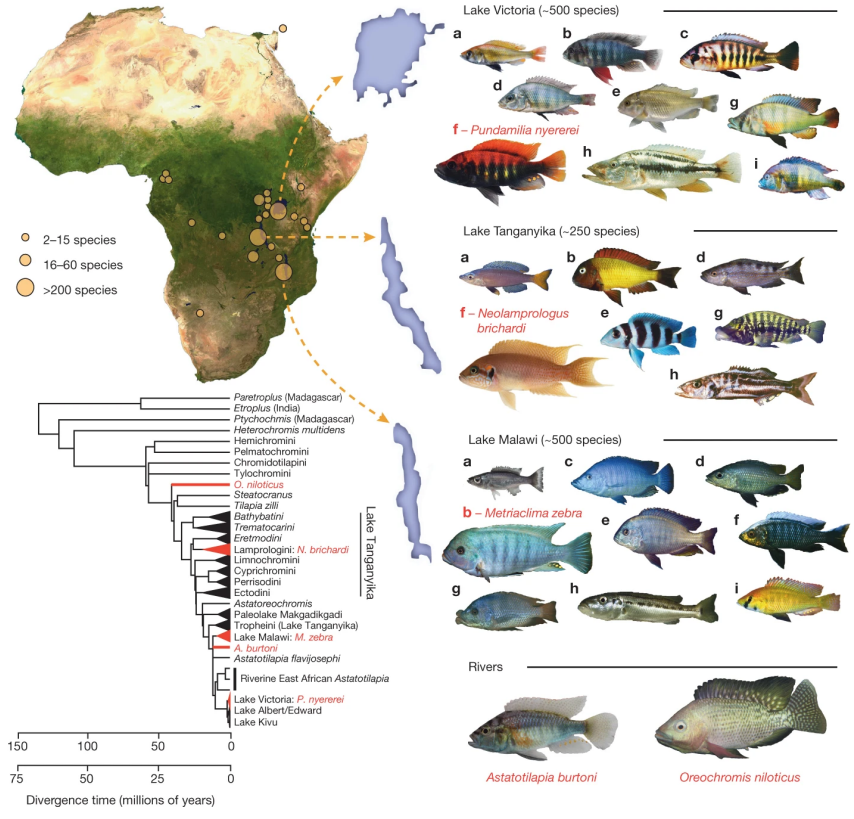
Spoiler : La réponse est **non**.



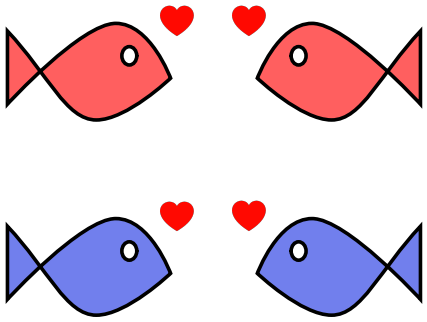
Première étude



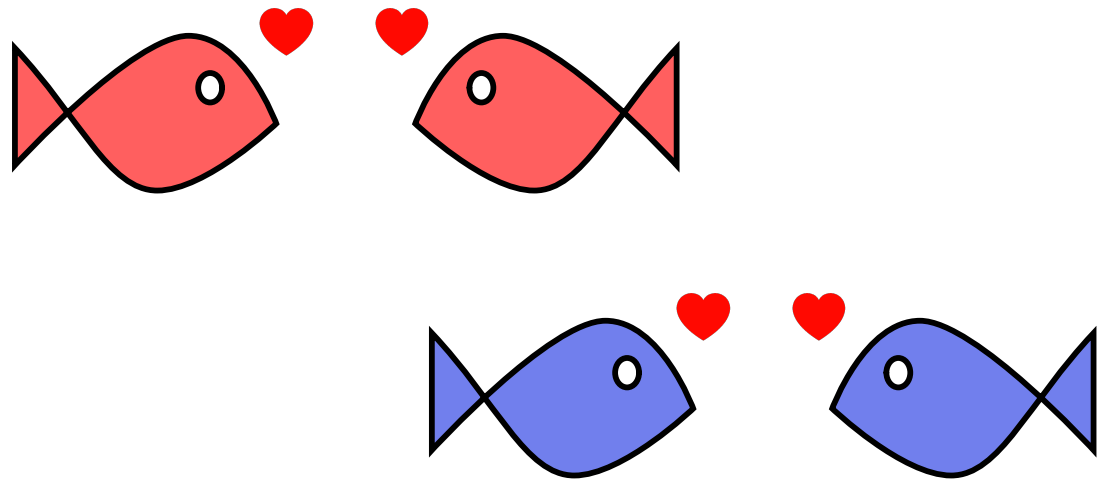
Aubier et al., 2019, *Nat. Commun.*



Brawand et al., 2014

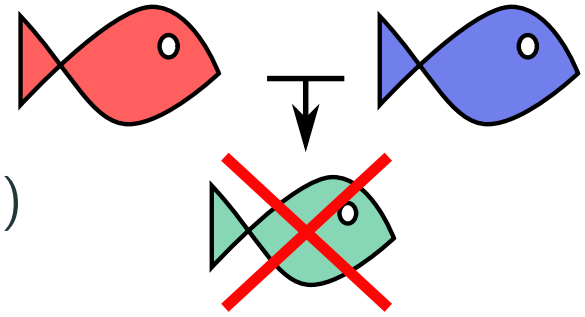


Seehausen et al., 1998
Pierotti et al., 2008
Thünken et al., 2012
Zoppoth et al., 2013
Meuthen et al., 2019

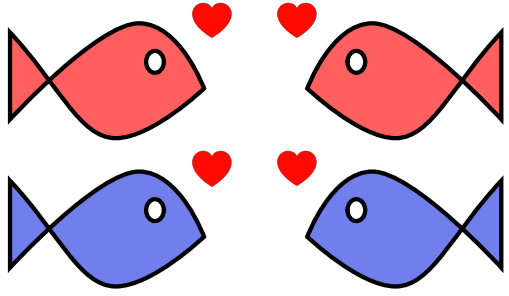


Que se passe-t-il si un choix assortatif peut être exprimé par les deux sexes ? Comment cela affecte-t-il l'isolement reproductif ?

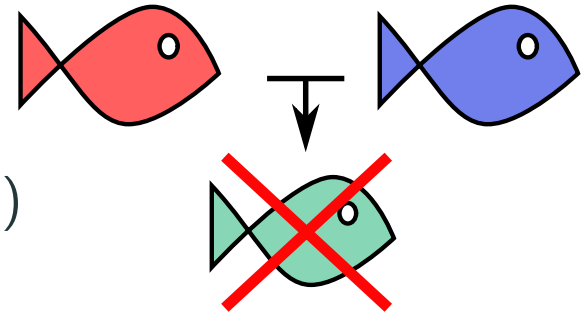
Trois loci génétiques diallélіques codant :



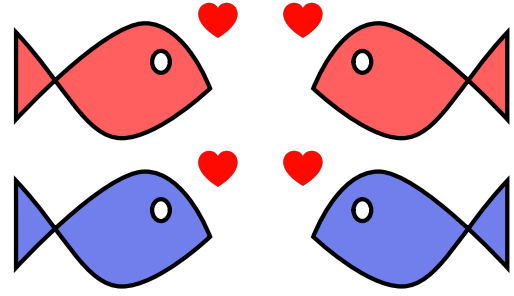
- un caractère écologique (un ‘trait magique’)
  - $\hookrightarrow$ sous sélection disruptive
  - $\hookrightarrow$ base pour un choix assortatif
- choix des femelles
- choix des mâles



Trois loci génétiques diallélliques codant :



- un caractère écologique (un 'trait magique')
  - ↪ sous sélection disruptive
  - ↪ base pour un choix assortatif
- choix des femelles
- choix des mâles



Différences entres femelles et mâles:

- toutes les femelles ont le même succès d'accouplement
- les mâles diffèrent dans leur succès d'accouplement
  - ↪ les mâles qui expriment un choix assortatif peuvent perdre des opportunités d'accouplement

Fréquence de chaque génotype i:

$$x_i^t \xrightarrow{\text{sélection de viabilité}} x_i^{\text{viab}} \xrightarrow[\text{(+ échantillonnage aléatoire)}]{\text{accouplement et production des descendants}} x_i^{t+1}$$

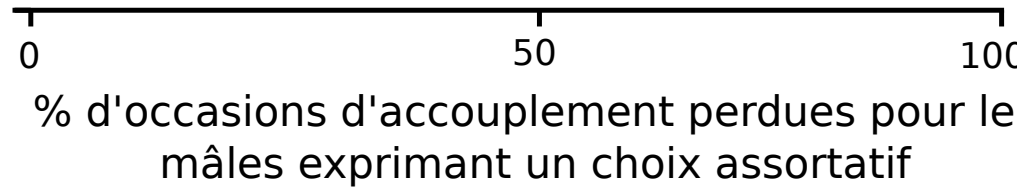
Fréquence de chaque génotype i:

$$x_i^t \xrightarrow{\text{sélection de viabilité}} x_i^{\text{viab}} \xrightarrow[\text{(+ échantillonnage aléatoire)}]{\text{accouplement et production des descendants}} x_i^{t+1}$$

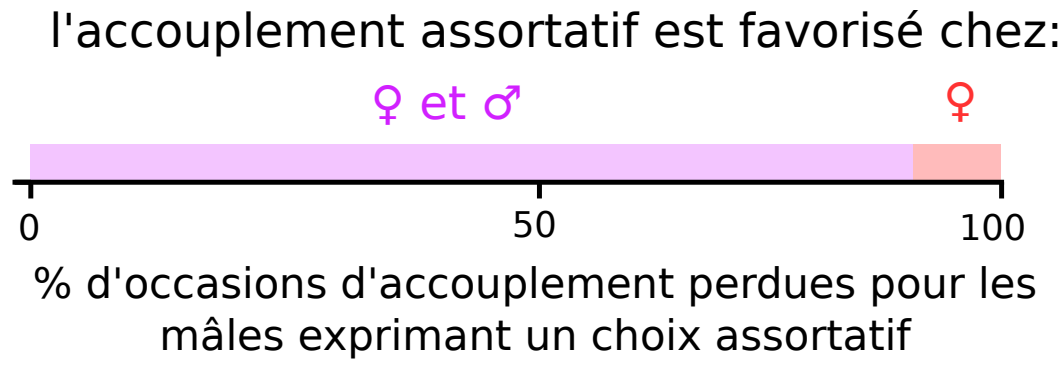
Fréquence des allèles codant le choix assortatif des femelles et des mâles à l'équilibre ?

Taux d'hybridation à l'équilibre ?

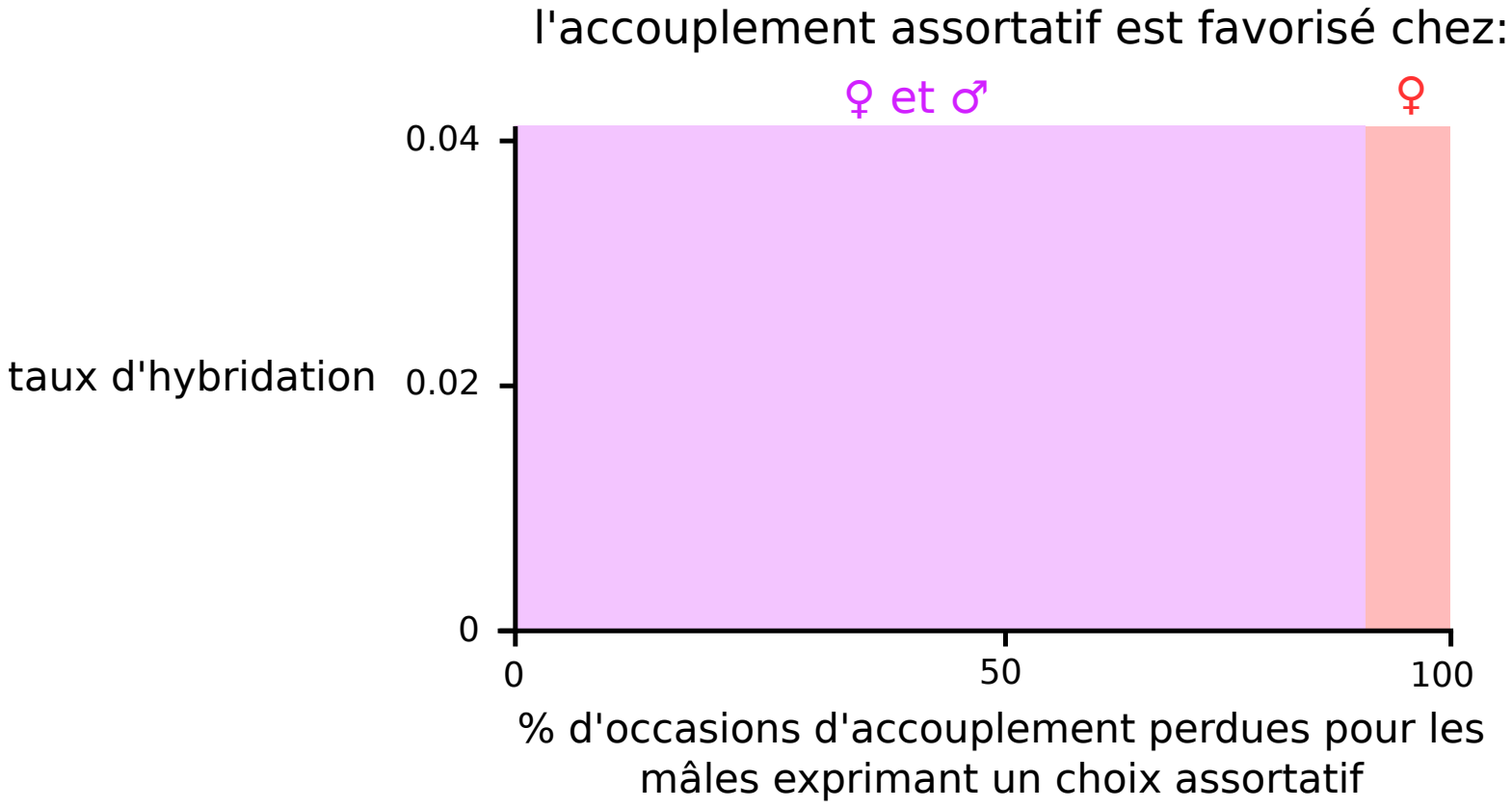
Analyse


0
50
100
% d'occasions d'accouplement perdues pour les mâles exprimant un choix assortatif

