

# Effet du changement de rôle au cours du cycle de vie sur la dynamique éco-évolutive des communautés

Aurore Picot, Ewen Georgelin, Nicolas Loeuille

Aussois, le 8 juin 2016



*UFR* **EEES** Paris

**UPMC**  
SORBONNE UNIVERSITÉS

## Similarity and Specialization of the Larval versus Adult Diet of European Butterflies and Moths

Florian Altermatt<sup>1,\*†</sup> and Ian S. Pearse<sup>2,\*</sup>

corrélation entre régime alimentaire du stade larvaire et du stade adulte (méta-analyse sur 995 espèces de Lépidoptères) : fort recouvrement de niche

# Introduction

VOL. 178, NO. 3 THE AMERICAN NATURALIST SEPTEMBER 2011

## Similarity and Specialization of the Larval versus Adult Diet of European Butterflies and Moths

Florian Altermatt<sup>1,\*†</sup> and Ian S. Pearse<sup>2,\*</sup>

corrélation entre régime alimentaire du stade larvaire et du stade adulte (méta-analyse sur 995 espèces de Lépidoptères) : fort recouvrement de niche

Objectif : expliquer cette corrélation d'une perspective éco-évolutive (évolution de la spécialisation) en s'appuyant sur les effets indirects entre les stades adultes et juvéniles

# Introduction

VOL. 178, NO. 3 THE AMERICAN NATURALIST SEPTEMBER 2011

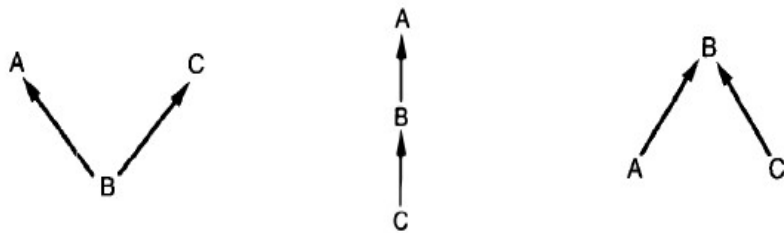
## Similarity and Specialization of the Larval versus Adult Diet of European Butterflies and Moths

Florian Altermatt<sup>1,\*†</sup> and Ian S. Pearse<sup>2,\*</sup>

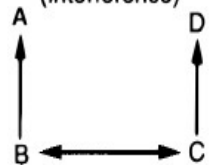
corrélation entre régime alimentaire du stade larvaire et du stade adulte (méta-analyse sur 995 espèces de Lépidoptères) : fort recouvrement de niche

Objectif : expliquer cette corrélation d'une perspective éco-évolutive (évolution de la spécialisation) en s'appuyant sur les effets indirects entre les stades adultes et juvéniles

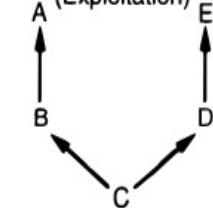
a) Interspecific Competition    b) Trophic Cascade    c) Apparent Competition



d) Indirect Mutualism (Interference)



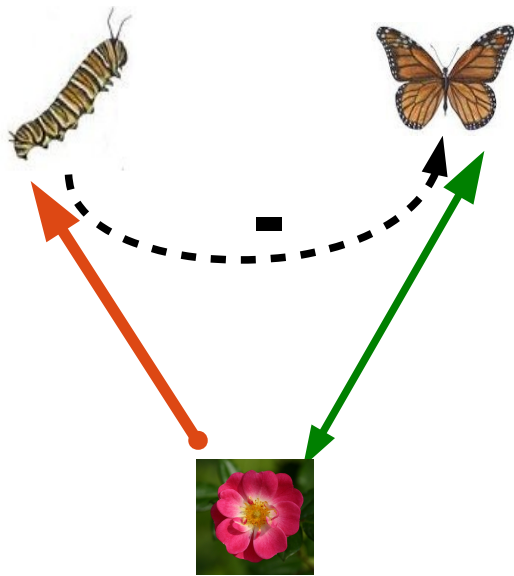
e) Indirect Mutualism (Exploitation)



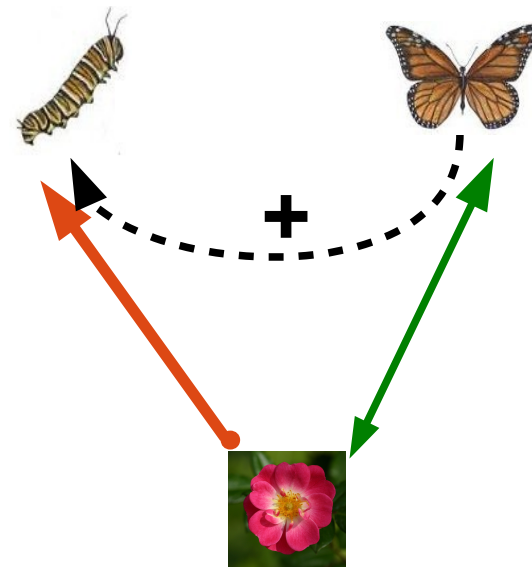
**Effets indirects et mécanismes de coexistence** dans les communautés : équilibre entre compétition par exploitation ( $R^*$ , *Tilman 1980*) et compétition apparente ( $P^*$  *Holt et al 1994*)

# Introduction

Réseaux comportant interactions trophiques et mutualistes : quels types d'effets indirects ? Et si l'antagoniste et le mutualiste appartiennent à la même espèce ? (changement de rôle au cours du cycle de vie)

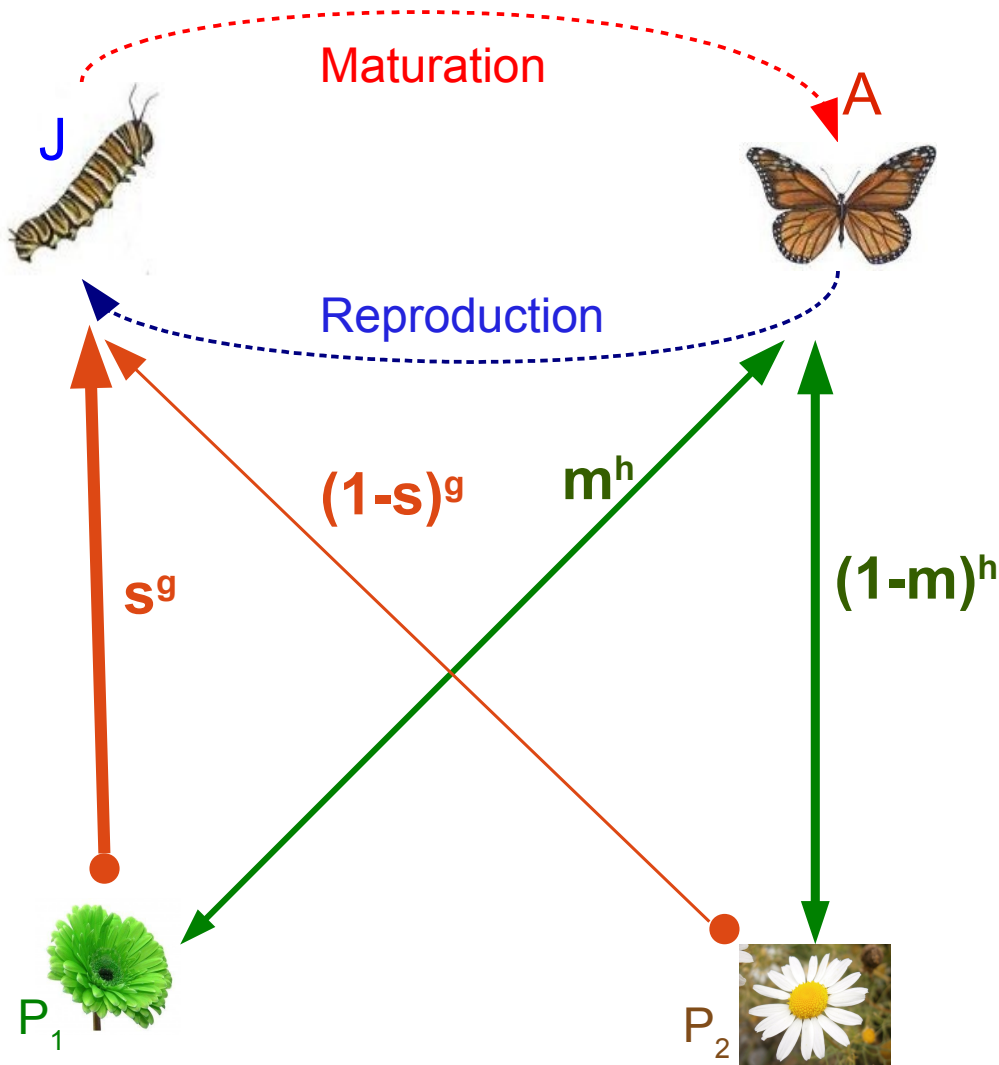


Effet indirect **négatif** de J sur A



Effet indirect **positif** de A sur J

# Introduction



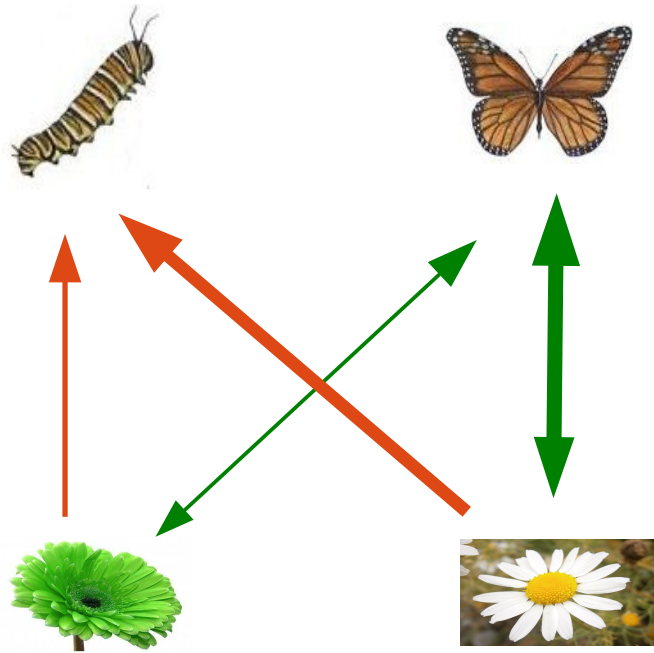
Communauté modélisée :

- **stade juvénile herbivore J**
- **stade adulte pollinisateur A**
- 2 plantes en interaction avec les 2 stade,  $P_1$  et  $P_2$  (linéaire, Lotka-Volterra)
- Trade-off sur la spécialisation

Comment (co)évoluent les **spécialisations** des deux stades sur les plantes, en termes de **recouvrement de niche** ? Quelles sont les conséquences de l'évolution sur la **dynamique écologique** de la communauté ?

# Introduction

Question : si la préférence adulte est fixée, comment évolue la préférence **juvénile** ? Quel effet sur la coexistence des plantes ?

