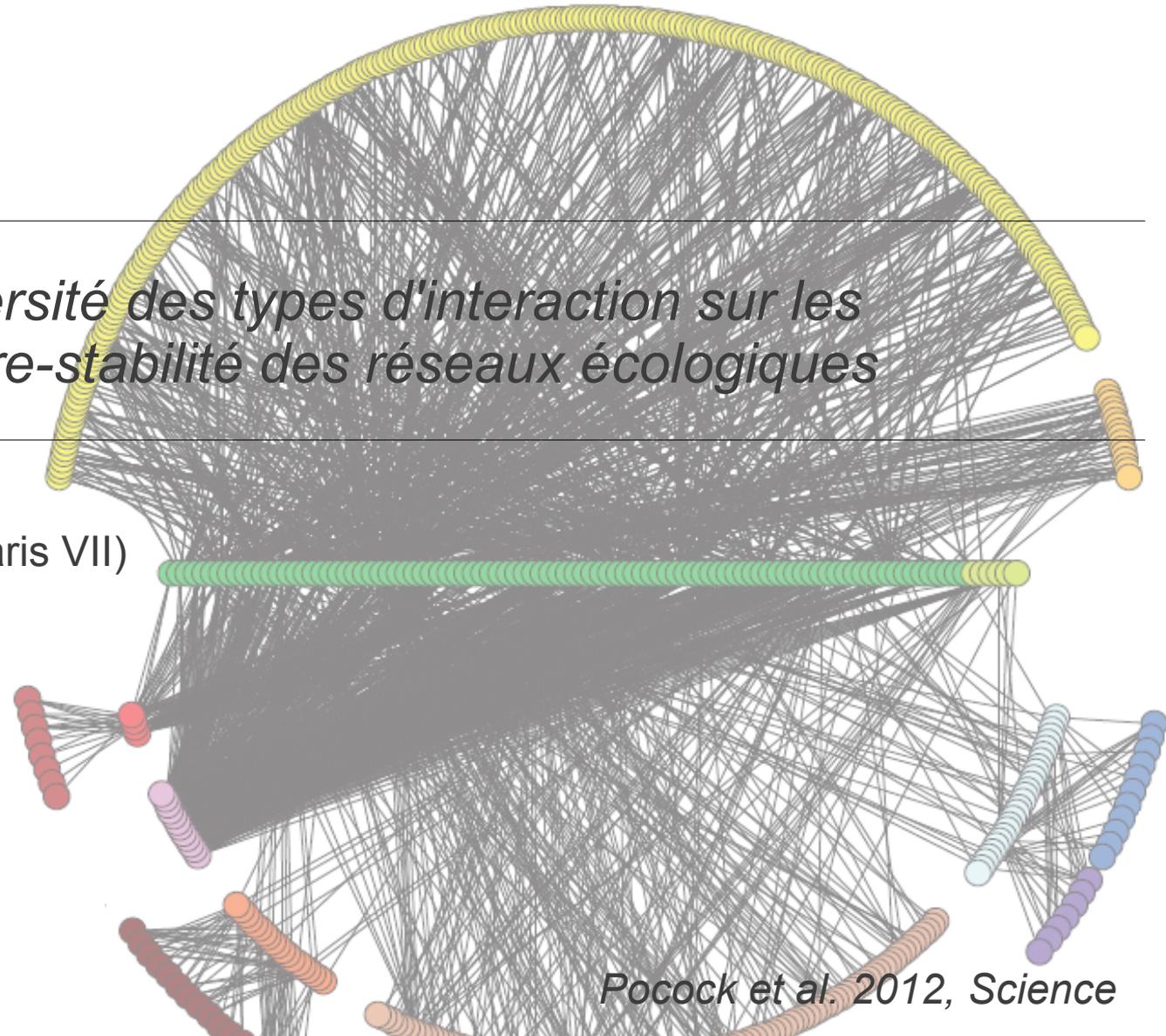


Mardi 4 juin 2013

Séminaire de la Chaire MMB

*Effets de la diversité des types d'interaction sur les relations structure-stabilité des réseaux écologiques*

Alix Sauve (CMMB, Paris VII)

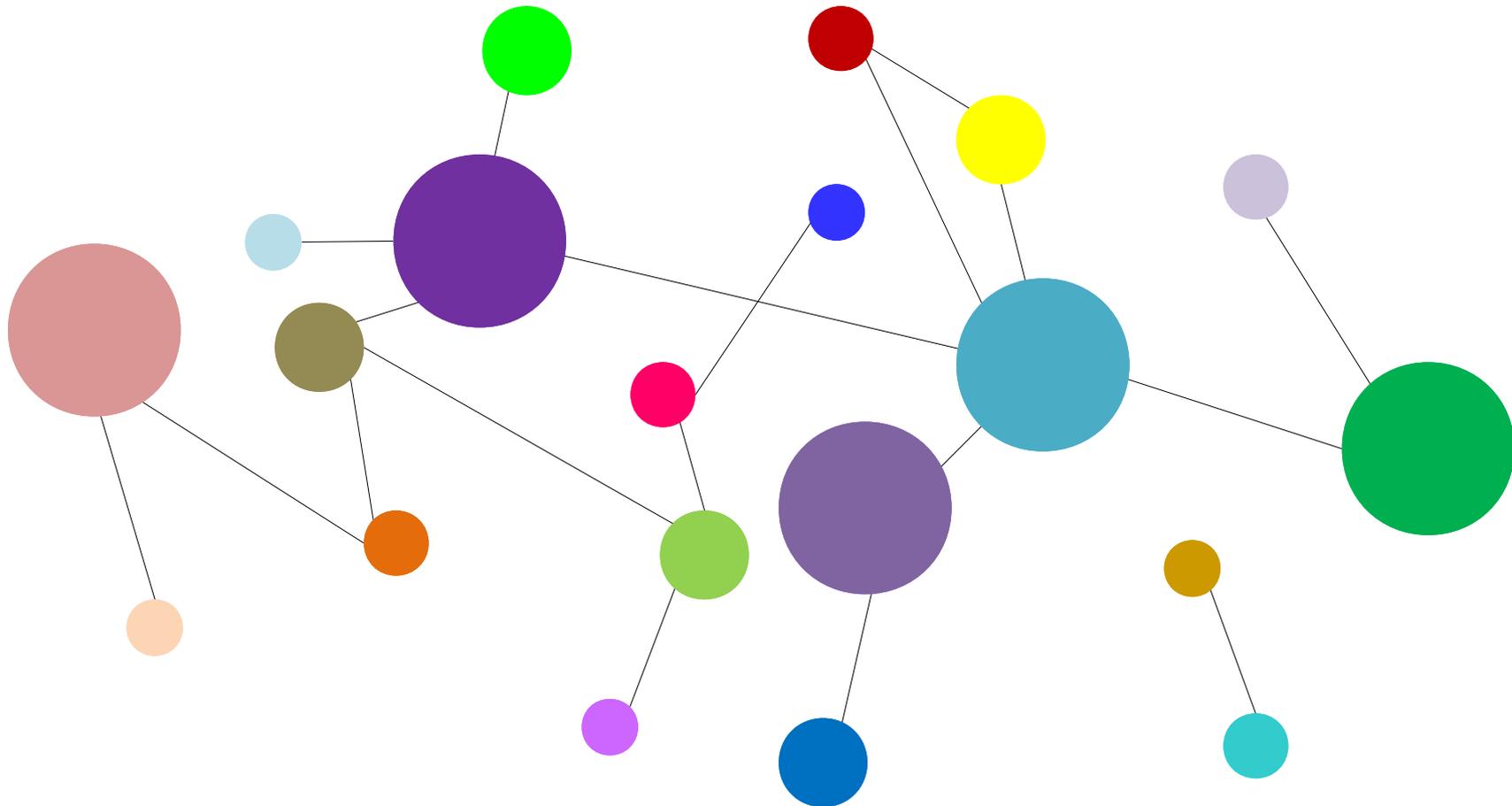


*Pocock et al. 2012, Science*

# Introduction générale

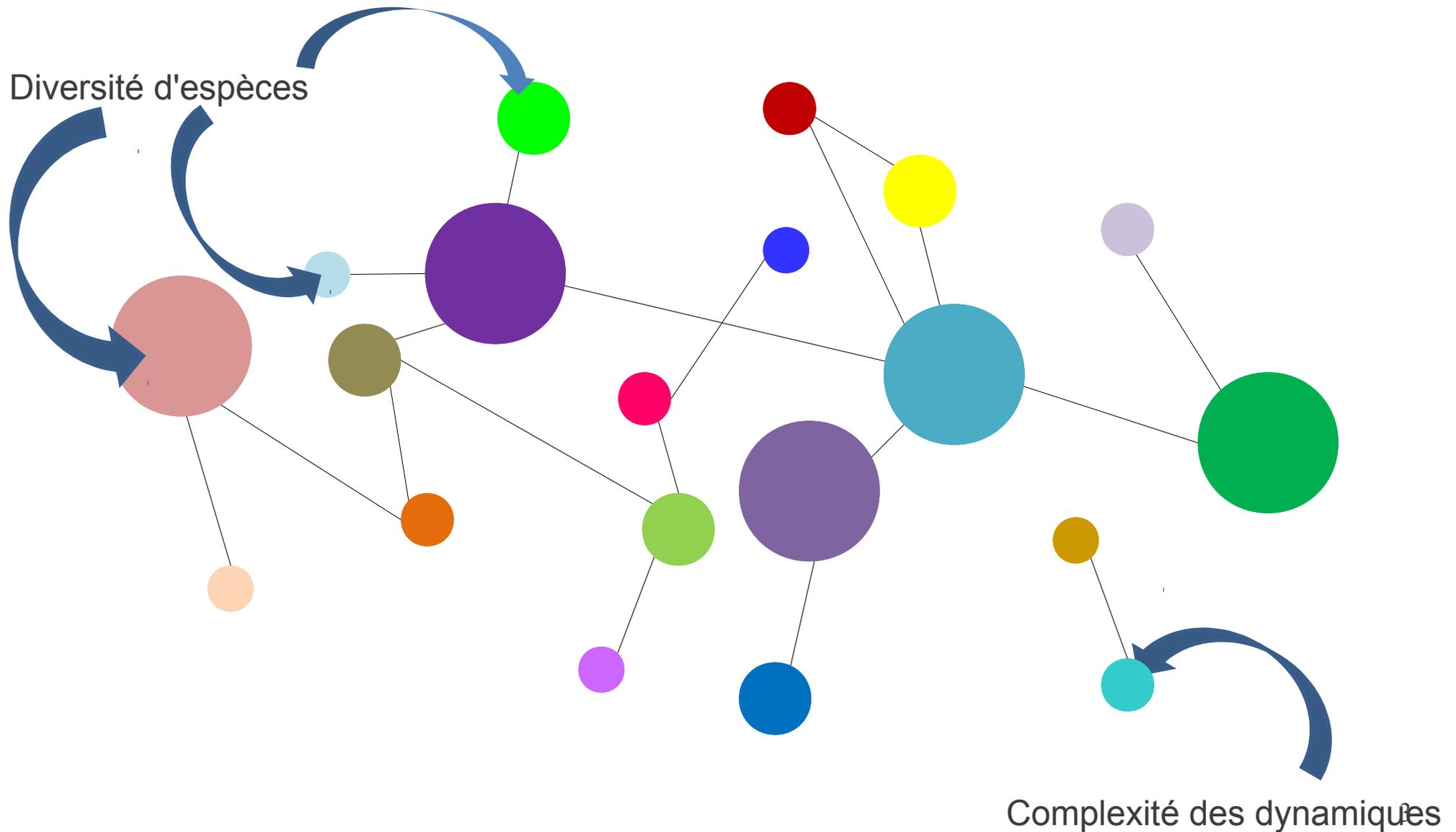
Différents niveaux de complexité dans un réseau écologique

