

Stabilité et évolution des réseaux d'interactions écologiques



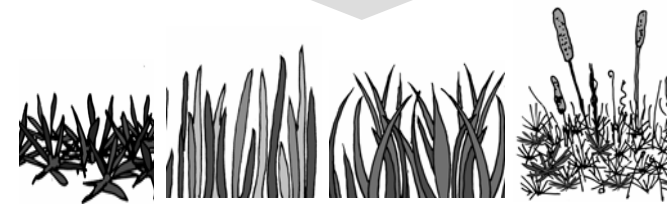
interactions mutualistes



Interactions trophiques



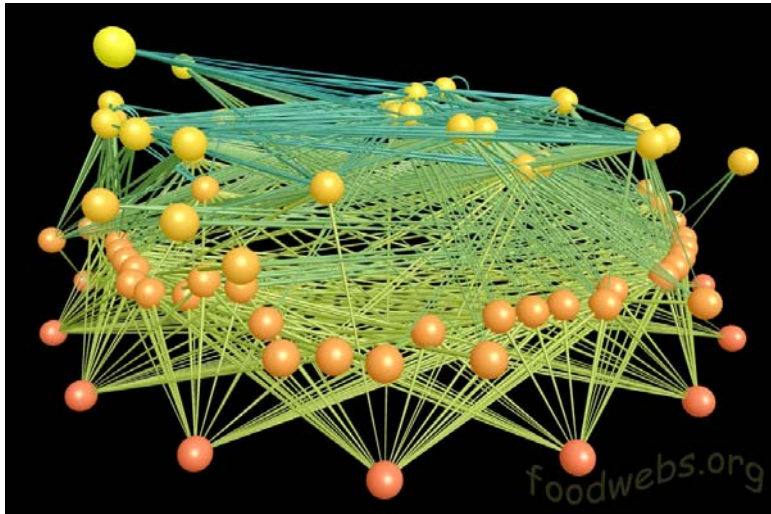
Colin Fontaine
Elisa Thébault
Frank Van Veen



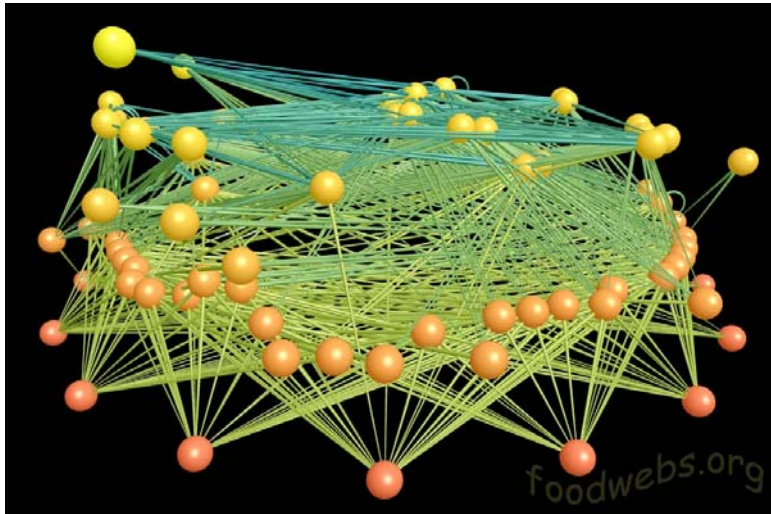
Centre for Population Biology, Imperial College London, UK.

Polytechnique, 26 aout 2009

Réseaux d'interactions écologiques

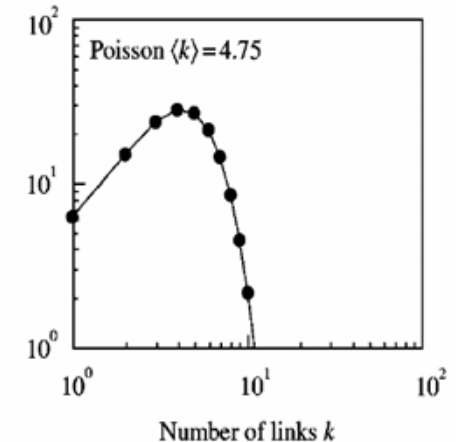
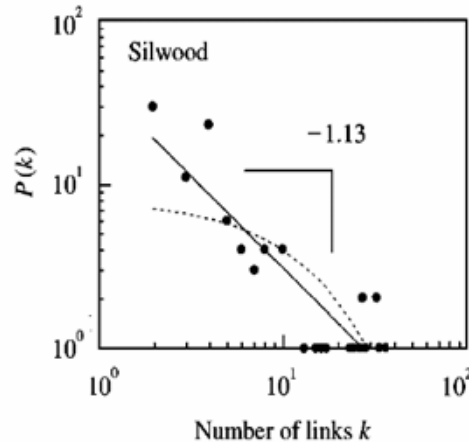
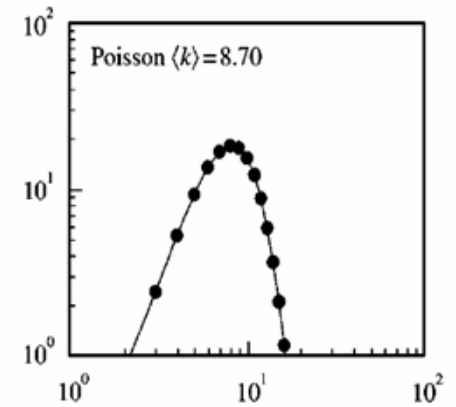
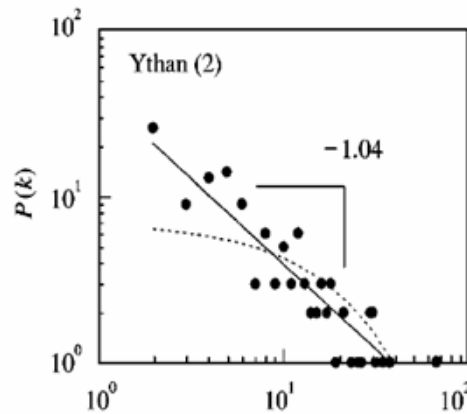


Réseaux d'interactions écologiques: une structure non aléatoire

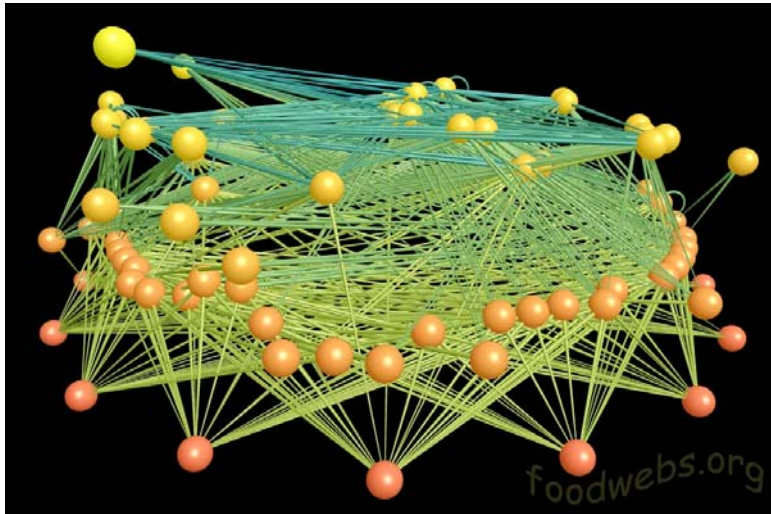


données empiriques

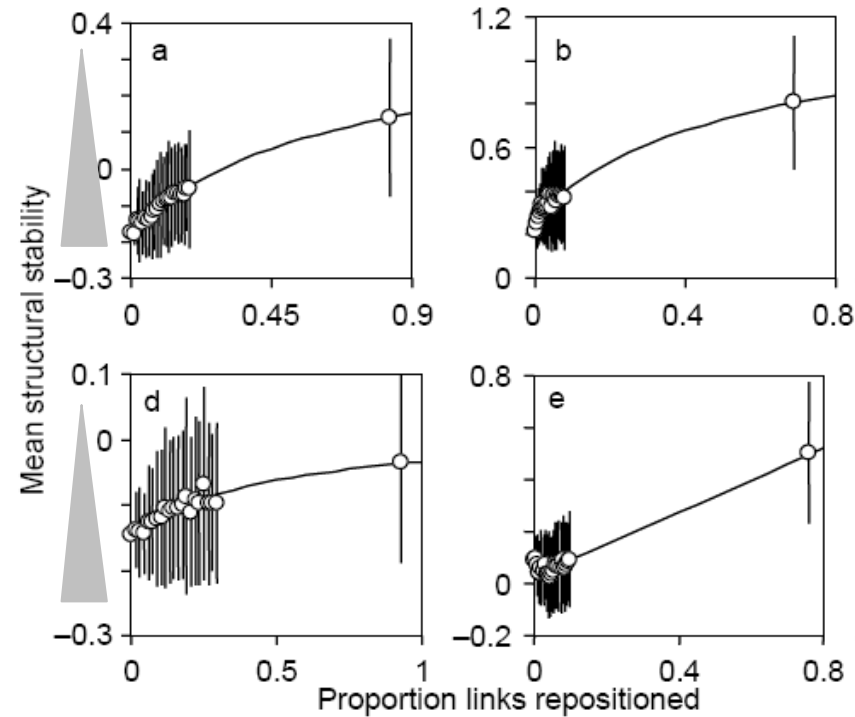
données aléatoires



Qu'est ce qui détermine la structure des réseaux d'interactions?

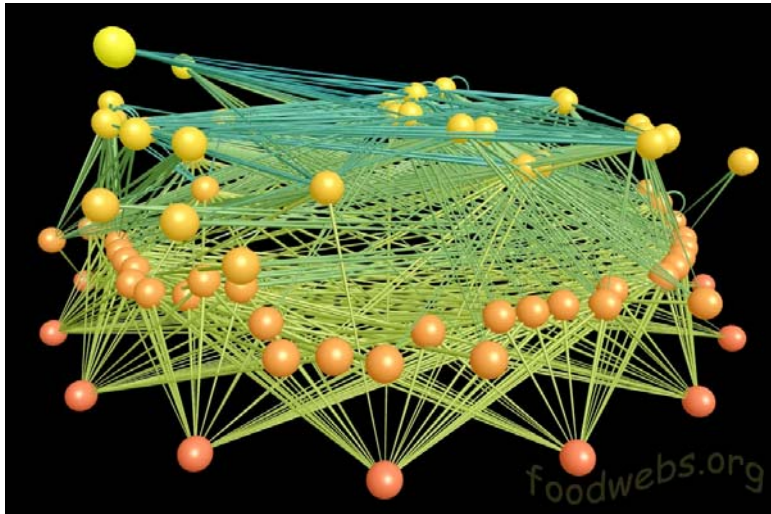


- Des contraintes liées à la stabilité de ces systèmes dynamiques

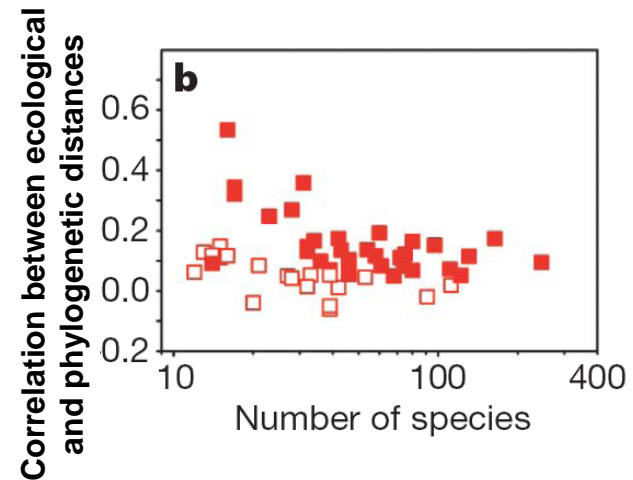
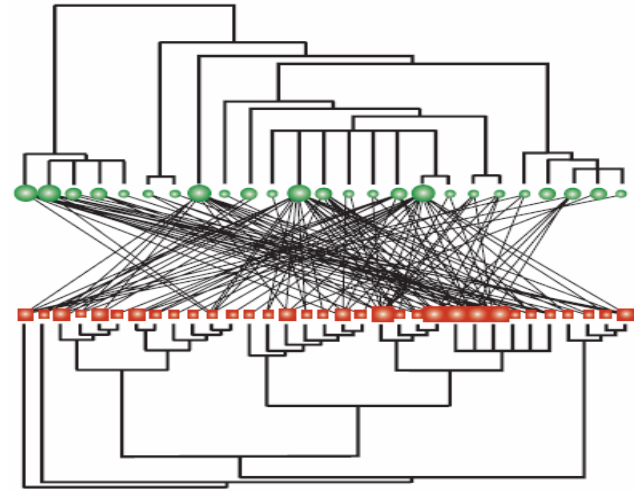


non-random network structure
enhance community stability

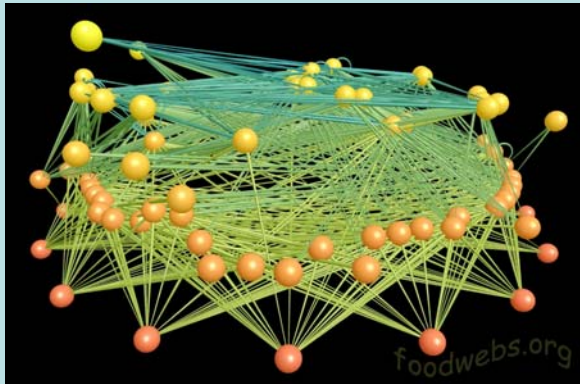
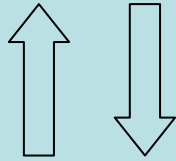
Qu'est ce qui détermine la structure des réseaux d'interactions?