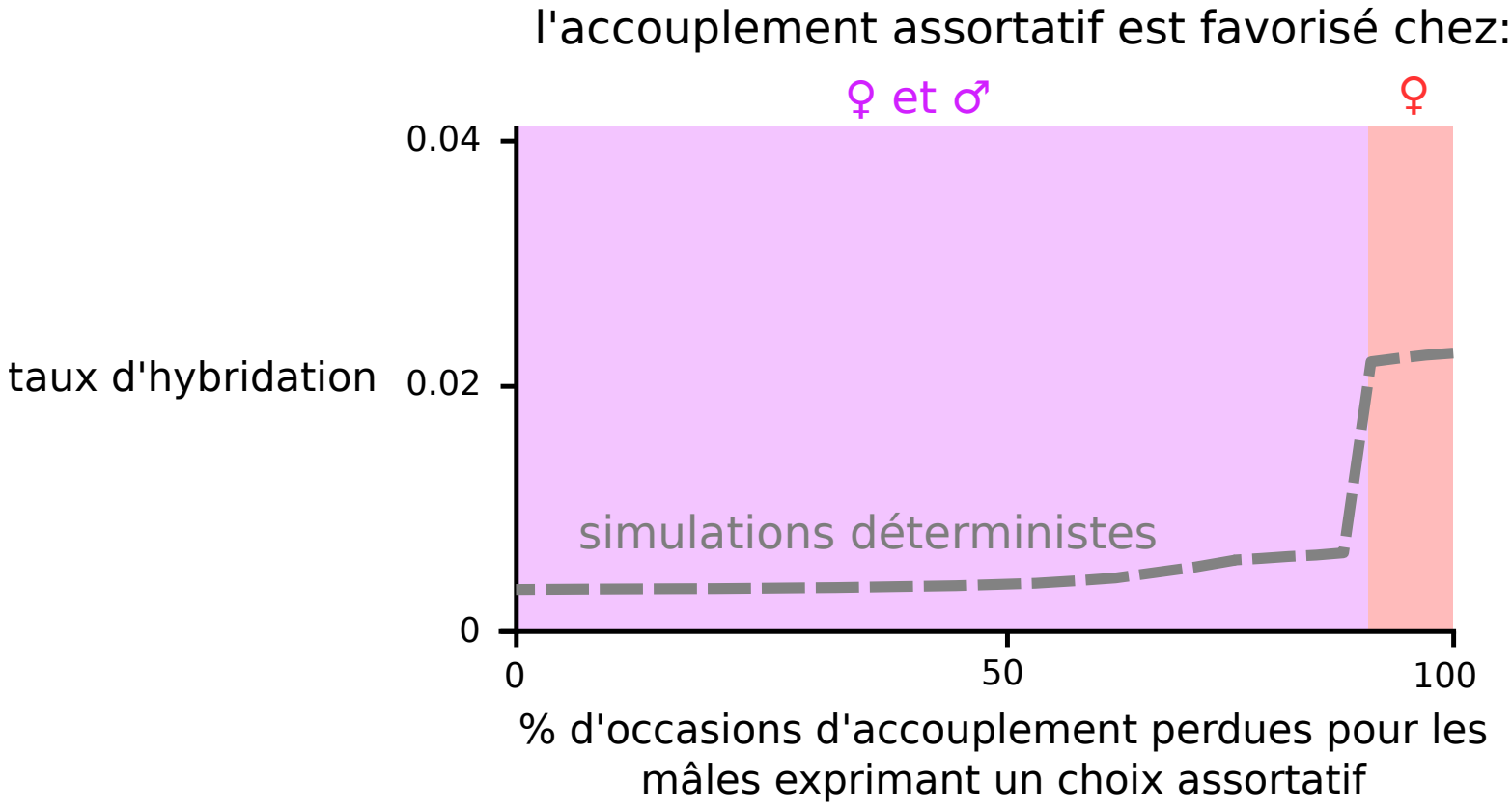
Analyse


l'accouplement assortatif est favorisé chez:
♀ et ♂
♀
0
50
100
% d'occasions d'accouplement perdues pour les mâles exprimant un choix assortatif

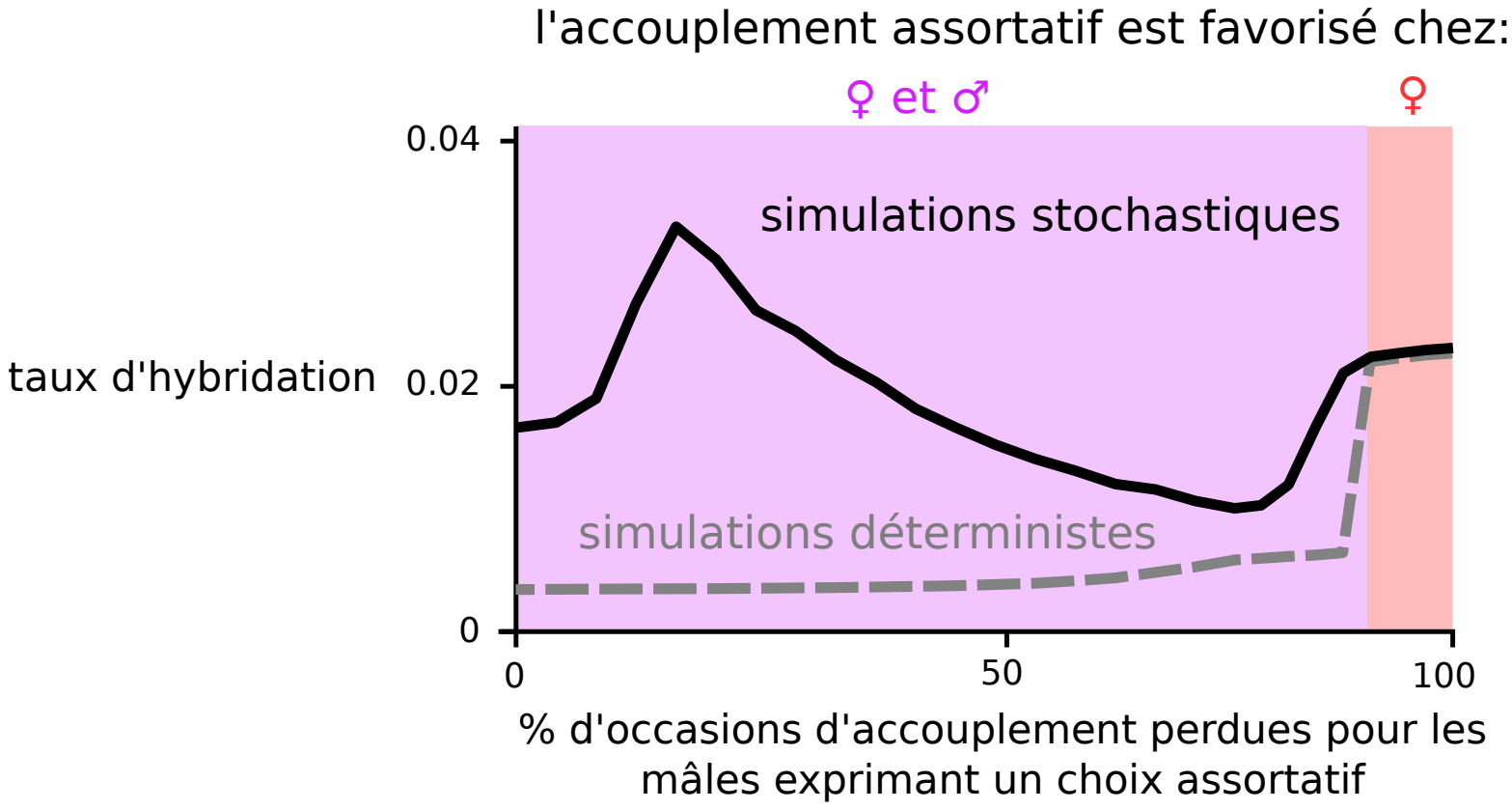
Analyse


l'accouplement assortatif est favorisé chez:
♀ et ♂
♀
taux d'hybridation
0.04
0.02
0
0
50
100
% d'occasions d'accouplement perdues pour les mâles exprimant un choix assortatif

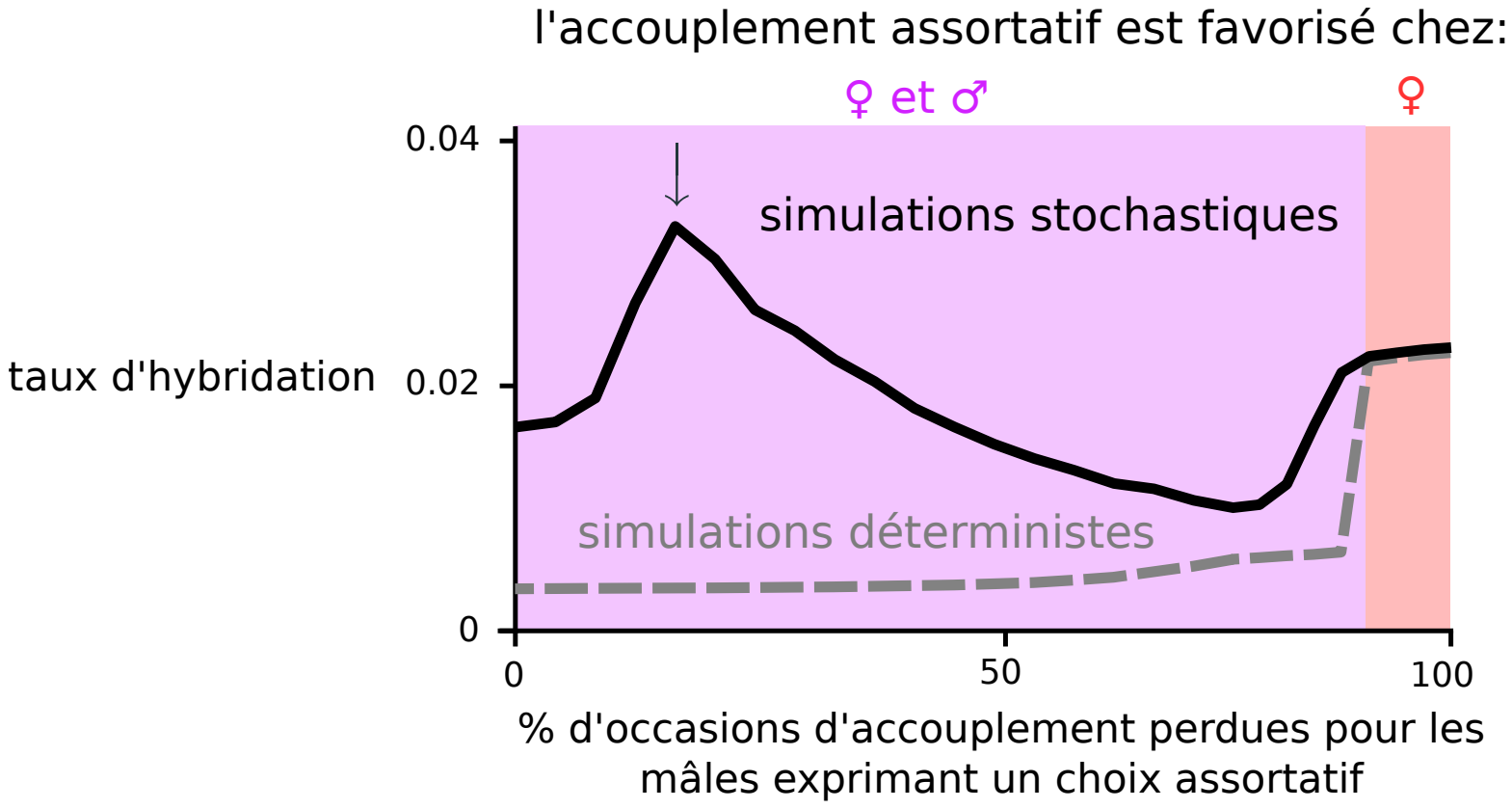
Analyse


l'accouplement assortatif est favorisé chez:
♀ et ♂
♀
taux d'hybridation
0.04
0.02
0
simulations déterministes
0
50
100
% d'occasions d'accouplement perdues pour les mâles exprimant un choix assortatif