---



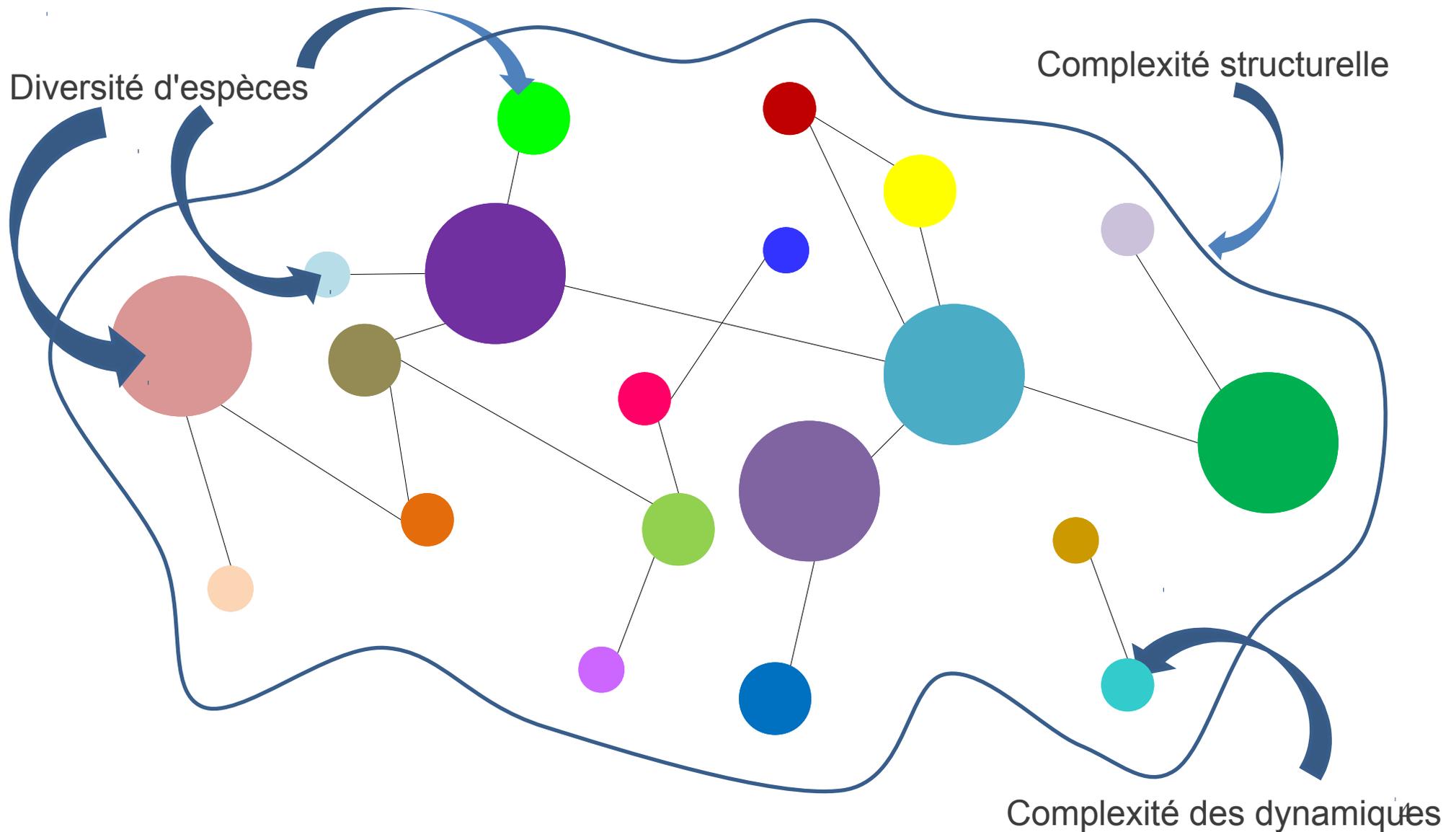
# Introduction générale

Différents niveaux de complexité dans un réseau écologique



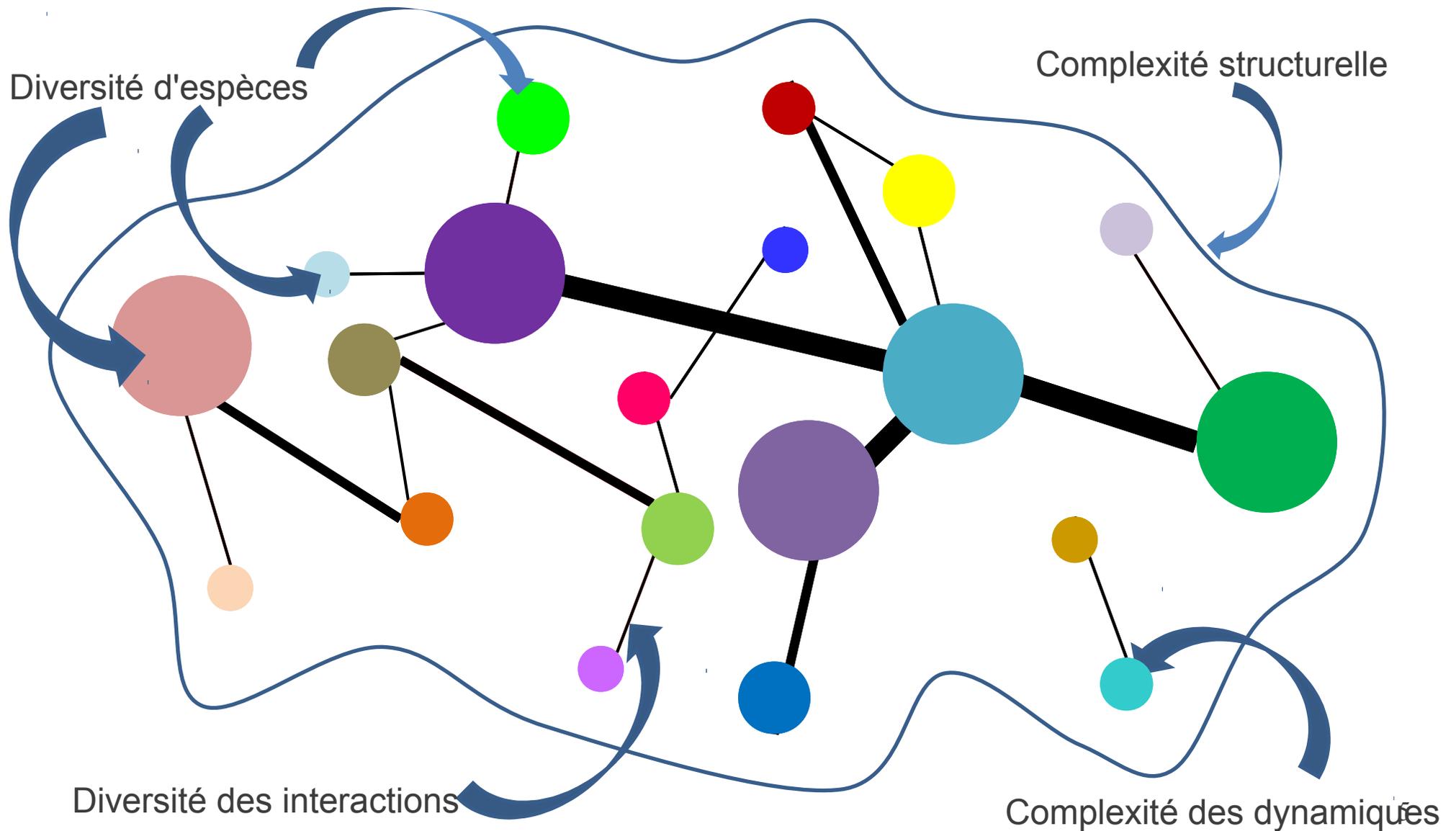
# Introduction générale

Différents niveaux de complexité dans un réseau écologique



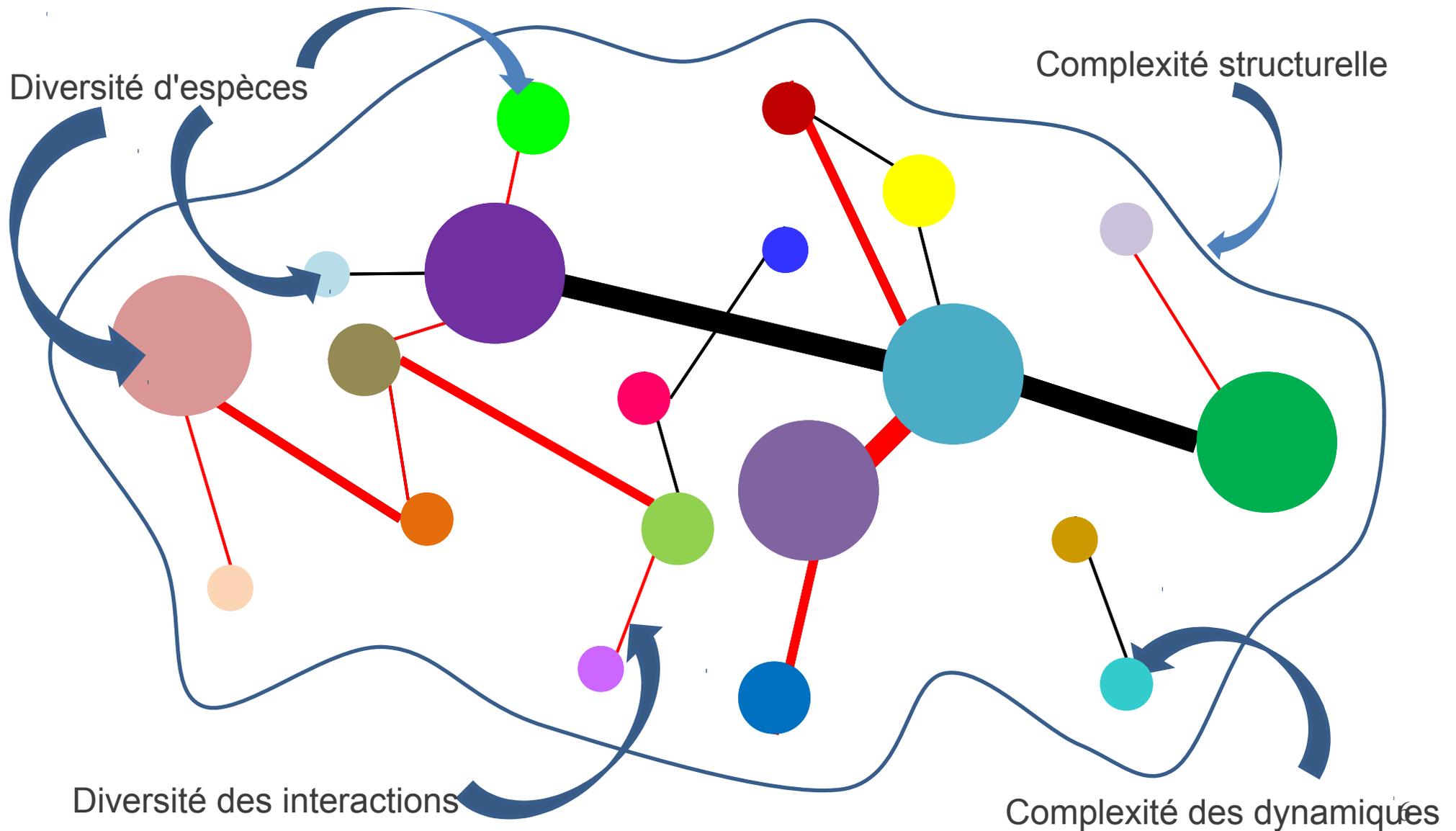
# Introduction générale

Différents niveaux de complexité dans un réseau écologique



# Introduction générale

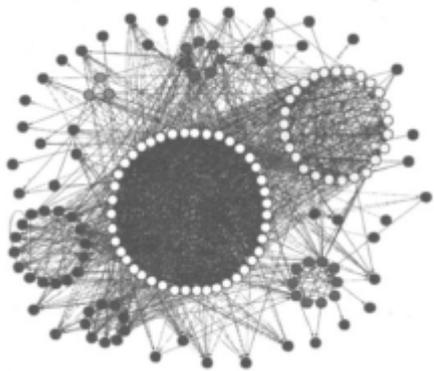
Différents niveaux de complexité dans un réseau écologique



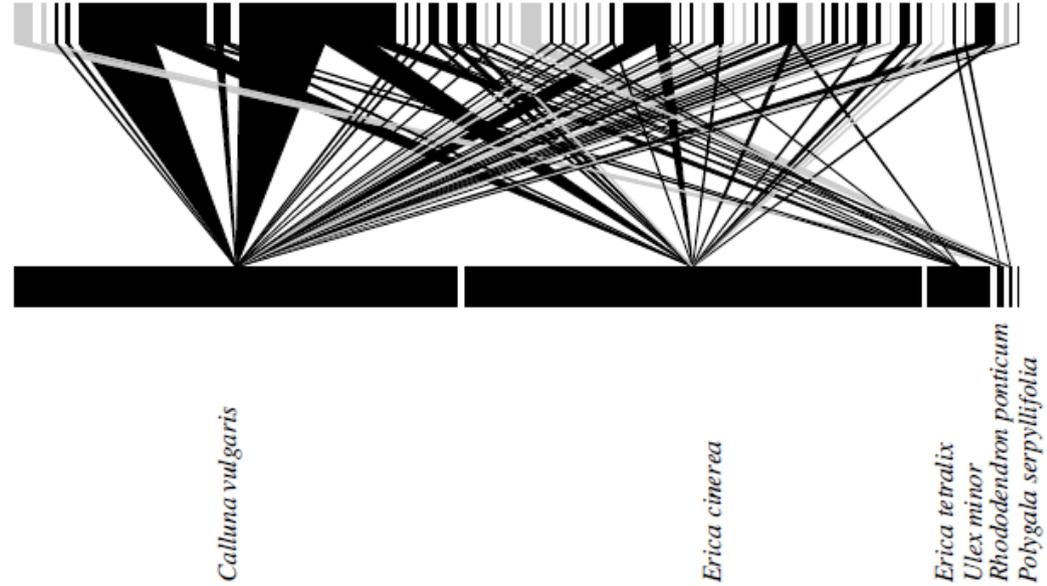
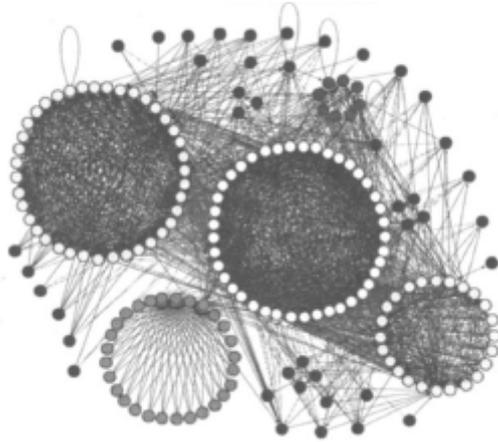
# Introduction générale

Différents types de réseaux étudiés en fonction d'un seul type d'interaction

*El Verde*



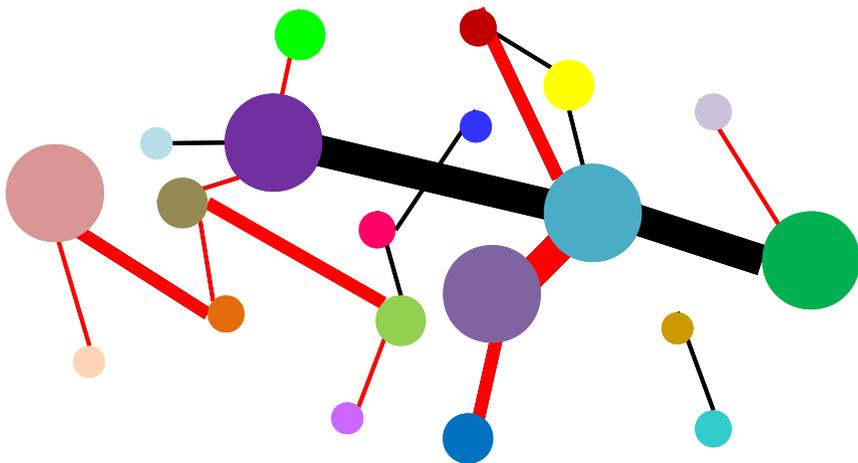
*Little rock lake*



Melian & Bascompte 2004, Ecology

Memmott *et al.* 2009, Phil. Trans. R. Soc. B

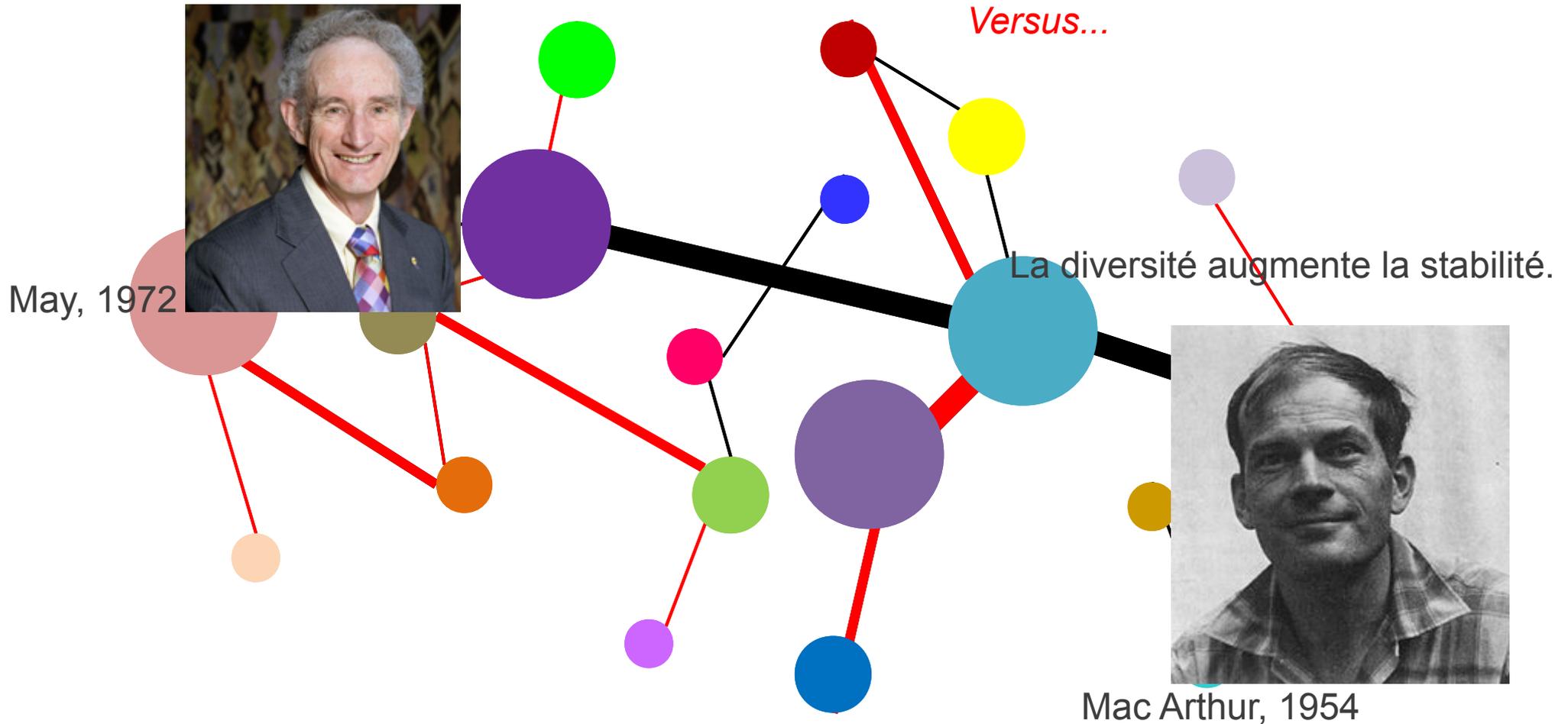
Différents types de réseaux qui co-occurrent dans le temps et dans l'espace...



# Introduction générale

## Le débat structure-stabilité

La complexité diminue la stabilité.

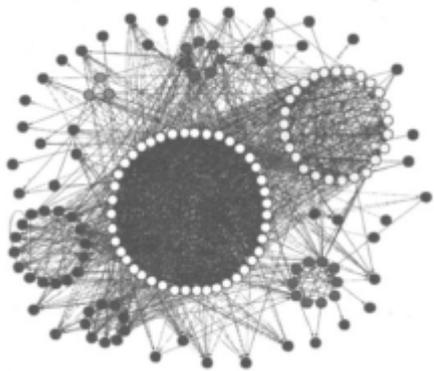


Quelle est la relation entre la structure et la stabilité d'un réseau ?

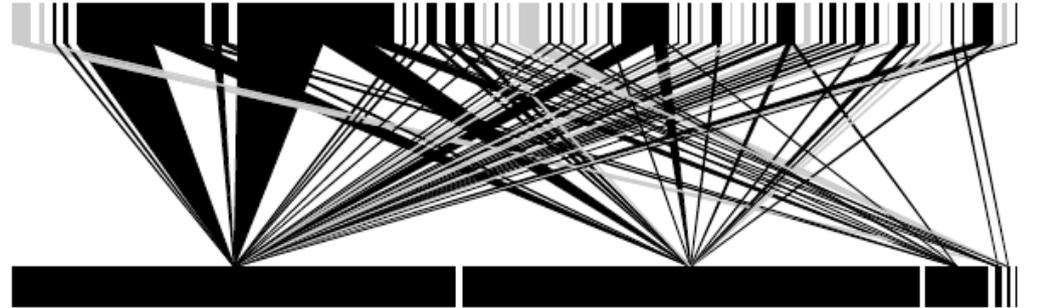
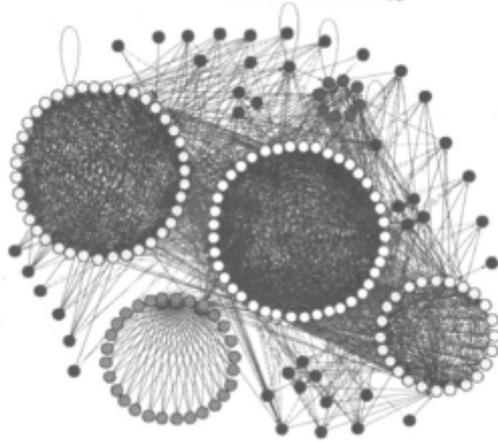
# Introduction générale

Différents types de réseaux étudiés en fonction d'un seul type d'interaction

*El Verde*



*Little rock lake*

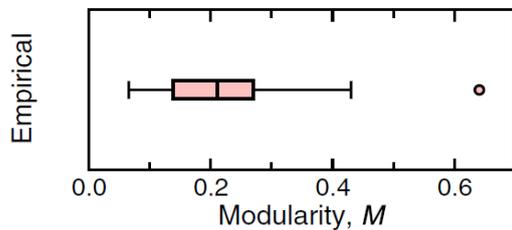
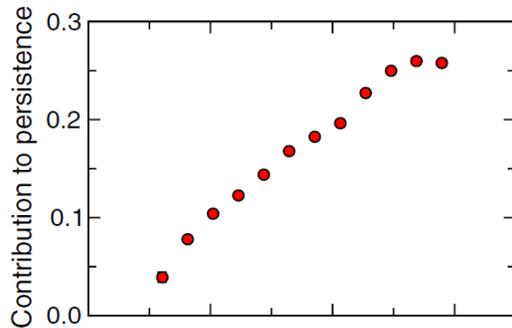


*Calluna vulgaris*

*Erica cinerea*

*Erica tetralix*  
*Ulex minor*  
*Rhododendron ponticum*  
*Polygala serpyllifolia*

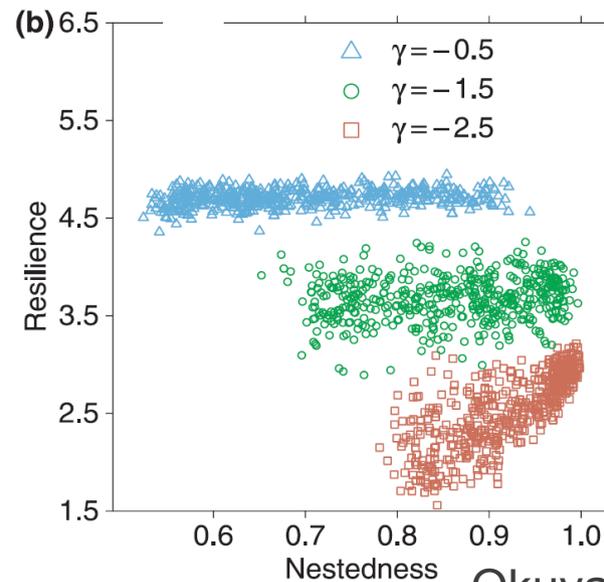
Melian & Bascompte 2004, Ecology



**Réseaux trophiques :**  
- Modulaires,  
- Modularité qui favorise la stabilité.

Stouffer & Bascompte, 2011

Memmott *et al.* 2009, Phil. Trans. R. Soc. B

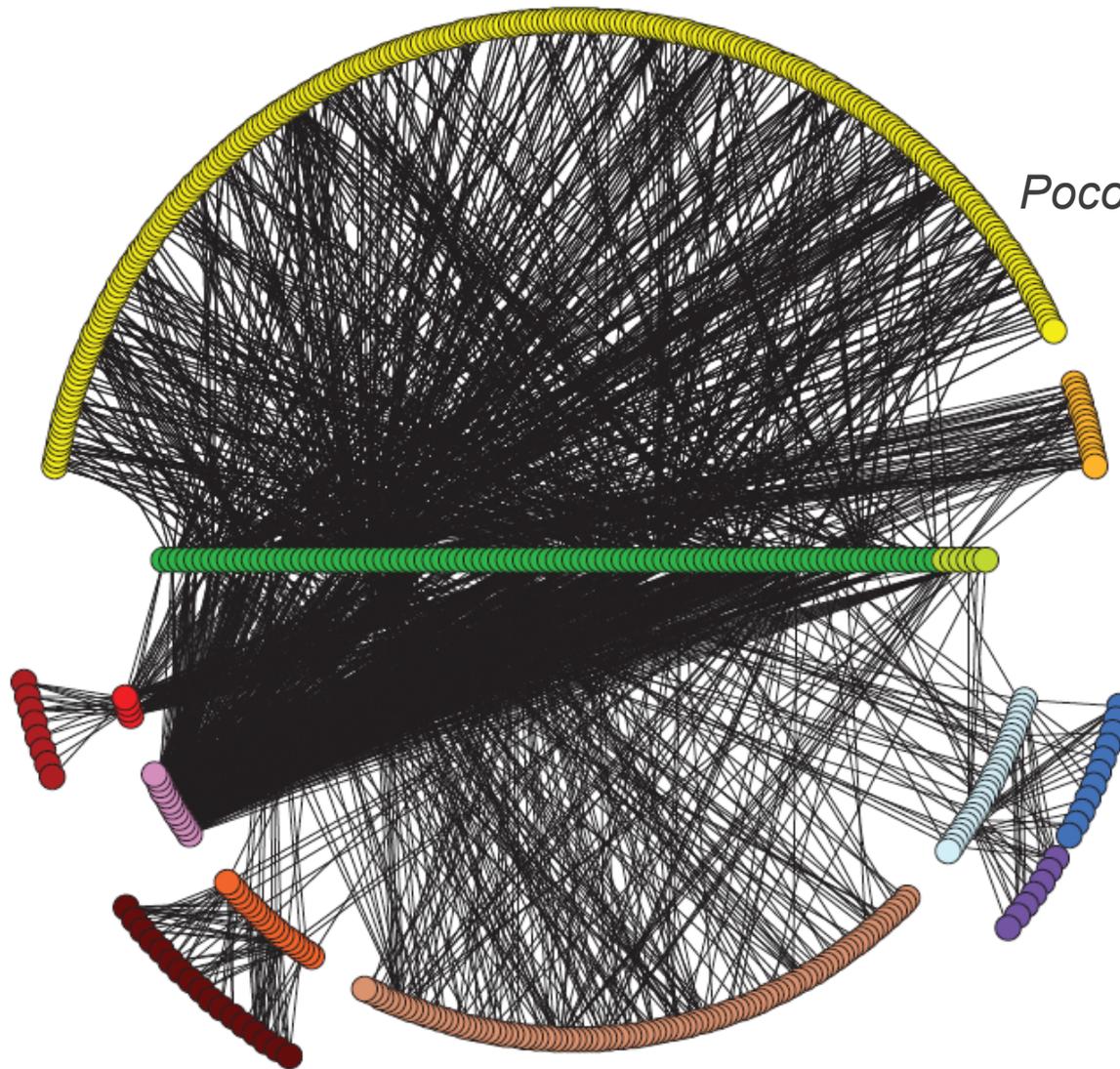


**Réseaux mutualistes :**  
- Emboîtés,  
- Emboîtement qui favorise la stabilité.

Okuyama & Holland, 2008

# Introduction générale

Sujet de thèse : Effets de la diversité des types d'interaction sur les relations structure-stabilité des réseaux écologiques