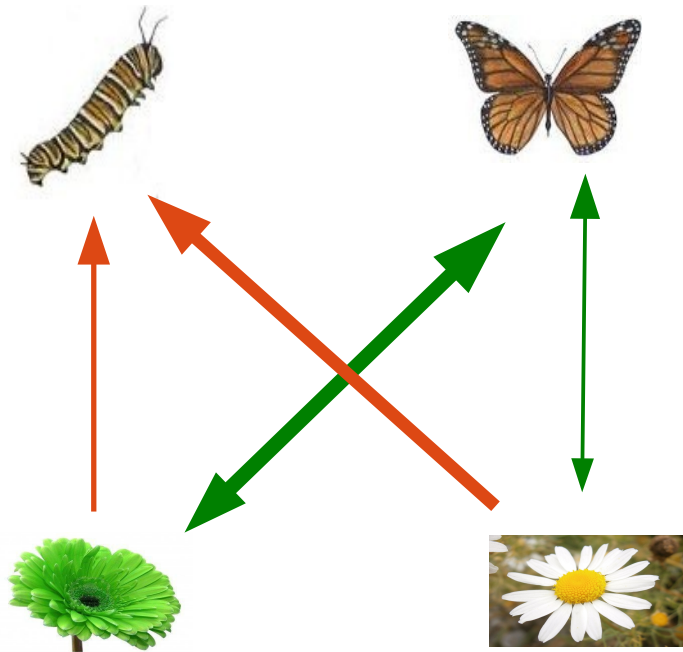


Prédiction :

Effet positif de l'adulte sur le niche => évolution de la préférence juvénile vers un **recouvrement de niche.**

# Introduction

Question : si la préférence juvénile est fixée, comment évolue la préférence **adulte** ? Quel effet sur la coexistence des plantes ?



Prédiction :  
Effet négatif de l'adulte sur le  
niche => évolution de la  
préférence juvénile vers une  
**séparation de niche.**



# Équations du modèle



$$(1) \frac{dJ}{dt} = V_A(P_1, P_2)A - V_J(P_1, P_2)J - d_J J$$



$$(2) \frac{dA}{dt} = V_J(P_1, P_2)J - d_A A$$



$$(3) \frac{dP_1}{dt} = r_1 P_1 - s^g a_1 P_1 J + m^h w_1 b_1 P_1 A$$



$$(4) \frac{dP_2}{dt} = r_2 P_2 - (1-s)^g a_2 P_2 J + (1-m)^h w_2 b_2 P_2 A$$

croissance

prédation

mutualisme

# Équations du modèle : population structurée



$$(1) \frac{dJ}{dt} = V_A(P_1, P_2)A - V_J(P_1, P_2)J - d_J J$$



$$(2) \frac{dA}{dt} = V_J(P_1, P_2)J - d_A A$$



$$(3) \frac{dP_1}{dt} = r_1 P_1 - s^g a_1 P_1 J + m^h w_1 b_1 P_1 A$$



$$(4) \frac{dP_2}{dt} = r_2 P_2 - (1-s)^g a_2 P_2 J + (1-m)^h w_2 b_2 P_2 A$$

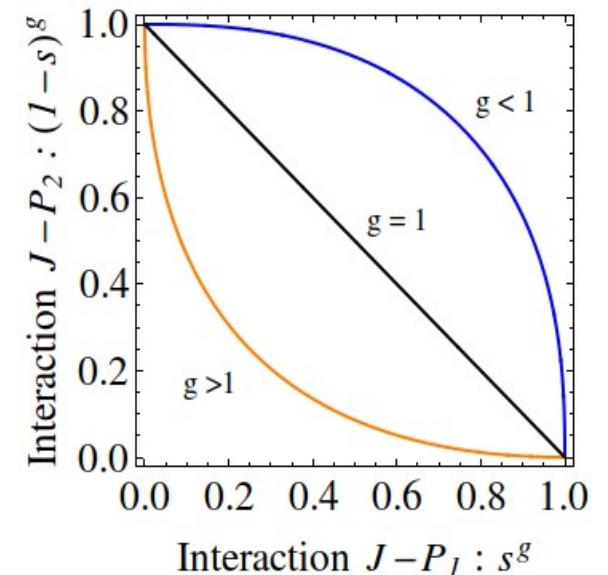
$$(5) V_A(P_1, P_2) = m^h v_1 b_1 P_1 + (1-m)^h v_2 b_2 P_2$$

$$(6) V_J(P_1, P_2) = s^g k_1 a_1 P_1 + (1-s)^g k_2 a_2 P_2$$

→ **taux de maturation (6)** :  
proportionnel à la consommation du  
stade juvénile (*Persson et al 2007*).

→ spécialisation du juvénile modulée  
par un trade-off.

## Intensité du trade-off



# Équations du modèle : population structurée



$$(1) \frac{dJ}{dt} = V_A(P_1, P_2)A - V_J(P_1, P_2)J - d_J J$$



$$(2) \frac{dA}{dt} = V_J(P_1, P_2)J - d_A A$$



$$(3) \frac{dP_1}{dt} = r_1 P_1 - s^g a_1 P_1 J + m^h w_1 e_1 P_1 A$$



$$(4) \frac{dP_2}{dt} = r_2 P_2 - (1-s)^g a_2 P_2 J + (1-m)^h w_2 e_2 P_2 A$$

$$(5) V_A(P_1, P_2) = m^h v_1 e_1 P_1 + (1-m)^h v_2 e_2 P_2$$

$$(6) V_J(P_1, P_2) = s^g k_1 a_1 P_1 + (1-s)^g k_2 a_2 P_2$$

→ **taux de reproduction (5)** : proportionnel à la consommation du stade adulte (Yodzis and Innes 1992).

→ trade-off pour la spécialisation sur les 2 plantes.

Équation canonique de la dynamique adaptative (Dieckmann & Law 1996)

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \mu \sigma^2 N^*(x) \frac{\partial W(x_{mut}, x)}{\partial x_{mut}} \quad | \quad x_{mut} \rightarrow x$$

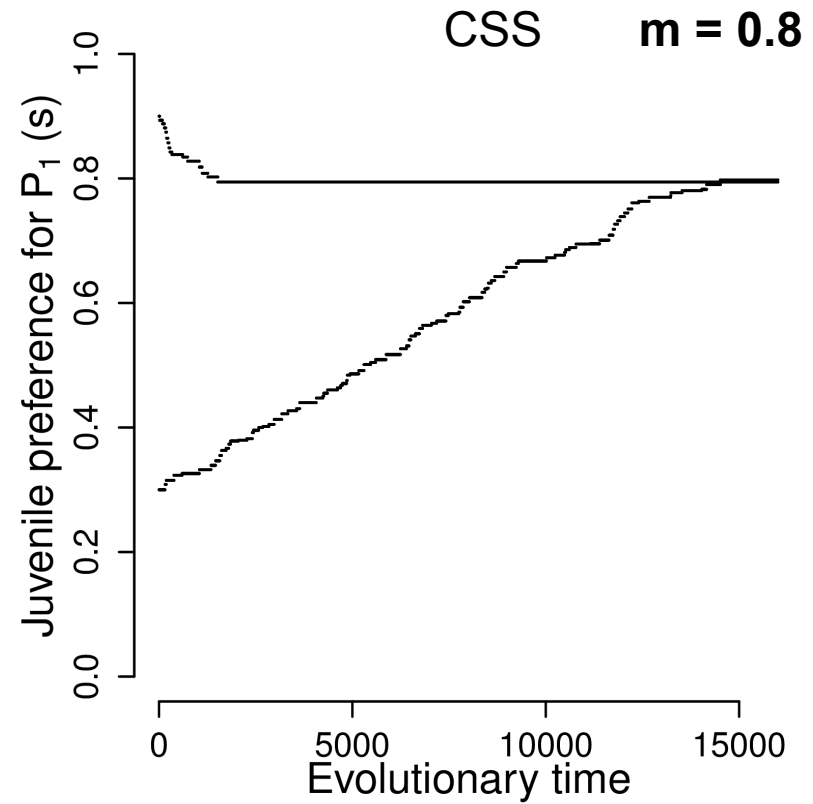
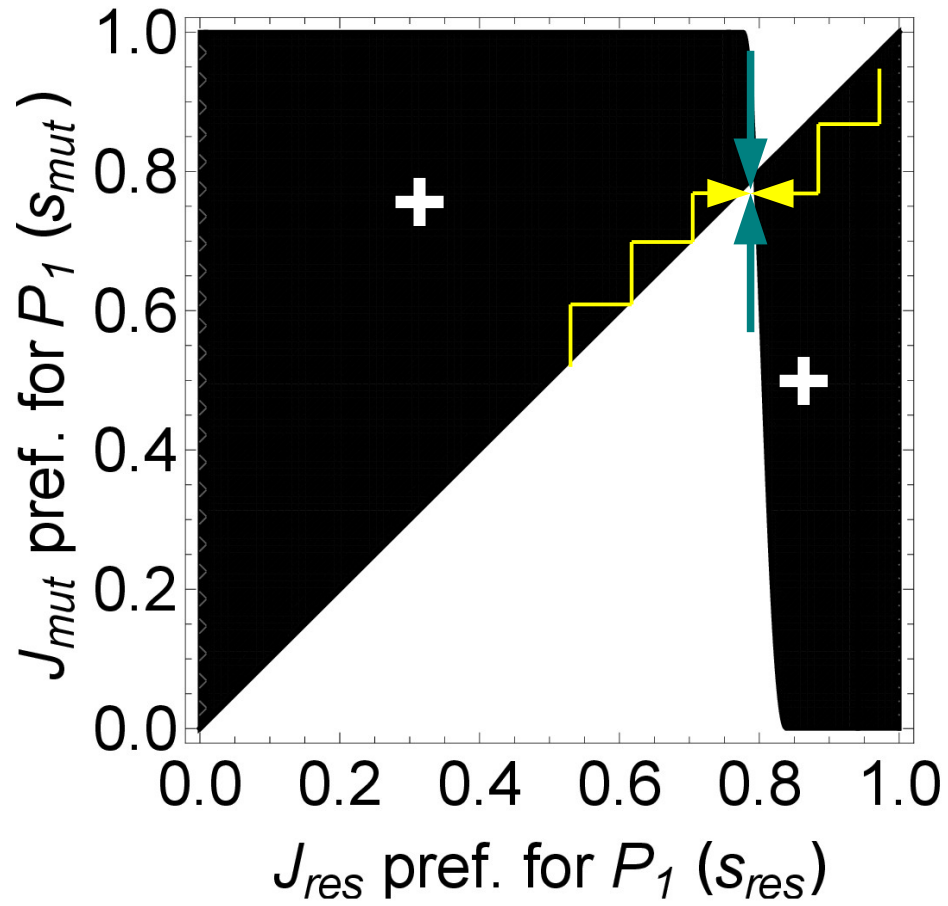
Variation du trait