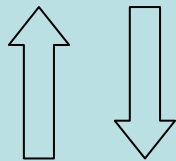
- Des contraintes liées à la stabilité de ces systèmes dynamiques
- L'histoire évolutive des espèces



Processus évolutifs

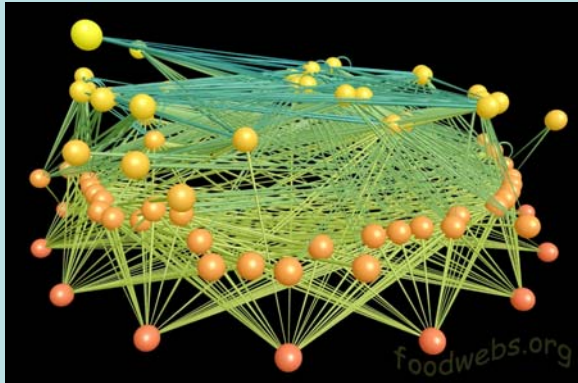
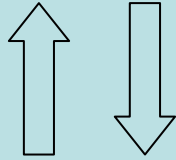


Architecture des réseaux

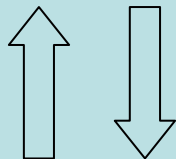


Stabilité

Processus évolutifs



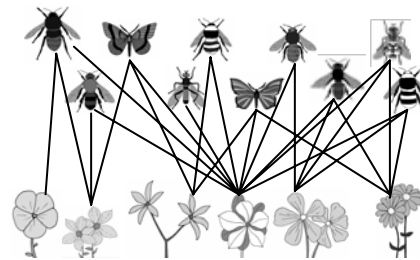
Architecture des réseaux



Stabilité

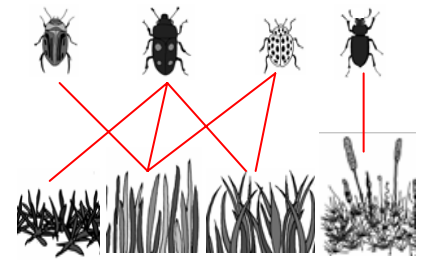
Différentes architectures pour différents types d'interaction?

Mutualiste



34 réseaux de pollinisation

Trophique



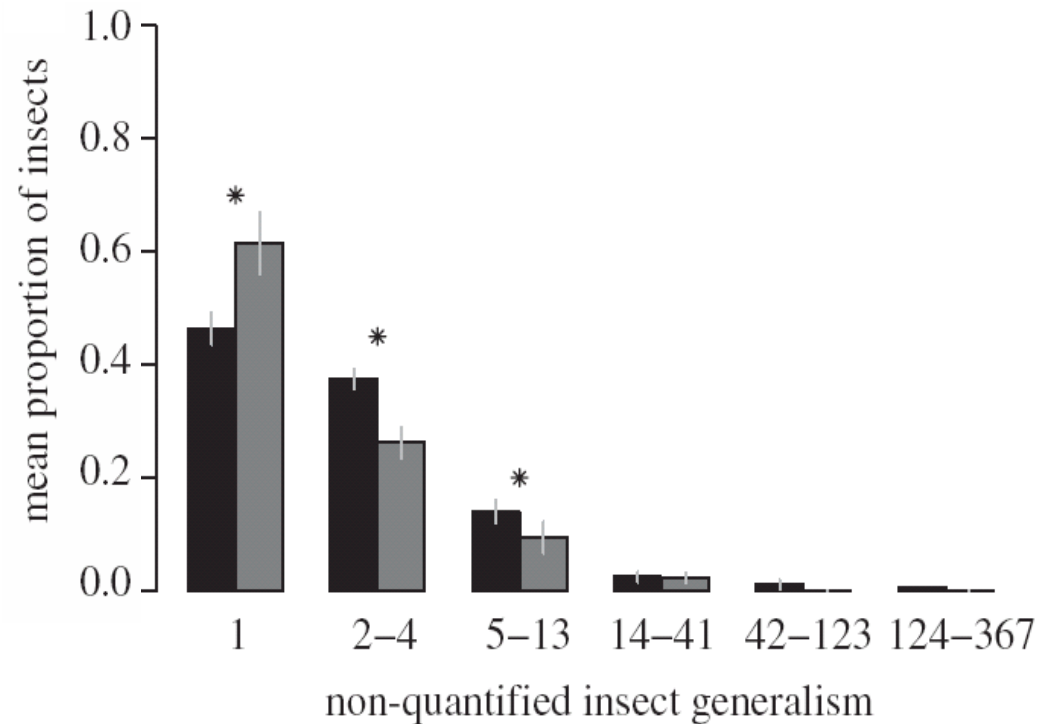
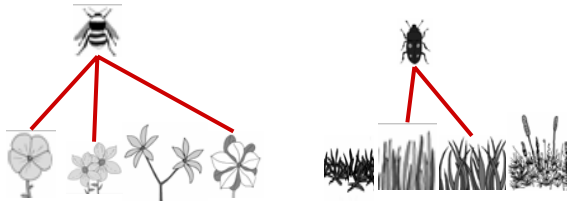
23 réseaux d'herbivorie

Advantage of using plant-insect interaction webs:

- Organisms involved are similar
- Resolution of datasets at the species level

Type d'interaction et structure des réseaux: le degré de généralisme

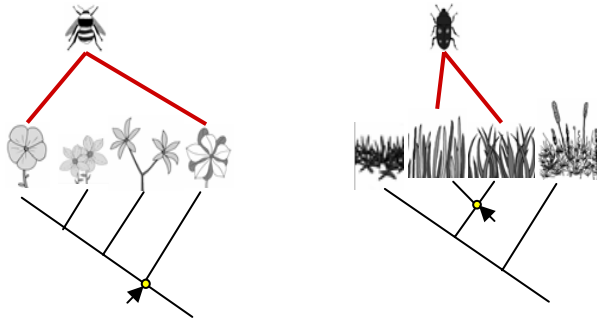
Degré de généralisme: nombre de plantes avec lesquelles un insect interagit



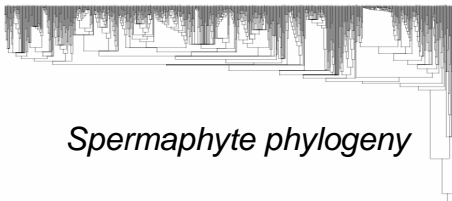
Type d'interaction et structure des réseaux:

Correction du degré de généralisme par la phylogénie

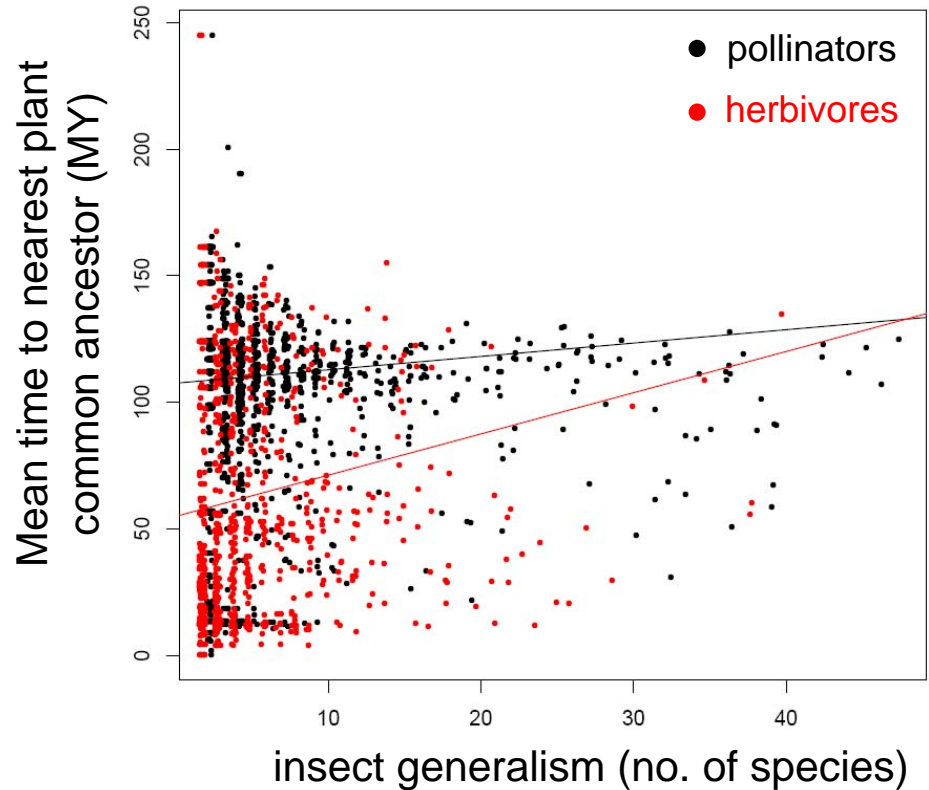
Degré de généralisme des insectes et phylogénie des plantes



Temps moyen au plus proche ancêtre commun des couples de plantes interagissant avec un insecte

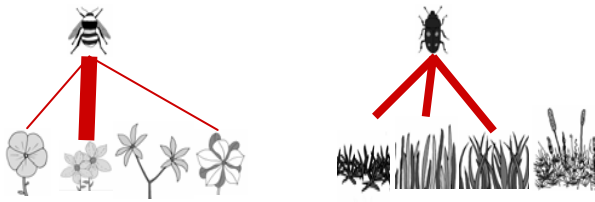


PHYLOCOM



Type d'interaction et structure des réseaux: le degré de généralisme quantifié

*Diversité des interactions
prenant en compte leur
fréquences relatives*



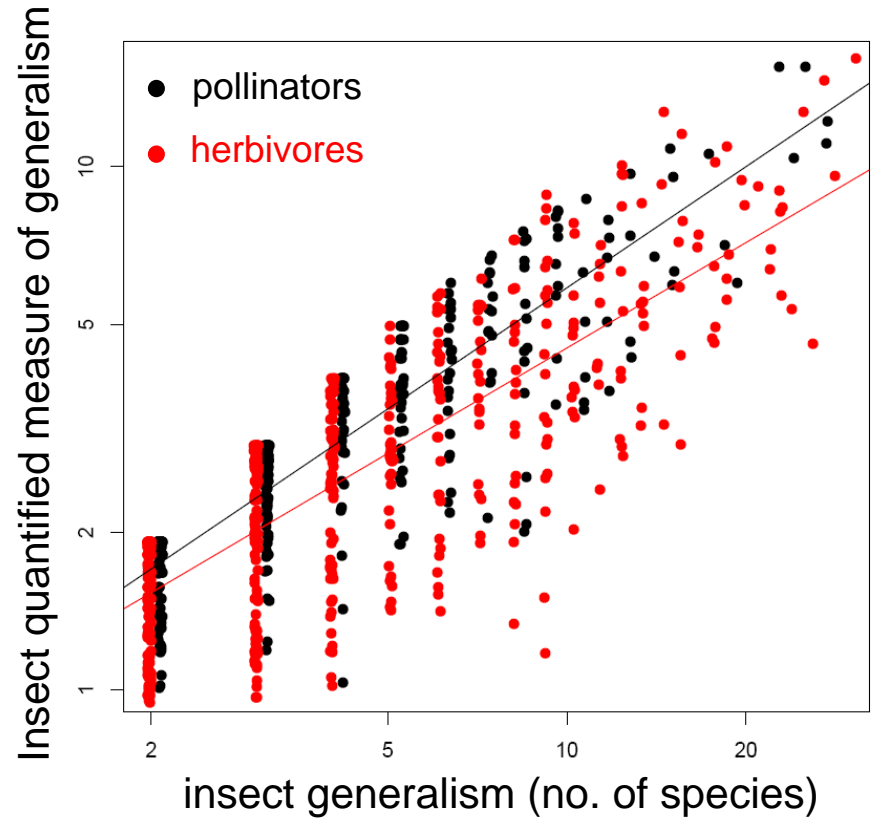
Indice n_k définit ds Bersier et al. 2002:

$$n_k = 2^{H_k} \text{ avec}$$

$$H_k = -\sum_{i=1}^s \frac{b_{ik}}{b_{.k}} \log_2 \frac{b_{ik}}{b_{.k}}$$

**Nb d'interaction
observées de
l'insecte k sur la
plante i**

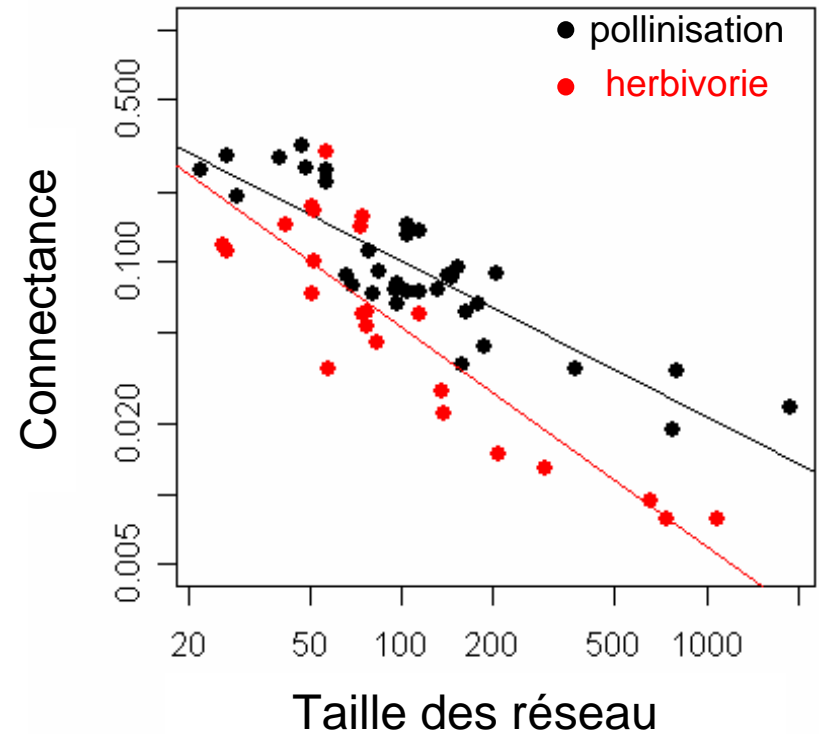
**Nb total
d'interactions
observées pour
l'insecte k**



Type d'interaction et structure des réseaux: la connectance

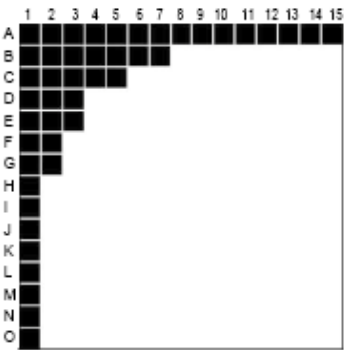
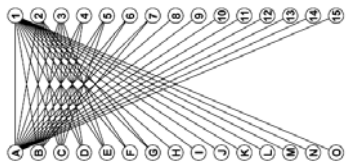
*connectance: proportion
d'interactions réalisées dans un
réseau*

$$C = \frac{\text{nombre d'interactions observées}}{\text{nombre d'interactions possibles}}$$



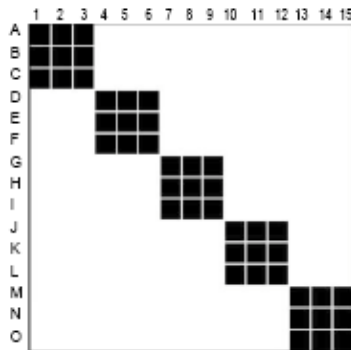
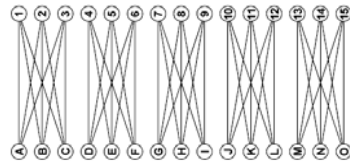
Type d'interaction et structure des réseaux: architecture fine : emboîtement et modularité

*Structure fine des réseaux
d'interactions bipartites*



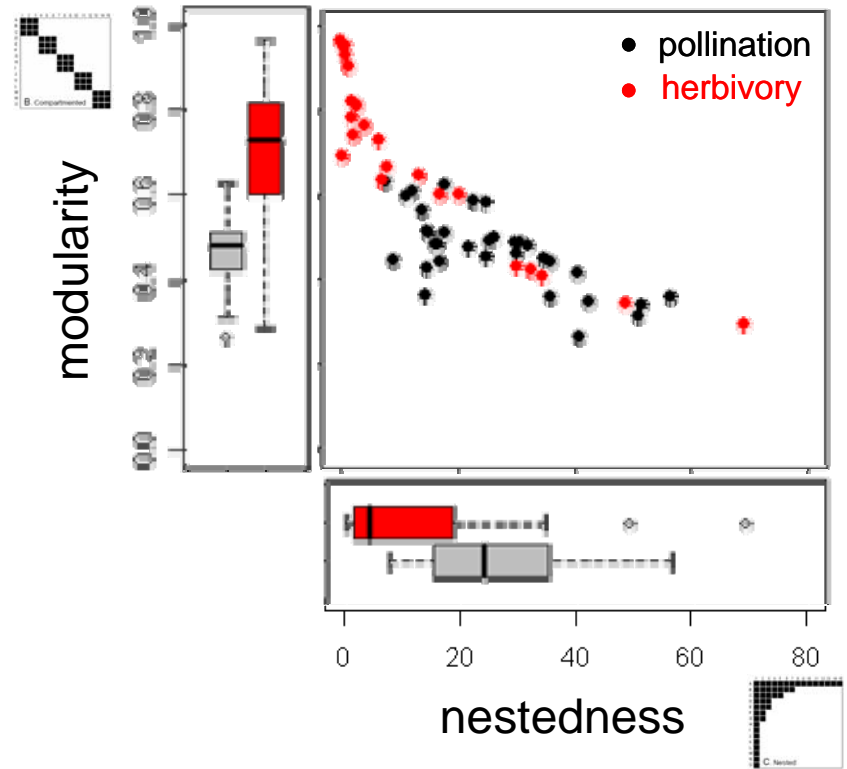
nested

Bascompte et al. 2003

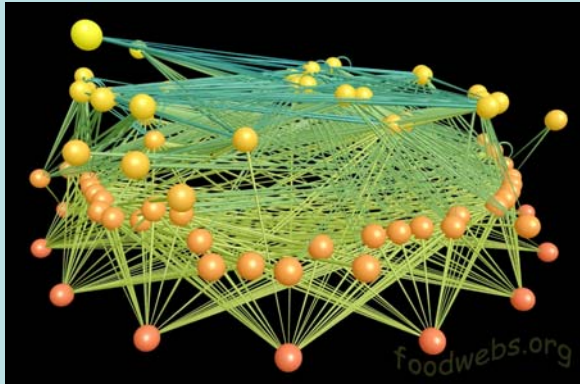
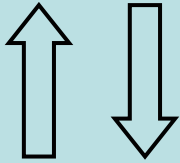


compartmented

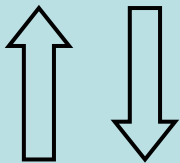
Prado & Lewinsohn 2004



Processus évolutifs

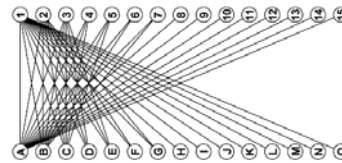
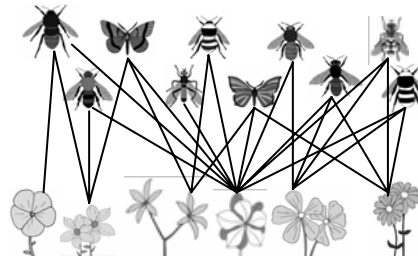


Architecture des réseaux

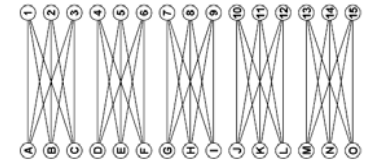
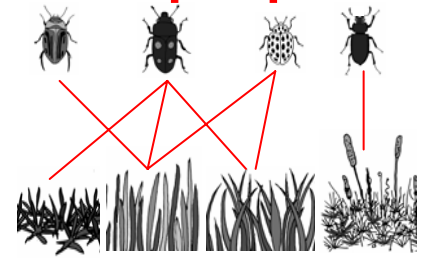


Stabilité

Mutualiste

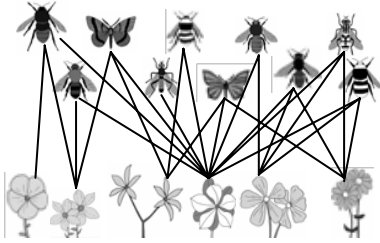


Trophique



Différentes contraintes de stabilité?

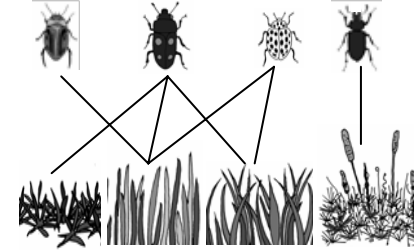
Dynamique des réseau d'interactions: modèles similaires pour les deux types d'interactions



Mutualistic

$$\frac{dA_i}{dt} = r_{A_i} A_i - I_{A_i} A_i^2 + \sum_{j=1}^{N_p} \frac{c_{ji} A_i P_j}{\alpha_{ji}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{mut}(A_i)} P_k}$$

$$\frac{dP_i}{dt} = r_{P_i} P_i - I_{P_i} P_i^2 + \sum_{j=1}^{N_a} \frac{c_{ij} A_j P_i}{\alpha_{ij}^{-1} + \sum_{A_k \in \text{mut}(P_i)} A_k}$$

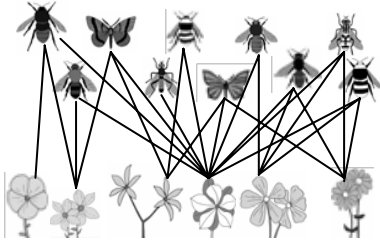


Trophic

$$\frac{dA_i}{dt} = r_{A_i} A_i - I_{A_i} A_i^2 + \sum_{j=1}^{N_p} \frac{c_{ji} A_i P_j}{\alpha_{ji}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{prey}(A_i)} P_k}$$

$$\frac{dP_i}{dt} = r_{P_i} P_i - I_{P_i} P_i^2 - \sum_{j=1}^{N_a} \frac{c_{ij} A_j P_i}{\alpha_{ij}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{prey}(A_j)} P_k}$$

Dynamique des réseau d'interactions: modèles similaires pour les deux types d'interactions



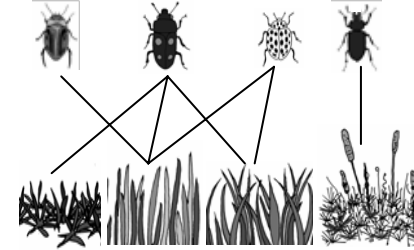
Mutualistic

$$\frac{dA_i}{dt} = r_{A_i} A_i - I_{A_i} A_i^2 + \sum_{j=1}^{N_p} \frac{c_{ji} A_j P_j}{\alpha_{ji}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{mut}(A_i)} P_k}$$

$$\frac{dP_i}{dt} = r_{P_i} P_i - I_{P_i} P_i^2 + \sum_{j=1}^{N_a} \frac{c_{ij} A_j P_i}{\alpha_{ij}^{-1} + \sum_{A_k \in \text{mut}(P_i)} A_k}$$

-intrinsic growth rates

r_P and $r_A < 0 \rightarrow$ obligate mutualism



Trophic

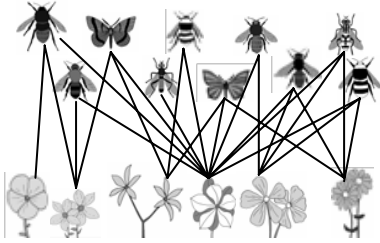
$$\frac{dA_i}{dt} = r_{A_i} A_i - I_{A_i} A_i^2 + \sum_{j=1}^{N_p} \frac{c_{ji} A_j P_j}{\alpha_{ji}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{prey}(A_i)} P_k}$$

$$\frac{dP_i}{dt} = r_{P_i} P_i - I_{P_i} P_i^2 - \sum_{j=1}^{N_a} \frac{c_{ij} A_j P_i}{\alpha_{ij}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{prey}(A_j)} P_k}$$