*Pocock et al. 2012, Science*

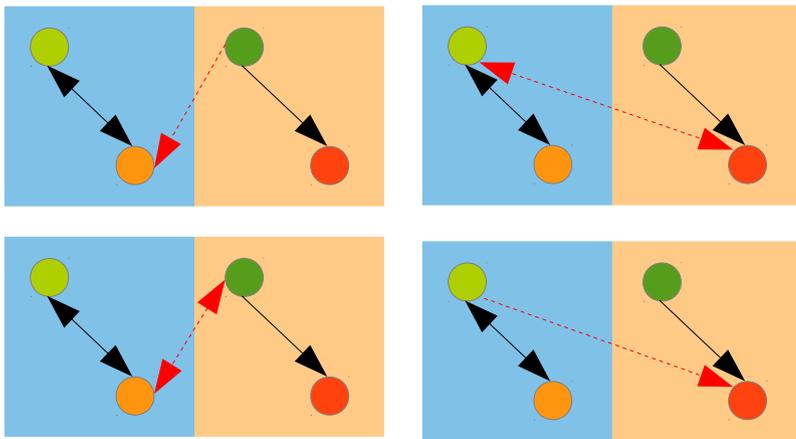
Quels **patterns** d'interactions dans les **communautés écologiques** ?  
Quelle **stabilité** de ces communautés ?  
Quel lien entre **stabilité** et **complexité** ?

# Introduction générale

Sujet de thèse : Effets de la diversité des types d'interaction sur les relations structure-stabilité des réseaux écologiques

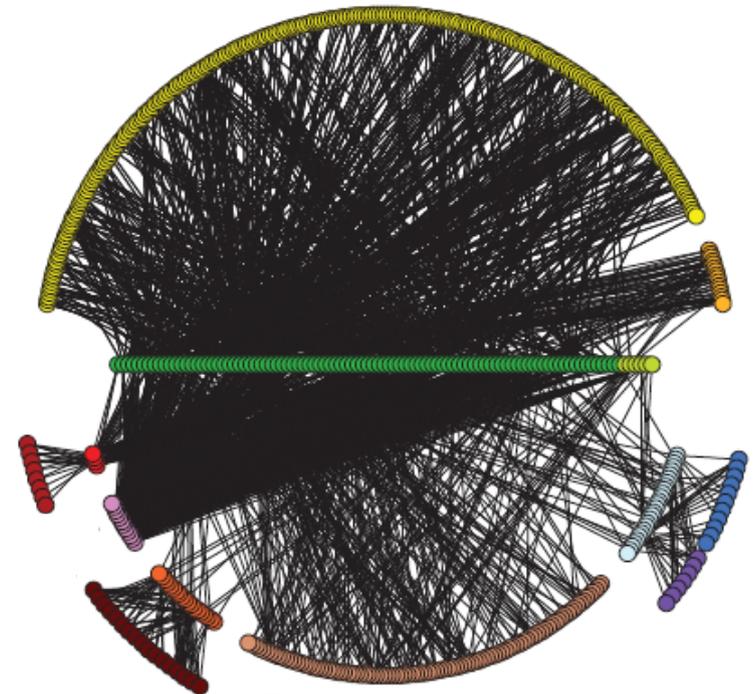
*Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction*

→ Une approche analytique de différents modules,  
Comparaison de cas d'interconnexion d'interactions mutualistes et antagonistes.



*Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes*

→ Analyse d'un jeu de donnée sur un réseau combinant différents types d'interaction.



---

*Stabilité des modules présentant une diversité de type  
d'interaction*

---

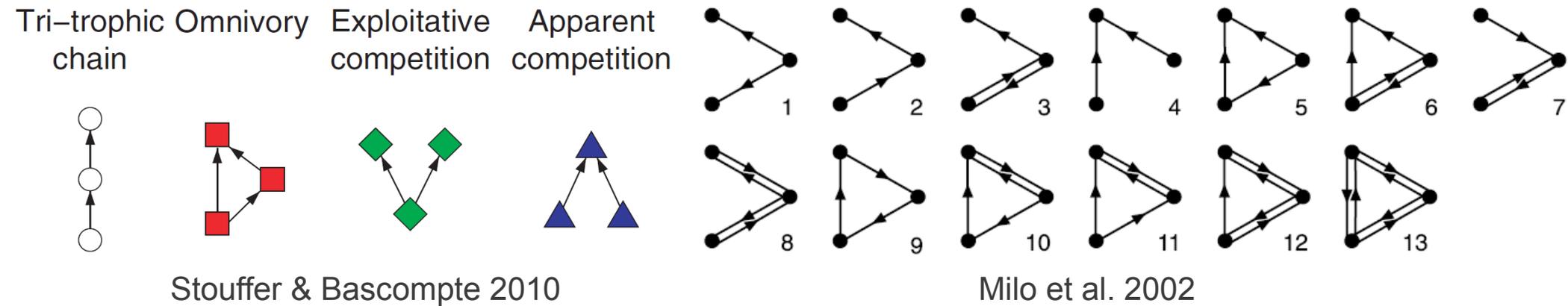
Alix Sauve, Pierre Collet, Colin Fontaine, Elisa Thébault

# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

## Introduction – L'approche en module

Approche en « **modules** » :

- Très utilisée dans l'étude des réseaux trophiques,
- Simplification du système complexe.

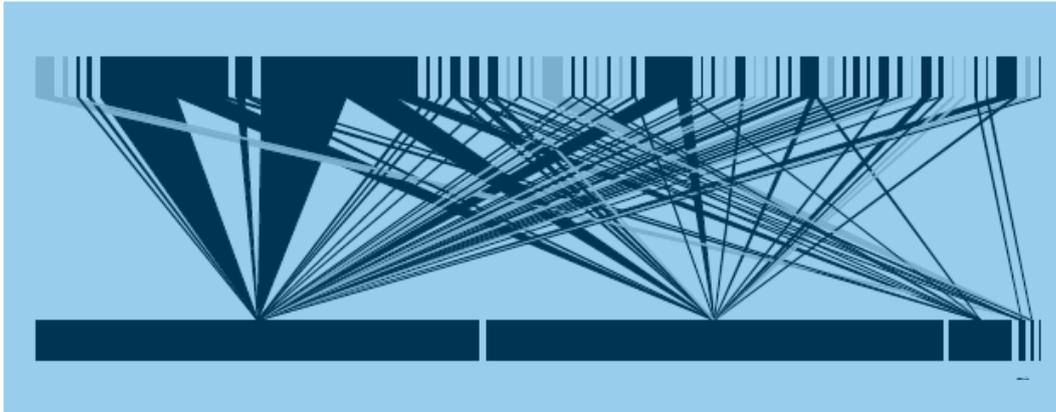


Stabilité ?  
Fréquence ?

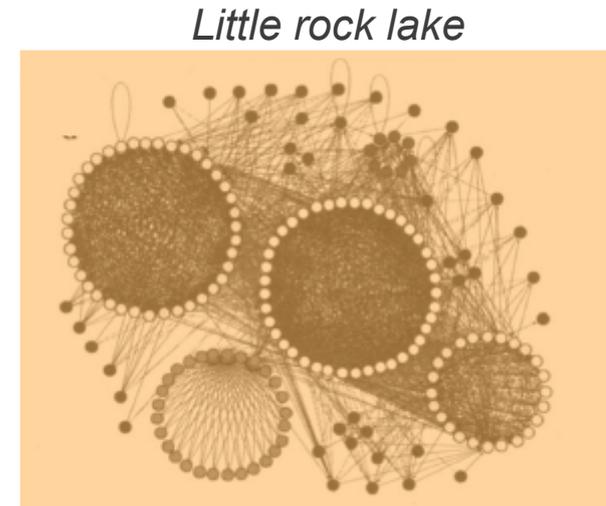
Étudier des briques constitutives de réseaux plus complexes.

# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

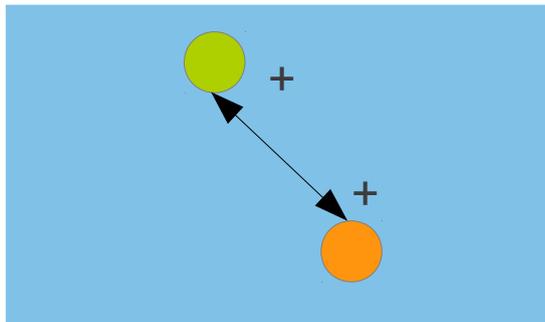
## Introduction – Différent types d'interaction



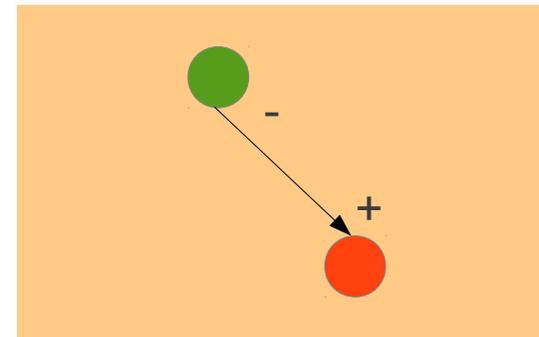
Memmott *et al.* 2009, *Phil. Trans. R. Soc. B*



Melian & Bascompte 2004, *Ecology*



Interaction mutualiste



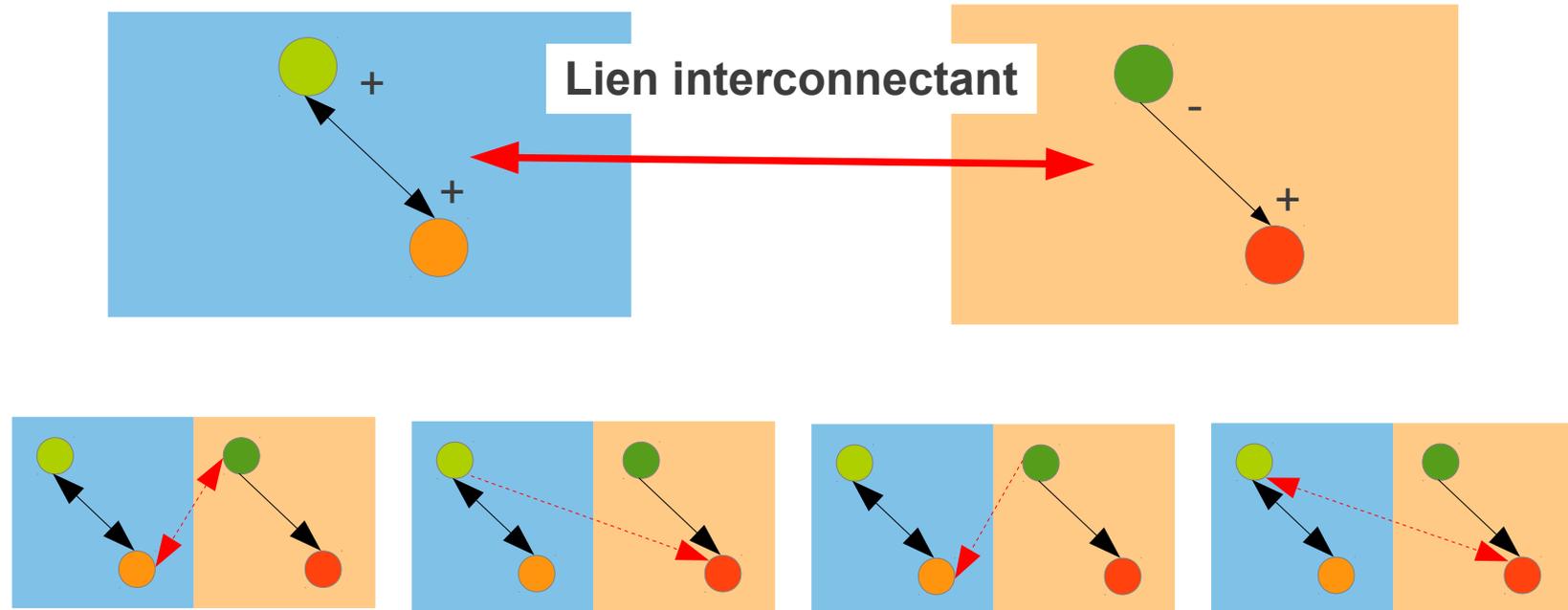
Interaction trophique

Co-occurrence dans le temps et dans l'espace... Comment les considérer ensemble ?

Comment analyser sur la structure de leur assemblage ?

# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

## Introduction – Interconnecter interactions mutualistes et interactions trophiques

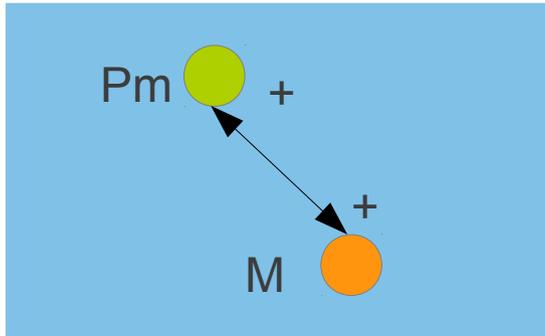


Proportions variables des liens mutualistes et liens trophiques mais différentes distributions

Comment le **type** de lien interconnectant, et sa **position** affecte la **stabilité** d'un module combinant différents types d'interactions ?

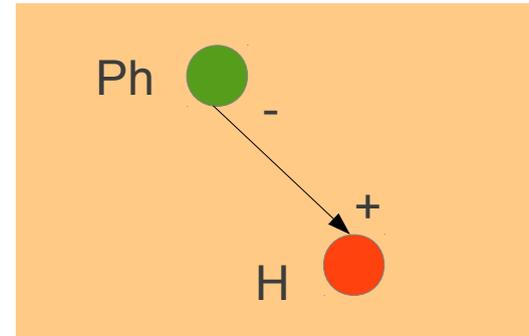
# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

Méthode et outils – Approche préliminaire



Interaction mutualiste

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP^m}{P^m dt} = \alpha^P - \beta^P P^m + \gamma^P M \\ \frac{dM}{M dt} = \alpha^a - \beta^a M + \gamma^M P^m \end{array} \right.$$



Interaction trophique

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP^h}{P^h dt} = \alpha^P - \beta^P P^h - \delta^P H \\ \frac{dH}{H dt} = \alpha^a - \beta^a H + \delta^h P^h \end{array} \right.$$

## Hypothèses du modèle :

- Les interactions inter-spécifiques sont plus faibles que les interactions intra-spécifiques  
→ réponse fonctionnelle de type I

- Pm et Ph ne sont pas des mutualistes obligatoires,  $\alpha^P > 0$

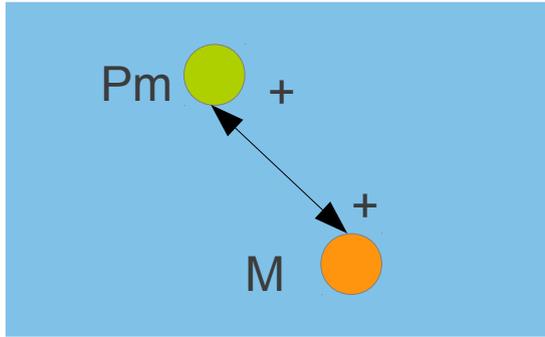
$$\left\{ \begin{array}{l} \beta^{a,P} \gg \gamma^{m,P} \\ \beta^{a,P} \gg \delta^{h,P} \end{array} \right.$$

- H et M dépendent des interactions trophiques et mutualistes pour survivre,  $\alpha^a < 0$   
 $\tilde{\alpha}^a = -\alpha^a$

- Les interactions sont symétriques.  $\left\{ \begin{array}{l} \gamma^m = \gamma^P \\ \delta^h = \delta^P \end{array} \right.$

# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

## Méthode et outils – Approche préliminaire



Interaction mutualiste

$$\begin{cases} \frac{dP^m}{P^m dt} = \alpha^P - \beta^P P^m + \gamma^P M \\ \frac{dM}{M dt} = \alpha^a - \beta^a M + \gamma^M P^m \end{cases}$$

À l'équilibre :

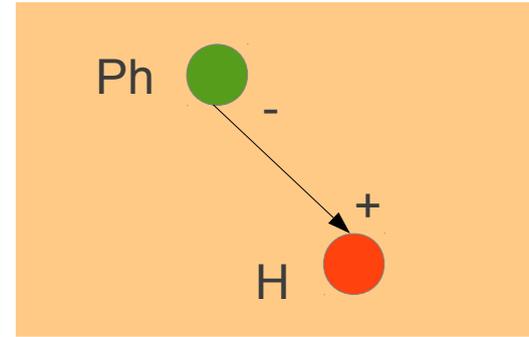
$$\begin{cases} P^m = \frac{\beta^m \alpha^P - \gamma^P \tilde{\alpha}^a}{\beta^P \beta^a - \gamma^P \gamma^m} \\ M = \frac{\gamma^m \alpha^P - \beta^P \tilde{\alpha}^a}{\beta^P \beta^a - \gamma^P \gamma^m} \end{cases}$$