Variabilité  
phénotypique due  
aux mutations

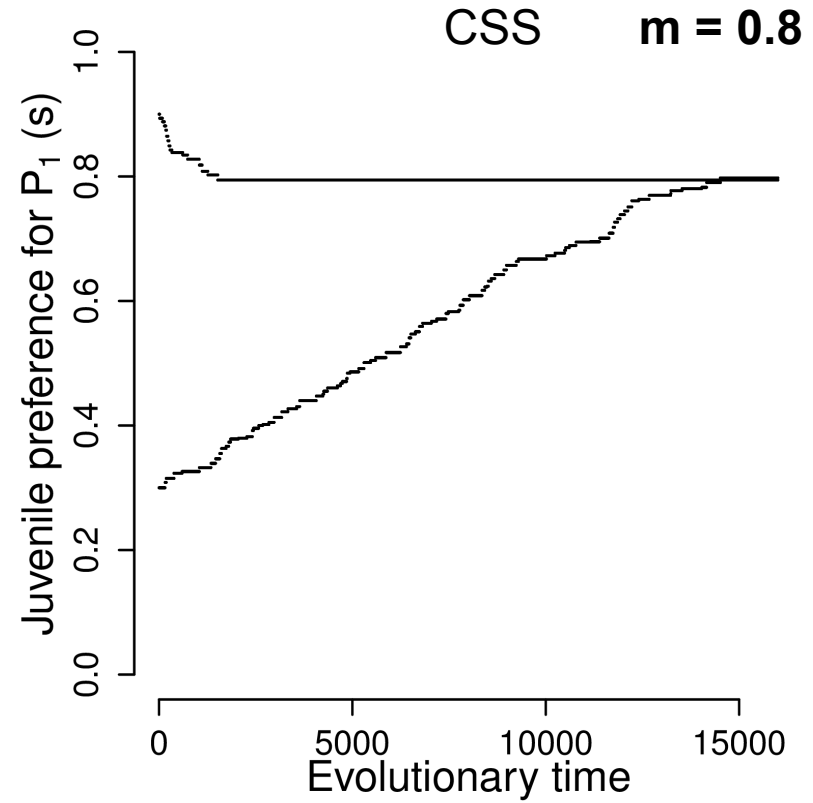
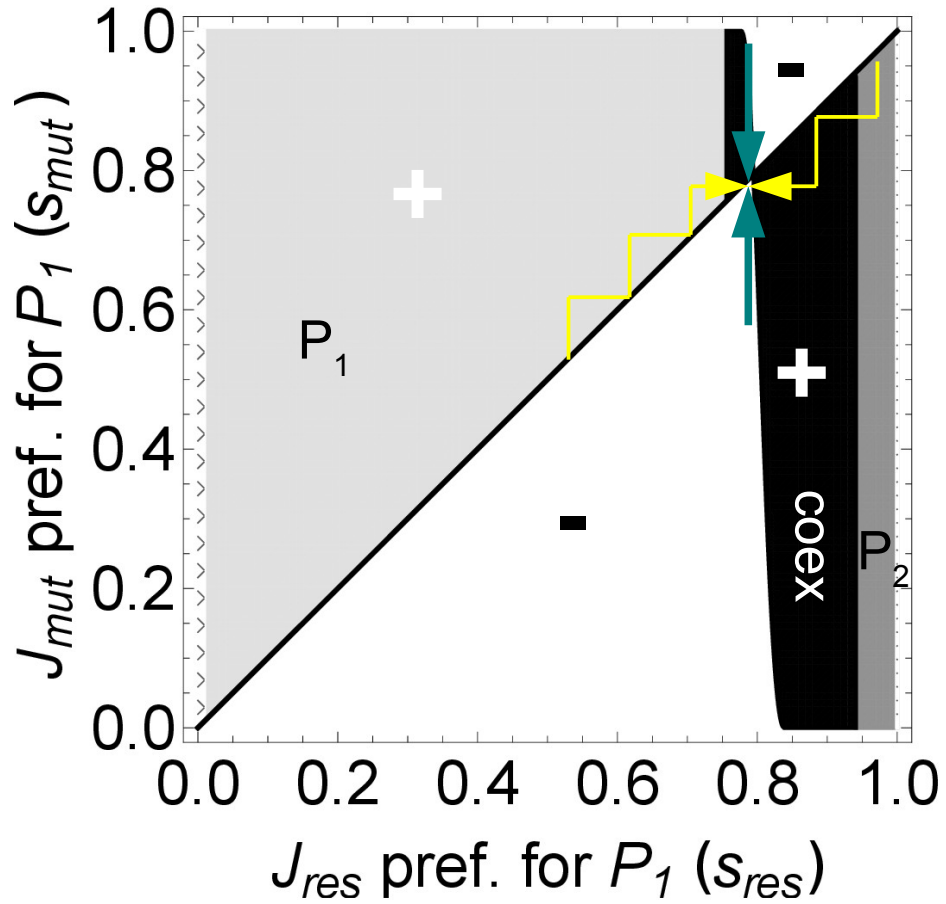
Effet de la sélection

Traits considérés ici : préférence **juvénile** s et préférence **adulte** m

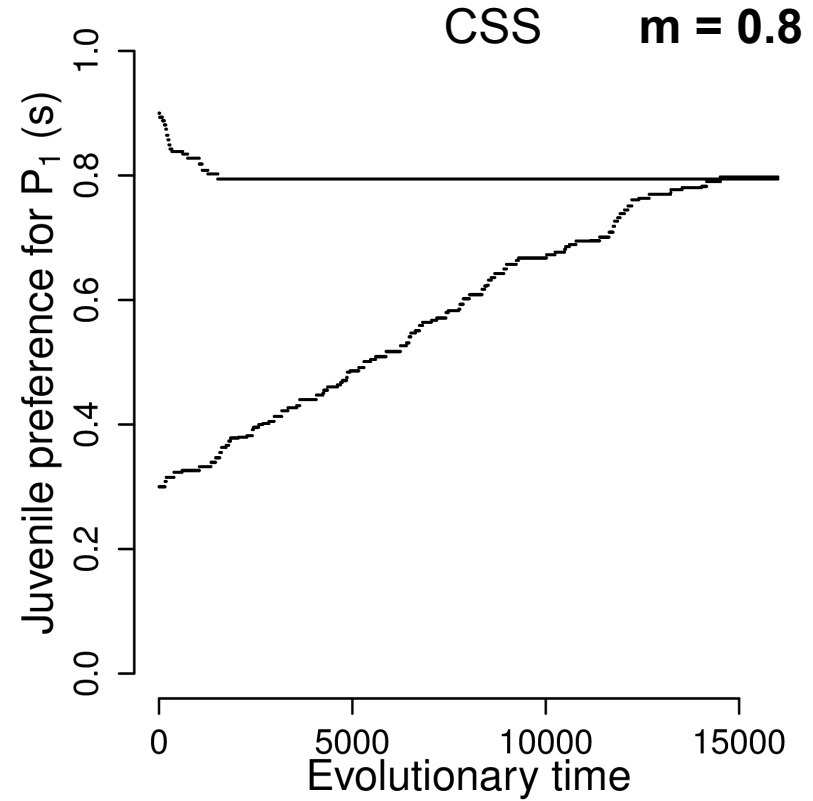
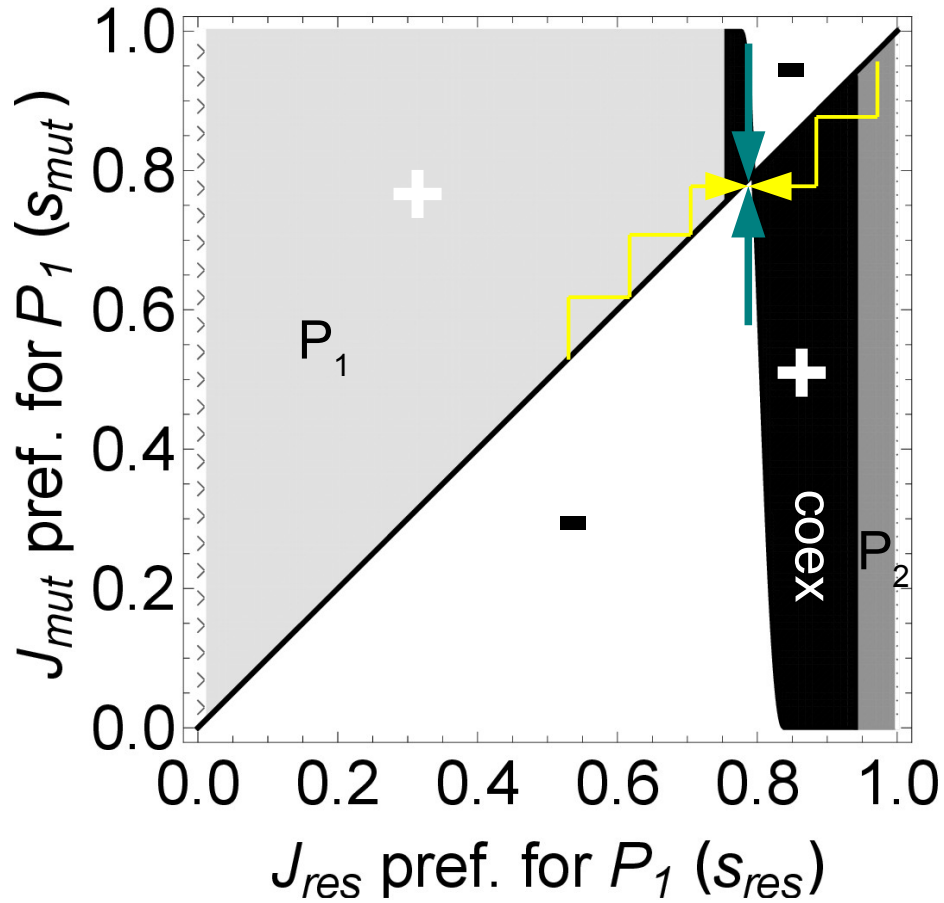
# Évolution de la préférence juvénile : trade-off concave



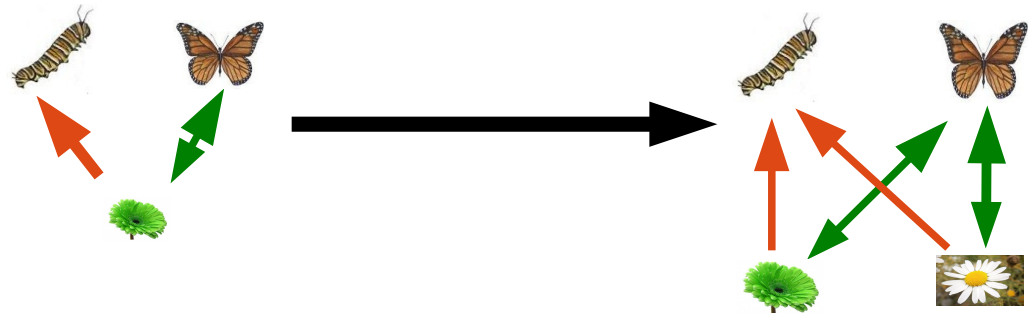
# Évolution de la préférence juvénile : trade-off concave