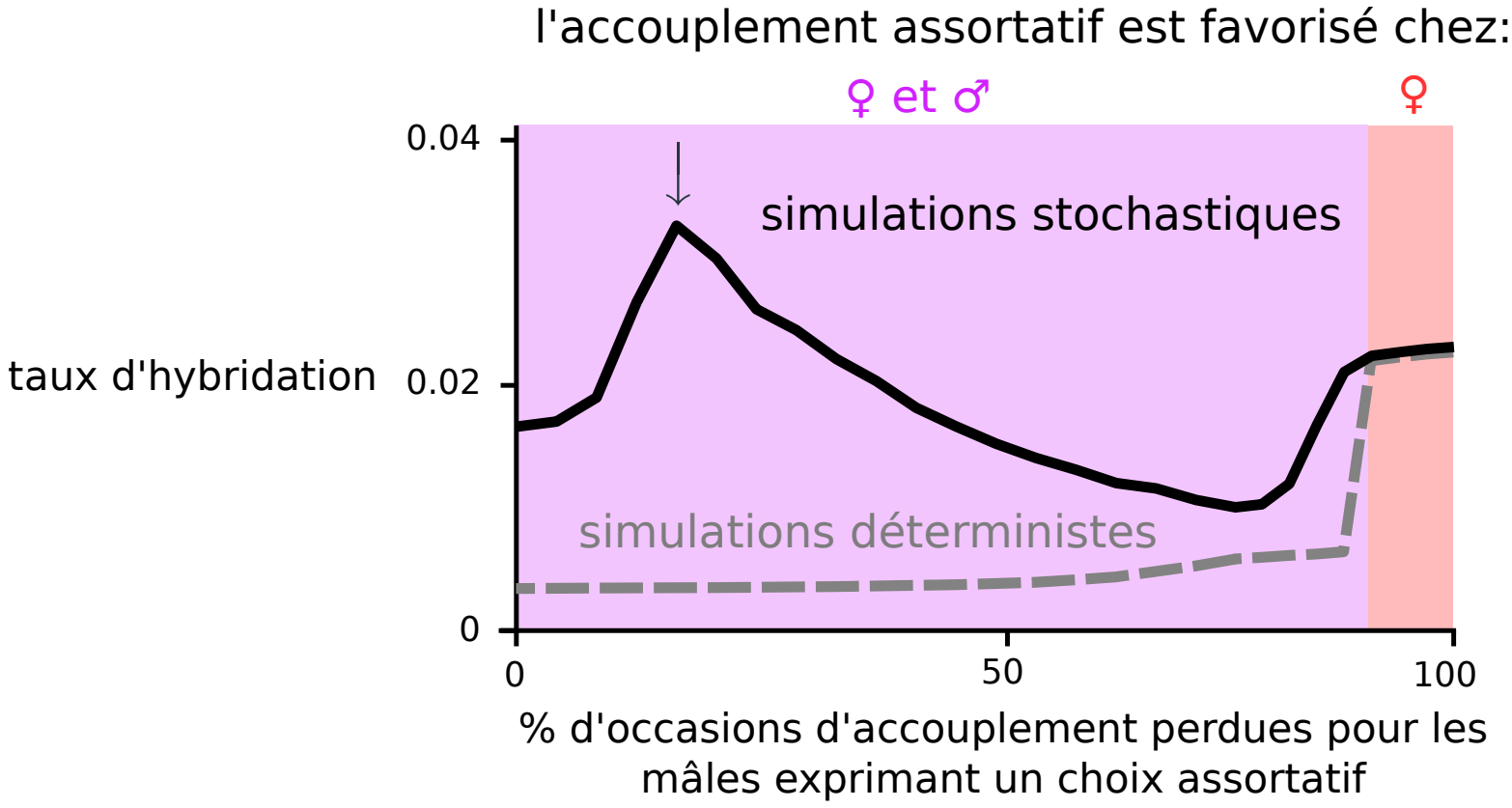
Analyse


l'accouplement assortatif est favorisé chez:
♀ et ♂
♀
0.04
0.02
0
taux d'hybridation
simulations stochastiques
simulations déterministes
0
50
100
% d'occasions d'accouplement perdues pour les mâles exprimant un choix assortatif

Analyse

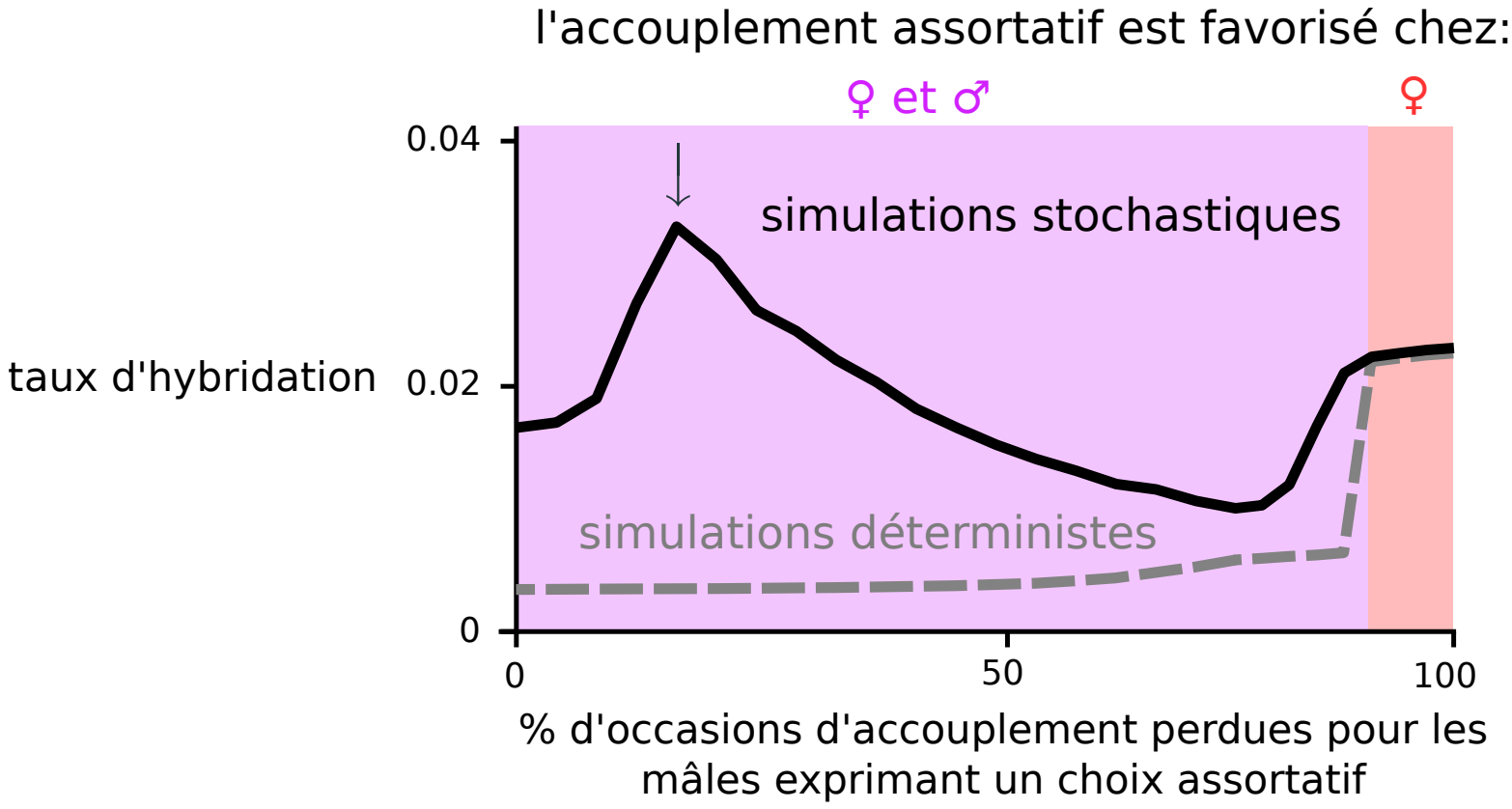

l'accouplement assortatif est favorisé chez:
♀ et ♂
♀
0.04
0.02
0
taux d'hybridation
simulations stochastiques
simulations déterministes
0
50
100
% d'occasions d'accouplement perdues pour les mâles exprimant un choix assortatif

Analyse



L'isolement reproductif peut être plus faible *en moyenne* lorsque les barrières surviennent ensemble.

Analyse

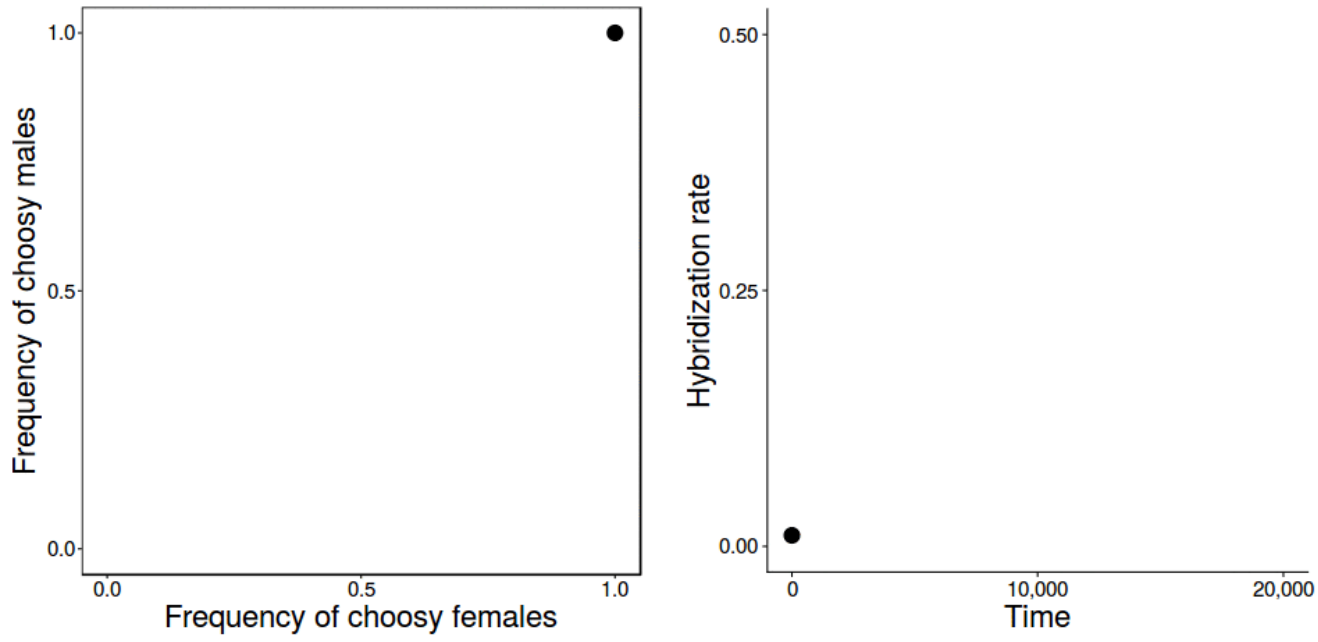


L'isolement reproductif peut être plus faible *en moyenne* lorsque les barrières surviennent ensemble.