Conditions d'existence et de stabilité :

$$\begin{cases} \alpha^P > \frac{\tilde{\alpha}^a \gamma}{\beta^a} \\ \alpha^P > \frac{\tilde{\alpha}^a \beta^P}{\gamma} \\ \alpha^P > \frac{\tilde{\alpha}^a \beta^P}{\delta} \end{cases}$$

et

$$\begin{cases} \beta^P \beta^a - \gamma^2 > 0 \\ \beta^P \beta^a + \delta^2 > 0 \end{cases}$$



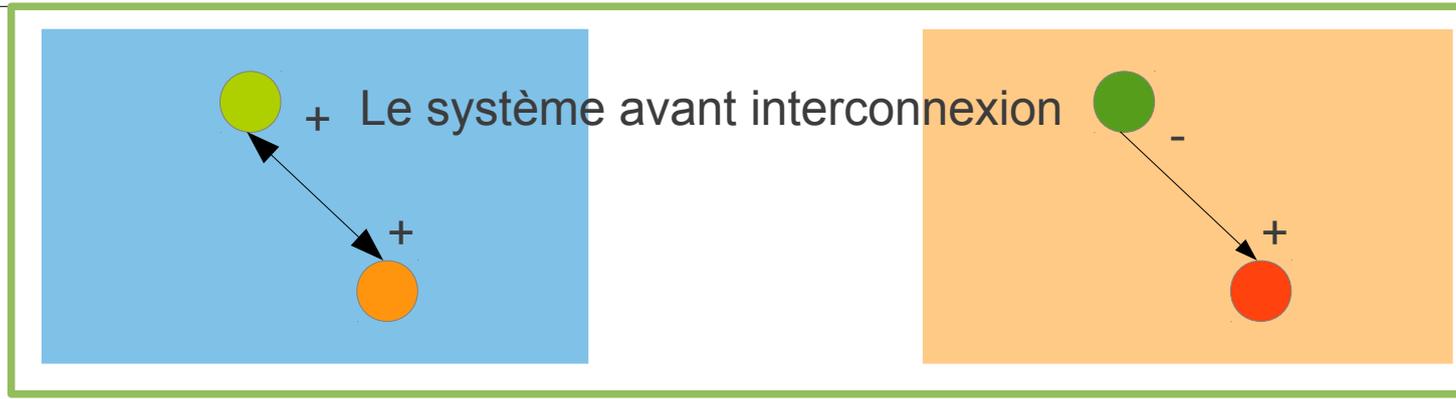
Interaction trophique

$$\begin{cases} \frac{dP^h}{P^h dt} = \alpha^P - \beta^P P^h - \delta^P H \\ \frac{dH}{H dt} = \alpha^a - \beta^a H + \delta^h P^h \end{cases}$$

$$\begin{cases} P^h = \frac{\beta^a \alpha^P + \delta^P \tilde{\alpha}^a}{\beta^P \beta^a + \delta^P \delta^h} \\ H = \frac{\delta^h \alpha^P - \beta^P \tilde{\alpha}^a}{\beta^P \beta^a + \delta^P \delta^h} \end{cases}$$

# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

## Méthode et outils – Approche préliminaire



Interaction mutualiste

Interaction trophique

$$\begin{cases} \frac{dP^m}{P^m dt} = \alpha^P - \beta^P P^m + \gamma^P M \\ \frac{dM}{M dt} = \alpha^a - \beta^a M + \gamma^M P^m \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dP^h}{P^h dt} = \alpha^P - \beta^P P^h - \delta^P H \\ \frac{dH}{H dt} = \alpha^a - \beta^a H + \delta^h P^h \end{cases}$$

À l'équilibre :

$$\begin{cases} P^m = \frac{\beta^m \alpha^P - \gamma^P \tilde{\alpha}^a}{\beta^P \beta^a - \gamma^P \gamma^m} \\ M = \frac{\gamma^m \alpha^P - \beta^P \tilde{\alpha}^a}{\beta^P \beta^a - \gamma^P \gamma^m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} P^h = \frac{\beta^a \alpha^P + \delta^P \tilde{\alpha}^a}{\beta^P \beta^a + \delta^P \delta^h} \\ H = \frac{\delta^h \alpha^P - \beta^P \tilde{\alpha}^a}{\beta^P \beta^a + \delta^P \delta^h} \end{cases}$$

Les valeurs propres des systèmes : **Plus grande valeur propre sous nos hypothèses**

$$\lambda_{h,1} = \frac{-(B^{P^h} + B^h) + C}{2}$$

$$\lambda_{h,2} = \frac{-(B^{P^h} + B^h) - C}{2}$$

$$\lambda_{m,1} = \frac{-(B^{P^m} + B^m) + \sqrt{(B^m - B^{P^m})^2 + 4\Gamma^{P^m} \Gamma^m}}{2}$$

$$\lambda_{m,2} = \frac{-(B^{P^m} + B^m) - \sqrt{(B^m - B^{P^m})^2 + 4\Gamma^{P^m} \Gamma^m}}{2}$$

$$\text{où } C = [\sqrt{(B^h - B^{P^m})^2 - 4\Delta^{P^h} \Delta^h}, i\sqrt{(B^h - B^{P^m})^2 - 4\Delta^{P^h} \Delta^h}]$$

# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

Méthode et outils – Interconnexion – Théorème de la perturbation de la valeur propre simple

Soit  $A \in M_n$

$\lambda_0$  une valeur propre simple telle que  $A \vec{v}_0 = \lambda_0 \vec{v}_0$  et  $A^t \vec{w}_0 = \lambda_0 \vec{w}_0$

Où  $\vec{v}_0$  et  $\vec{w}_0$  sont les vecteurs propres associés « droite » et « gauche ».

Soit  $A(\epsilon) = A + \epsilon B$  la matrice perturbée, telle que  $A(\epsilon) \vec{v}_\epsilon = \lambda_\epsilon \vec{v}_\epsilon$   
et sa valeur propre

$$\lambda_\epsilon = \lambda_0 + \epsilon \frac{\vec{w}_0 \cdot B \cdot \vec{v}_0}{\vec{w}_0 \vec{v}_0} + o(\epsilon^2) + \dots$$

*La stabilité du nouvel équilibre*

Soit le point fixe  $\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{X}(\epsilon, \vec{x}) = 0$

Pour lequel on connaît  $\vec{X}(0, \vec{x}_0)$

$$\vec{x}_\epsilon = \vec{x}_0 + \epsilon \vec{x}_1 + o(\epsilon^2) + \dots$$

$$\vec{X}(\epsilon, \vec{x}) = \vec{X}(\epsilon, \vec{x}_0 + \epsilon \vec{x}_1) = \vec{X}(0, \vec{x}_0) + \epsilon \partial_\epsilon \vec{X}(0, \vec{x}_0) + \epsilon J_{\vec{x}_0} \vec{x}_1 = 0$$

D'où 
$$\vec{x}_1 = -J_{\vec{x}_0}^{-1} \partial_\epsilon \vec{X}(0, \vec{x}_0)$$

*La variation de biomasse*

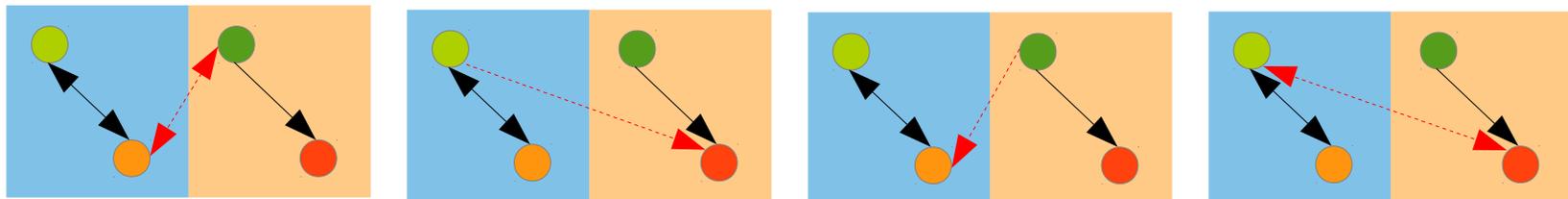
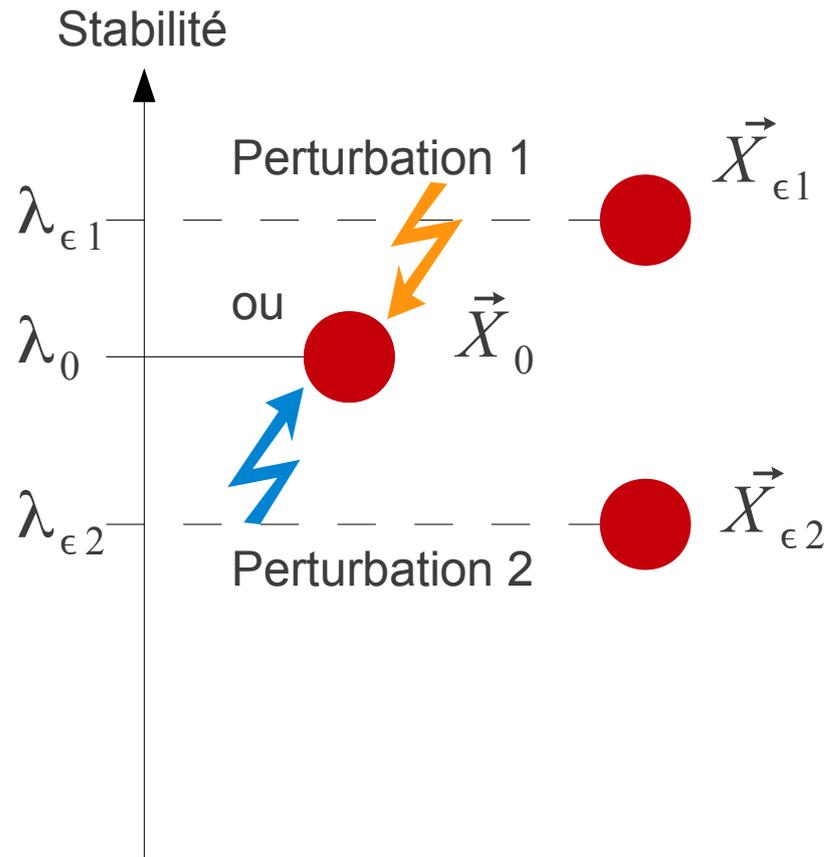
$$A(\epsilon) = D_x \vec{X}(\epsilon, \vec{x}_\epsilon) = D_x \vec{X}(0, \vec{x}_0) + \epsilon \partial_\epsilon D_x \vec{X}(0, \vec{x}_0) + \epsilon D^2 \vec{X}(0, \vec{x}_0) \vec{x}_1$$

$$B = \partial_\epsilon D_x \vec{X}(0, \vec{x}_0) + D^2 \vec{X}(0, \vec{x}_0) \vec{x}_1 = \frac{\partial J_{(\epsilon, \vec{x})}}{\partial \epsilon}(0, \vec{x}_0) - J_{\vec{x}_0}^{-1} \frac{\partial X}{\partial \epsilon}(0, \vec{x}_0) \frac{\partial J_{(\epsilon, \vec{x})}}{\partial \vec{x}}(0, \vec{x}_0)_{19}$$

# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

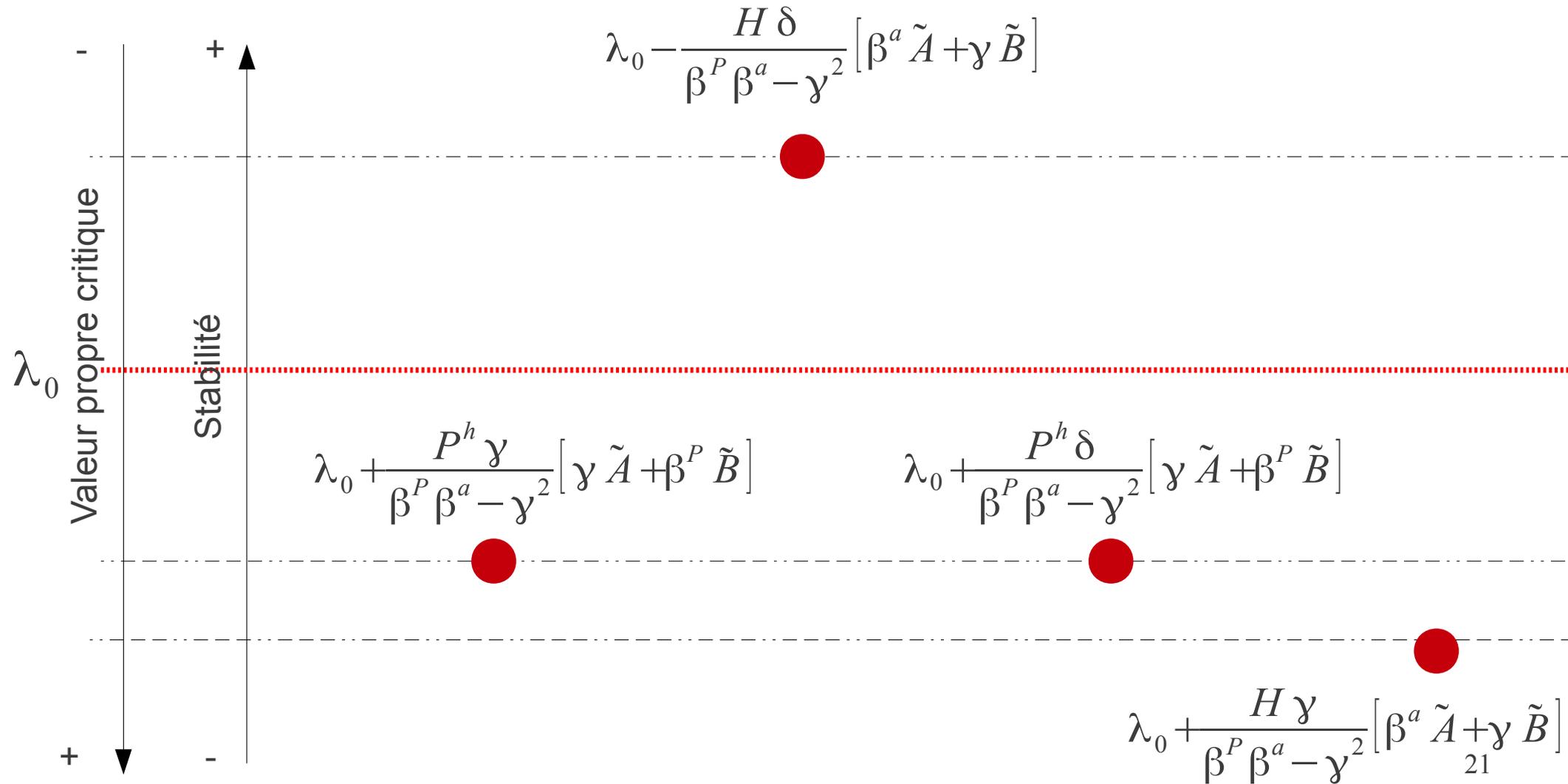
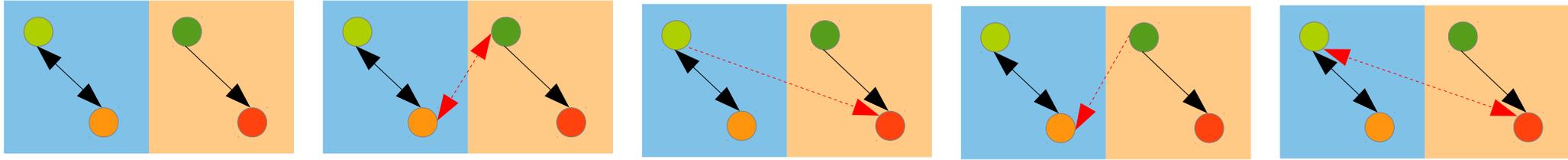
Méthode et outils – Interconnexion – Théorie de la perturbation de la valeur propre simple

Comparaison des nouveaux états au regard des différents types de perturbation



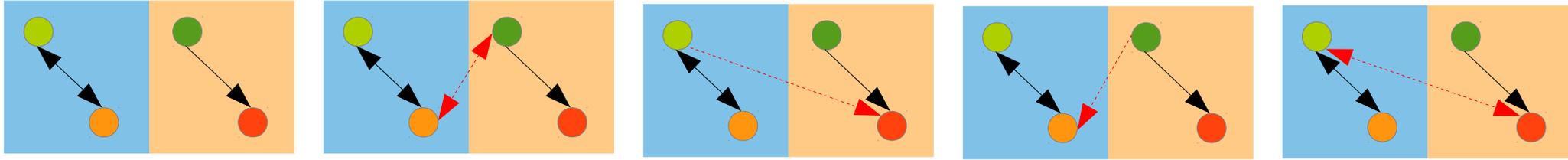
# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

Résultats – Différents cas d'interconnexion - Effets sur la stabilité



# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

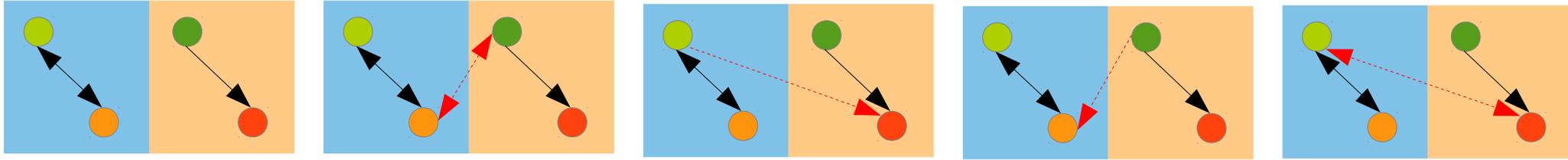
Résultats – Quel est l'effet de l'identité de l'espèce interconnectante sur la communauté ?



- La stabilité d'un module donné dépend :
    - Du type d'interaction qui caractérise le lien interconnectant,
    - De sa position dans le module.
- On ne peut donc pas estimer la stabilité d'un système à partir de la proportion de liens mutualistes et antagonistes seul.

# Stabilité des modules présentant une diversité de type d'interaction

Résultats – Quel est l'effet de l'identité de l'espèce interconnectante sur la communauté ?



- La stabilité d'un module donné dépend :
    - Du type d'interaction qui caractérise le lien interconnectant,
    - De sa position dans le module.
- On ne peut donc pas estimer la stabilité d'un système à partir de la proportion de liens mutualistes et antagonistes seul.

- Quelle représentation de ces modules dans les communautés naturelles ?
- Méthode intéressante, mais à manipuler avec prudence...