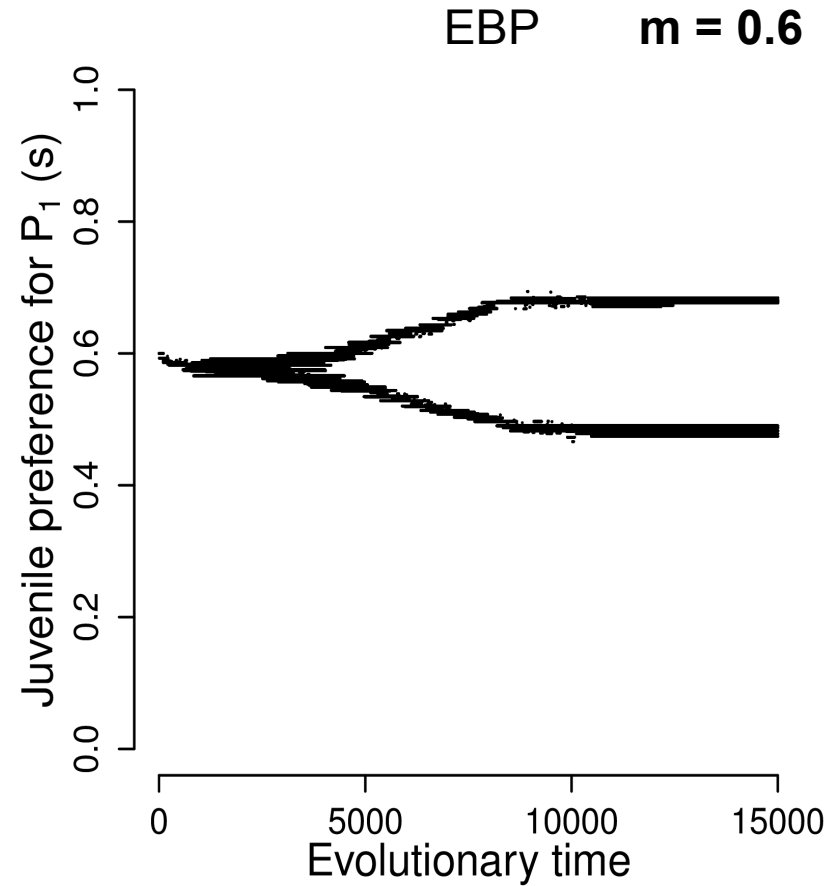
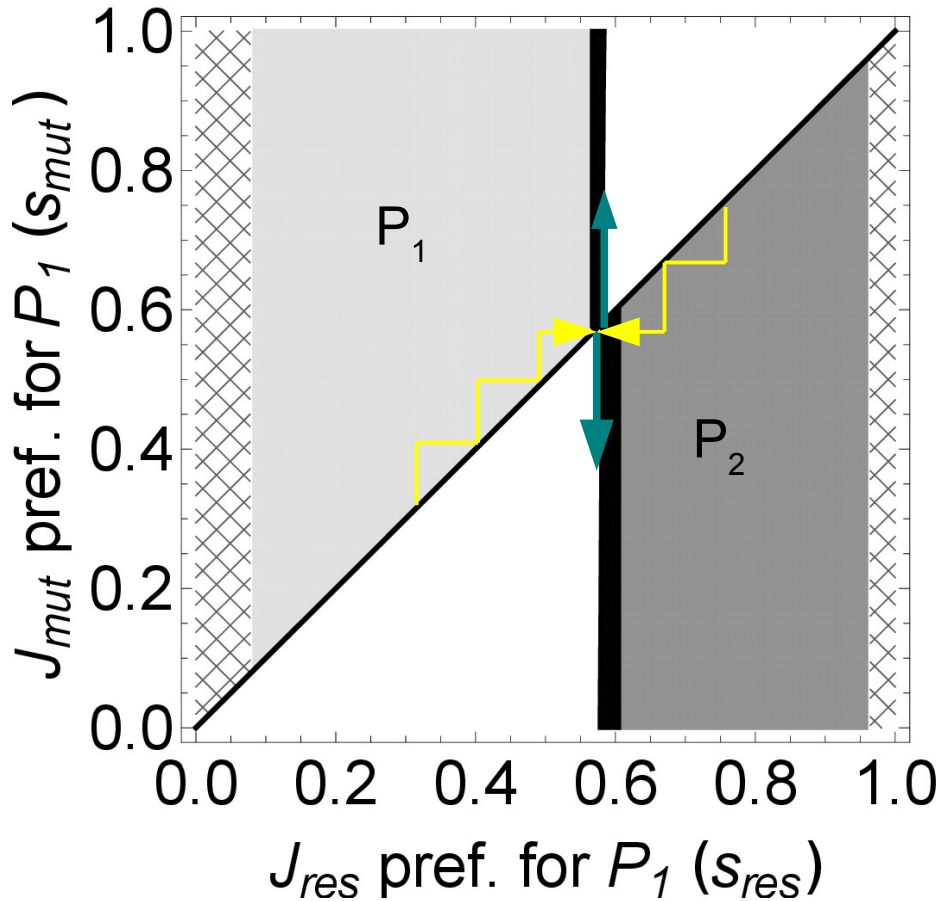
# Évolution de la préférence juvénile : trade-off concave



Trade-off **concave** :  
stratégie convergente  
généraliste et  
renforcement de la  
coexistence entre les  
plantes.



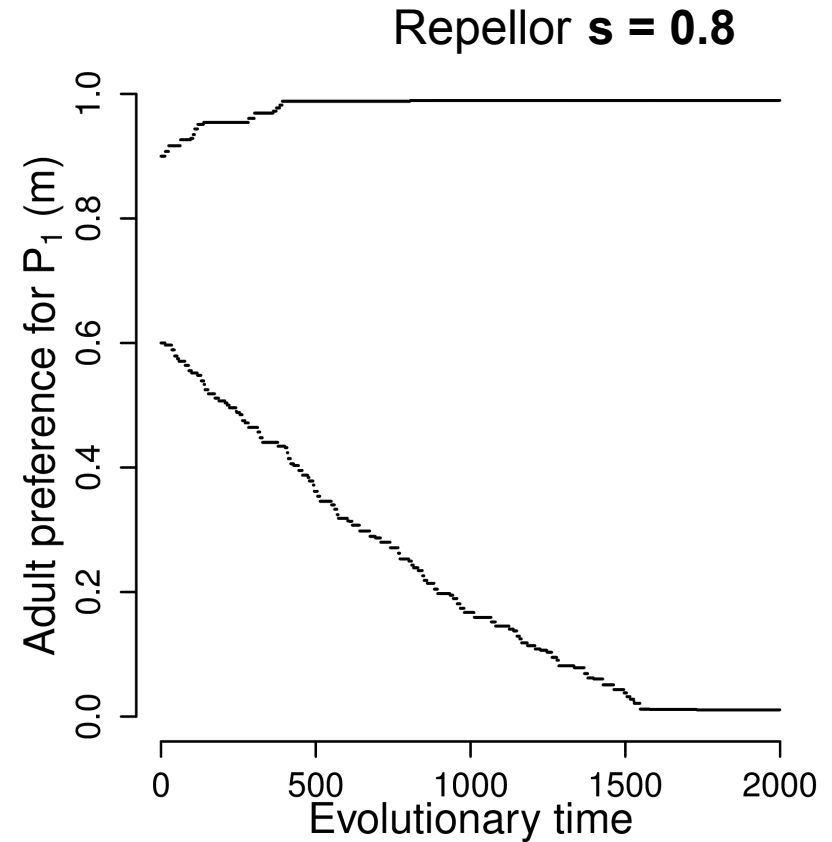
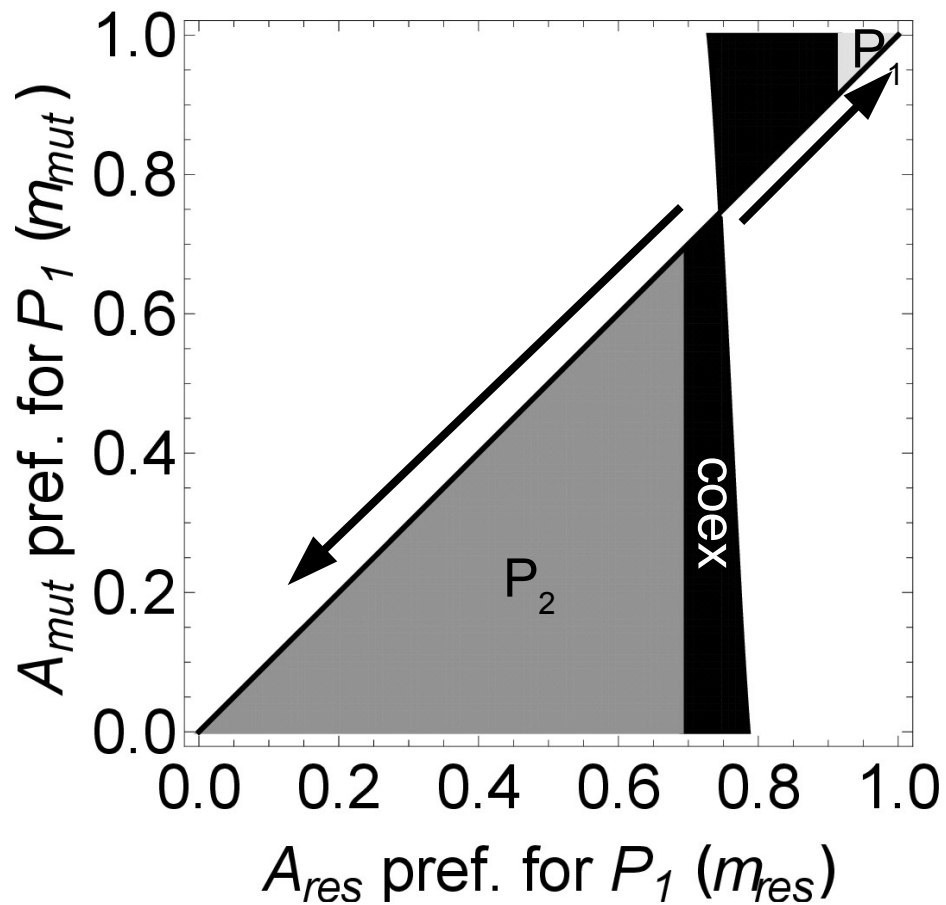
# Évolution de la préférence juvénile : trade-off convexe



Trade-off **convexe** : stratégie convergente et invasible : branchement évolutif (sélection disruptive). Coexistence des plantes et dimorphisme du juvénile.