-intrinsic growth rates

$r_P > 0$ and $r_A < 0$

Dynamique des réseau d'interactions: modèles similaires pour les deux types d'interactions

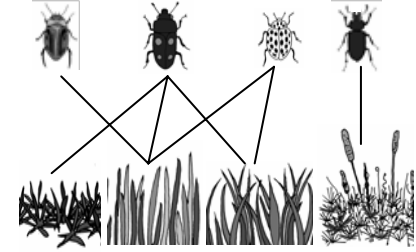


Mutualistic

$$\frac{dA_i}{dt} = r_{A_i} A_i - I_{A_i} A_i^2 + \sum_{j=1}^{Np} \frac{c_{ji} A_i P_j}{\alpha_{ji}^{-1} + \sum_{Pk \in mut(A_i)} P_k}$$

$$\frac{dP_i}{dt} = r_{P_i} P_i - I_{P_i} P_i^2 + \sum_{j=1}^{Na} \frac{c_{ij} A_j P_i}{\alpha_{ij}^{-1} + \sum_{Ak \in mut(P_i)} A_k}$$

- intrinsic growth rates
 r_P and $r_A < 0 \rightarrow$ obligate mutualism
- density dependence term



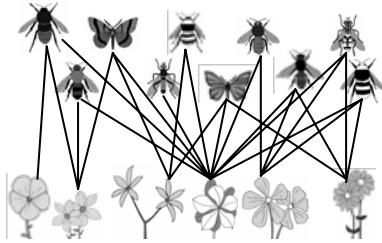
Trophic

$$\frac{dA_i}{dt} = r_{A_i} A_i - I_{A_i} A_i^2 + \sum_{j=1}^{Np} \frac{c_{ji} A_i P_j}{\alpha_{ji}^{-1} + \sum_{Pk \in prey(A_i)} P_k}$$

$$\frac{dP_i}{dt} = r_{P_i} P_i - I_{P_i} P_i^2 - \sum_{j=1}^{Na} \frac{c_{ij} A_j P_i}{\alpha_{ij}^{-1} + \sum_{Pk \in prey(A_j)} P_k}$$

- intrinsic growth rates
 $r_P > 0$ and $r_A < 0$
- density dependence term

Dynamique des réseau d'interactions: modèles similaires pour les deux types d'interactions

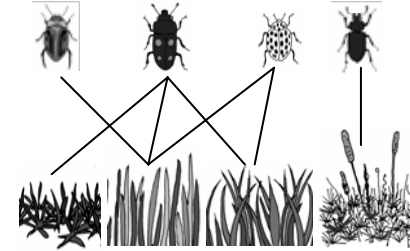


Mutualistic

$$\frac{dA_i}{dt} = r_{A_i} A_i - I_{A_i} A_i^2 + \sum_{j=1}^{N_p} \frac{c_{ji} A_j P_j}{\alpha_{ji}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{mut}(A_i)} P_k}$$

$$\frac{dP_i}{dt} = r_{P_i} P_i - I_{P_i} P_i^2 + \sum_{j=1}^{N_a} \frac{c_{ij} A_j P_i}{\alpha_{ij}^{-1} + \sum_{A_k \in \text{mut}(P_i)} A_k}$$

- intrinsic growth rates
 r_P and $r_A < 0 \rightarrow$ obligate mutualism
- density dependence term
- interaction term
saturates with mutualistic partner densities



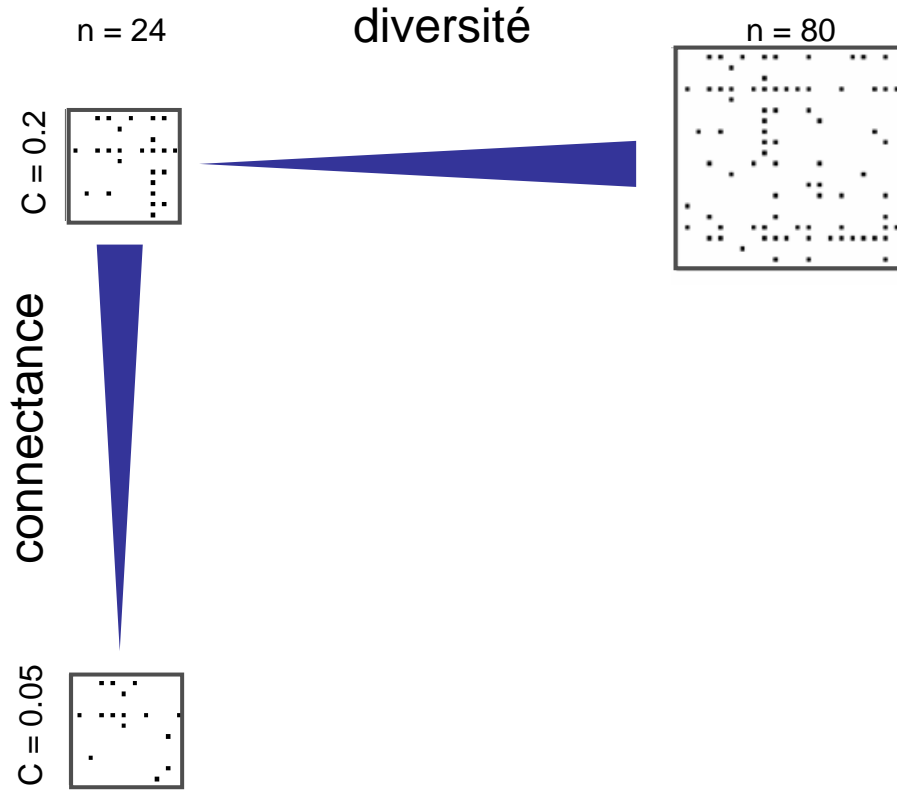
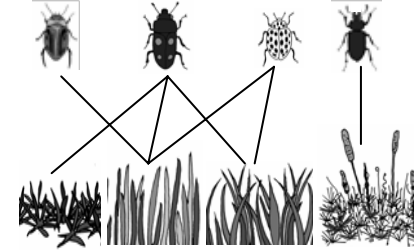
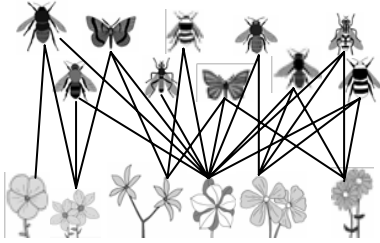
Trophic

$$\frac{dA_i}{dt} = r_{A_i} A_i - I_{A_i} A_i^2 + \sum_{j=1}^{N_p} \frac{c_{ji} A_i P_j}{\alpha_{ji}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{prey}(A_i)} P_k}$$

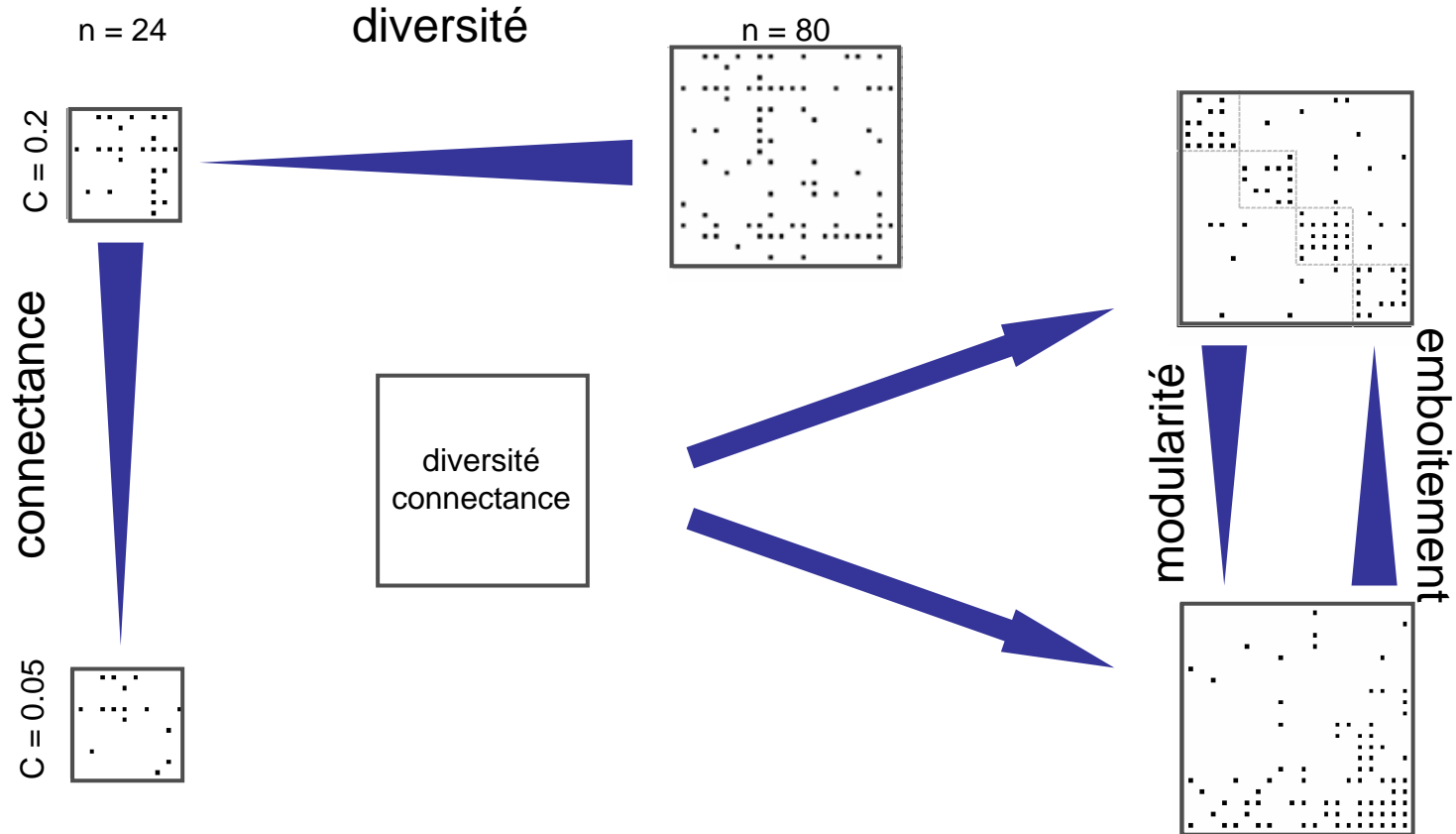
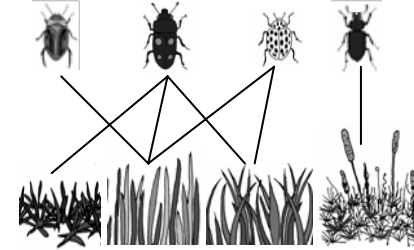
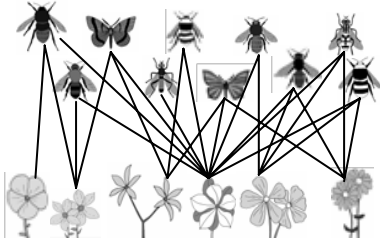
$$\frac{dP_i}{dt} = r_{P_i} P_i - I_{P_i} P_i^2 - \sum_{j=1}^{N_a} \frac{c_{ij} A_j P_i}{\alpha_{ij}^{-1} + \sum_{P_k \in \text{prey}(A_j)} P_k}$$

- intrinsic growth rates
 $r_P > 0$ and $r_A < 0$
- density dependence term
- interaction term
saturates with prey densities

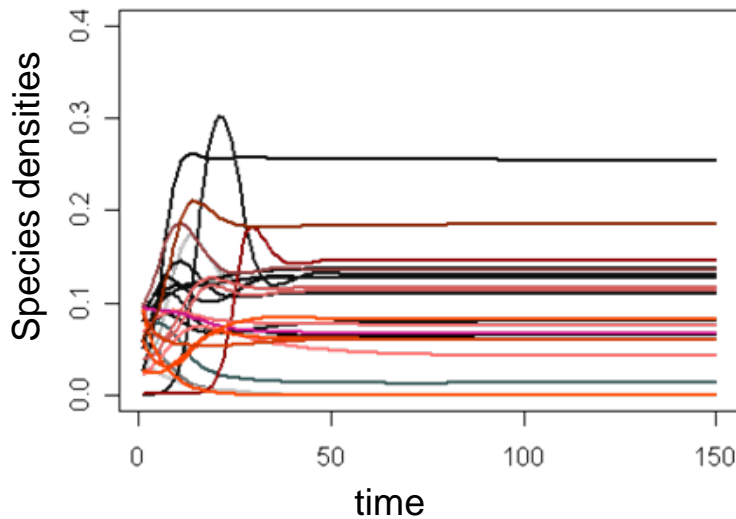
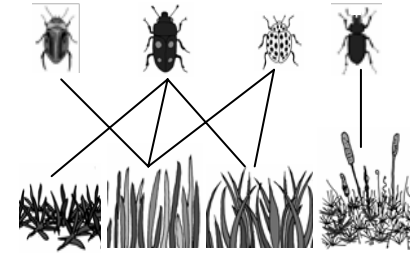
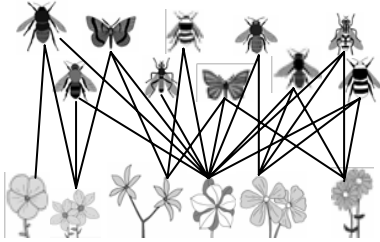
Dynamique des réseau d'interactions: network structure