---

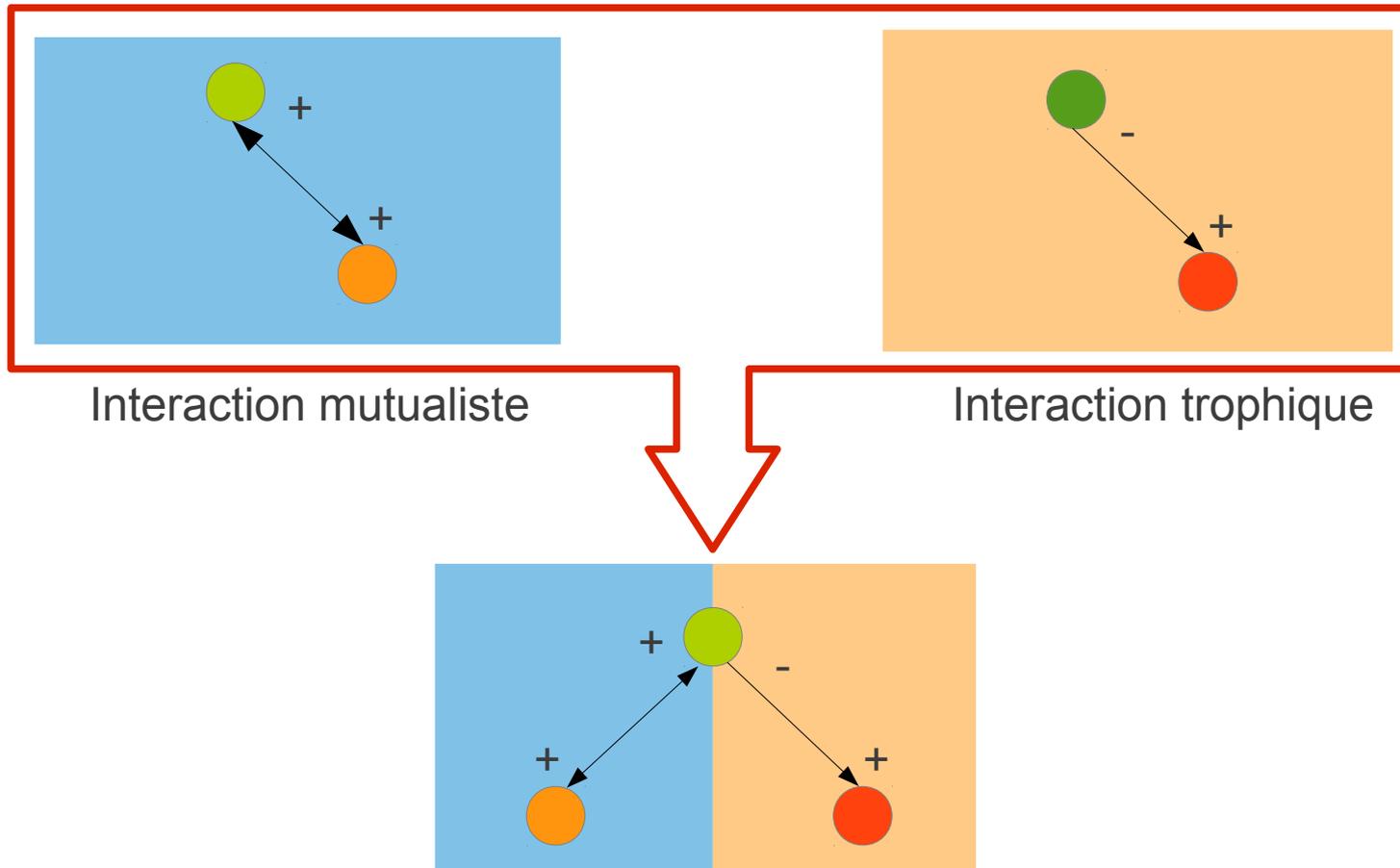
# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

---

Alix Sauve, Mickael Pocock, Elisa Thébault, Colin Fontaine

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

## Introduction – Des espèces interconnectantes

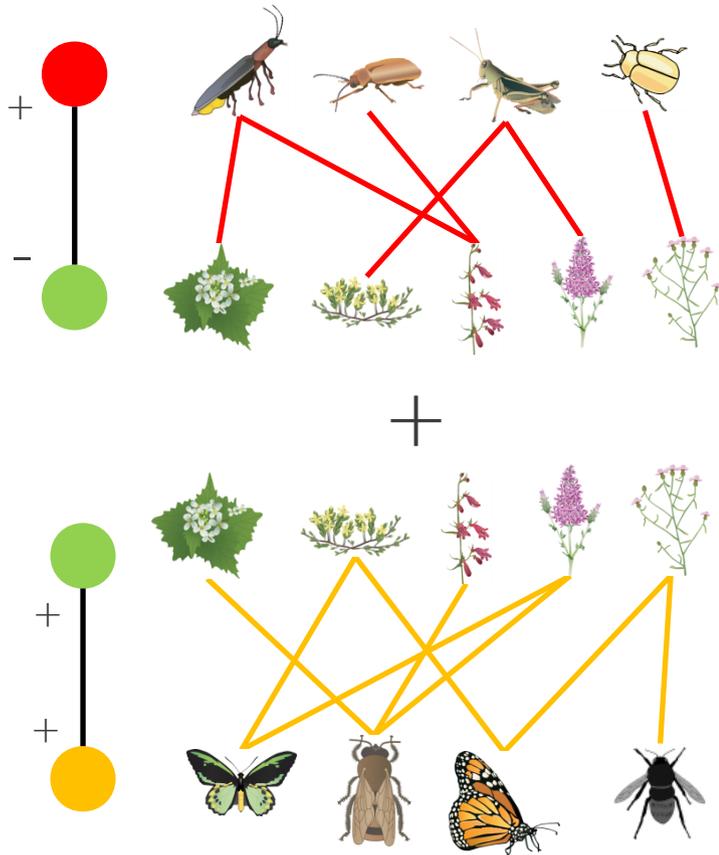


**Une espèce interconnectante** : Une espèce impliquée à la fois dans deux types d'interaction différentes.

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

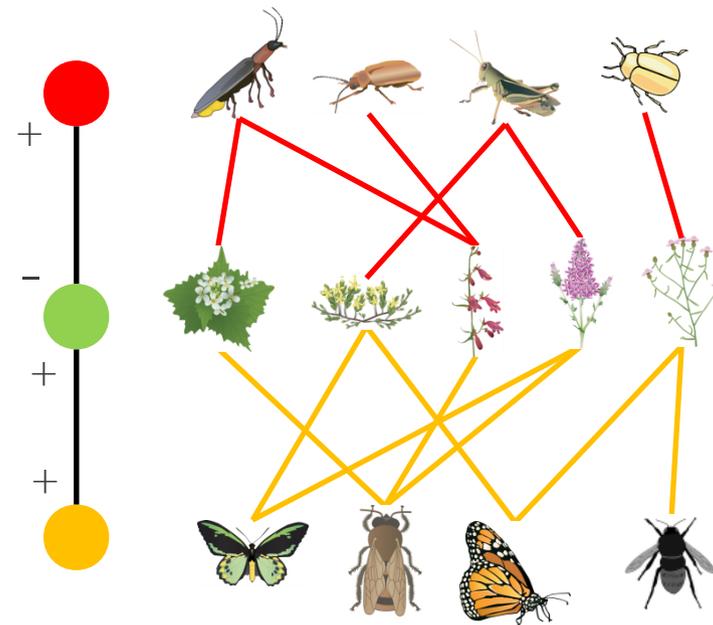
Introduction – Question et approche choisie

## Réseau de phytophagie



## Réseau de pollinisation

## Réseau présentant une diversité d'interaction



*Les plantes, une guildes clef :*

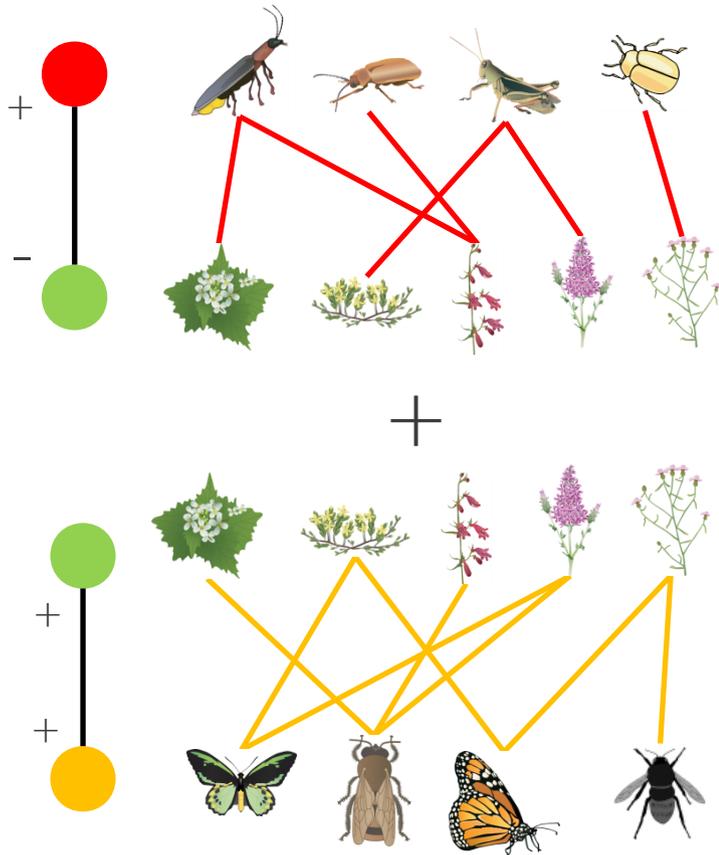
- Une espèce trophique basale,
- Interactions entre les dynamiques de phytophagie et de pollinisation.

→ Adler et al. 2004, 2006, Strauss 1997

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

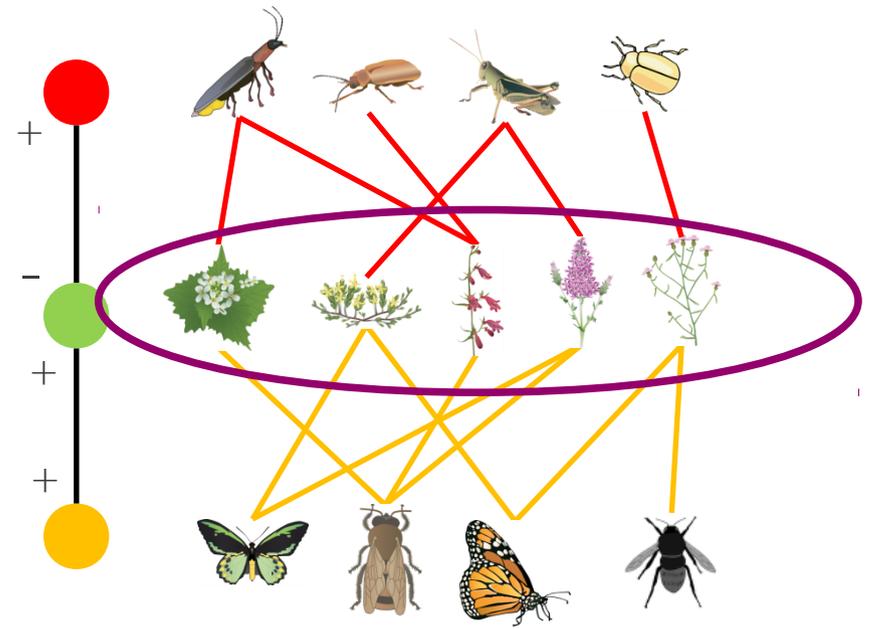
Introduction – Question et approche choisie

## Réseau de phytophagie



## Réseau de pollinisation

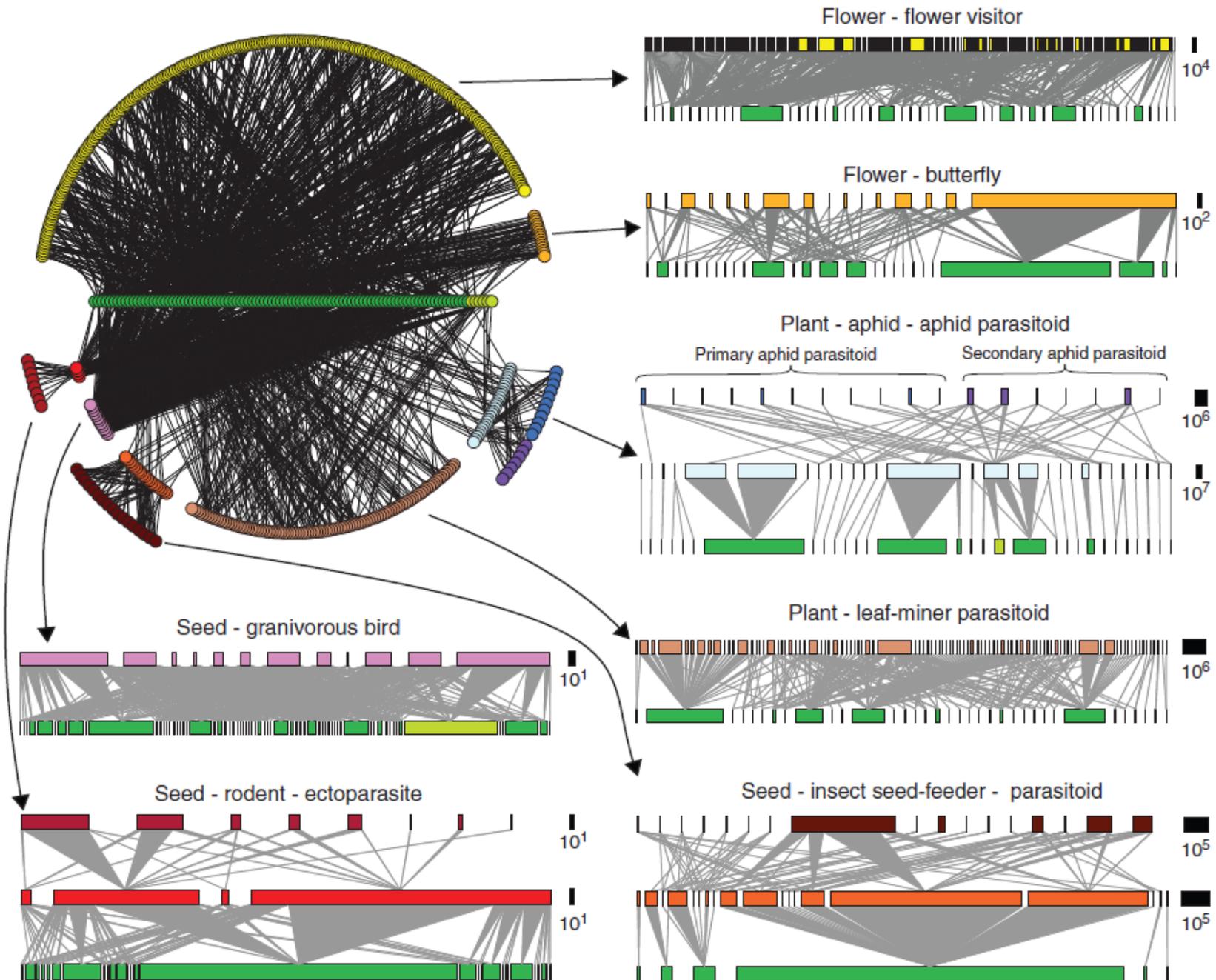
## Réseau présentant une diversité d'interaction



- x Peut-on caractériser des **patterns d'interconnexion** dans les réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes ?
- x Si oui, comment sont-ils liés à la **stabilité structurale** de ces systèmes ?

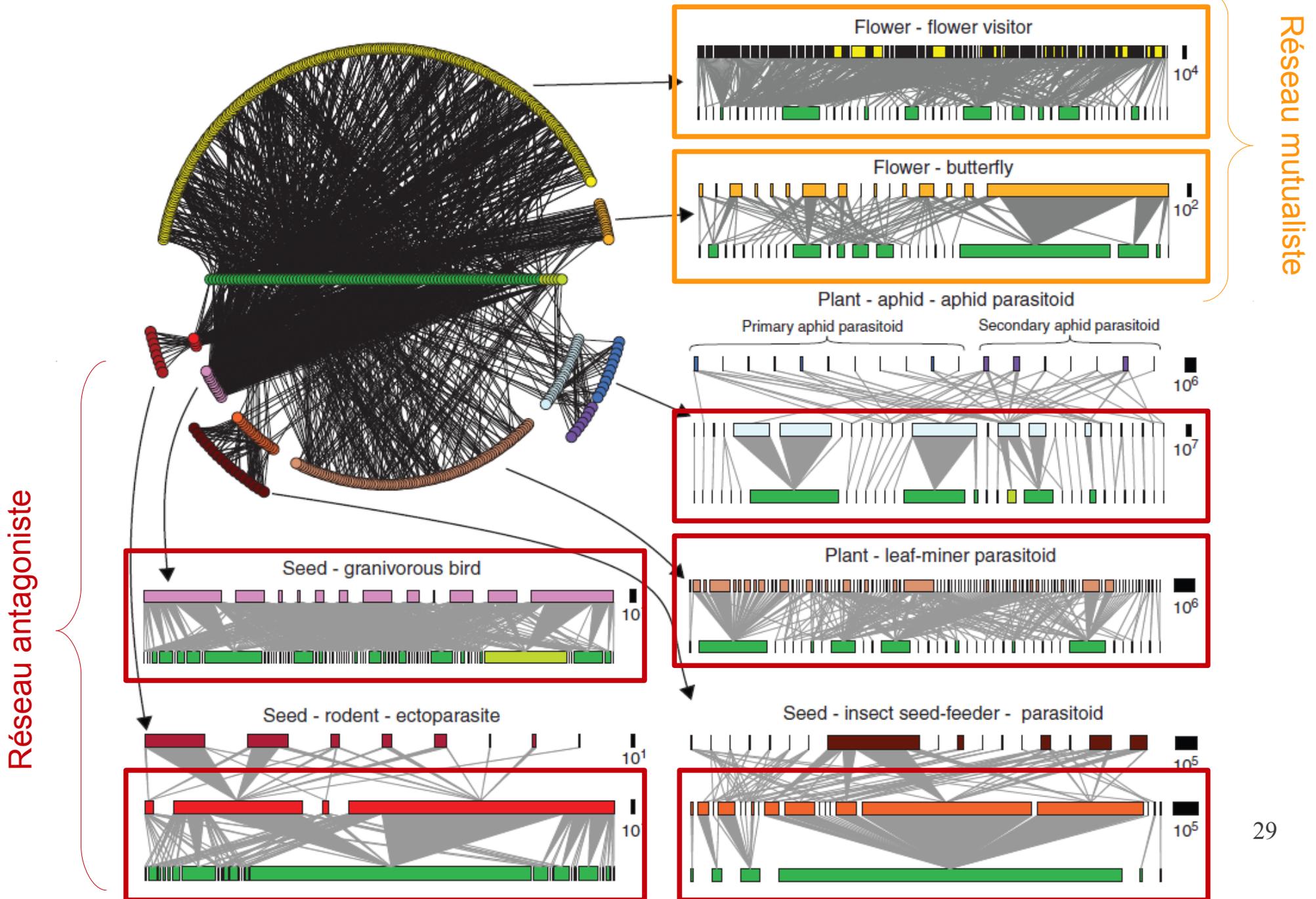
# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – Le jeu de données – Norwood farm, Somerset, UK (Pocock et al. 2012, Science)



# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – Le jeu de données – Norwood farm, Somerset, UK (Pocock et al. 2012, Science)



# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – Le jeu de données – Norwood farm, Somerset, UK (Pocock et al. 2012, Science)

lower_guild	upper_guild	lower_taxon	upper_taxon	estimated_interaction_strength	direct_interaction
plant	flower_visitor	Ajuga_reptans	Rhingia_campestris	1.492E+02	1
plant	flower_visitor	Alliaria_petiolata	Simulium_sp	4.971E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Agriotes_pallidulus	1.969E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Anaspis_maculata	1.969E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Anthocomus_fasciatus	3.939E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Bicellaria_vana	1.969E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Botanophila_striolata	1.969E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Bracon_sp	3.939E+01	1

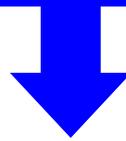
# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – Le jeu de données – Norwood farm, Somerset, UK (Pocock et al. 2012, Science)

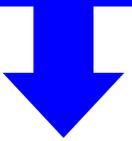
lower_guild	upper_guild	lower_taxon	upper_taxon	estimated_interaction_strength	direct_interaction
plant	flower_visitor	Ajuga_reptans	Rhingia_campestris	1.492E+02	1
plant	flower_visitor	Alliaria_petiolata	Simulium_sp	4.971E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Agriotes_pallidulus	1.969E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Anaspis_maculata	1.969E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Anthocomus_fasciatus	3.939E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Bicellaria_vana	1.969E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Botanophila_striolata	1.969E+01	1
plant	flower_visitor	Anthriscus_sylvestris	Bracon_sp	3.939E+01	1



Le type d'interaction



Pour chaque guild :  
Identité et nombre d'espèces



Topologie



# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – Patterns d'interconnexion des réseaux antagonistes et mutualistes

Peut-on caractériser des réseaux interconnectés par des patterns d'interconnexion ?