$\longrightarrow$ Action conjointe de la dérive génétique et de la sélection

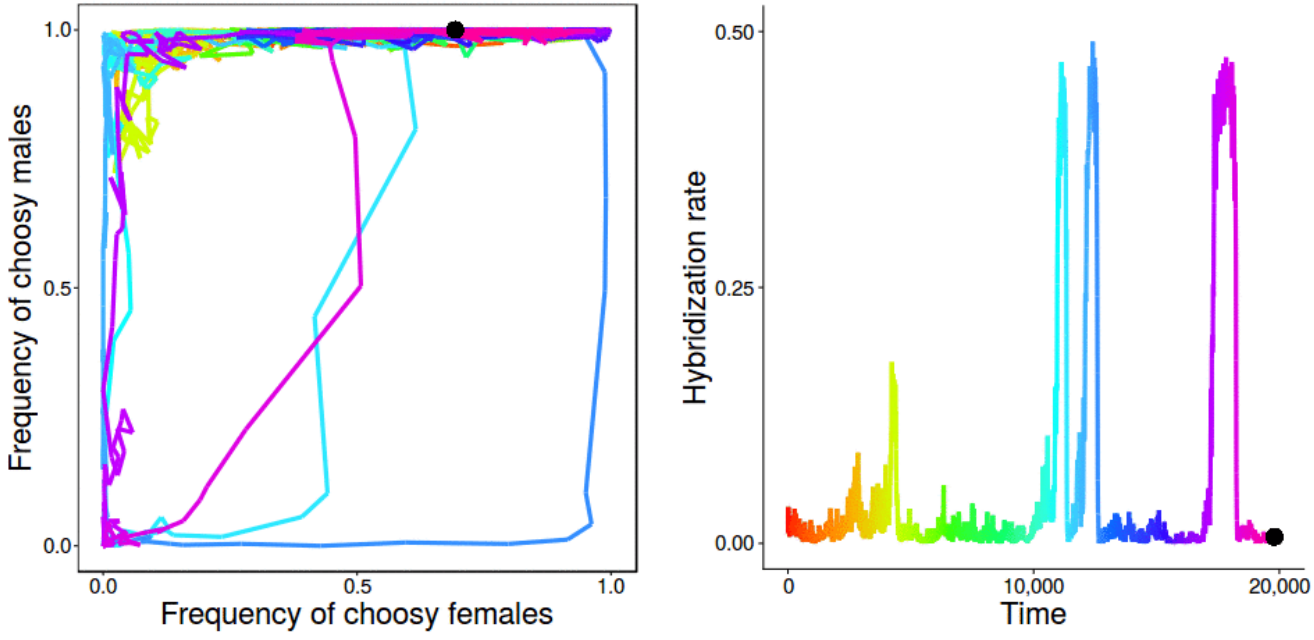
Simulation stochastique

Quand la sélection favorise un choix mutuel :



Simulation stochastique

Quand la sélection favorise un choix mutuel :

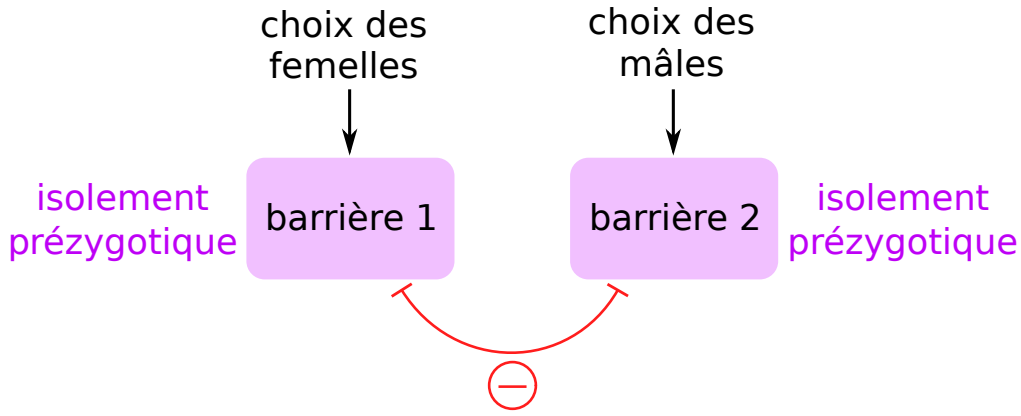


L'isolement reproductif est **instable**

Vous vous souvenez des soirées de rencontre ?

Vous vous souvenez des soirées de rencontre ?

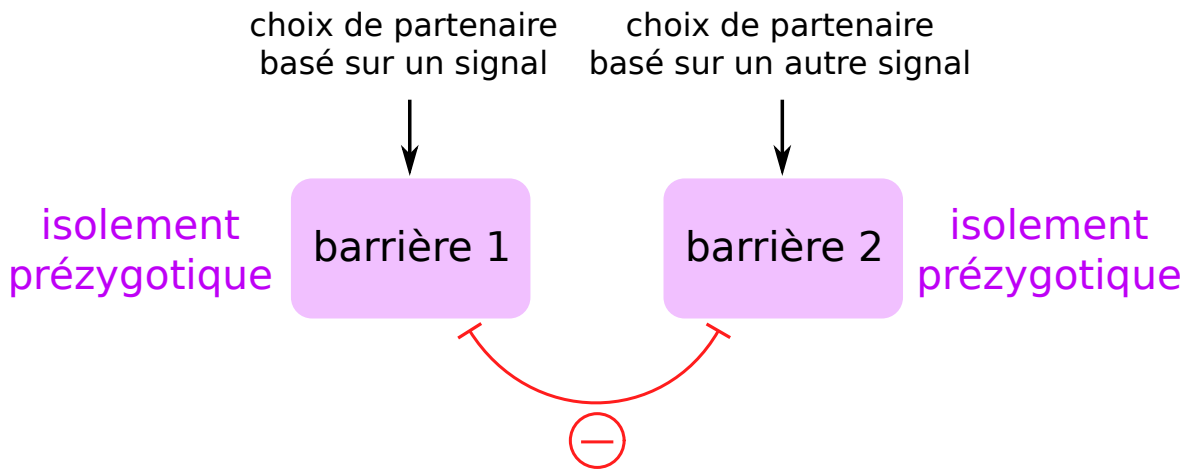
La sélection sur le choix assortatif d'un sexe dépend du choix assortatif de l'autre sexe.



‘couplage négatif’ causé par l’interaction entre
la sélection et la dérive génétique

Aubier et al., 2019, *Nat. Commun.*

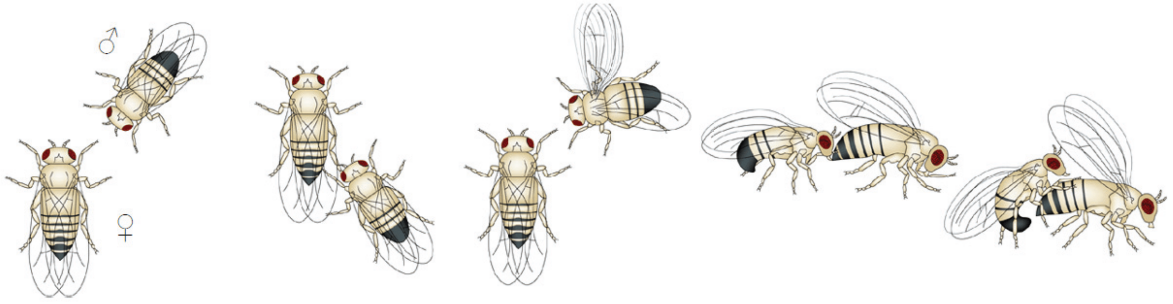
Deuxième étude



Aubier et al., 2024, *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.*

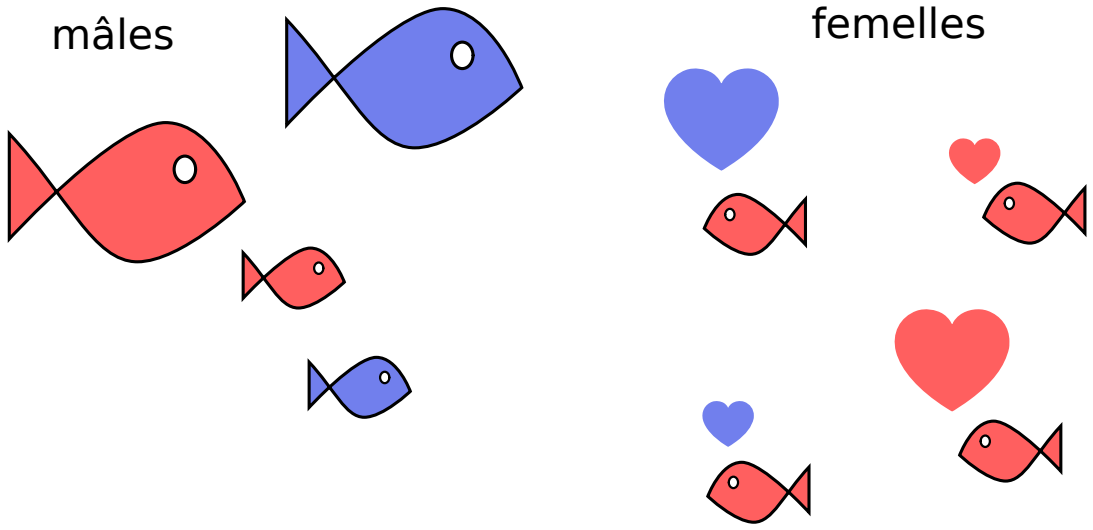
Les signaux d'accouplement sont souvent multimodaux chez les animaux.

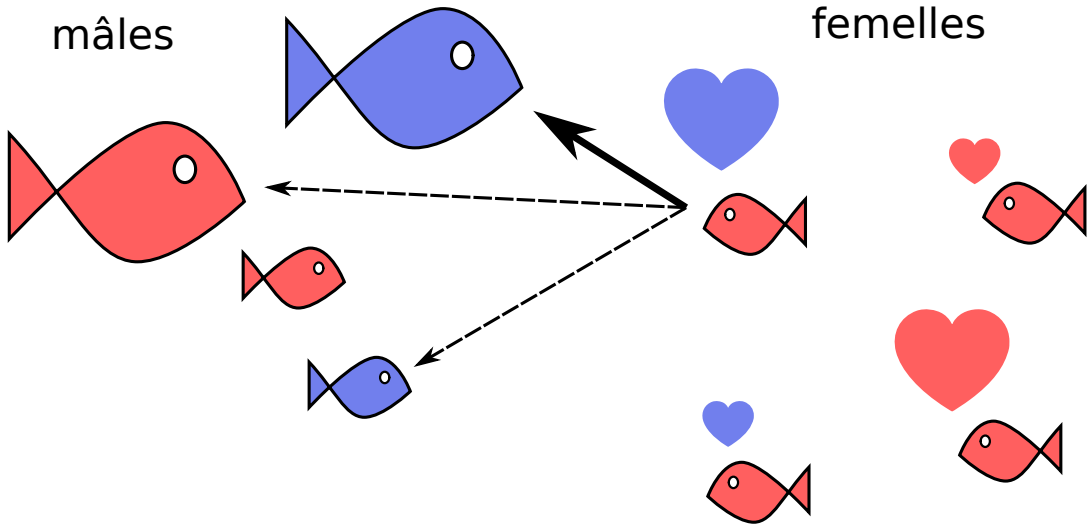
Il s'agit notamment de combinaisons de signaux acoustiques et visuels.