Dynamique des réseau d'interactions: network structure



Dynamique des réseau d'interactions: mesures de stabilité



➤ Persistence:

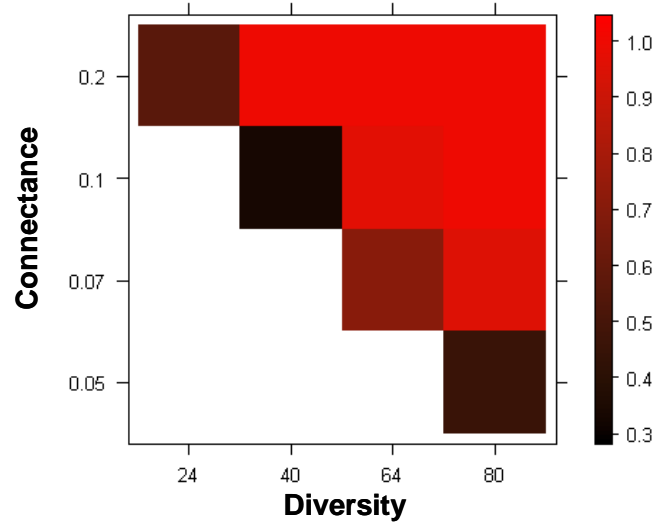
Proportion des espèces qui persistent à l'équilibre

➤ Resilience:

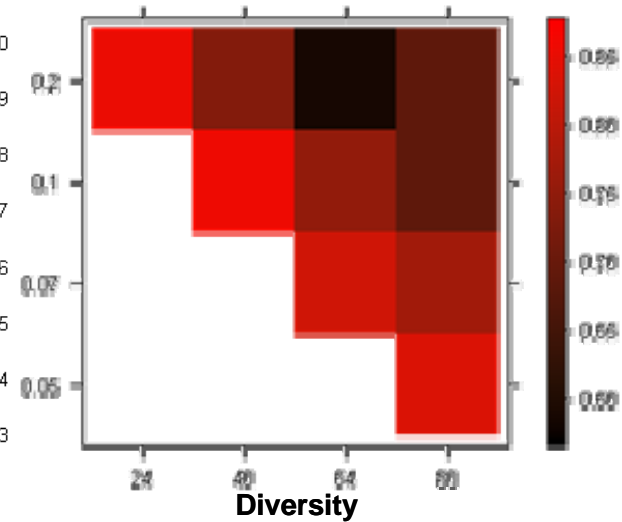
Vitesse à laquelle le système retourne à l'équilibre après perturbation

Résultats: impacte de la structure des réseaux sur la persistance

Mutualistic networks



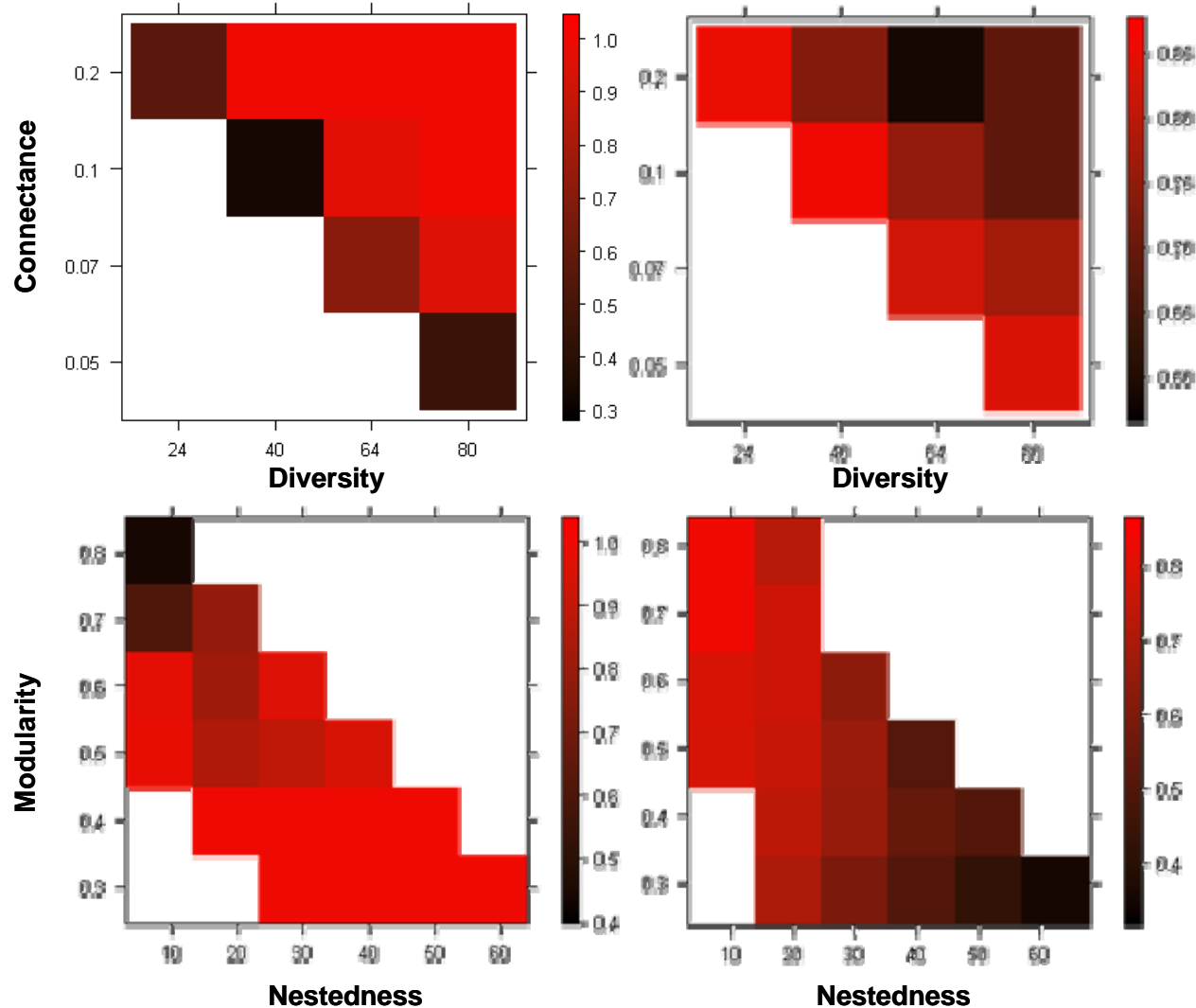
Trophic networks



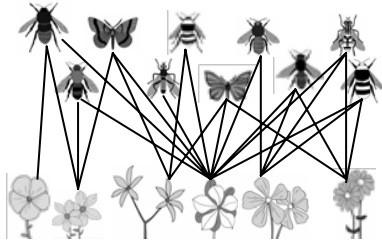
Résultats: impacte de la structure des réseaux sur la persistance

Mutualistic networks

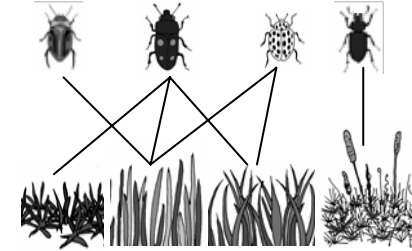
Trophic networks



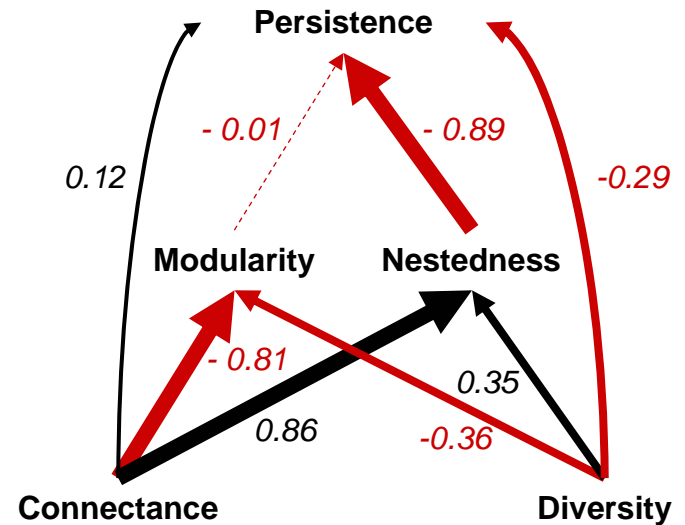
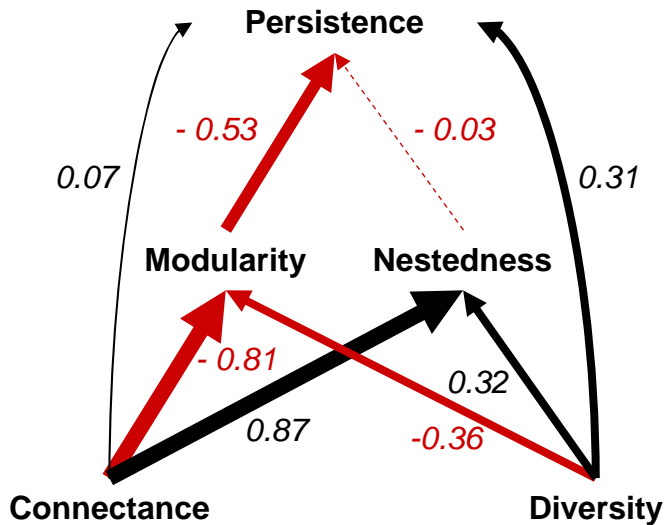
Résultats: impacte de la structure des réseaux sur la persistance



Mutualistic

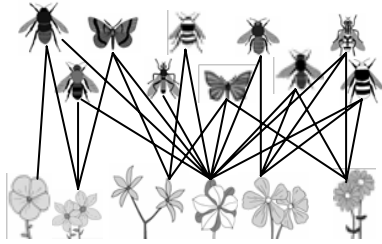


Trophic

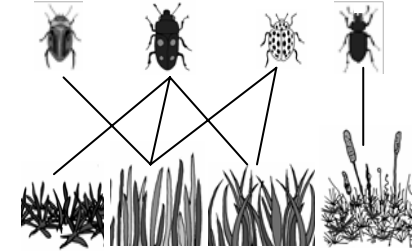


➤ opposite effect of modularity and nestedness

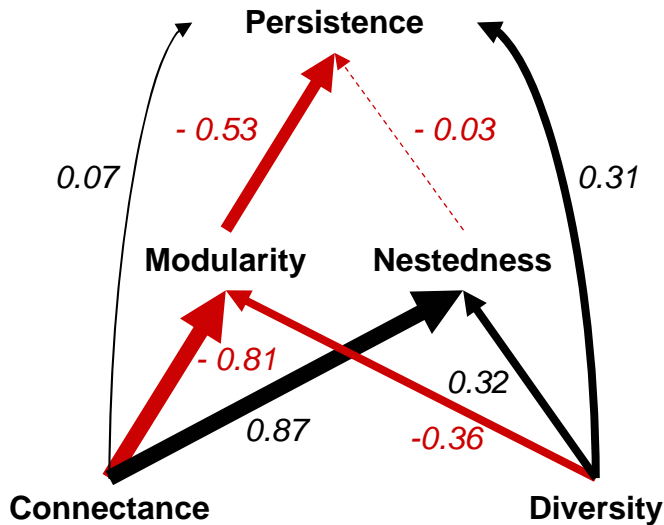
Résultats: impacte de la structure des réseaux sur la persistance