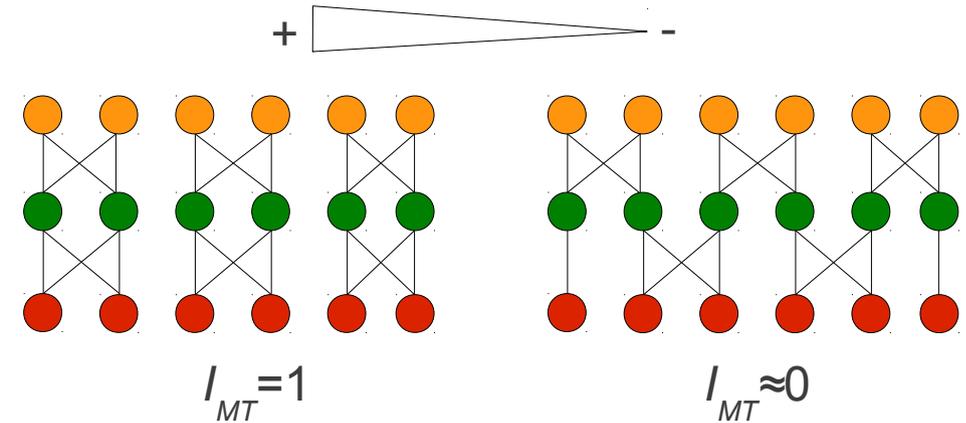
Melían et al. 2009

Fontaine et al. 2011

- Similarité de compartiments :

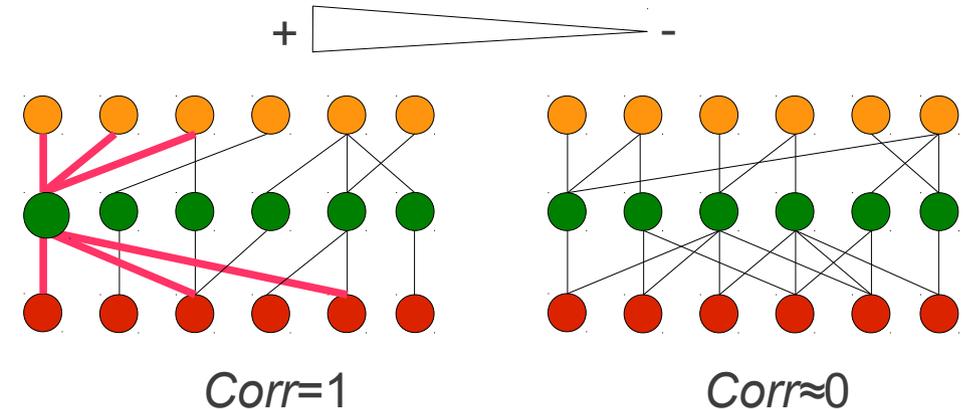
$$I_{MT} = \frac{-2 \sum_{i=1}^{N^M} \sum_{j=1}^{N^T} n_{ij}^{MT} \log\left(\frac{n_{ij}^{MT} S}{n_i^M n_j^T}\right)}{\sum_{i=1}^{N^M} n_i^M \log\left(\frac{n_i^M}{S}\right) + \sum_{j=1}^{N^T} n_j^T \log\left(\frac{n_j^T}{S}\right)}$$

→ Guimera et al. 2007



- Corrélation de degré de généralisme :

→ *Corrélation de Pearson*



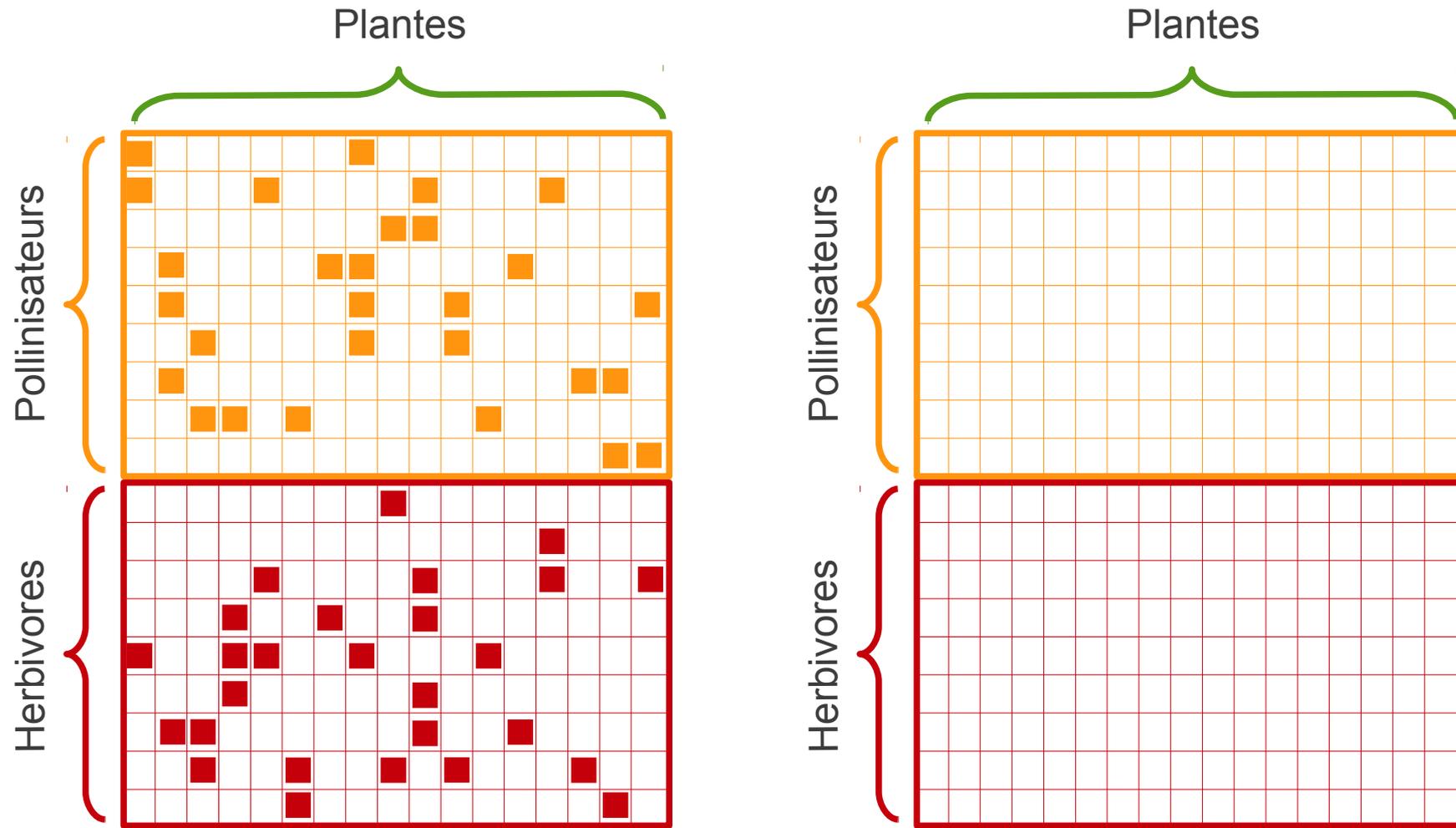
- Ratio du degré de généralisme mutualiste sur antagoniste :

→ *Moyenne des*  $R_i = \frac{g_{m,i} + 1}{g_{m,.} + 1} \frac{g_{a,.} + 1}{g_{a,i} + 1}$

→ Melian et al. 2009

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – « Null model »



Conservation du même nombre de plantes, de pollinisateurs et d'herbivores.

Modèle nul → Les résultats observés pour l'interconnexion sont-ils différents de ce qui peut être attendu au hasard ?

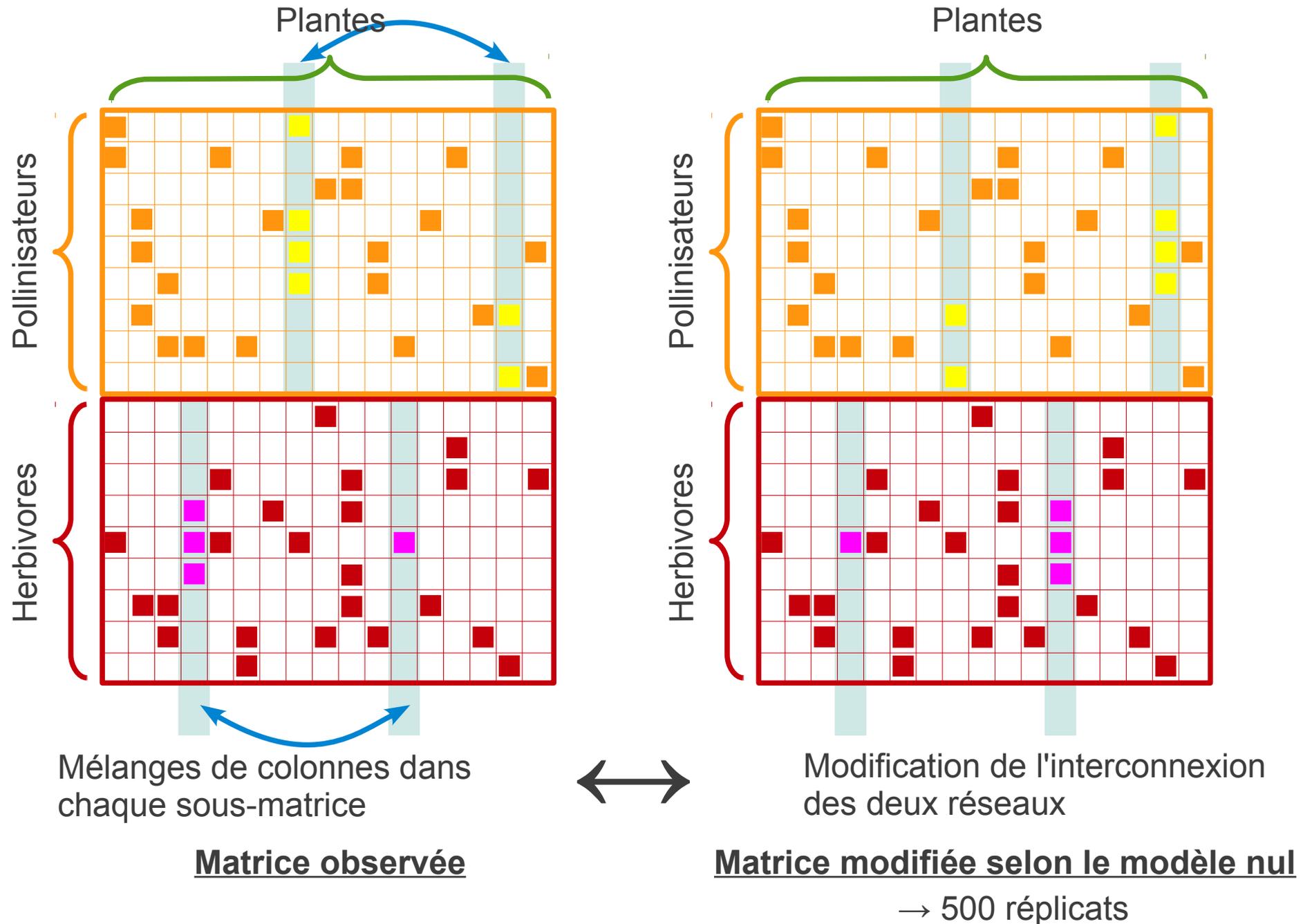
Matrice observée

Matrice modifiée selon le modèle nul

→ 500 réplicats

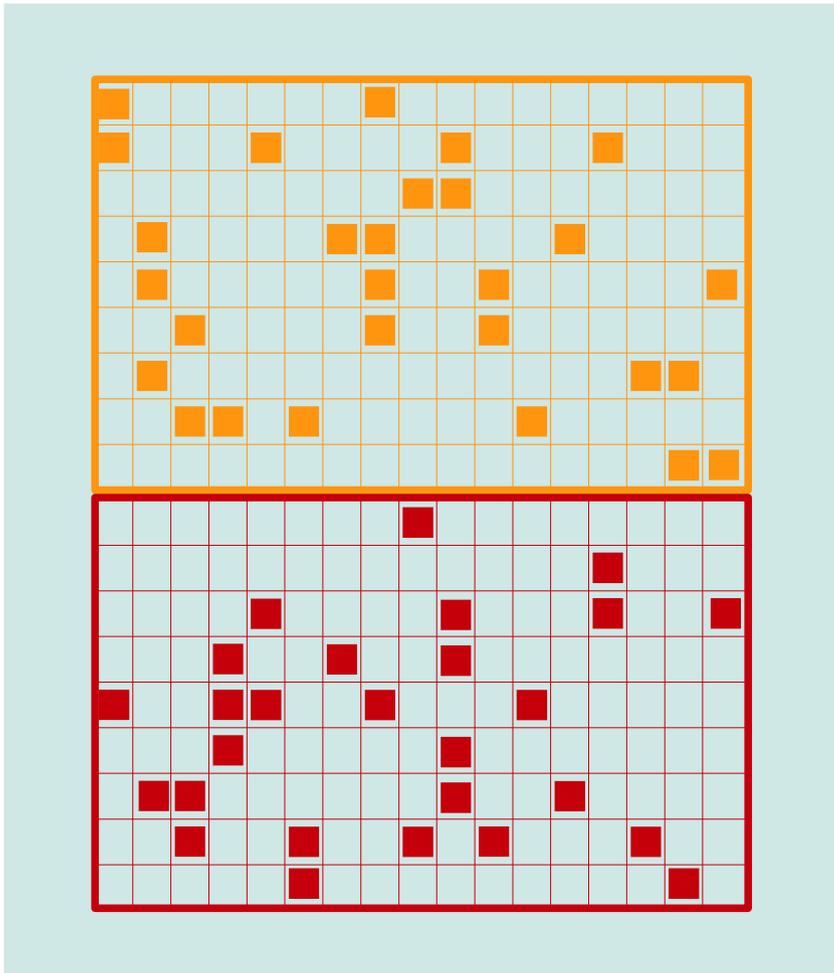
# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – « Null model »

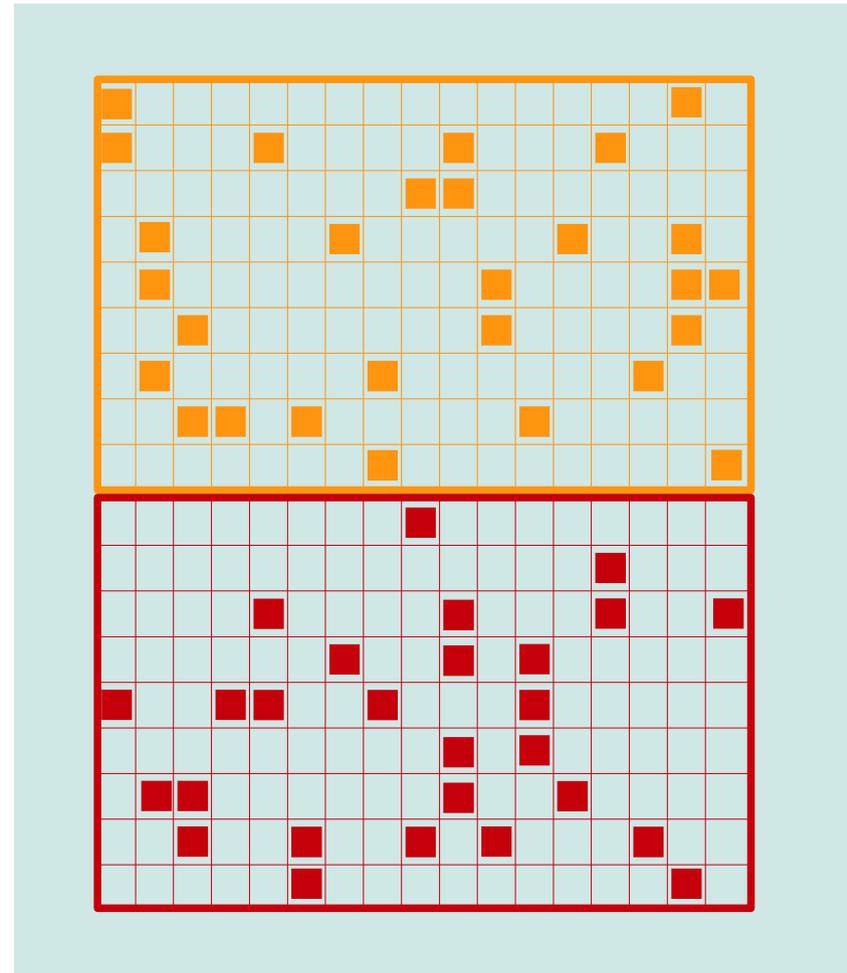


# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – « Null model »