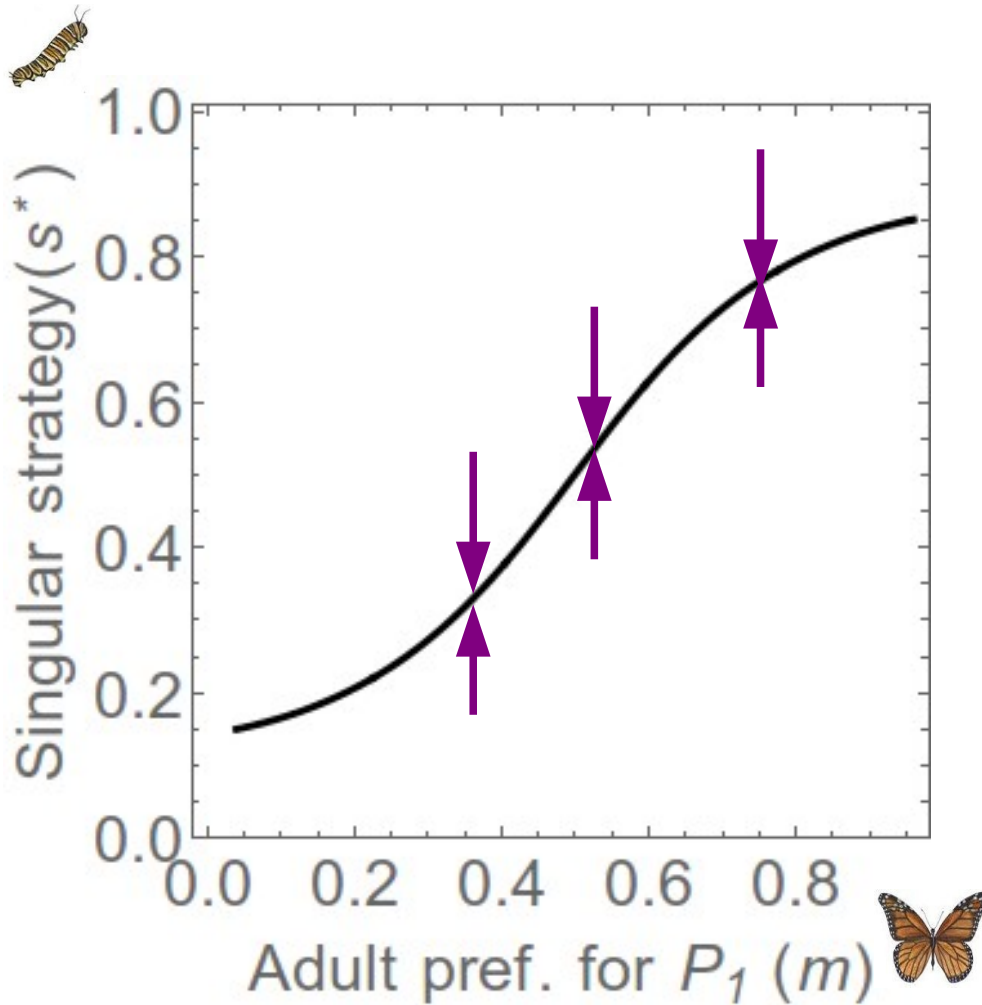


# Évolution de la préférence adulte: trade-off convexe



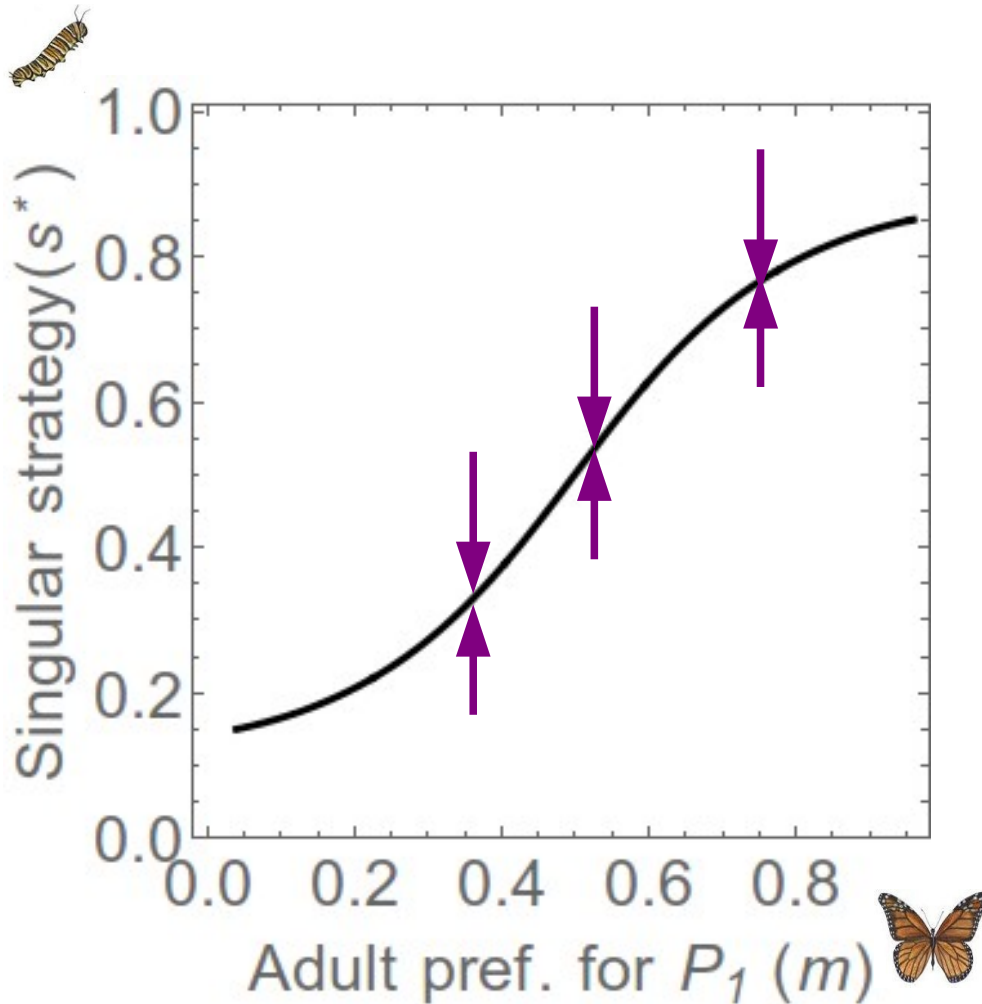
Repellor : bistabilité évolutive menant à la spécialisation de l'adulte et au meurtre évolutif d'une plante.

# Corrélation entre évolution d'un stade et préférence de l'autre stade

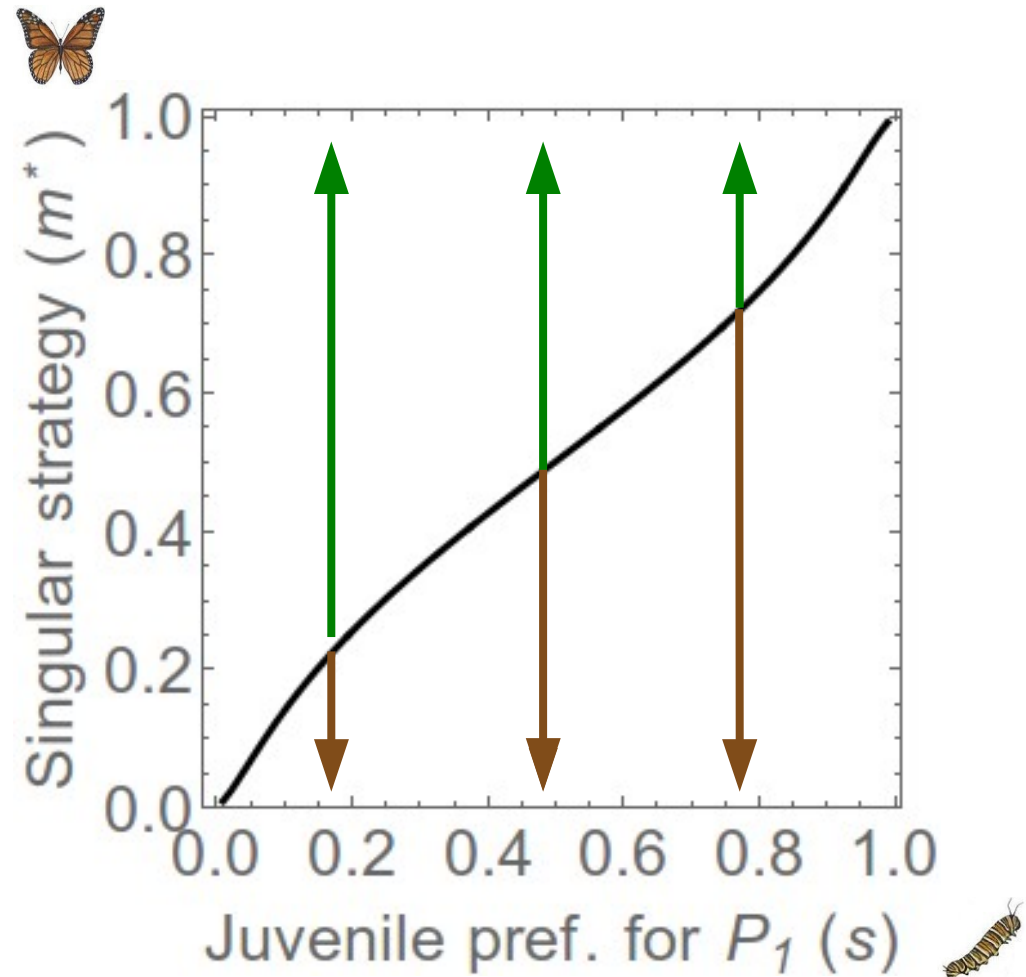


Évolution de la préférence juvénile => **maximisation du recouvrement de niche.**

# Corrélation entre évolution d'un stade et préférence de l'autre stade



Évolution de la préférence juvénile => **maximisation du recouvrement de niche.**

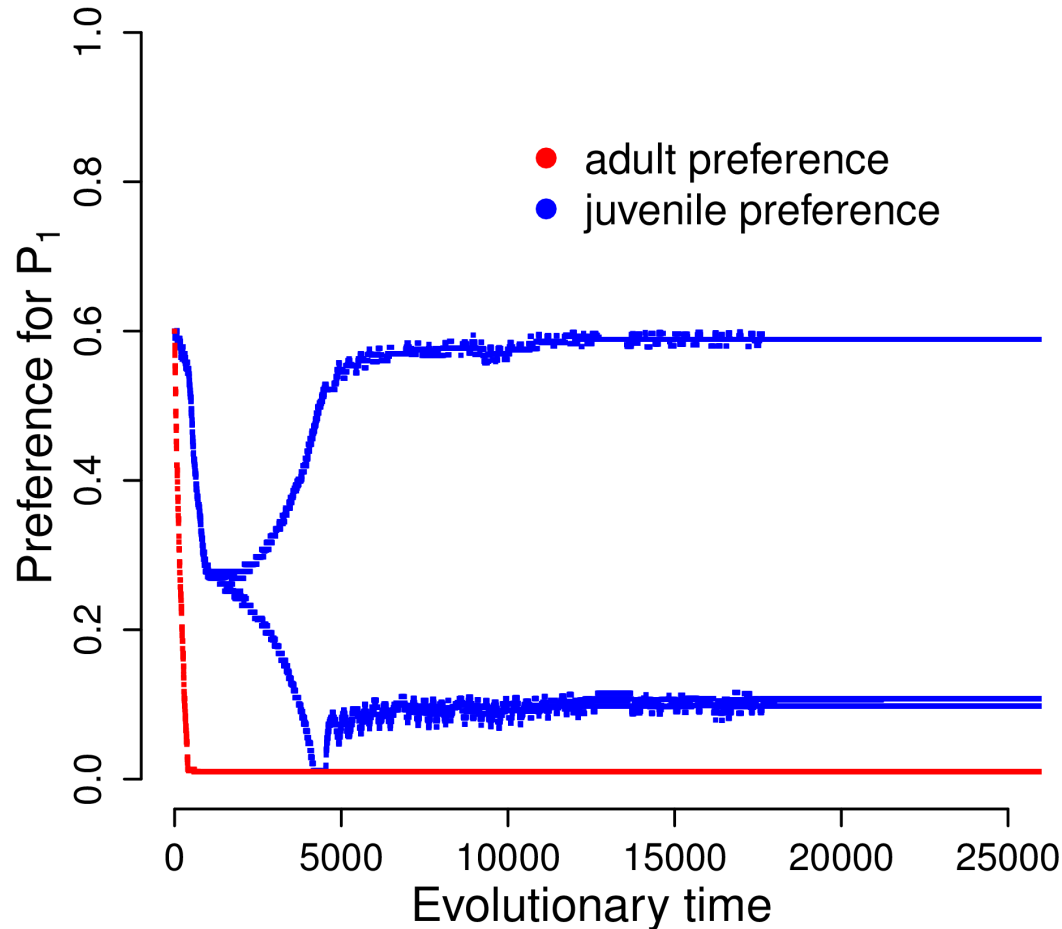


Évolution de la préférence adulte => **minimisation du recouvrement de niche.**

# Coévolution des deux préférences

À l'équilibre évolutif, la préférence adulte se spécialise complètement sur une plante :  
évolution « bloquée » → la préférence juvénile rejoint la singularité évolutive  
correspondante et s'y stabilise ou diverge selon le cas de trade-off (concave ou convexe)

Coévolution des deux préférences : trade-off convexe pour  
les préférences juvénile et adulte



# Discussion

- Conditions de coexistence des deux plantes (*Holt et al 1994*)
- Effet du trade-off et du type d'interaction sur la dynamique évolutive (*Egas et al 2004*)
- Prédiction vérifiées :  
évolution de la préférence juvénile → recouvrement de niche, évolution de la préférence adulte → séparation de niche
- L'évolution peut renforcer la coexistence (+ diversification de la communauté) ou bien conduire à un meurtre évolutif
- Lien avec l'observation d'*Altermatt & Pearse (2011)*

**Implications de la dynamique éco-évolutive de la construction de niche pour la structure des métapopulations et des méta-communautés**

Encadrement :