Mutualistic

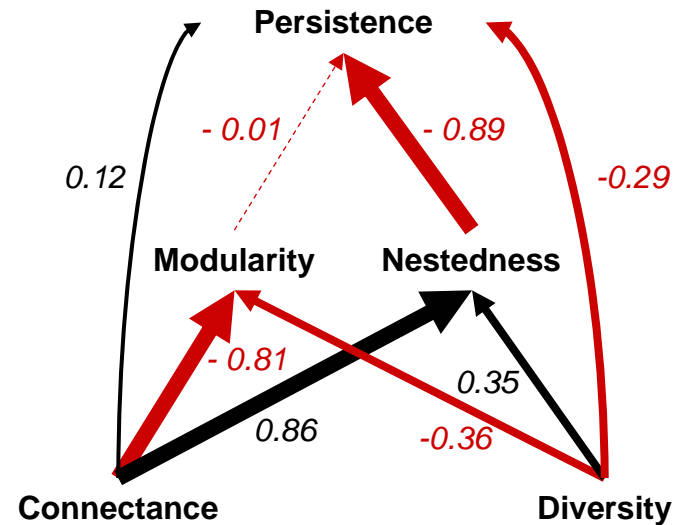


Trophic



effet indirecte: 0.40

effet indirecte : -0.18



effet indirecte : -0.76

effet indirecte : -0.31

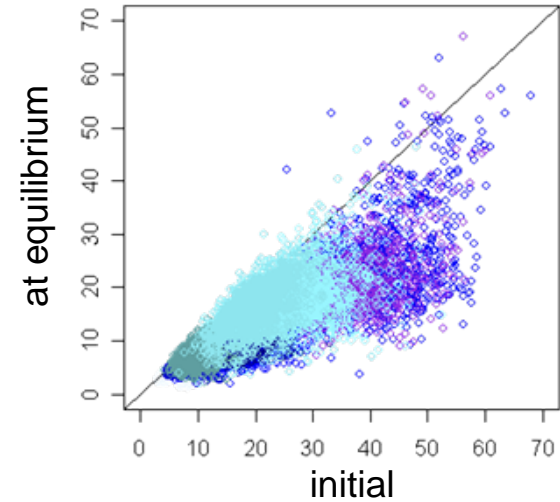
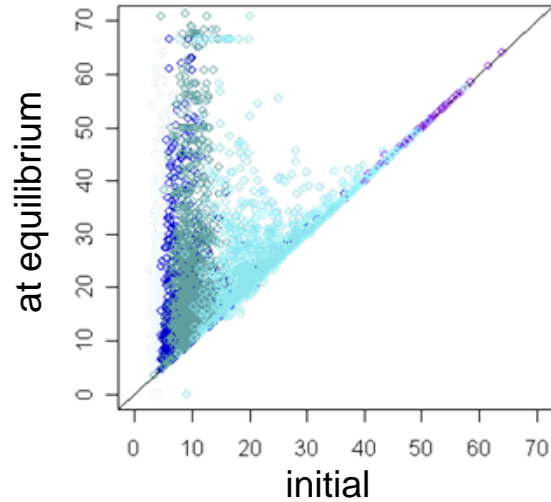
➤ Importance of nestedness and modularity for network stability

Résultats: structure des réseaux à l'équilibre

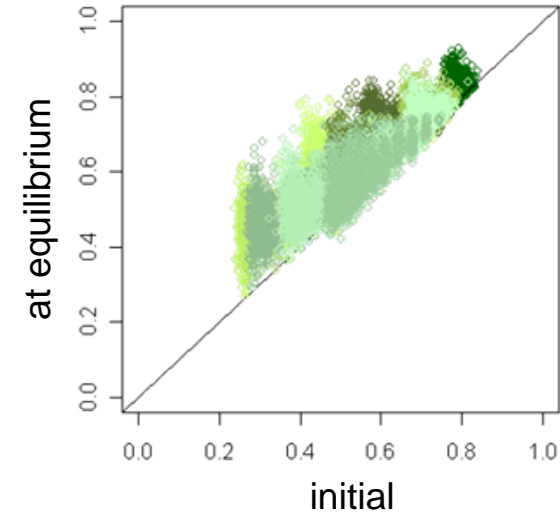
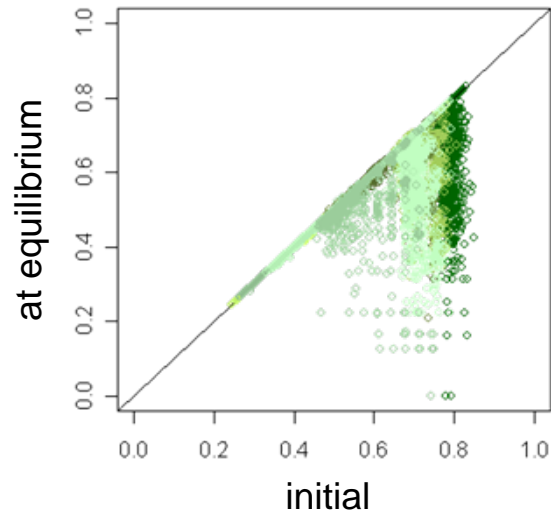
Mutualistic interactions

Trophic interactions

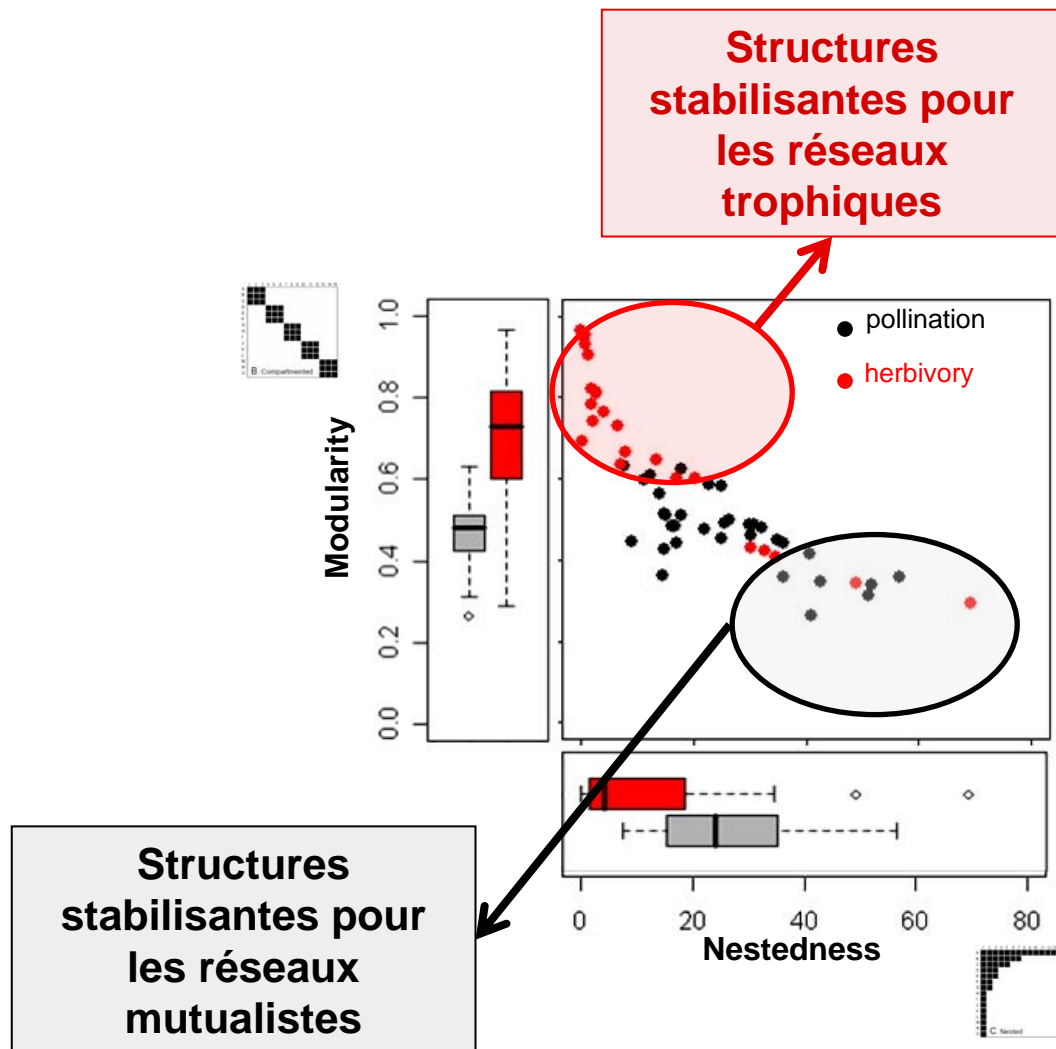
Nestedness



Modularity

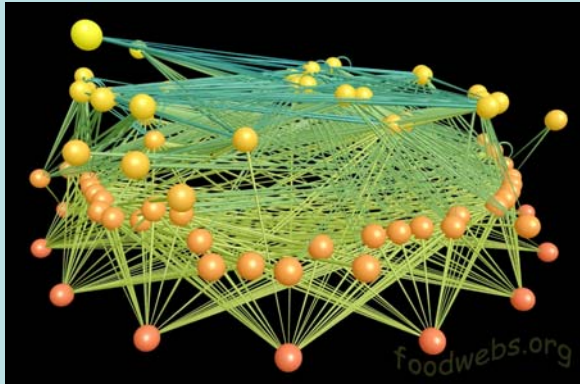
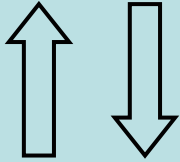


Confrontation des résultats théoriques et empiriques

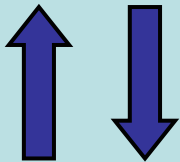


Importance des contraintes de stabilité des systèmes dynamiques dans la détermination de la structure des réseaux d'interactions

Processus évolutifs

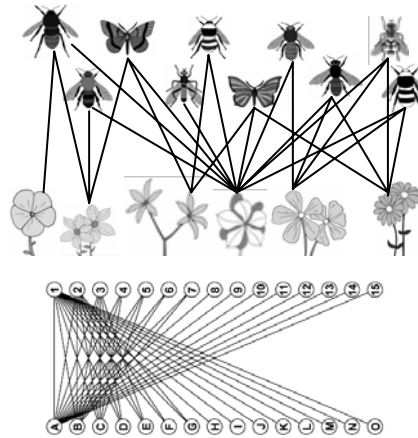


Architecture des réseaux

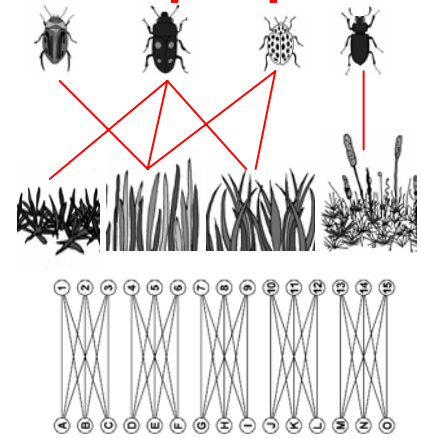


Stabilité

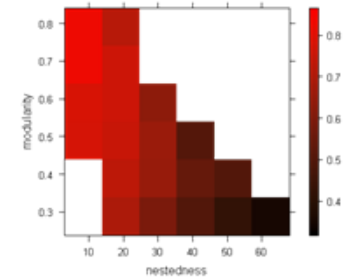
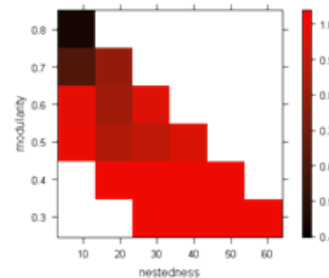
Mutualiste



Trophique

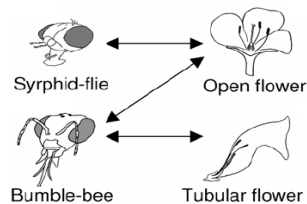


Forte contraintes de stabilité liant architecture des réseaux et type d'interaction

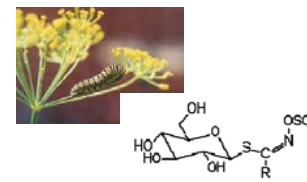


Différences de processus coevolutif?