≠



Mélanges de colonnes dans  
chaque sous-matrice



Modification de l'interconnexion  
des deux réseaux

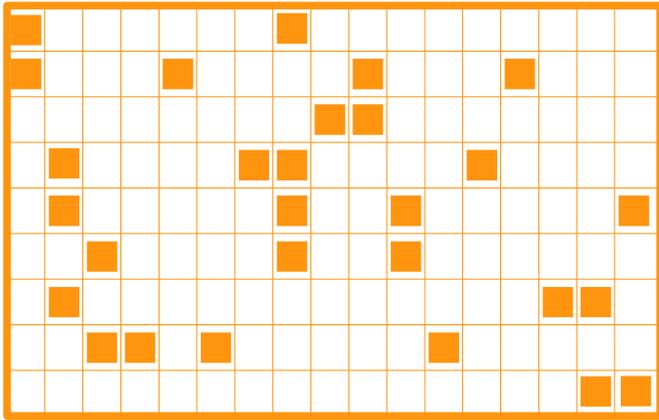
**Matrice observée**

**Matrice modifiée selon le modèle nul**

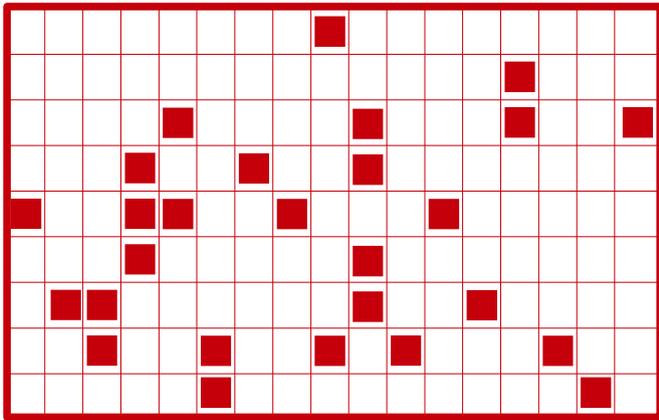
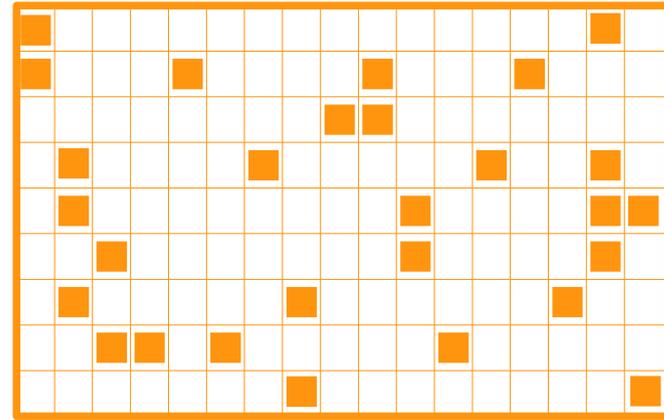
→ 500 réplicats

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

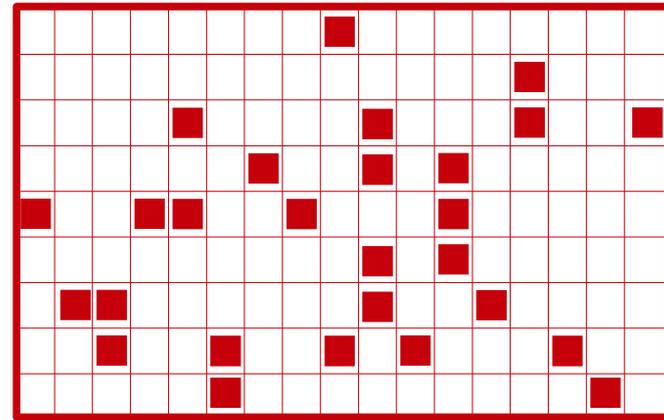
Méthode & outils – « Null model »



=



=



Mélanges de colonnes dans  
chaque sous-matrice



Maintien des sous-structures

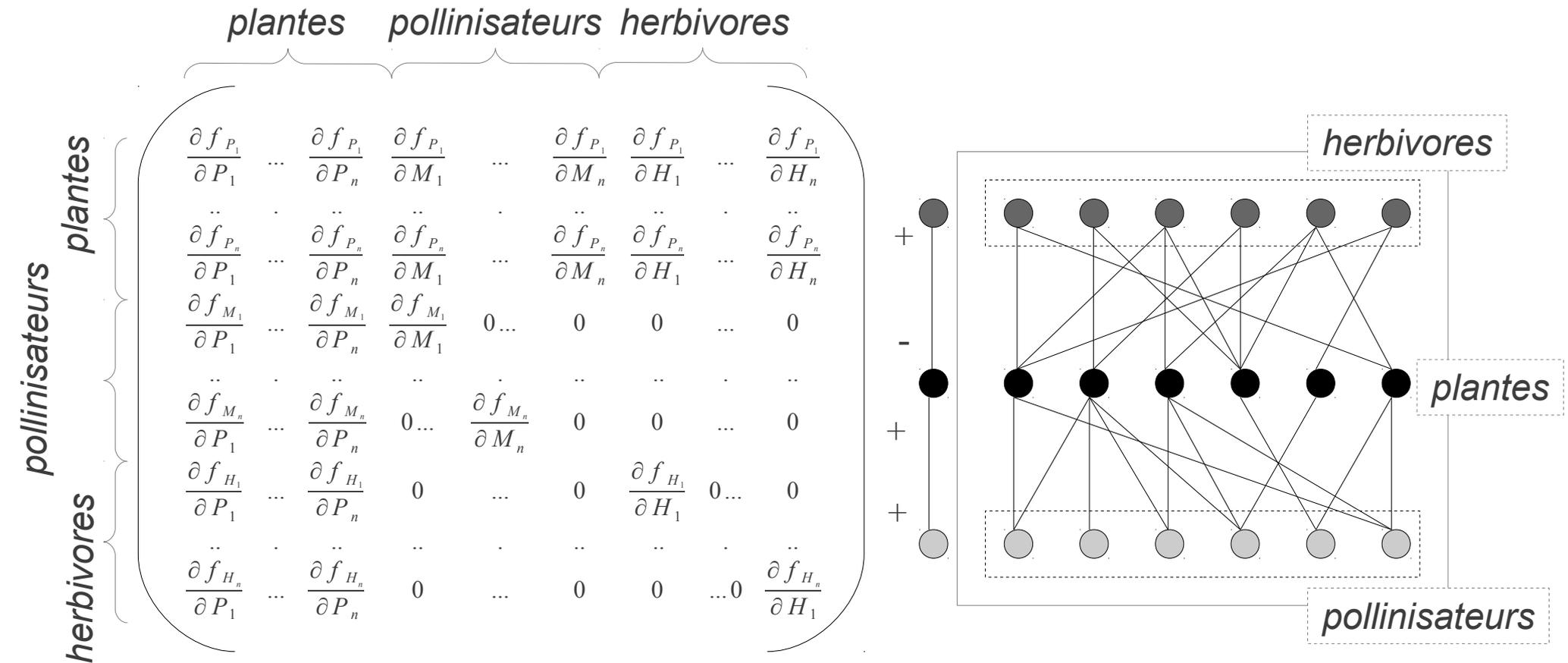
Matrice observée

Matrice modifiée selon le modèle nul

→ 500 réplicats

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

## Méthode & outils – Matrice jacobienne $J$

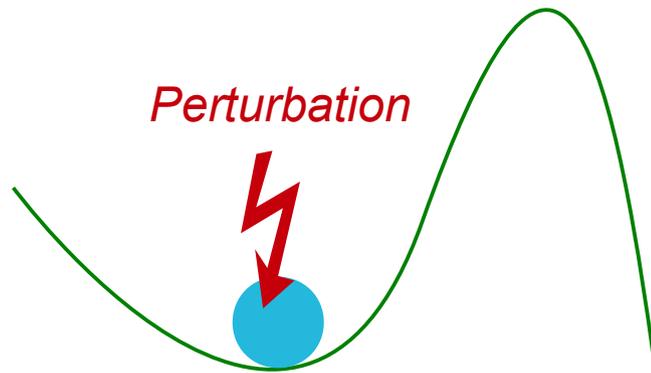


$$\frac{\partial f_{X_i}}{\partial X_j}$$

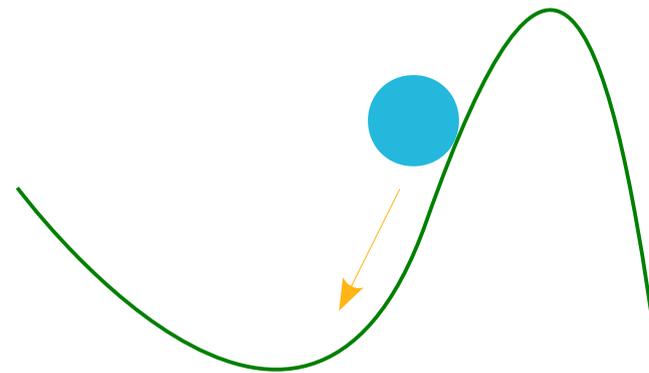


Effet de la biomasse de  $X_j$  sur le taux de croissance de  $X_i$

La résilience : La capacité du système a revenir à l'équilibre après un perturbation courte et de faible amplitude

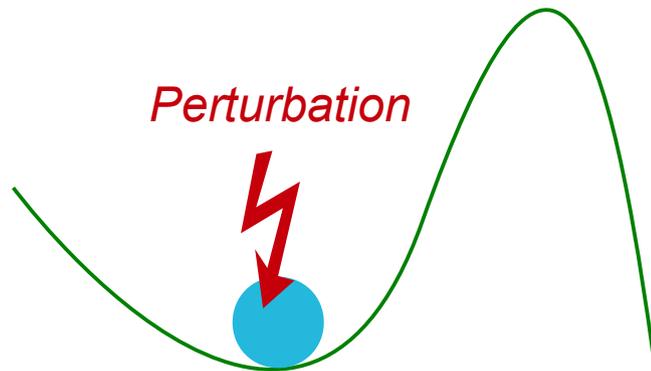


Système à l'équilibre

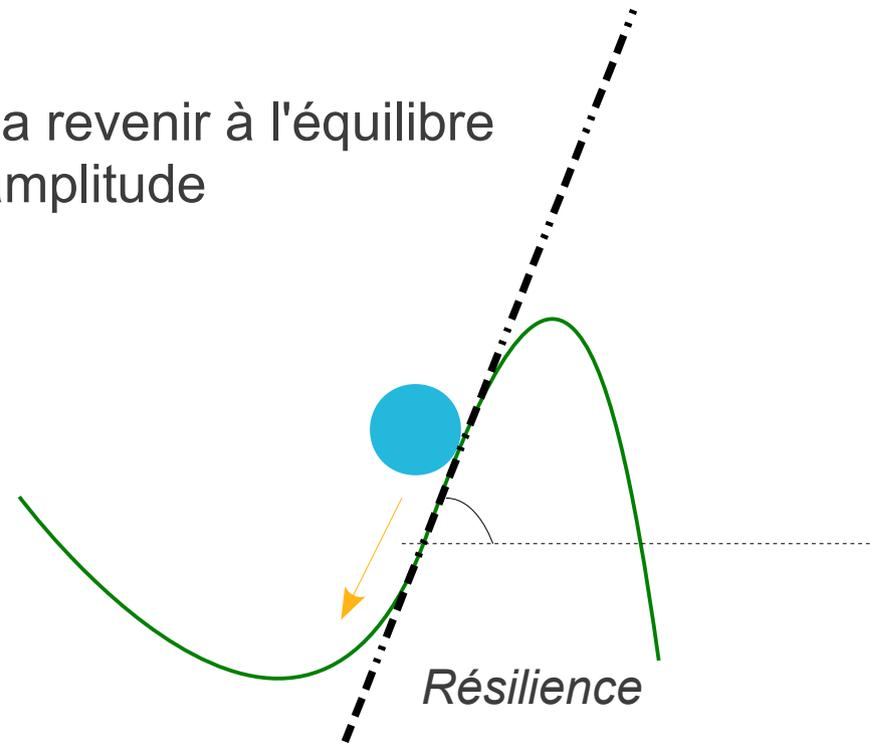


Retour à l'équilibre

La résilience : La capacité du système à revenir à l'équilibre après une perturbation courte et de faible amplitude



Système à l'équilibre



Retour à l'équilibre

$$Resilience = \max(\Re(\lambda_{max}(J_{eq})))$$

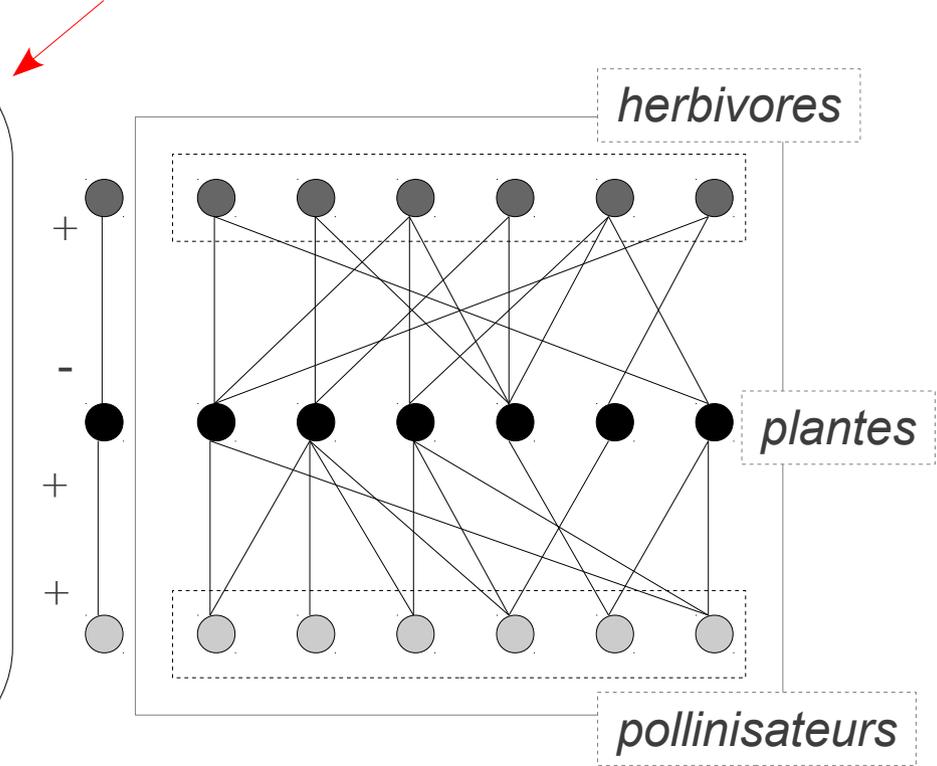
# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Méthode & outils – Stabilité structurale : Étudier l'effet de la topologie seule sur la résilience

plantes pollinisateurs herbivores

Jacobienne topologique  $J_{topo}^0$

herbivores	pollinisateurs	plantes	$\frac{\partial f_{P_1}}{\partial P_1}$ ... $\frac{\partial f_{P_1}}{\partial P_n}$ $\frac{\partial f_{P_1}}{\partial M_1}$ ... $\frac{\partial f_{P_1}}{\partial M_n}$ $\frac{\partial f_{P_1}}{\partial H_1}$ ... $\frac{\partial f_{P_1}}{\partial H_n}$
			$\frac{\partial f_{P_n}}{\partial P_1}$ ... $\frac{\partial f_{P_n}}{\partial P_n}$ $\frac{\partial f_{P_n}}{\partial M_1}$ ... $\frac{\partial f_{P_n}}{\partial M_n}$ $\frac{\partial f_{P_n}}{\partial H_1}$ ... $\frac{\partial f_{P_n}}{\partial H_n}$
			$\frac{\partial f_{M_1}}{\partial P_1}$ ... $\frac{\partial f_{M_1}}{\partial P_n}$ $\frac{\partial f_{M_1}}{\partial M_1}$ 0... 0 0 ... 0
			$\frac{\partial f_{M_n}}{\partial P_1}$ ... $\frac{\partial f_{M_n}}{\partial P_n}$ 0... $\frac{\partial f_{M_n}}{\partial M_n}$ 0 0 ... 0
			$\frac{\partial f_{H_1}}{\partial P_1}$ ... $\frac{\partial f_{H_1}}{\partial P_n}$ 0 ... 0 $\frac{\partial f_{H_1}}{\partial H_1}$ 0... 0
			$\frac{\partial f_{H_n}}{\partial P_1}$ ... $\frac{\partial f_{H_n}}{\partial P_n}$ 0 ... 0 0 ...0 $\frac{\partial f_{H_n}}{\partial H_1}$



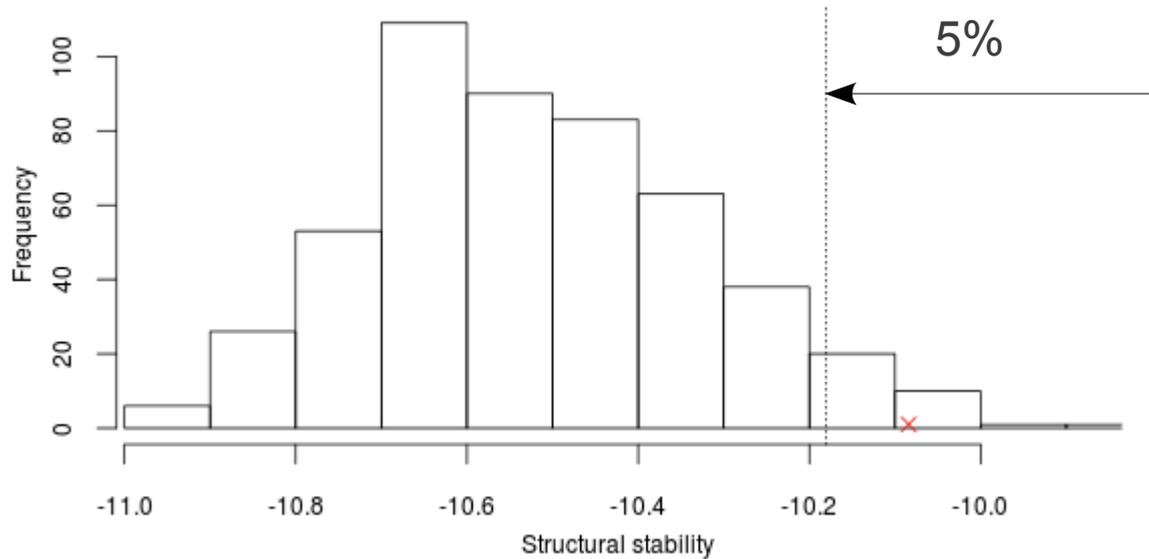
$$\frac{\partial f_{X_i}}{\partial X_j} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Effet de la biomasse de  $X_j$  sur le taux de croissance de  $X_i$

$$Resilience = \max(\Re(\lambda_{max}(J_{topo}^0)))$$

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Résultats – Stabilité structurale : « observé » versus « attendu au hasard »

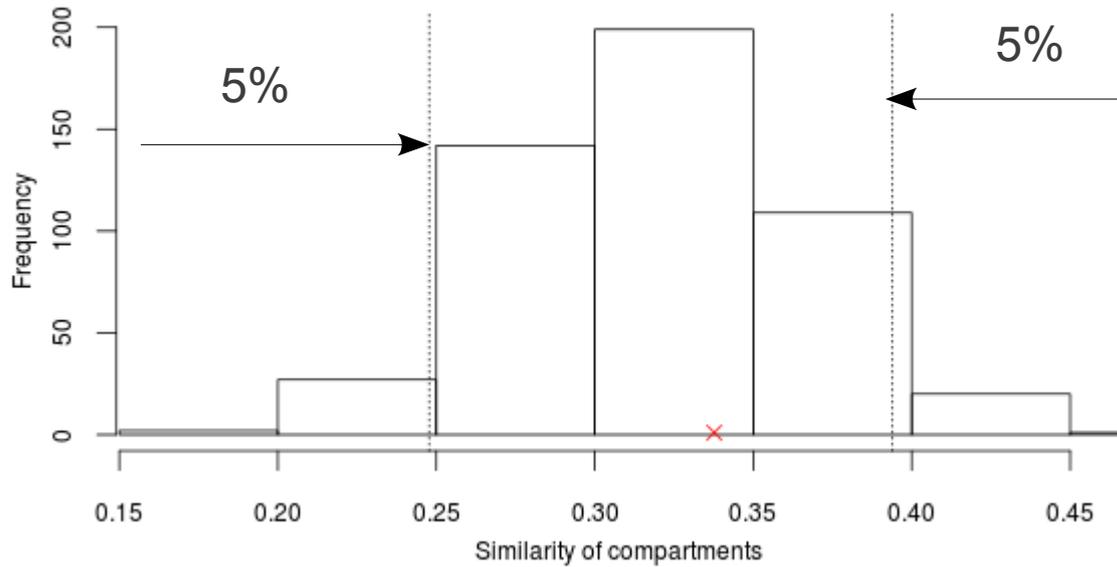


Le réseau observé est plus stable structurellement qu'attendu au hasard.