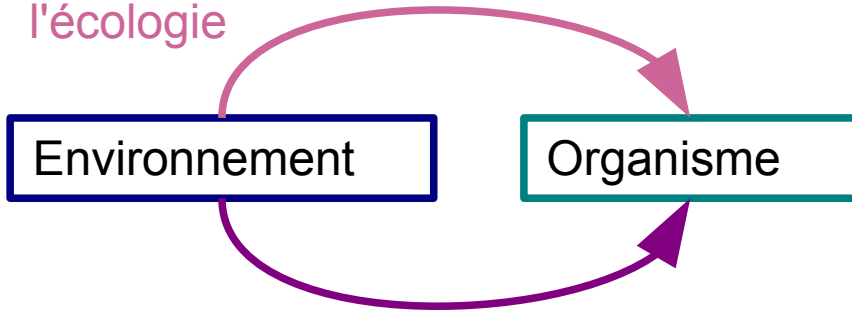
Nicolas Loeuille (Écologie et Évolution des Réseaux d'Interaction)

Thibaud Monnin (Interaction Sociale dans l'Évolution)

# Cadre conceptuel

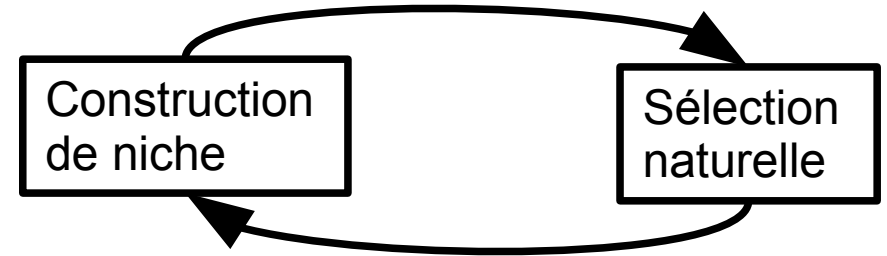
Vision traditionnelle :

Affecte paramètres démographiques : effet sur l'écologie



Sélection naturelle : effet sur l'évolution de l'organisme

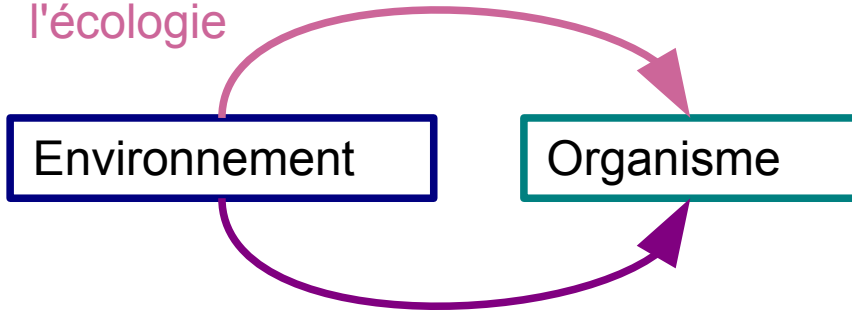
**Construction de niche :**  
modification de son environnement par un organisme qui conduit à un changement des pressions de sélection qui s'exercent sur lui.  
(Odling-Smee 1996)



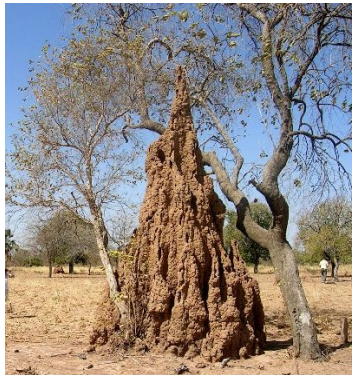
# Cadre conceptuel

Vision traditionnelle :

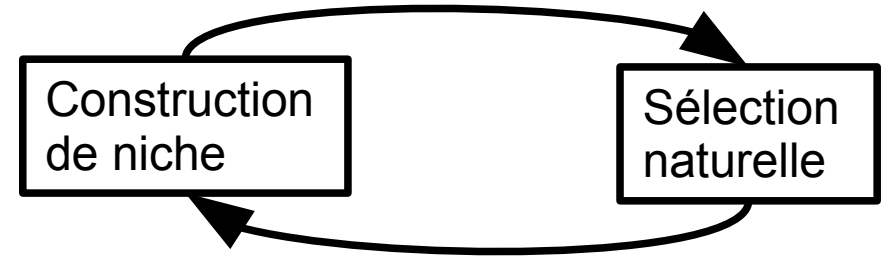
Affecte paramètres démographiques : effet sur l'écologie



Sélection naturelle : effet sur l'évolution de l'organisme



**Construction de niche :**  
modification de son environnement par un organisme qui conduit à un changement des pressions de sélection qui s'exercent sur lui.  
(*Odling-Smee 1996*)



Concepts liés :  
Coévolution,  
ingénierie des  
écosystèmes (*Jones et al 1994*),  
phénotype étendu  
(*Dawkins 1982*),  
héritage écologique...

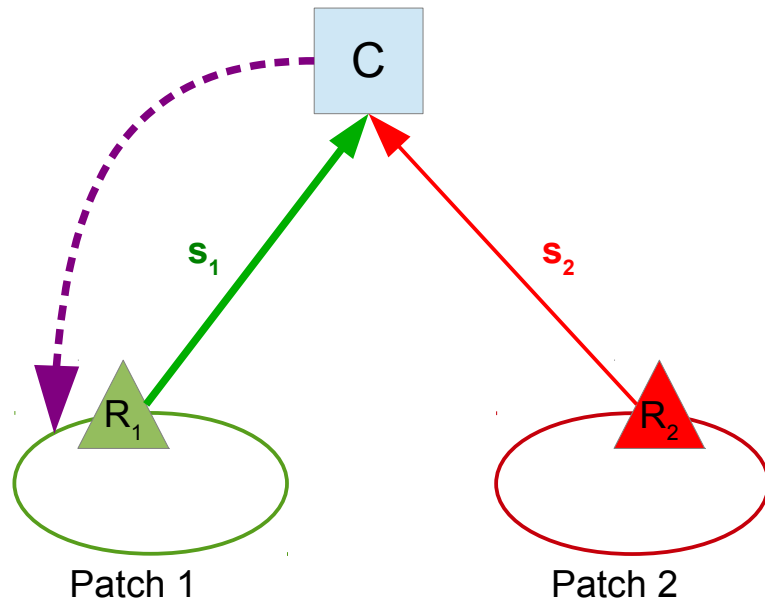
Construction de niche et exploitation de l'espace



Comment co-évoluent la construction de niche et les stratégies d'exploitation de l'espace ? Quelles sont les conséquences pour la structure des métapopulations et des méta-communautés ?

Comment co-évoient la construction de niche et les stratégies d'exploitation de l'espace ? Quelles sont les conséquences pour la structure des métapopulations et des méta-communautés ?

## Approche théorique

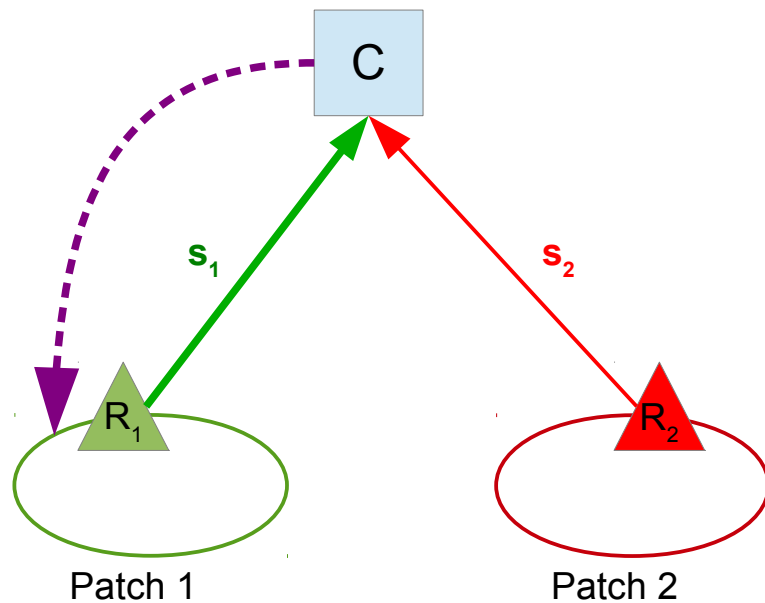


Évolution de la **spécialisation**, choix d'habitat.

Évolution de la **coopération**

Comment co-évoient la construction de niche et les stratégies d'exploitation de l'espace ? Quelles sont les conséquences pour la structure des métapopulations et des méta-communautés ?

## Approche théorique



Évolution de la **spécialisation**, choix d'habitat.

Évolution de la **coopération**

## Approche expérimentale (fourmis)



Traits de construction de niche : structures physiques, agriculture (pucerons, champignons).

Design expérimental : comment la **disponibilité** et **prédictibilité** des ressources affecte la spécialisation des fourmis sur les pucerons et l'investissement dans la construction de niche ?

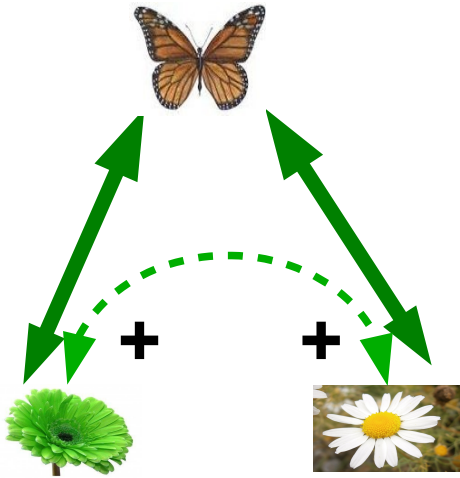


**Merci de votre attention !**

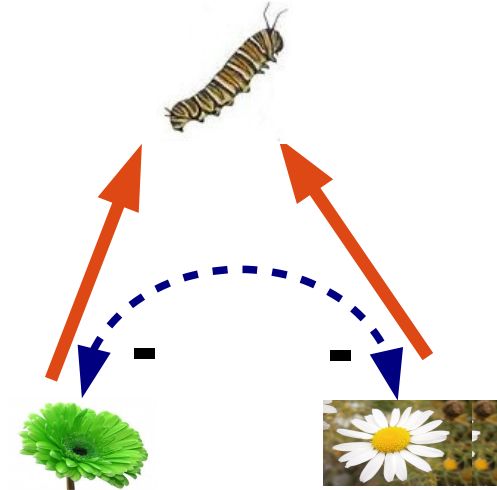


# Coexistence écologique entre les plantes

Quelles conditions favorisent la coexistence écologique (**recouvrement de niche et spécialisation**) ?



Interaction indirecte positive via le stade adulte.



Interaction indirecte négative via le stade juvénile (compétition apparente).

Prédiction :

- une plante fortement consommée mais très peu pollinisée ne se maintient pas.
- la coexistence des deux plantes nécessite un fort degré de recouvrement de niche

→ vérifié par l'analyse de la dynamique écologique du système (non détaillée ici).

Comment définir la fitness en populations structurées ?