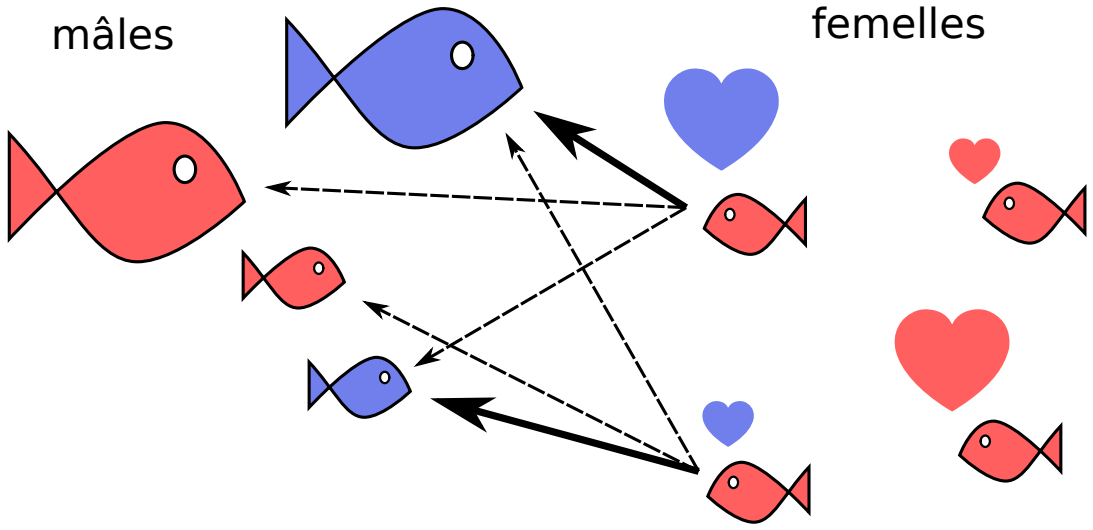


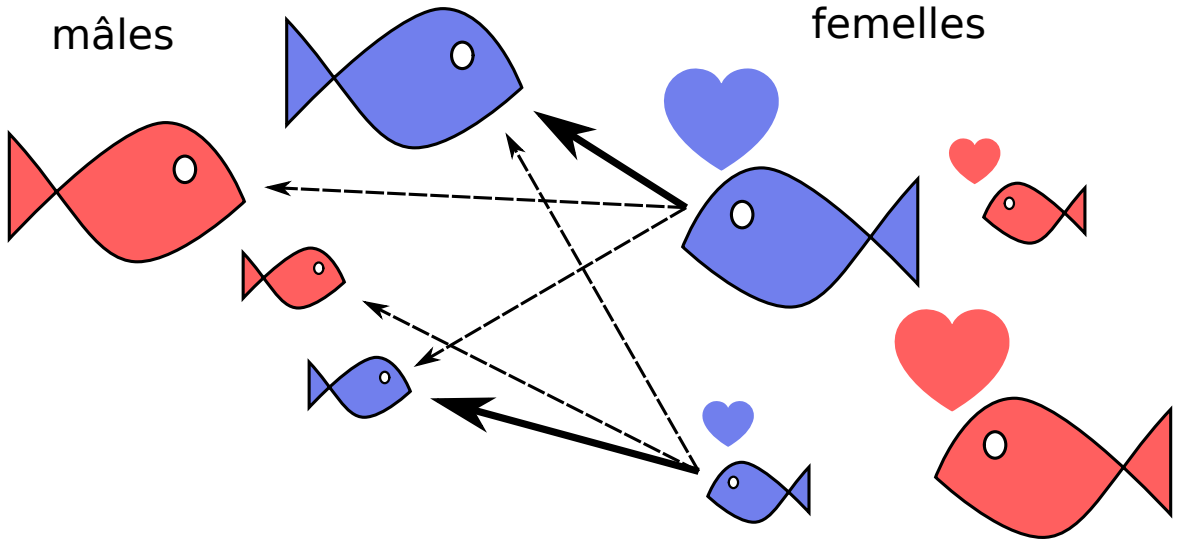
adapted from Sokolowski, 2001

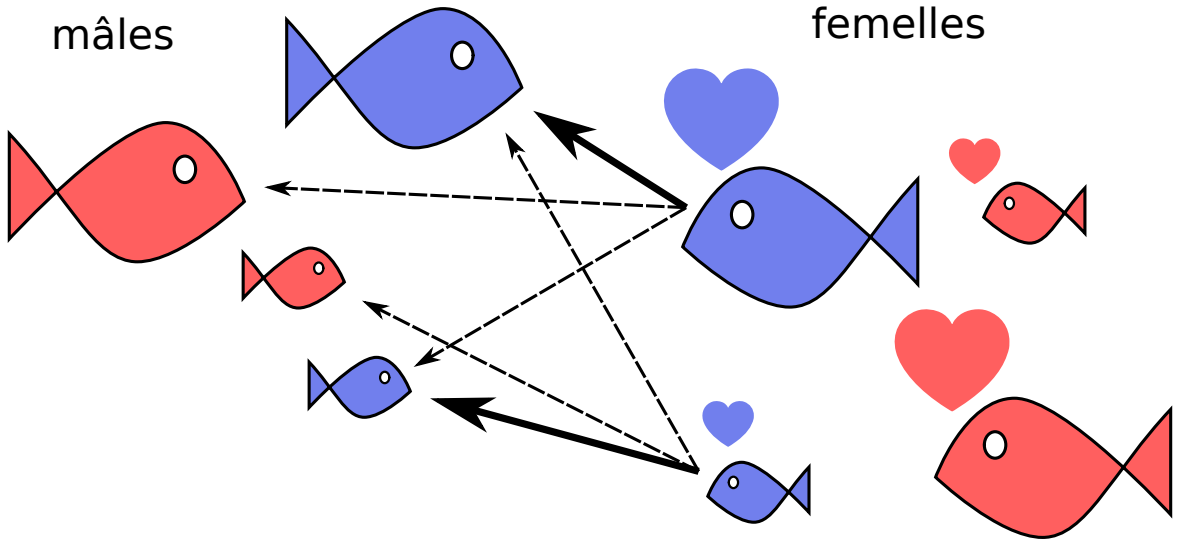
Halfwerk et al., 2019; Mitoyen et al., 2019


mâles
femelles


mâles
femelles

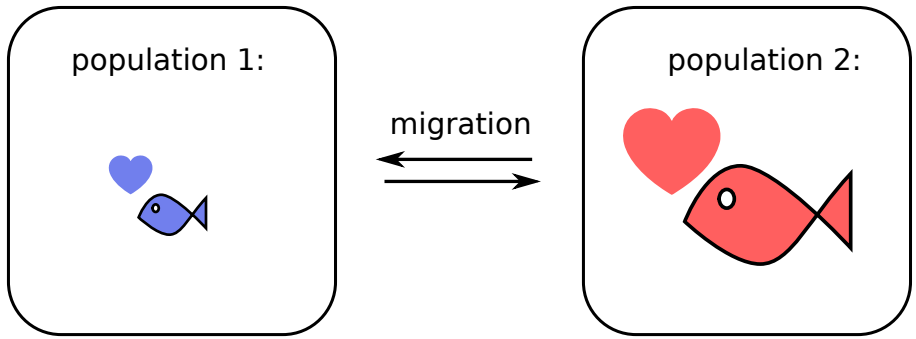

mâles
femelles


mâles
femelles

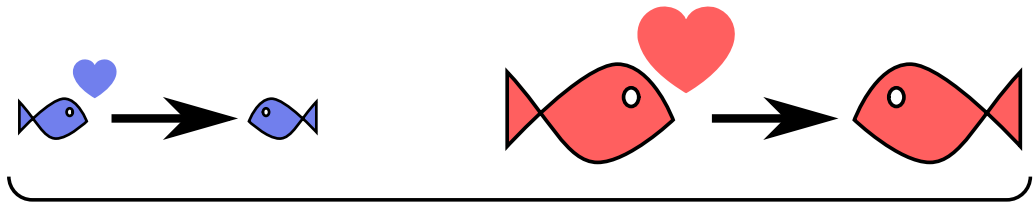


Que se passe-t-il si l'accouplement assortatif peut être médié par des signaux multiples et leurs préférences associées ?

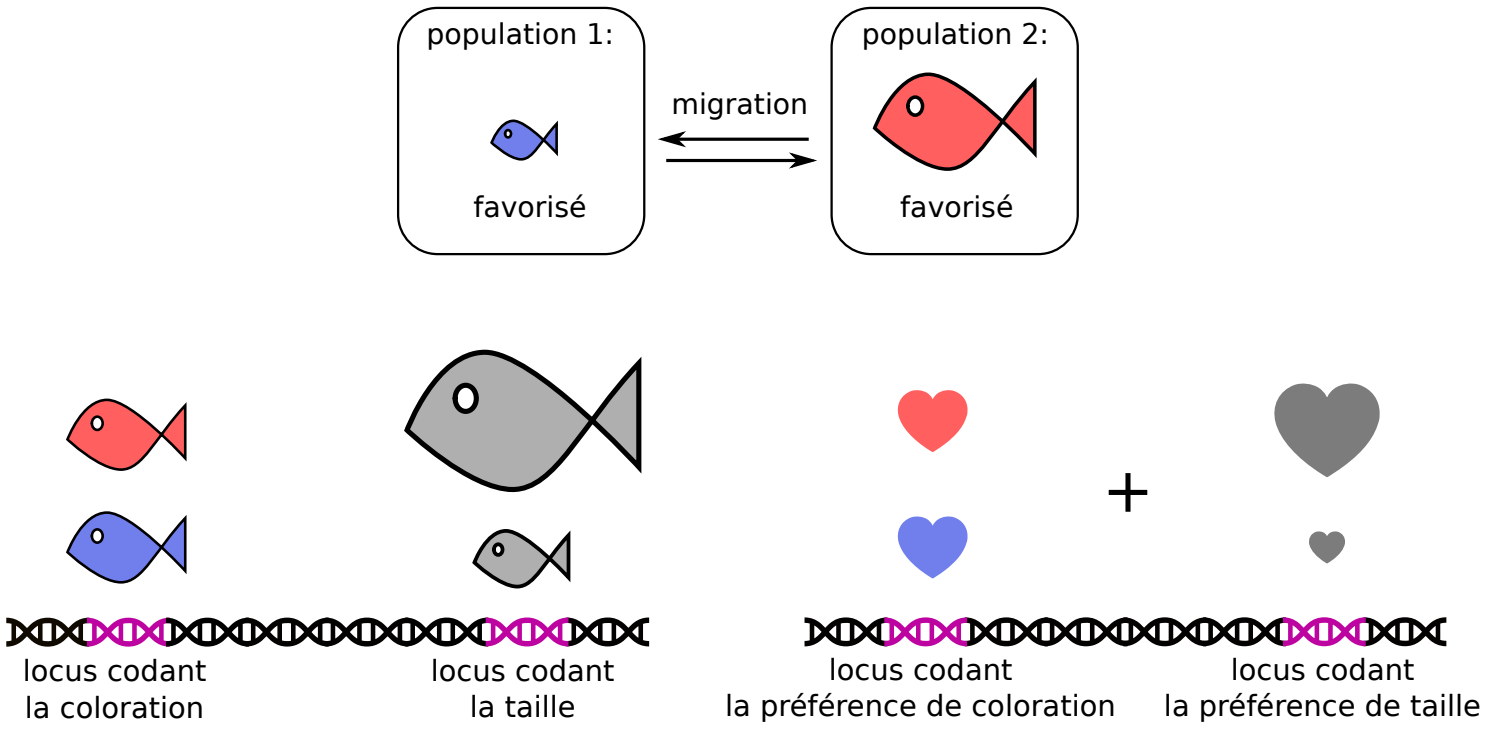
Fort isolement reproductif ?

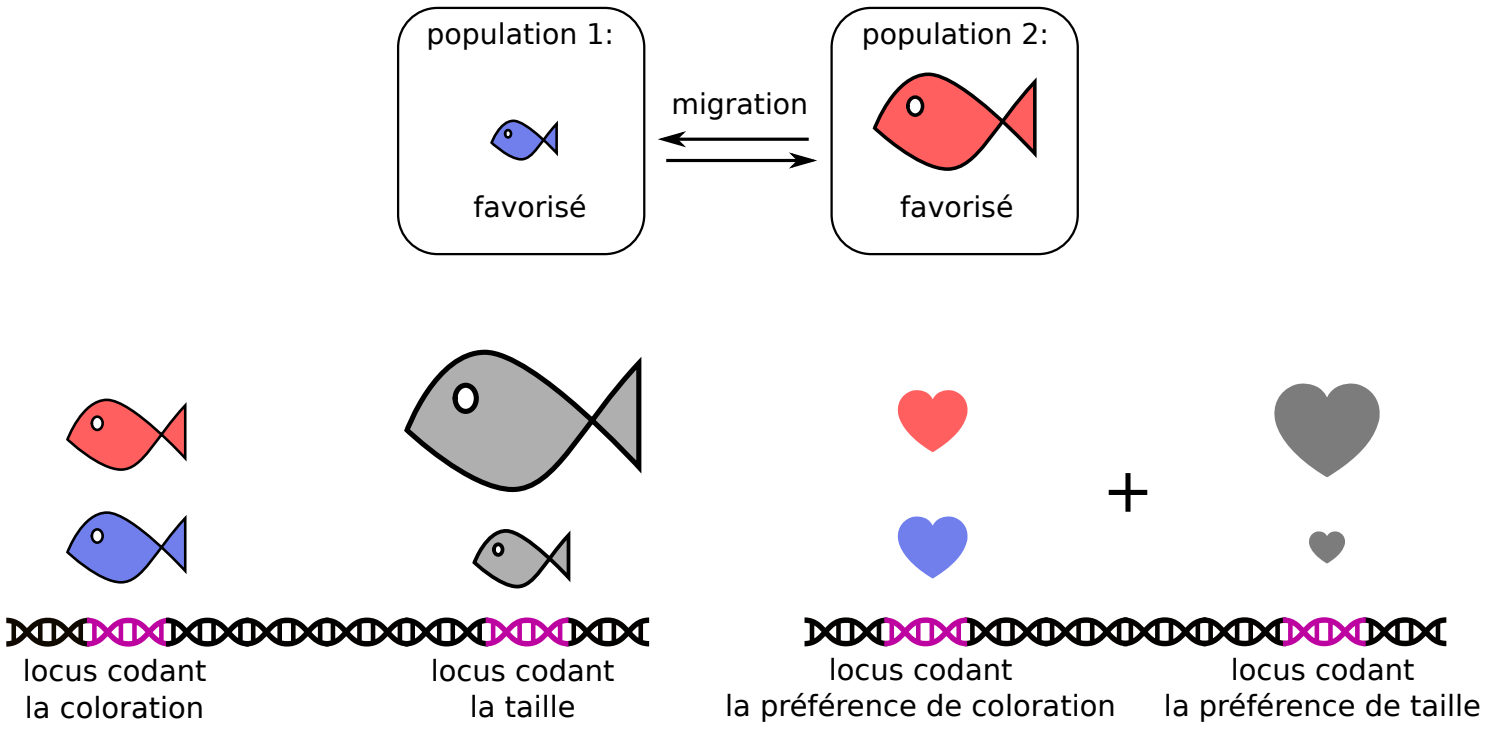


si associations
génétiques positives:



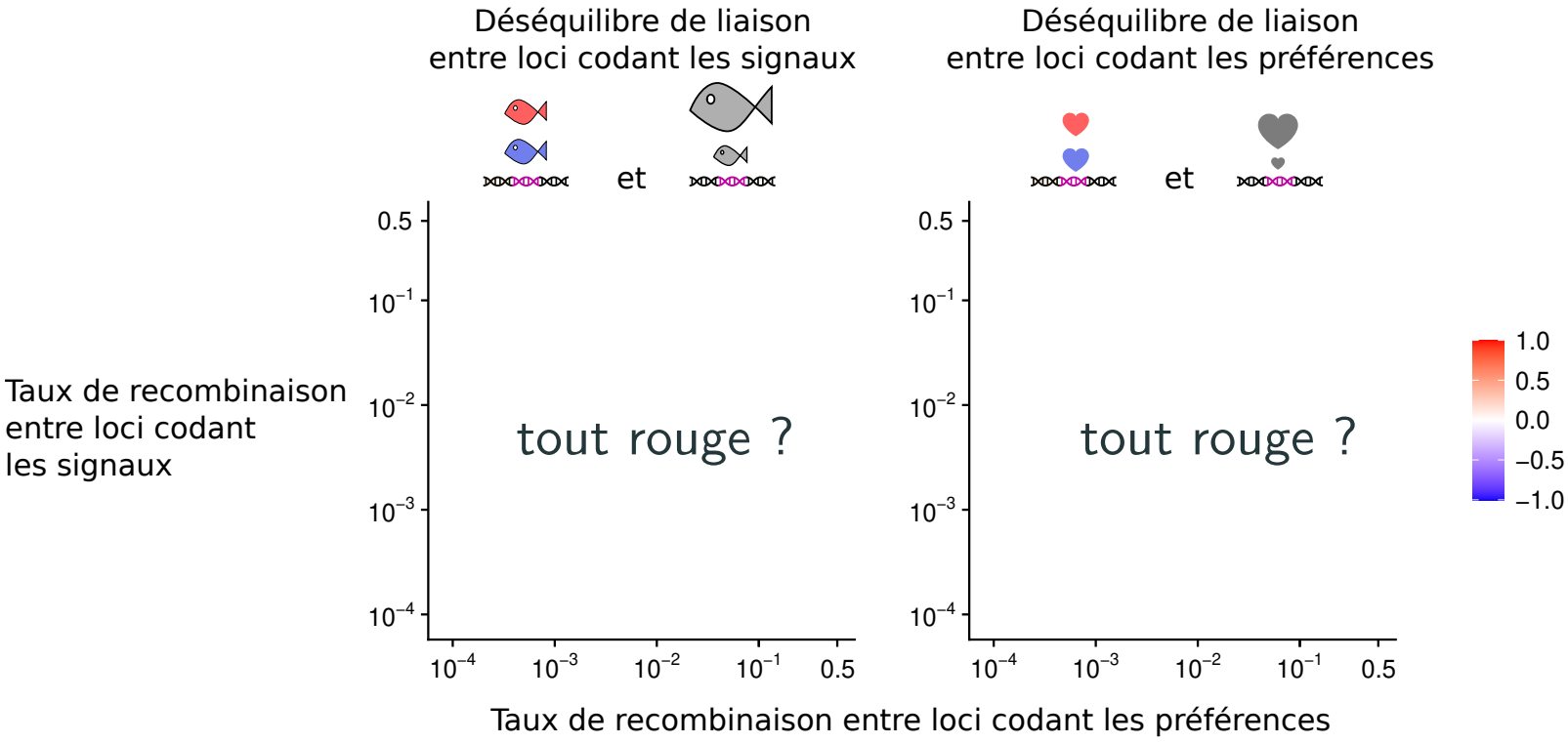
accouplement fortement assortatif

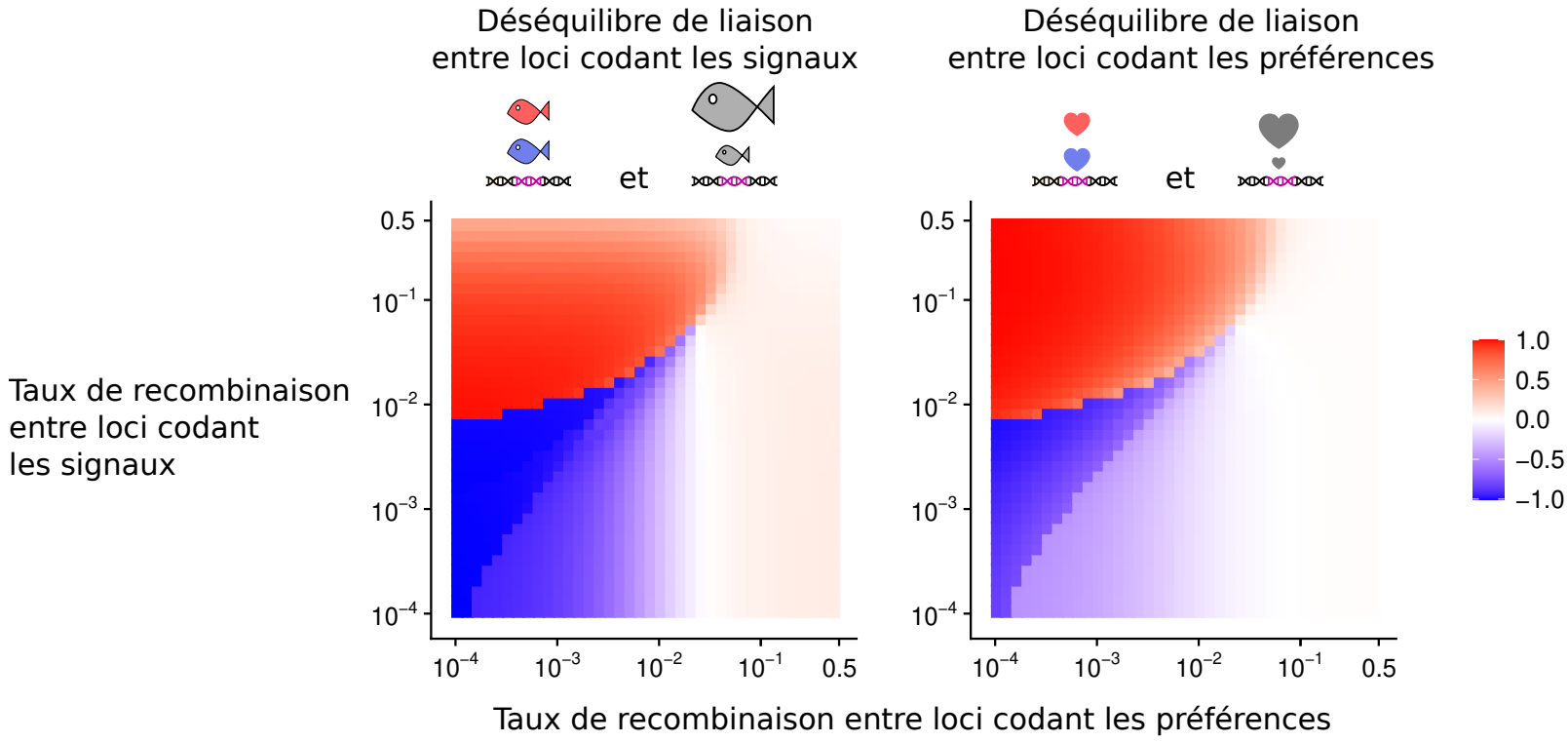

population 1:
favorisé
migration
population 2:
favorisé
locus codant
la coloration
locus codant
la taille
locus codant
la préférence de coloration
locus codant
la préférence de taille

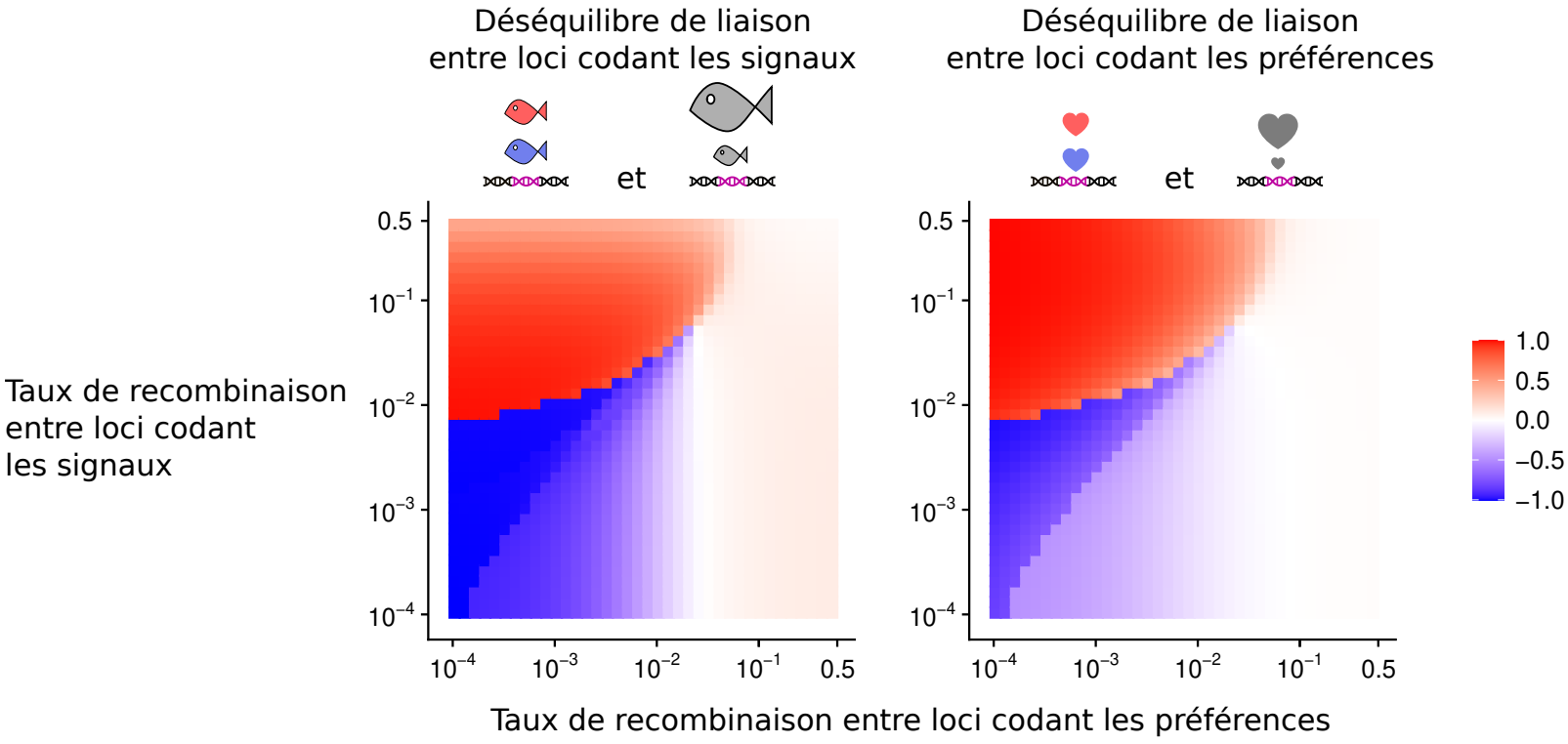


Déséquilibres de liaison (= associations génétiques) à l'équilibre ?