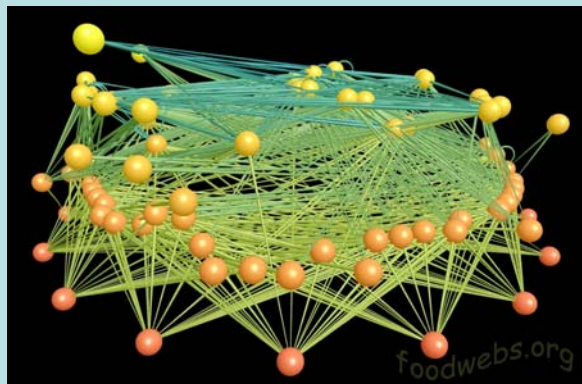
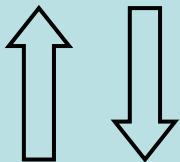
-convergences et complémentarités de traits



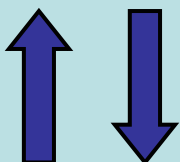
-coevolution de défences et contre défences



Processus évolutifs

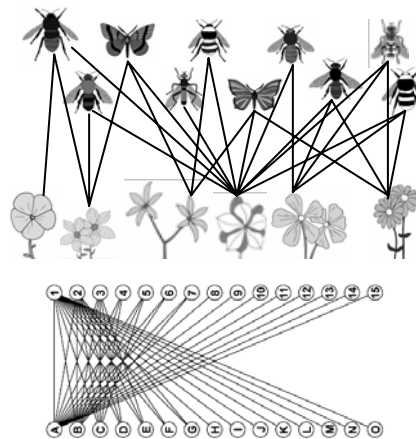


Architecture des réseaux

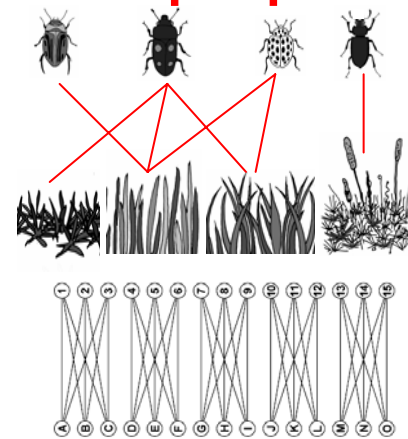


Stabilité

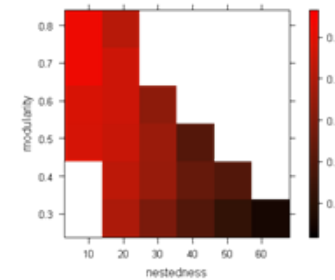
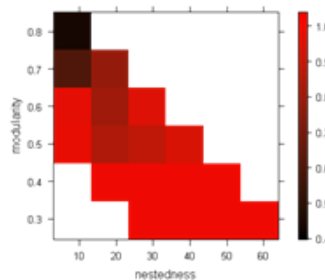
Mutualiste



Trophique

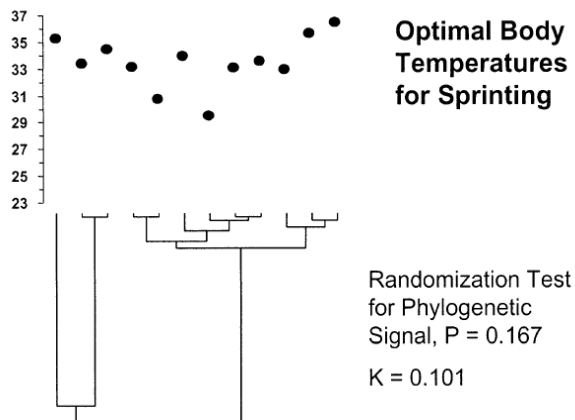
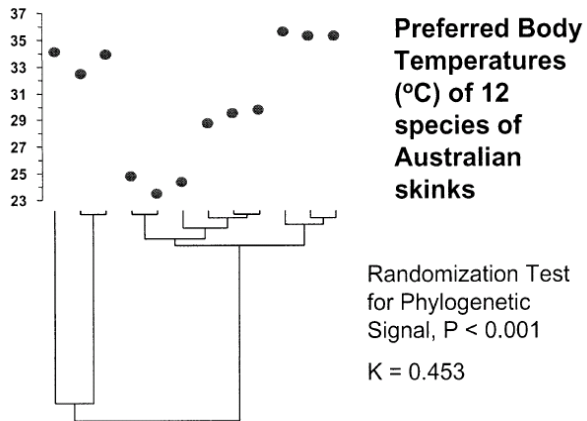


Forte contraintes de stabilité liant architecture des réseaux et type d'interaction



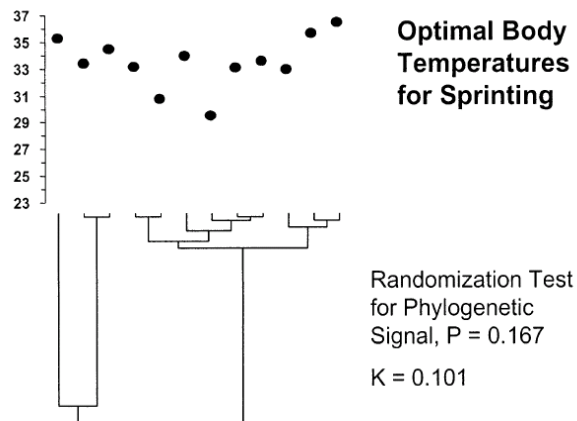
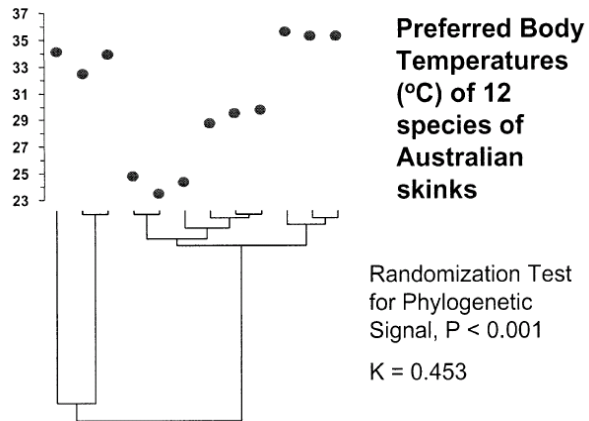
Signal phylogénétique

Le signal phylogénétique quantifie la
tendance pour des espèces
apparentées à partager des valeurs de
traits similaires

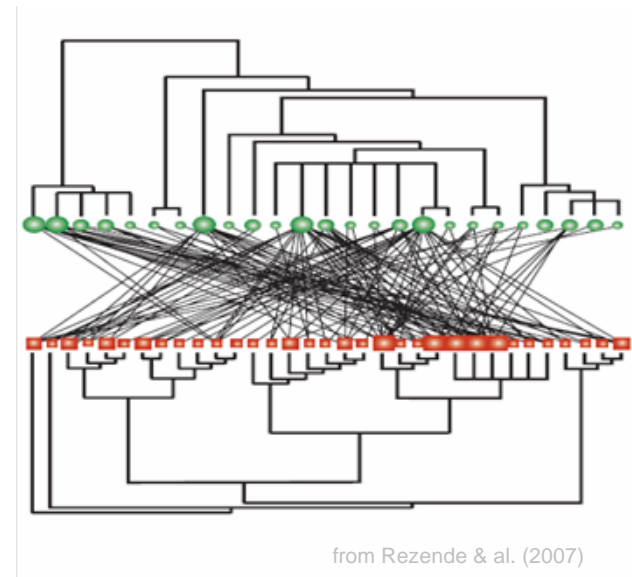


Signal phylogénétique

Le signal phylogénétique quantifie la tendance pour des espèces apparentées à partager des valeurs de traits similaires



Le signal phylogénétique dans un réseau d'interaction traduit la tendance pour des espèces apparentées à interagir avec des espèces similaires

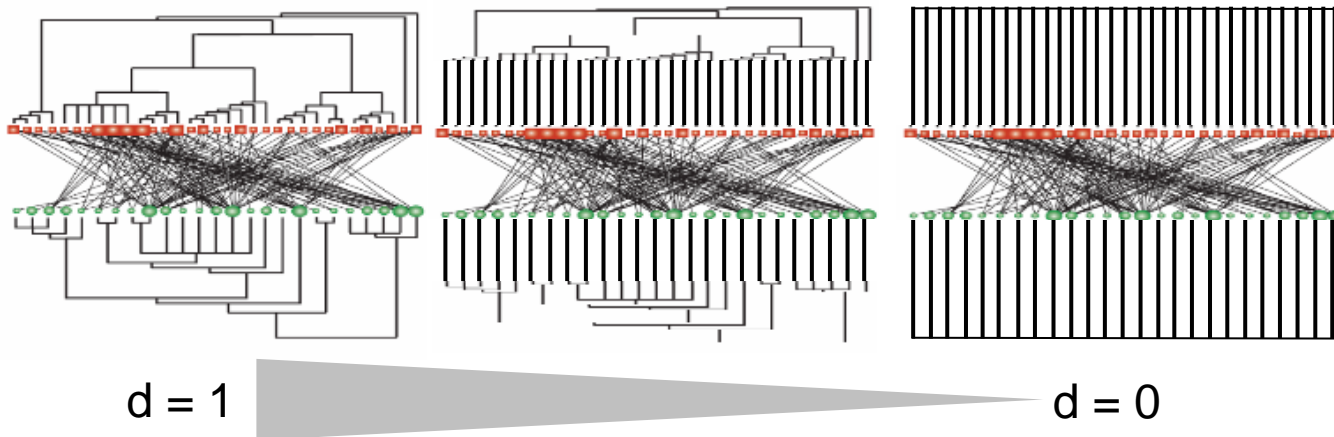


Quantification du signal phylogénétique dans les réseaux d'interactions

Modèle linéaire prédisant les forces d'interactions intégrant une structure de covariance entre espèces des deux niveaux simultanément (Ives & Godfray, 2006).

$$\mathbf{A} = b_0 + \varepsilon$$

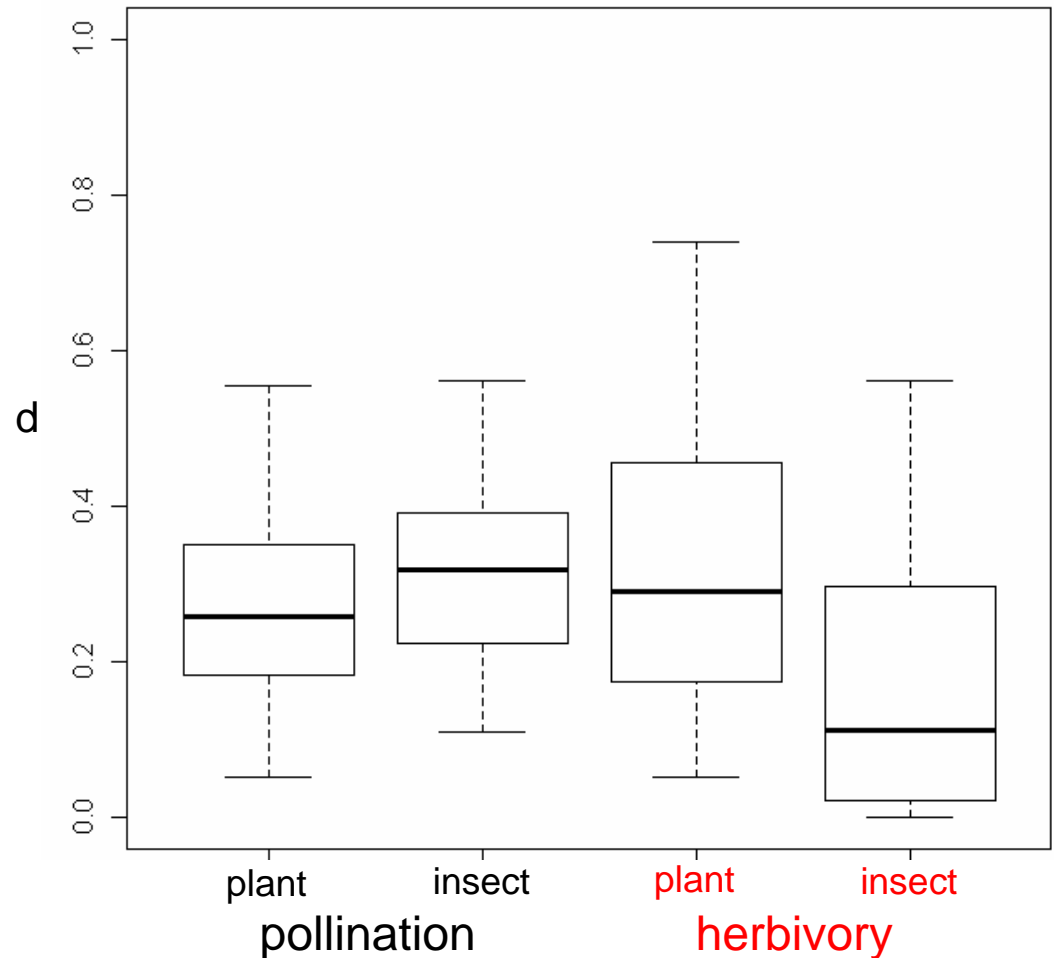
- Avec
- b_0 force d'interaction moyenne phylogénétiquement corrigée, et ε erreur
 - matrice de covariance de ε : $W = U \otimes V$
 - U and V sont les matrices de covariance des espèces pour chaque niveau, issues de la phylogénie