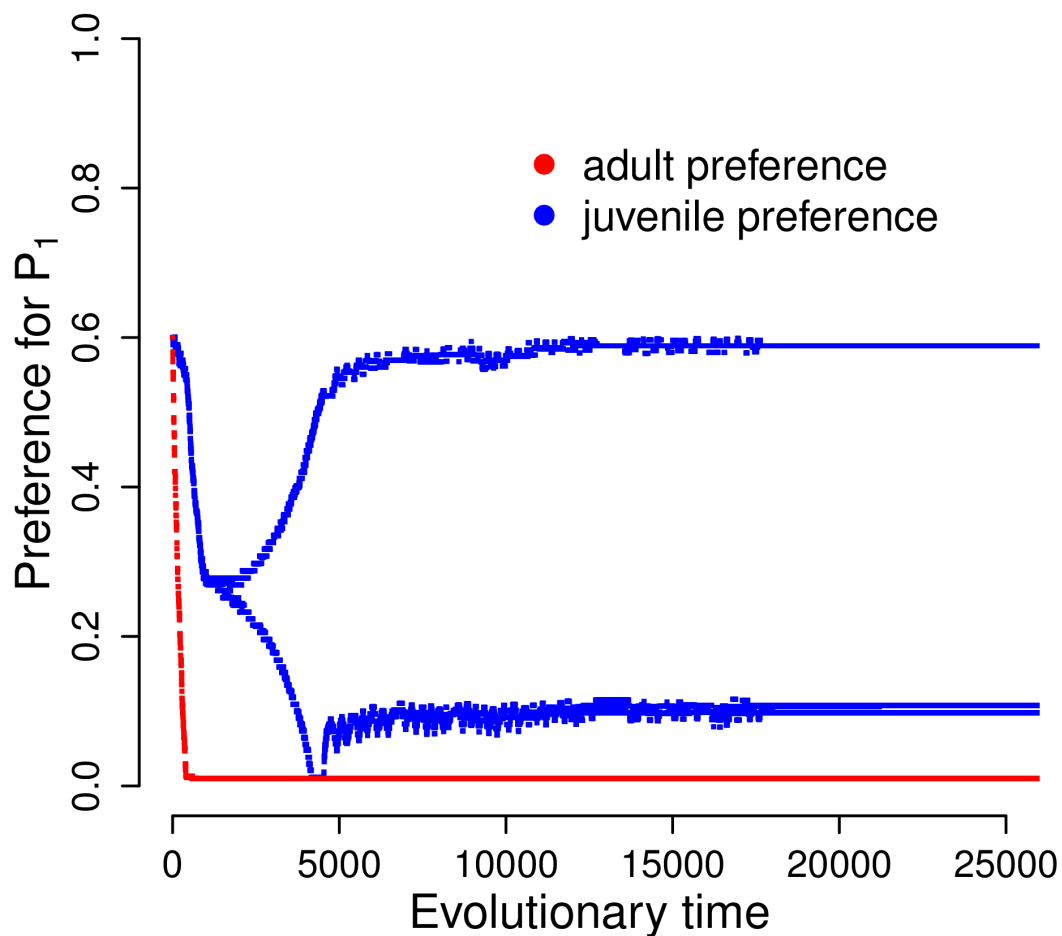
On se place à l'équilibre déterminé par le résident.

**Fitness = valeur propre dominante de la matrice jacobienne évaluée au point  $(\mathbf{A}_{mut}, \mathbf{J}_{mut}) = (\mathbf{0}, \mathbf{0})$  :** donne un critère d'instabilité du point correspondant à l'extinction du mutant.

Dans notre modèle, on utilise le **déterminant** de la matrice comme un proxy pour la fitness : annulation de la fitness équivaut à l'annulation du déterminant.

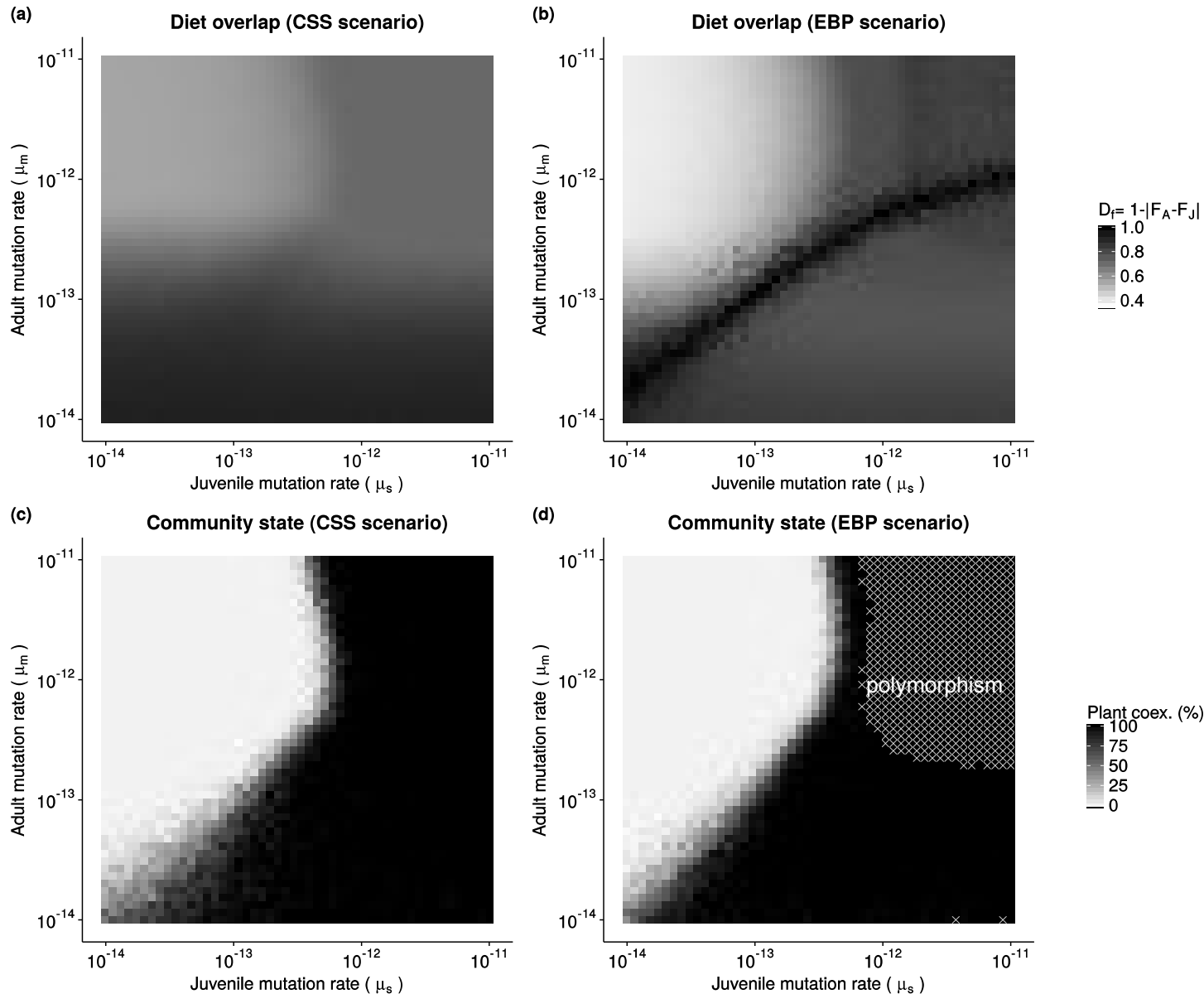
# Coévolution des deux préférences

À l'équilibre évolutif : la préférence adulte se spécialise sur une plante, et est rattrapée par la préférence juvénile qui se stabilise ou diverge en deux phénotypes selon le cas de trade-off.



# Coévolution des deux préférences

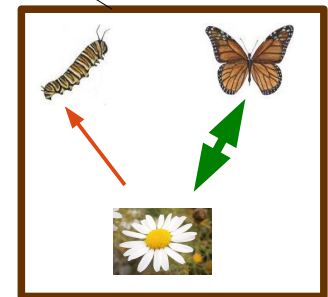
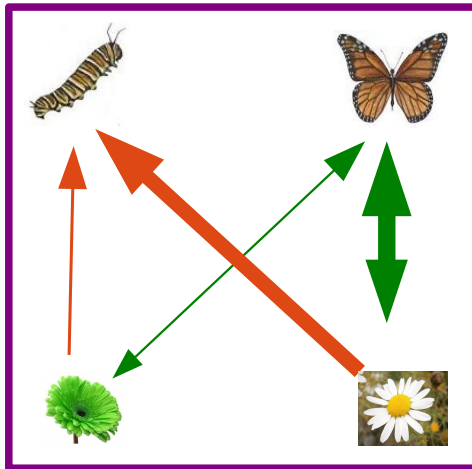
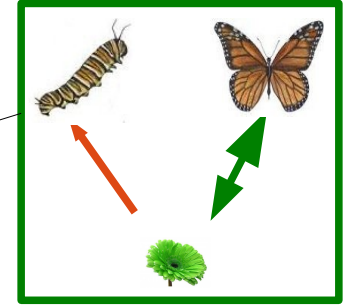
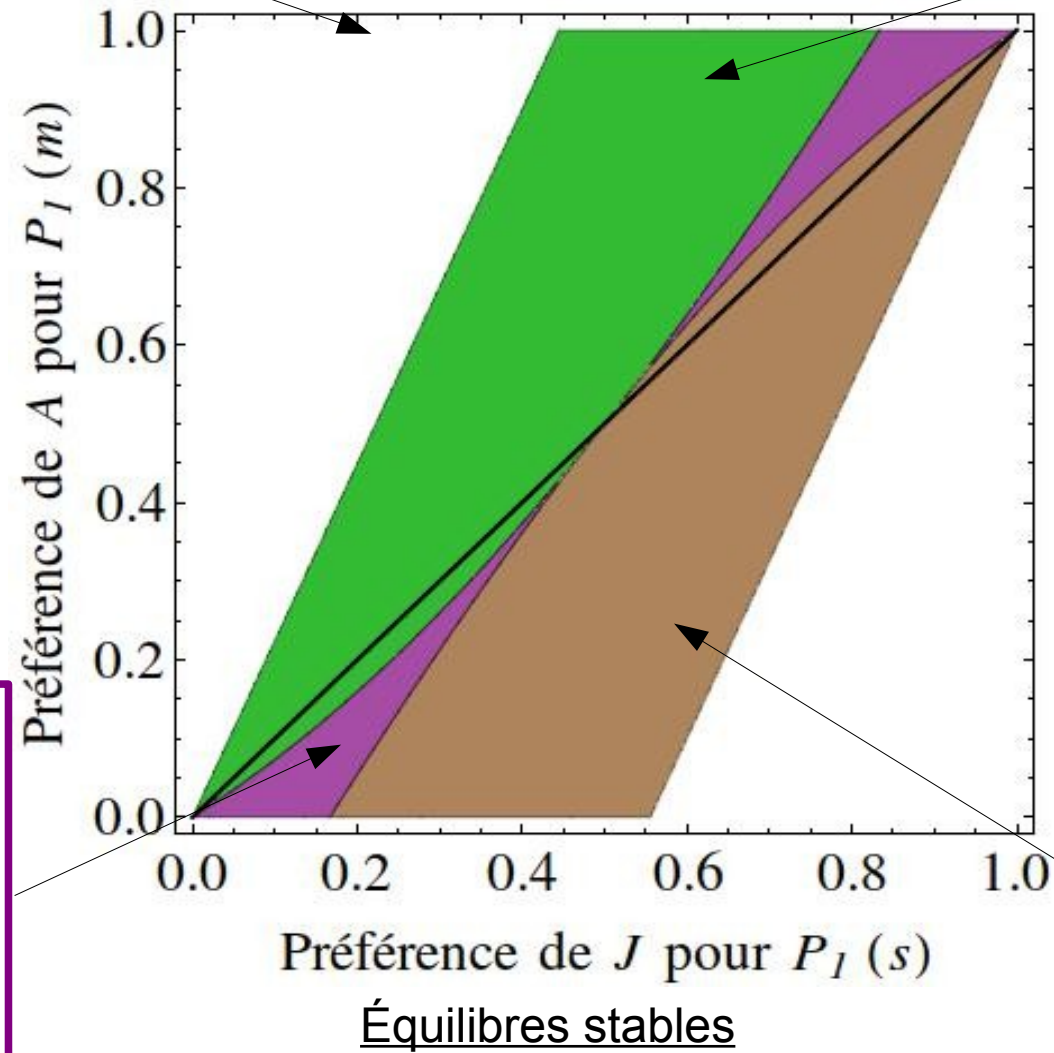
Quantification du recouvrement de niche et état de la communauté lors des dynamiques transitoires (10000 pas de temps, 50 réplicats par point)