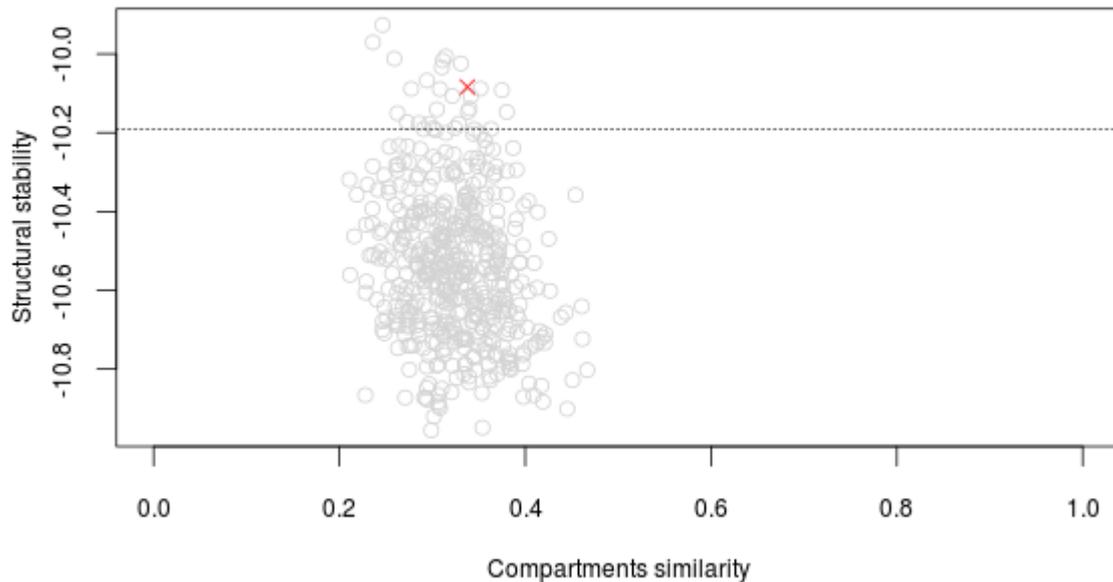
Interconnexion  $\longleftrightarrow$  Stabilité structurale

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Résultats – Similarité de compartiments : « observée » versus « attendue au hasard »



\* Le réseau observé n'est pas plus similaire en compartiments qu'attendu au hasard.



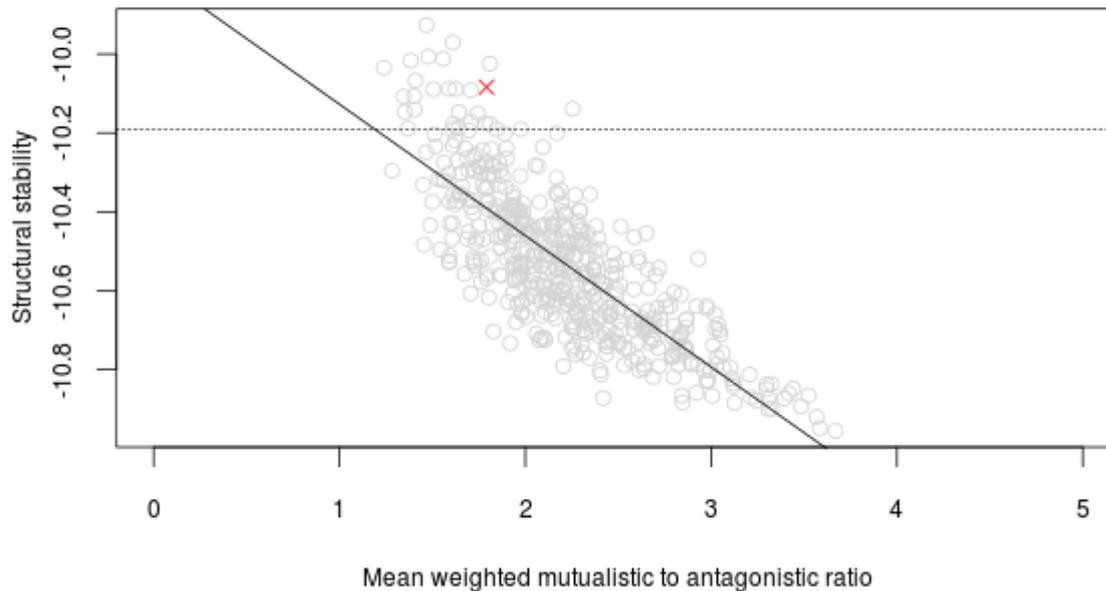
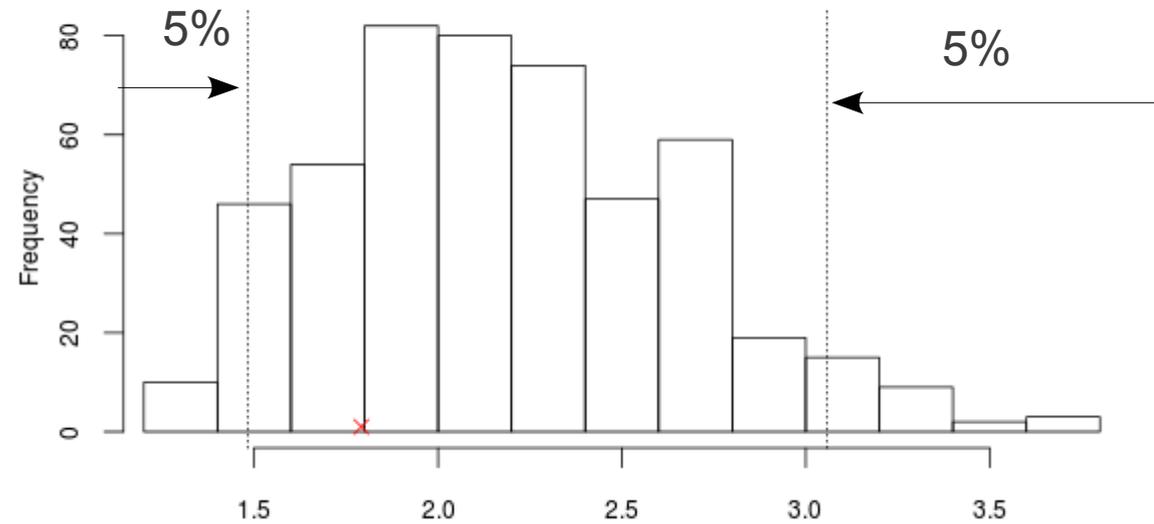
Similarité de compartiments



Stabilité structurale

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Résultats – Ratio moyen du degré de généralisme : « observée » versus « attendue au hasard »



Le réseau observé ne présente pas un ratio de degré de généralisme des plantes différente qu'attendu au hasard.

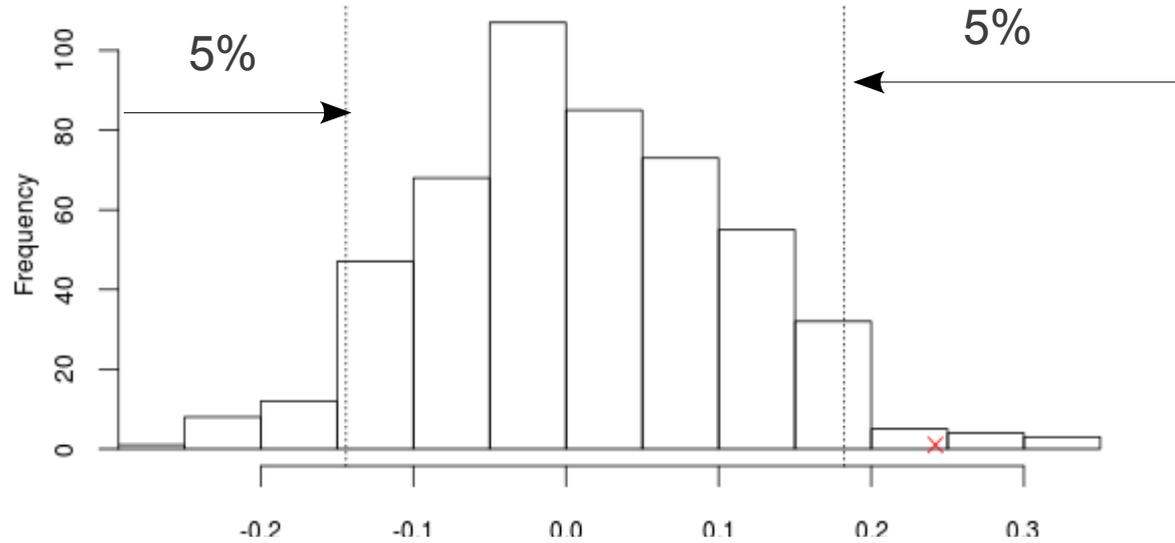
Ratio de degré de généralisme



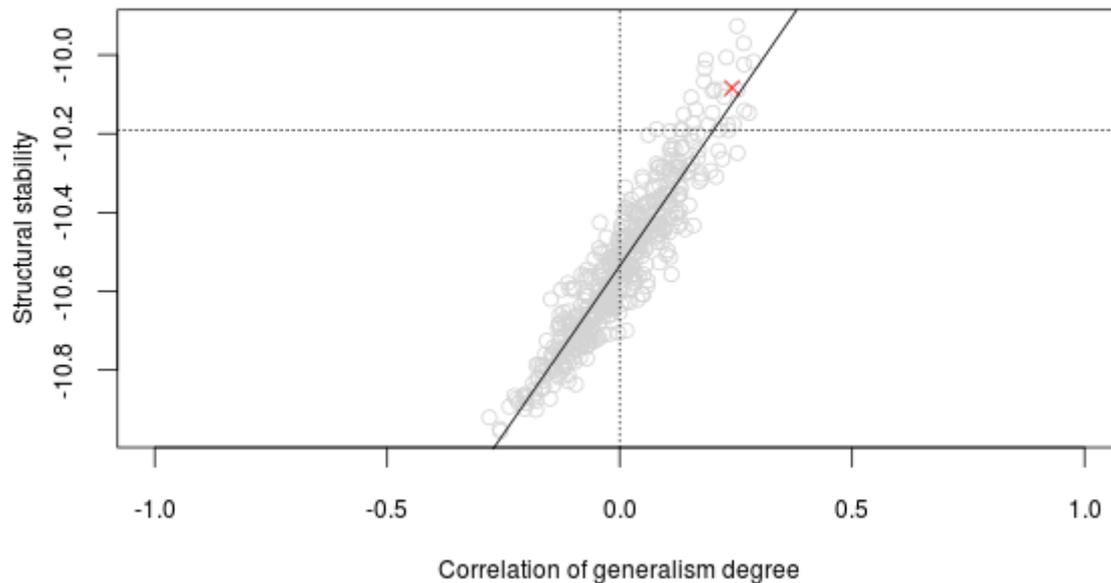
Stabilité structurale

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

Résultats – Corrélation du degré de généralisme : « observée » versus « attendue au hasard »



Le réseau observé a une plus grande corrélation de degré de généralisme qu'attendu au hasard.



Corrélation de degré de généralisme



Stabilité structurale

# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

## Résultats – Bilan

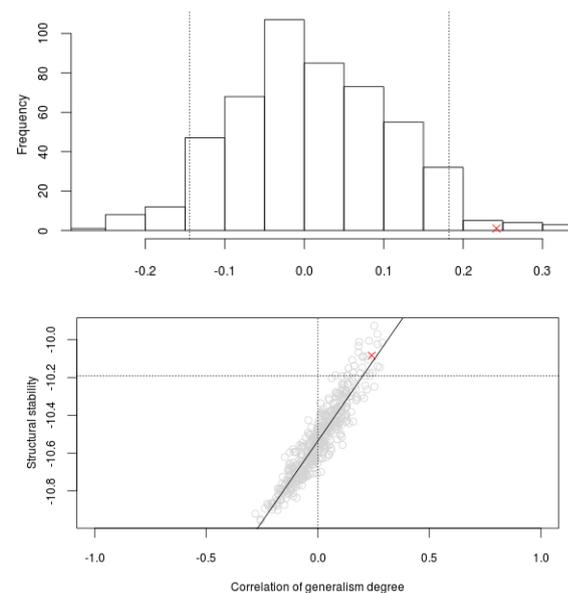
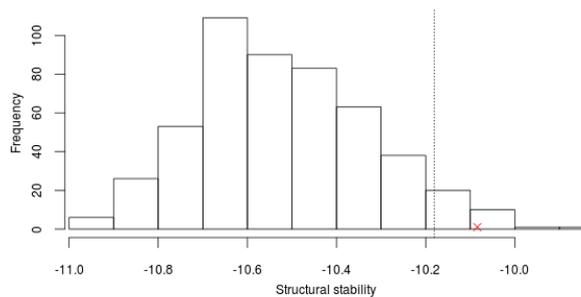
x L'interconnexion a bien un effet sur la stabilité structurale.

*Peut-on caractériser des **patterns d'interconnexion** dans les réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes ?*

x La corrélation de degré de généralisme observée est plus importante qu'attendue au hasard.

*Si oui, comment sont-ils liés à la **stabilité structurale** de ces systèmes ?*

x La corrélation de degré de généralisme a une relation positive avec la stabilité structurale.

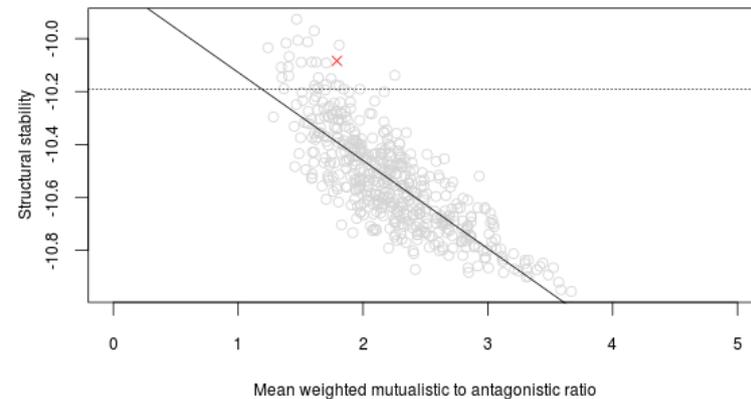
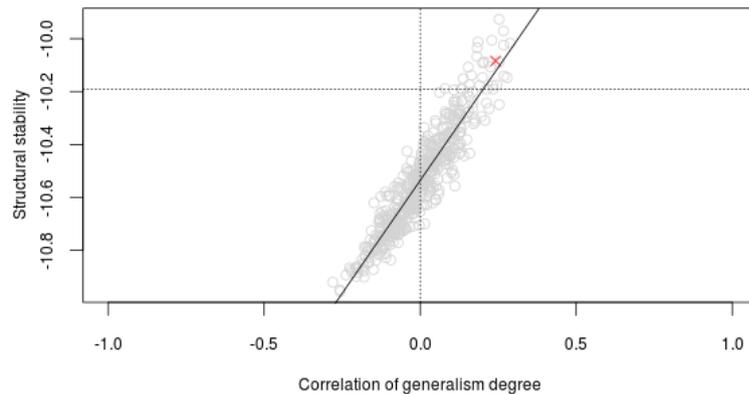


# Relations entre patterns d'interconnexion et stabilité des réseaux combinant interactions mutualistes et antagonistes

## Discussion

### D'un point de vue dynamique...

- x Ici, le ratio R moyen est supérieur à 1,
- x Le mutualisme est déstabilisant → Résultat qui alimente le débat relation structure-stabilité.
- x La corrélation de degré de généralisme a un effet positif,  
→ *Contre les effets déstabilisants du mutualisme, effet tampon.*



- Lutte contre les ravageurs des plantes : Quelles conséquences sur la dynamique du système ?
- Cibler les interactions importantes pour la stabilité du système et leur rôle dans le fonctionnement de l'écosystème considéré.

# Conclusion générale

Comment appréhender un nouveau type de système ?

Observation

Quelles interactions prendre en compte ?

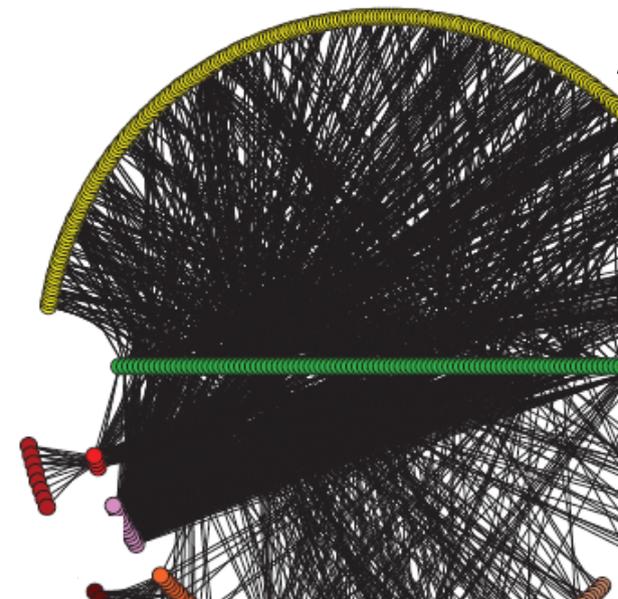
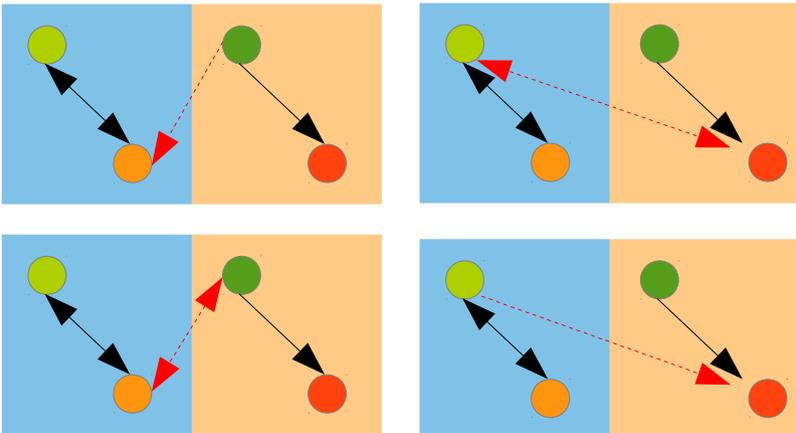
Comment déterminer la nature des interactions ?

Comment manipuler le système ?

Choix de l'approche ?

Émergence de différents  
phénomènes suivant l'approche  
choisie

Abstraction



*Merci de votre attention.*