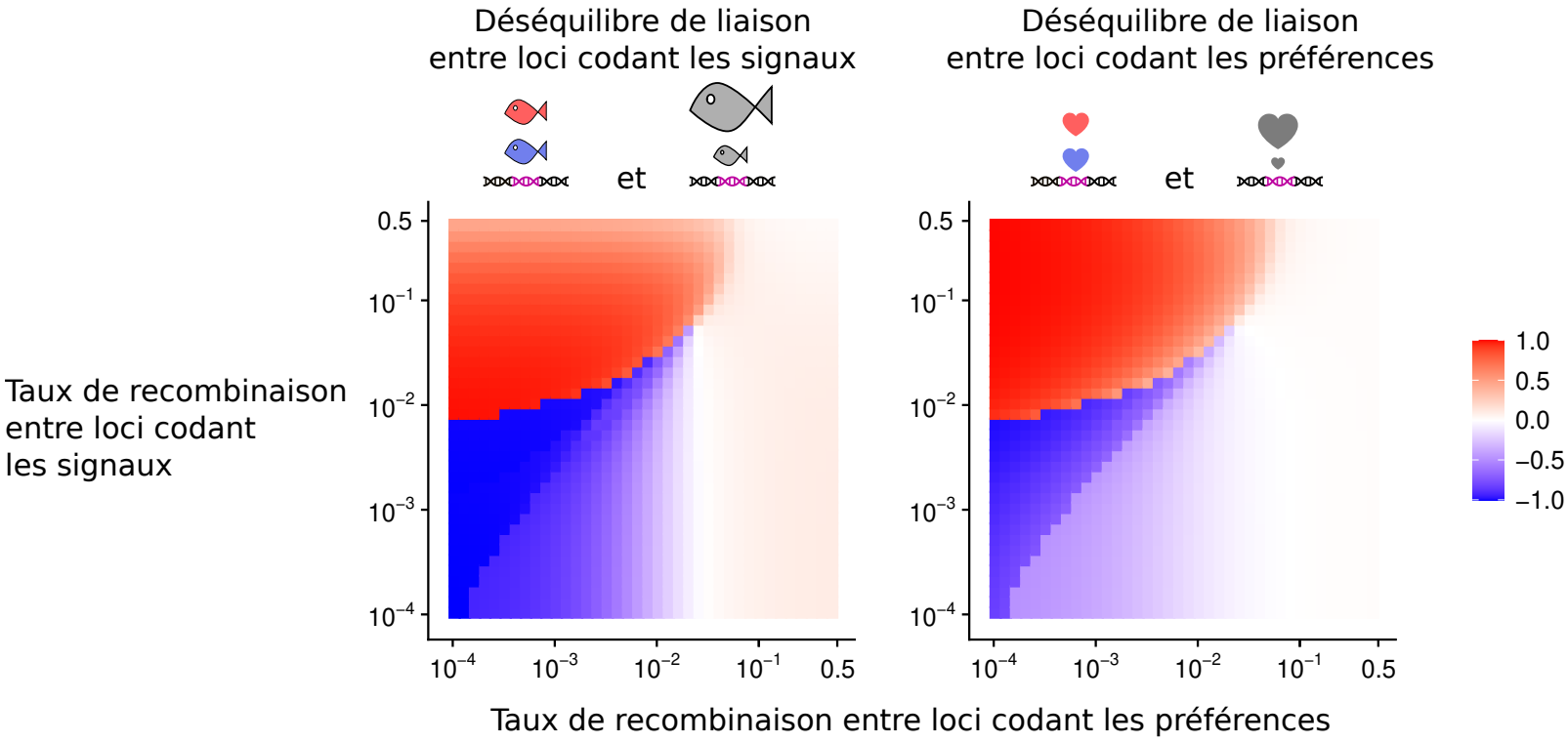
Isolement reproductif lorsqu'il y a un ou deux loci de préférence ?


Déséquilibre de liaison
entre loci codant les signaux
et
Déséquilibre de liaison
entre loci codant les préférences
et
Taux de recombinaison
entre loci codant
les signaux
0.5
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
tout rouge ?
tout rouge ?
10^{-4}
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
0.5
Taux de recombinaison entre loci codant les préférences
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0


Déséquilibre de liaison
entre loci codant les signaux
et
Déséquilibre de liaison
entre loci codant les préférences
et
Taux de recombinaison
entre loci codant
les signaux
0.5
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-4}
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
0.5
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
Taux de recombinaison entre loci codant les préférences

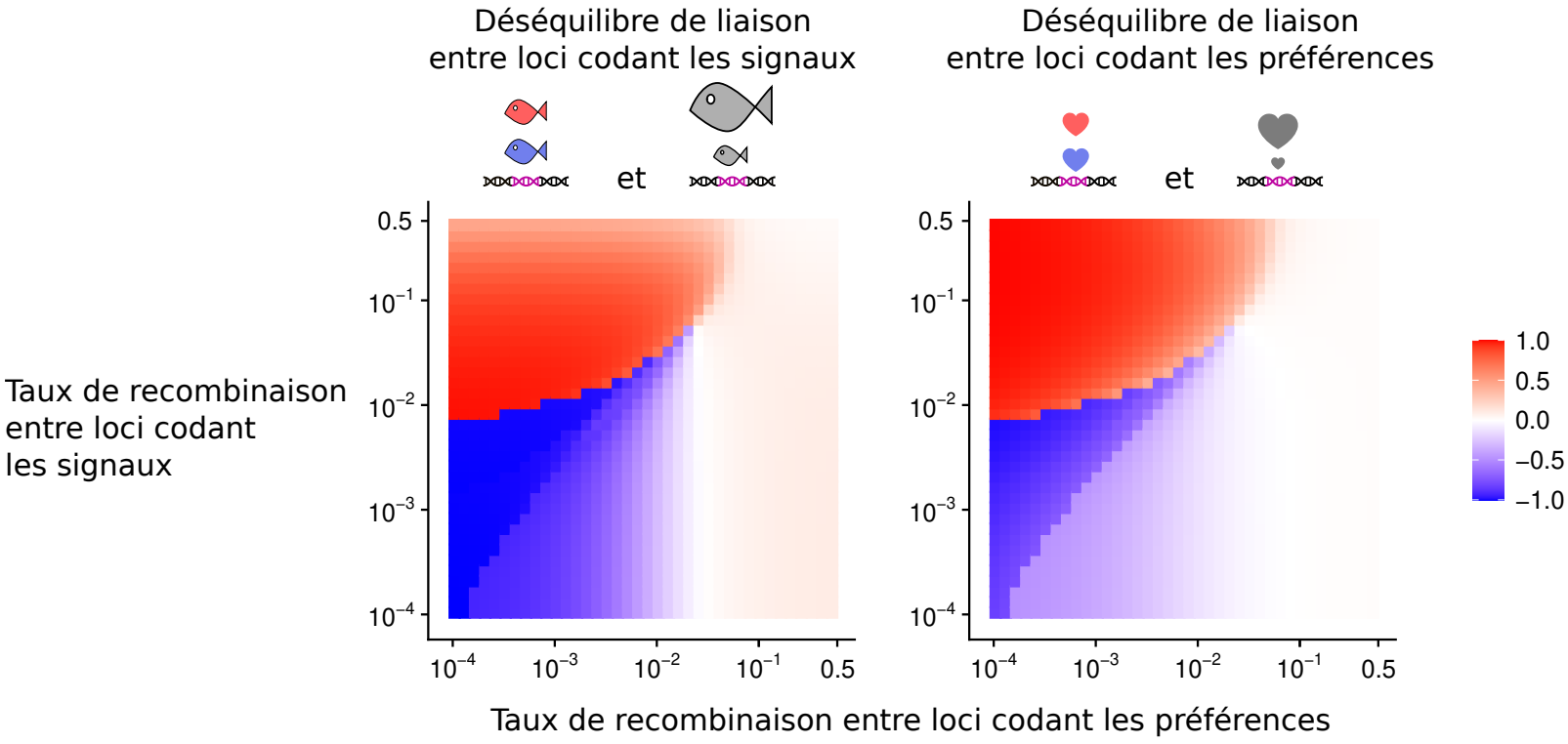


Des déséquilibres de liaison négatif s'établissent entre les loci : les recombinants deviennent fréquents.



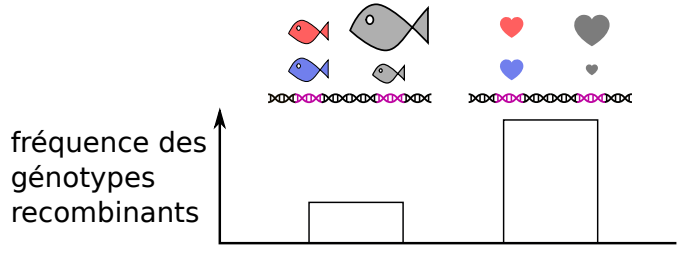
Des déséquilibres de liaison négatif s'établissent entre les loci : les recombinants deviennent fréquents.

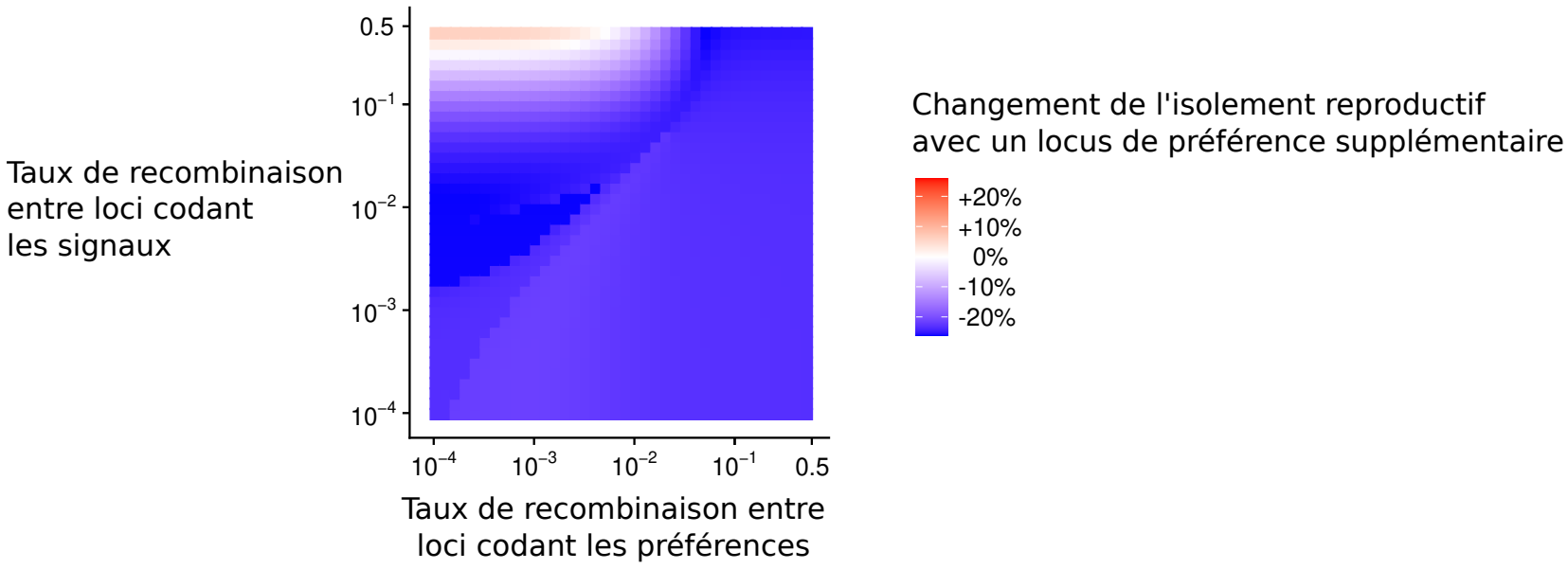
C'est parce que les recombinants ont un fort succès d'accouplement.

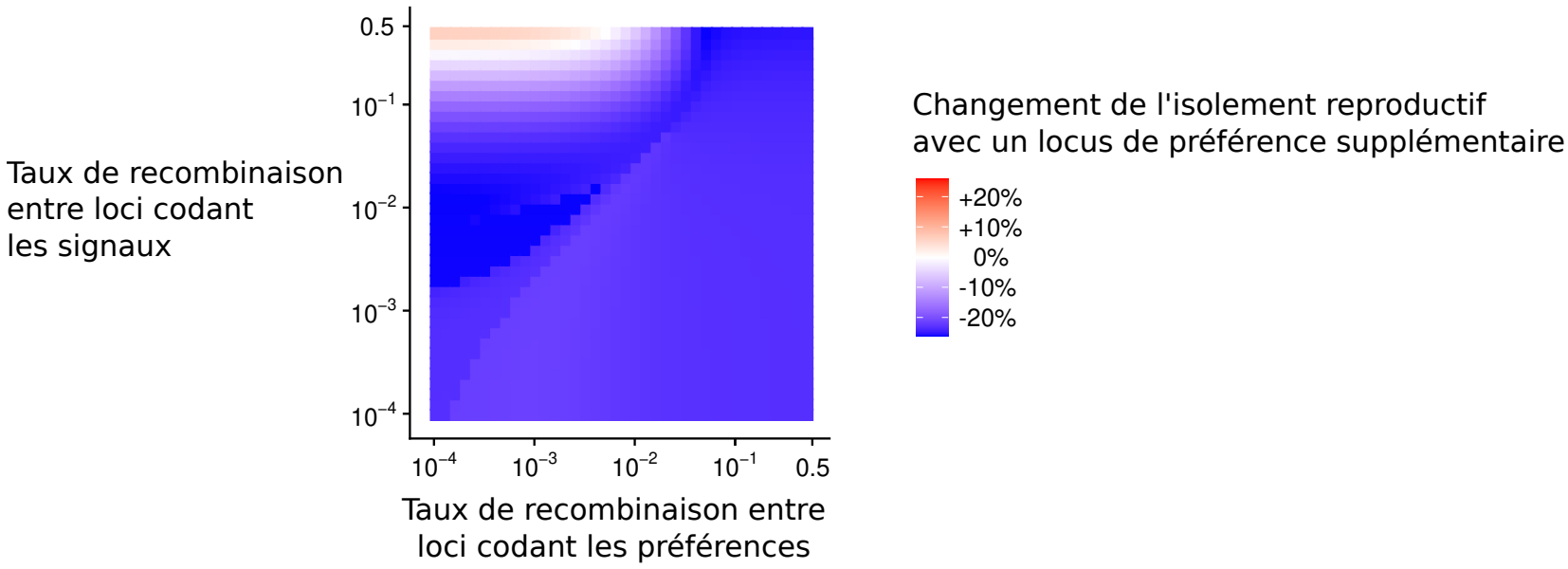


Des déséquilibres de liaison négatif s'établissent entre les loci : les recombinants deviennent fréquents.