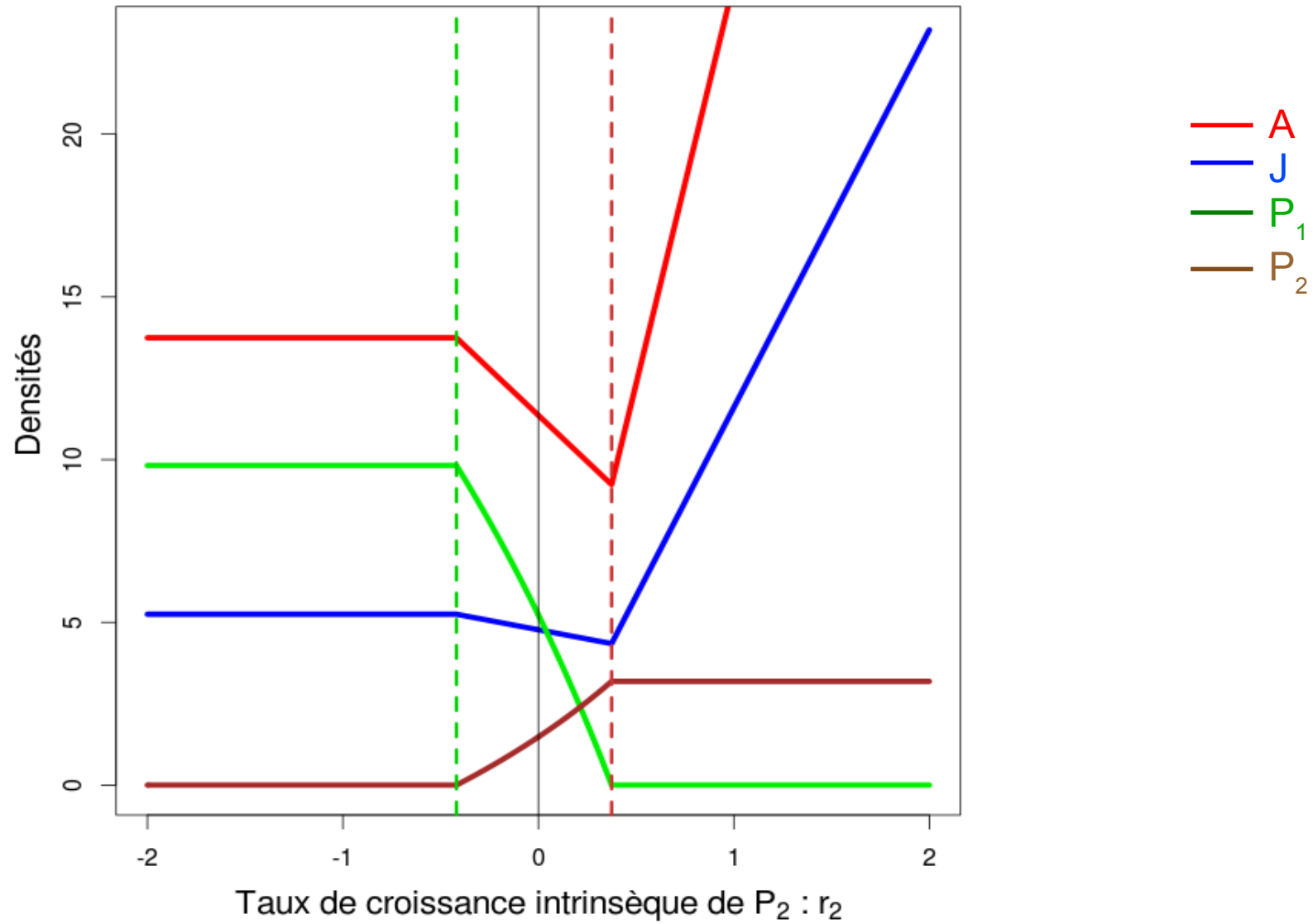


# Recouvrement de niche, spécialisation et coexistence écologique

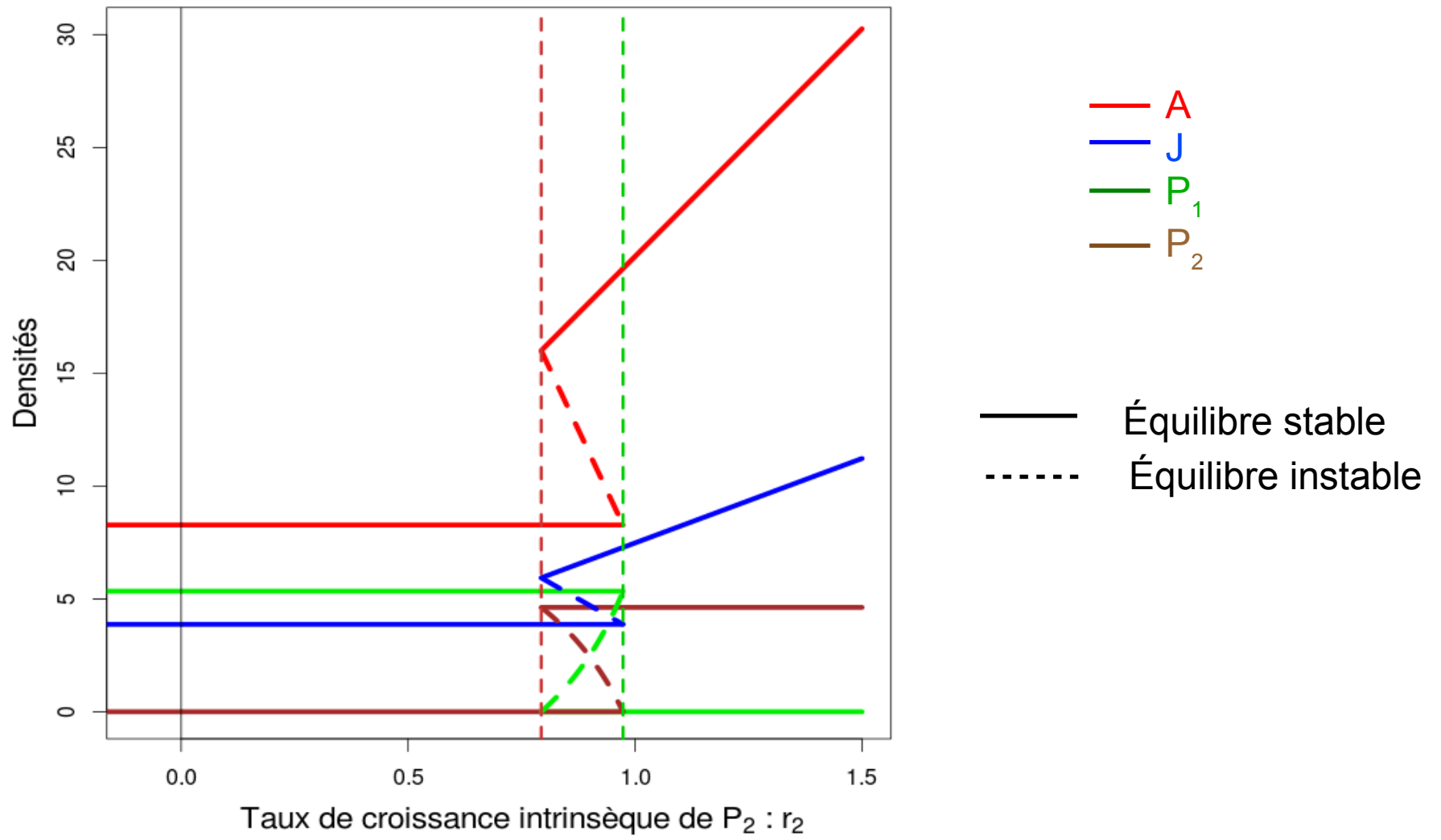
Instabilité/extinction



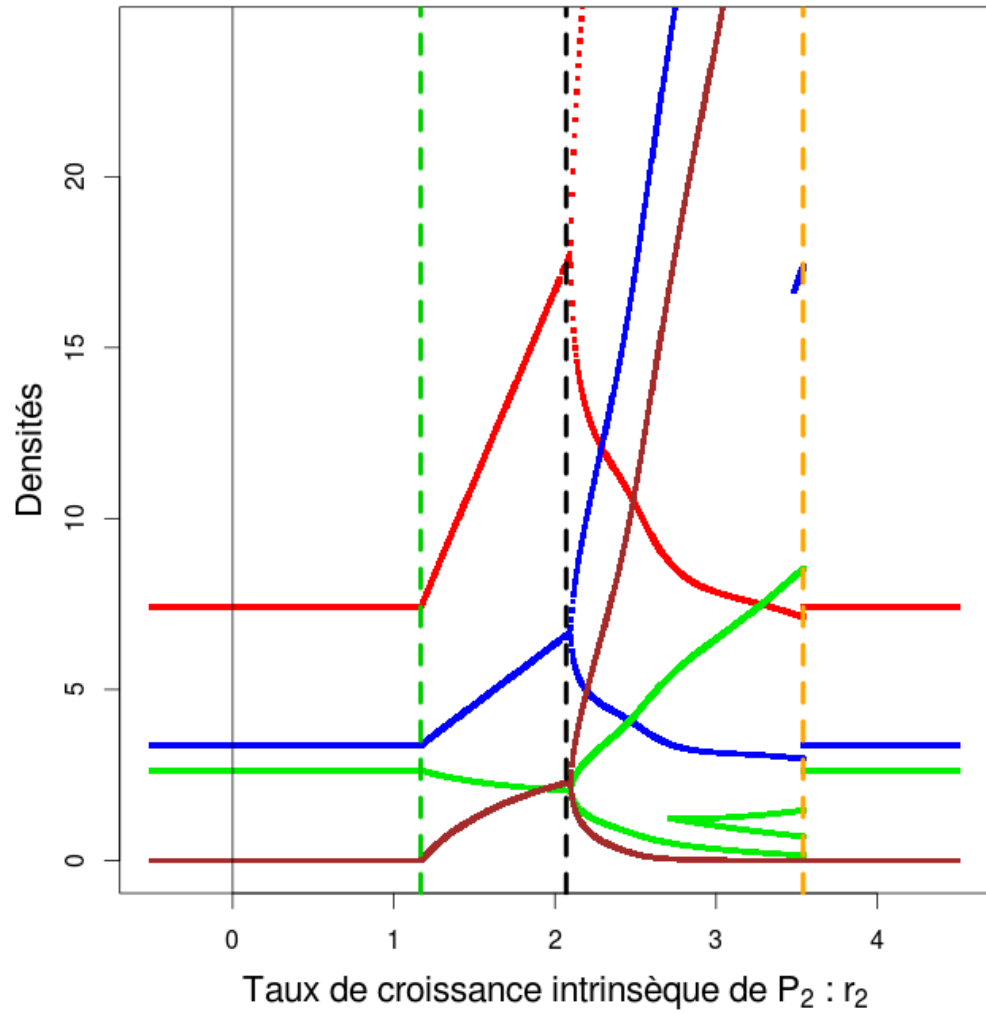
# Dynamique écologique : invasion d'une population puits et facilitation



# Dynamique écologique : états alternatifs stables



# Dynamique écologique : dynamiques cycliques



— A  
— J  
— P<sub>1</sub>  
— P<sub>2</sub>