Covariance entre espèces apparentées

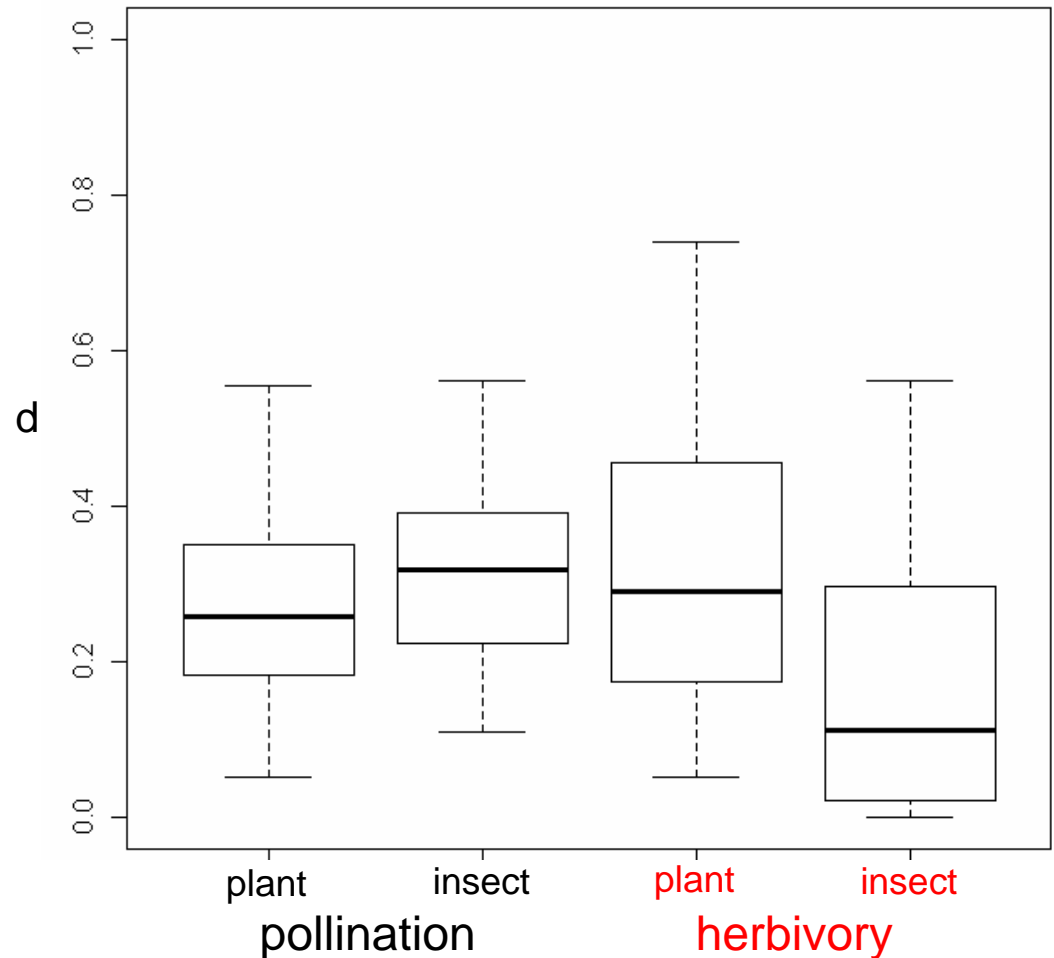
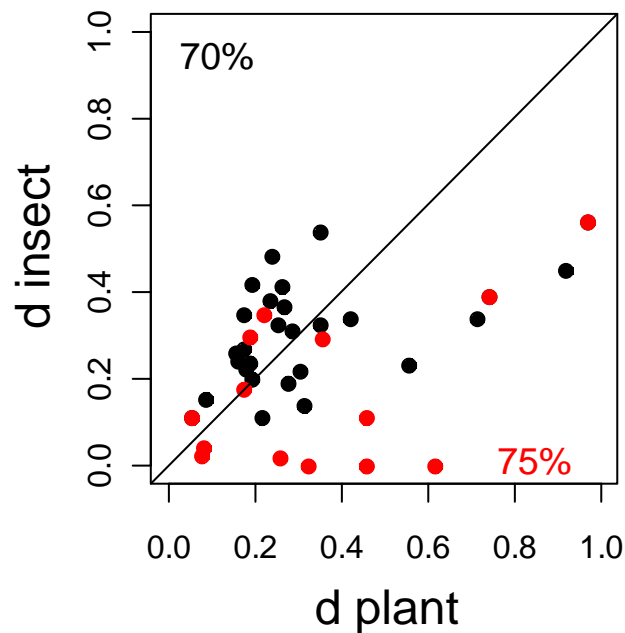
Force du signal phylogénétique

Phylogenie approximée par la taxonomie

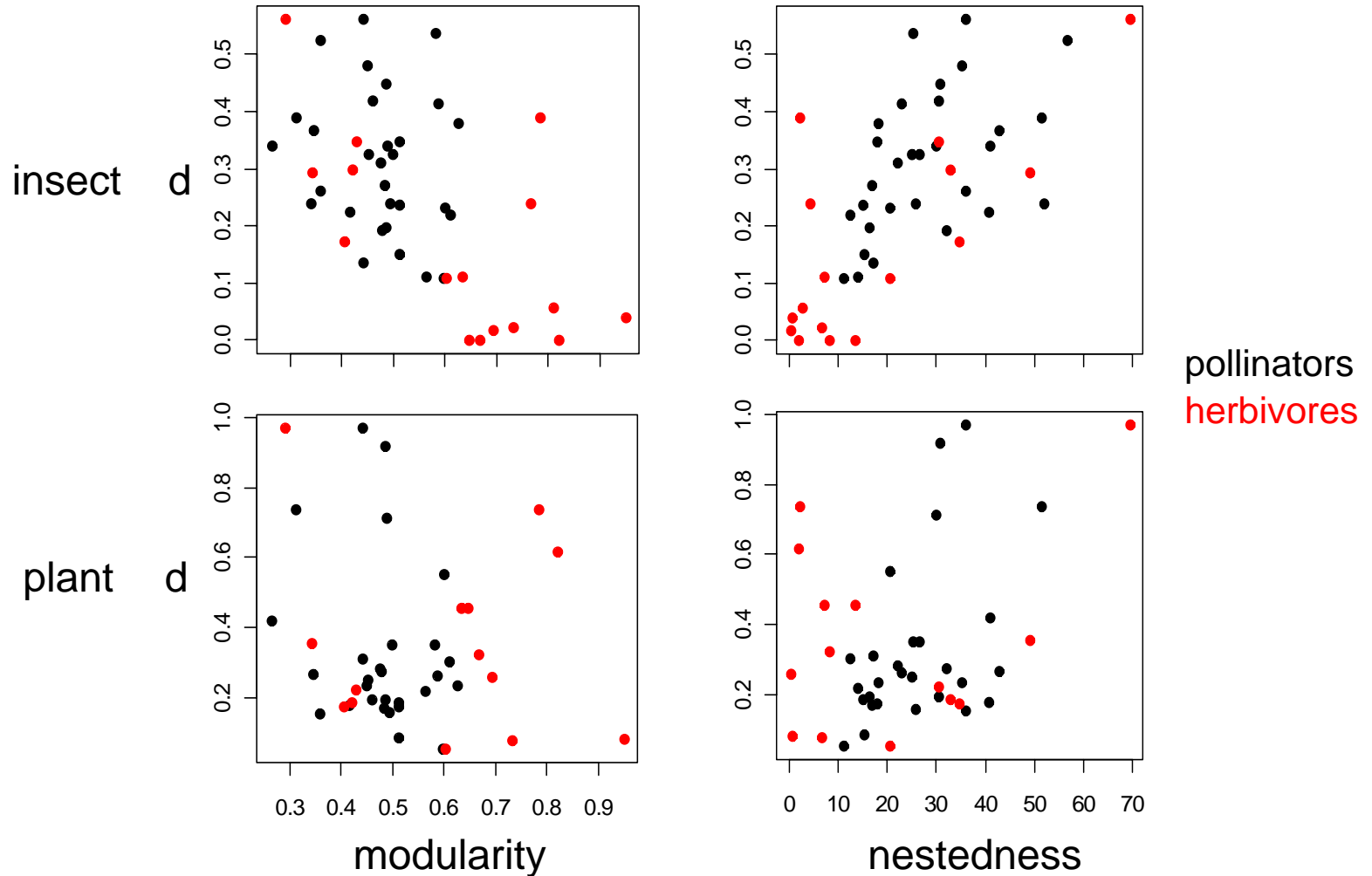


Force du signal phylogénétique

Phylogénie approximée par la taxonomie



Lien entre “d” et l’architecture des réseaux



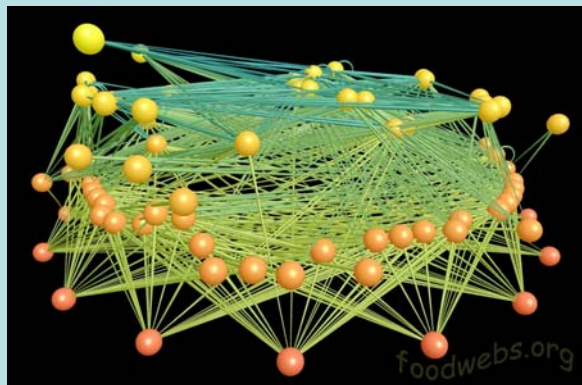
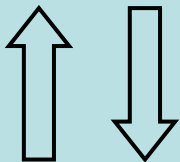
Différences de processus coevolutif?

Signal plus fort au niveau des insectes que des plantes

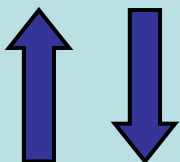
Signal plus fort au niveau des plantes que des insectes

Pas de lien évident entre la force du signal et l'architecture fine des réseaux

Processus évolutifs

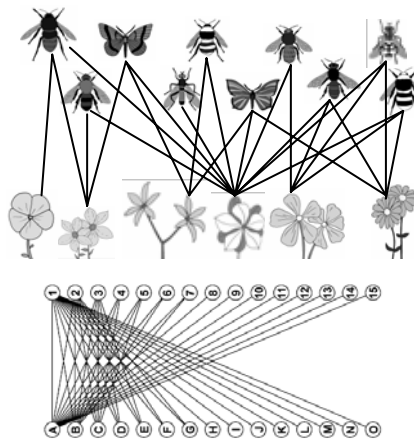


Architecture des réseaux

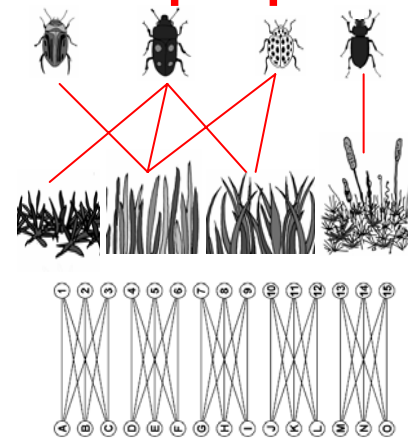


Stabilité

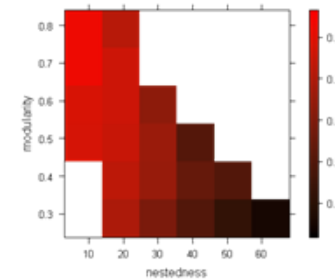
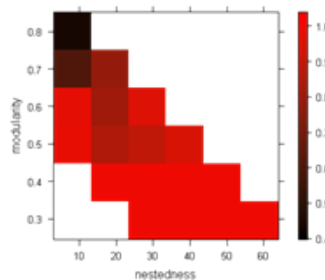
Mutualiste



Trophique



Forte contraintes de stabilité liant architecture des réseaux et type d'interaction



Perspectives

Stabilité

Développement d'études analytiques permettant de mieux comprendre les liens entre type d'interaction, architecture des réseaux et stabilité.

Effet de perturbations sur la stabilité des réseaux d'interactions.

Processus d'invasion et d'extinctions d'espèces liées aux changements climatiques.

Évolution

Préciser les liens entre l'histoire évolutive des espèces et leur position dans les réseaux d'interactions.

Développement de modèles de réseaux d'interaction évolutif pour étudier les liens entre structure des réseaux d'interactions et processus évolutif.

Remerciements

La plupart des réseaux de pollinisation utilisés sont disponibles sur
the Interaction Web Database

(<http://www.nceas.ucsb.edu/interactionweb/index.html>)

Merci à OT Lewis, J Loye, T Tcharntke, LA Dyer, DH Janzen pour les
informations fournies sur leurs données.

Merci à JM Olesen and R Guimera pour leur aide en relation avec le
calcul de modularité

Mutualistic interactions

Trophic interactions

Merci de votre attention