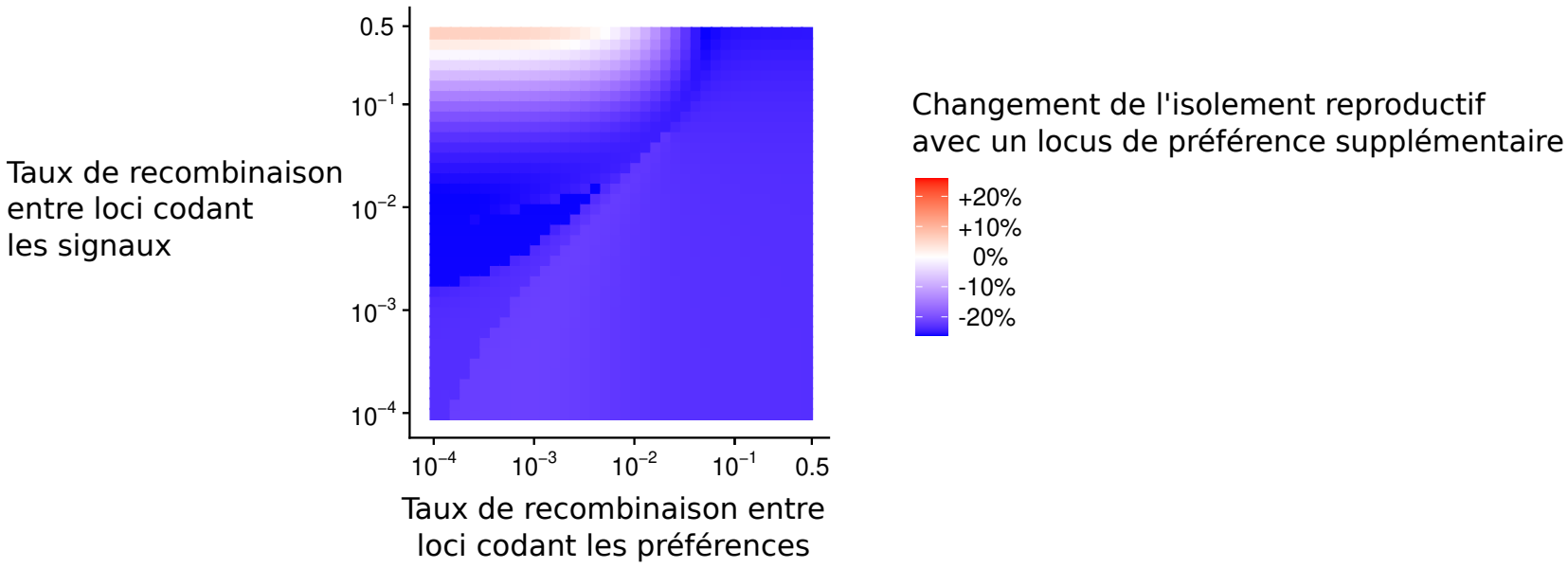
C'est parce que les recombinants ont un fort succès d'accouplement.




Taux de recombinaison entre loci codant les signaux
0.5
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-4}
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
0.5
Taux de recombinaison entre loci codant les préférences
Changement de l'isolement reproductif avec un locus de préférence supplémentaire
+20%
+10%
0%
-10%
-20%



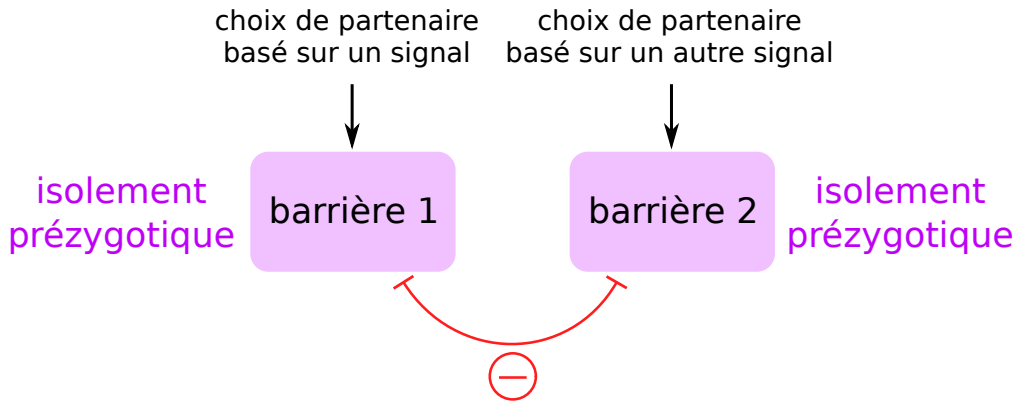
L'isolement reproductif est souvent plus faible lorsque le choix de partenaire sexuel est basé sur des signaux multiples.



L'isolement reproductif est souvent plus faible lorsque le choix de partenaire sexuel est basé sur des signaux multiples.

C'est parce que :

- le déséquilibre de liaison négatif réduit l'adaptation locale
- la sélection sexuelle réduit l'adaptation locale (Servedio & Bürger, 2014)



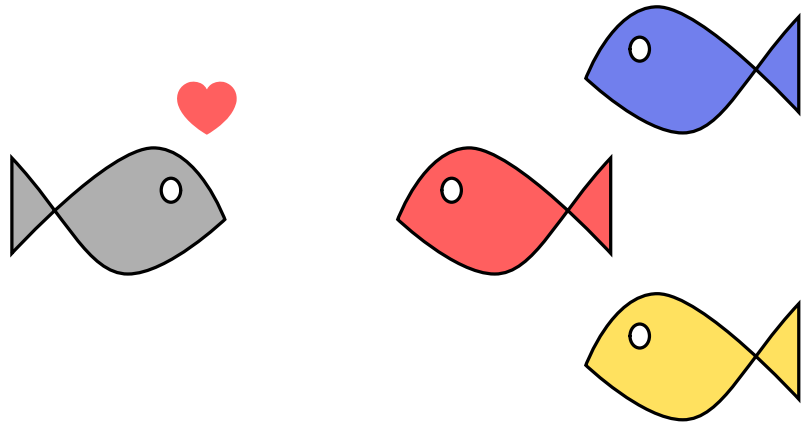
‘couplage négatif’ causé par la sélection sexuelle

Aubier et al., 2024, *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.*

Conclusion

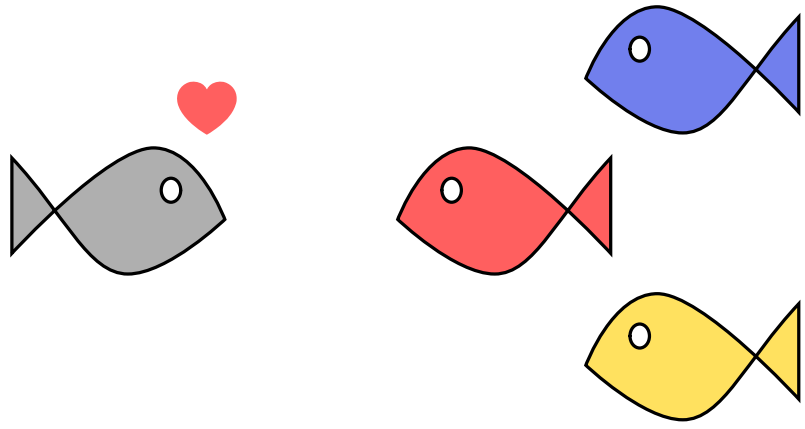
Conclusion

Evolution du choix de partenaire sexuel $\longrightarrow$ Couplage négatif



Conclusion

Evolution du choix de partenaire sexuel $\longrightarrow$ Couplage négatif

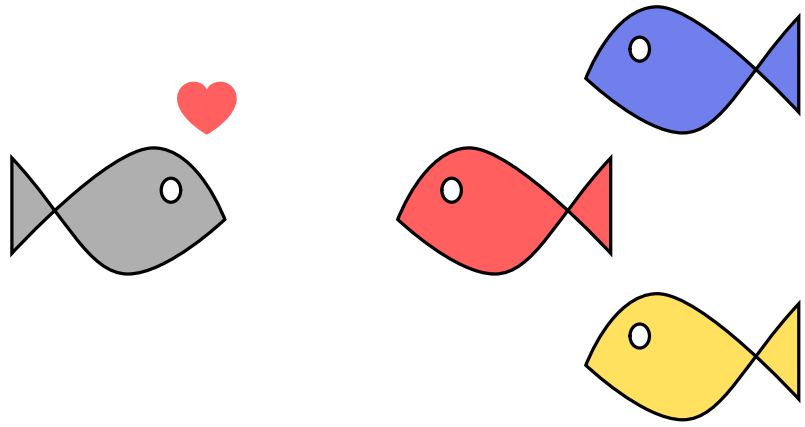


Questions ouvertes :

Qu'en est-il des autres barrières ?

Conclusion

Evolution du choix de partenaire sexuel $\longrightarrow$ Couplage négatif



Questions ouvertes :

Qu'en est-il des autres barrières ?

Preuve empirique d'un couplage négatif ?

Conclusion

Les barrières reproductives ne se renforcent pas nécessairement les unes les autres.

Conclusion

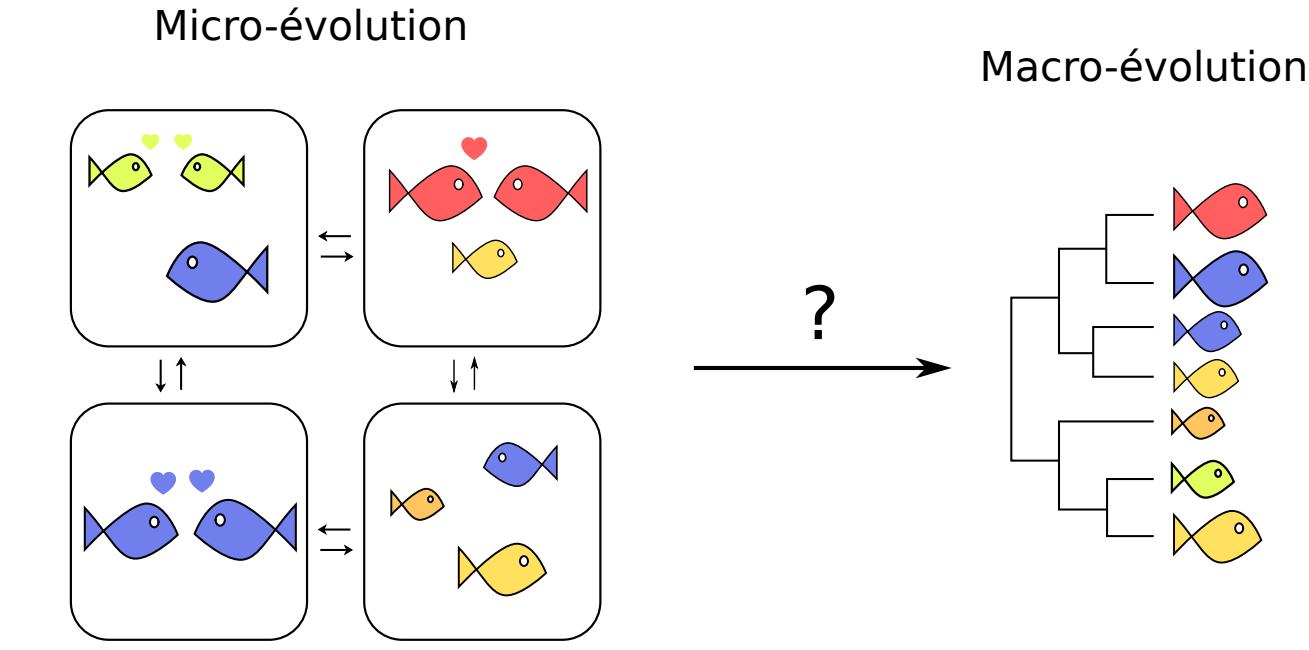
Les barrières reproductives ne se renforcent pas nécessairement les unes les autres.

Le couplage négatif peut également se produire par le biais de divers mécanismes.

Conclusion

Les barrières reproductives ne se renforcent pas nécessairement les unes les autres.

Le couplage négatif peut également se produire par le biais de divers mécanismes.



Remerciements

Maria Servedio

Reinhard Bürger

Mathieu Joron

Hanna Kokko

Oscar Puebla

Marina Rafajlović

Michael Kopp

Isaac Linn

Remerciements

Maria Servedio

Reinhard Bürger

Mathieu Joron

Hanna Kokko

Oscar Puebla

Marina Rafajlović

Michael Kopp

Isaac Linn

Et merci pour votre attention !