

Méthodes statistiques et outils logiciels pour l'analyse et l'inférence de réseaux écologiques et le traitement de données multi-espèces

Lisa Nicvert

Devant le jury composé de :

Marie-Pierre Etienne

Élisa Thébault

Simon Chamailé

Anne-Béatrice Dufour

Stéphane Dray

Hervé Fritz

Rapportrice

Rapportrice

Examineur

Examinatrice

Directeur de thèse

Co-directeur de thèse



Introduction

Écologie



Écologie

Écologie = étude des organismes et de leurs interactions avec l'environnement



Écologie

Écologie = étude des organismes et de leurs interactions avec l'environnement

- Distribution des organismes

Écologie

Écologie = étude des organismes et de leurs interactions avec l'environnement

- Distribution des organismes
- Démographie

Écologie

Écologie = étude des organismes et de leurs interactions avec l'environnement

- Distribution des organismes
- Démographie
- Interactions...

Les systèmes écologiques

Différentes échelles d'organisation

Les systèmes écologiques

Différentes échelles d'organisation



Individu

Les systèmes écologiques

Différentes échelles d'organisation



Individu



Population

Les systèmes écologiques

Différentes échelles d'organisation



Individu



Population



Communauté

Les systèmes écologiques

Différentes échelles d'organisation



Individu



Population



Communauté



Écosystème

Les systèmes écologiques

Différentes échelles d'organisation



Individu



Population



Communauté



Écosystème

Interactions interspécifiques = effet d'une espèce sur une autre

Interactions interspécifiques = effet d'une espèce sur une autre



Prédation

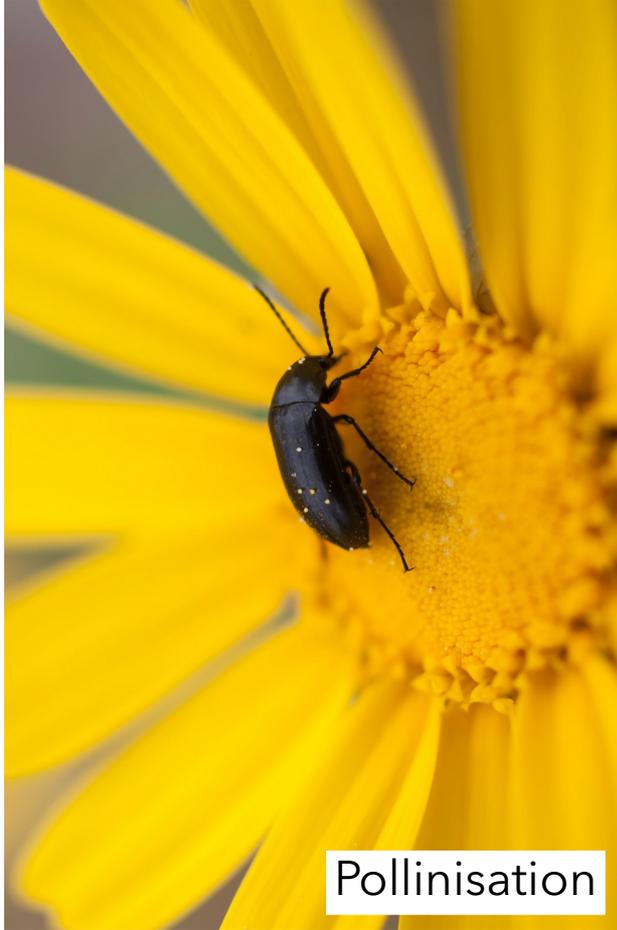
Juli Kosolapova (Unsplash)

Interactions interspécifiques = effet d'une espèce sur une autre



Prédation

Juli Kosolapova (Unsplash)



Pollinisation

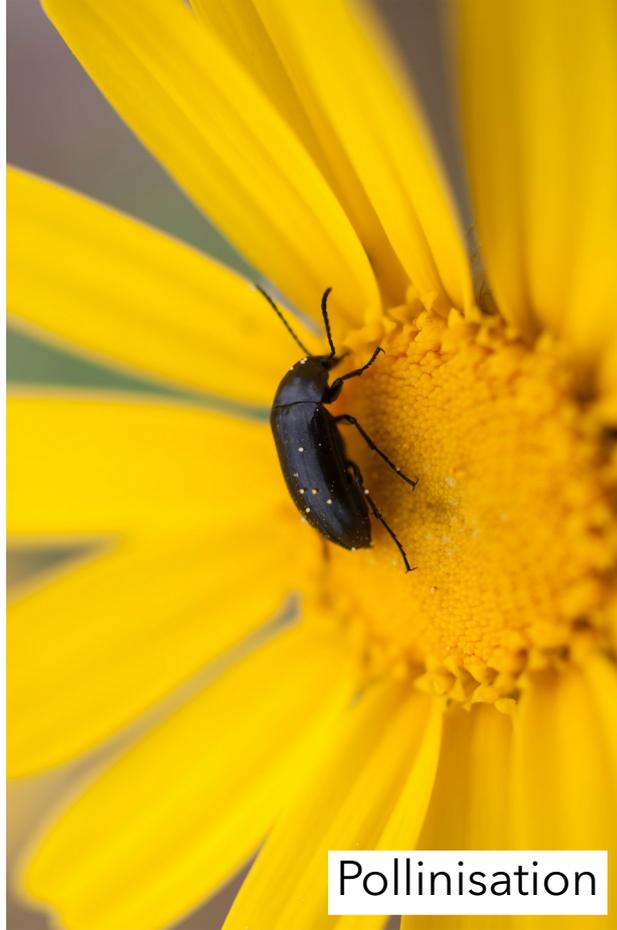
George Liapis (Unsplash)

Interactions interspécifiques = effet d'une espèce sur une autre



Prédation

Juli Kosolapova (Unsplash)



Pollinisation

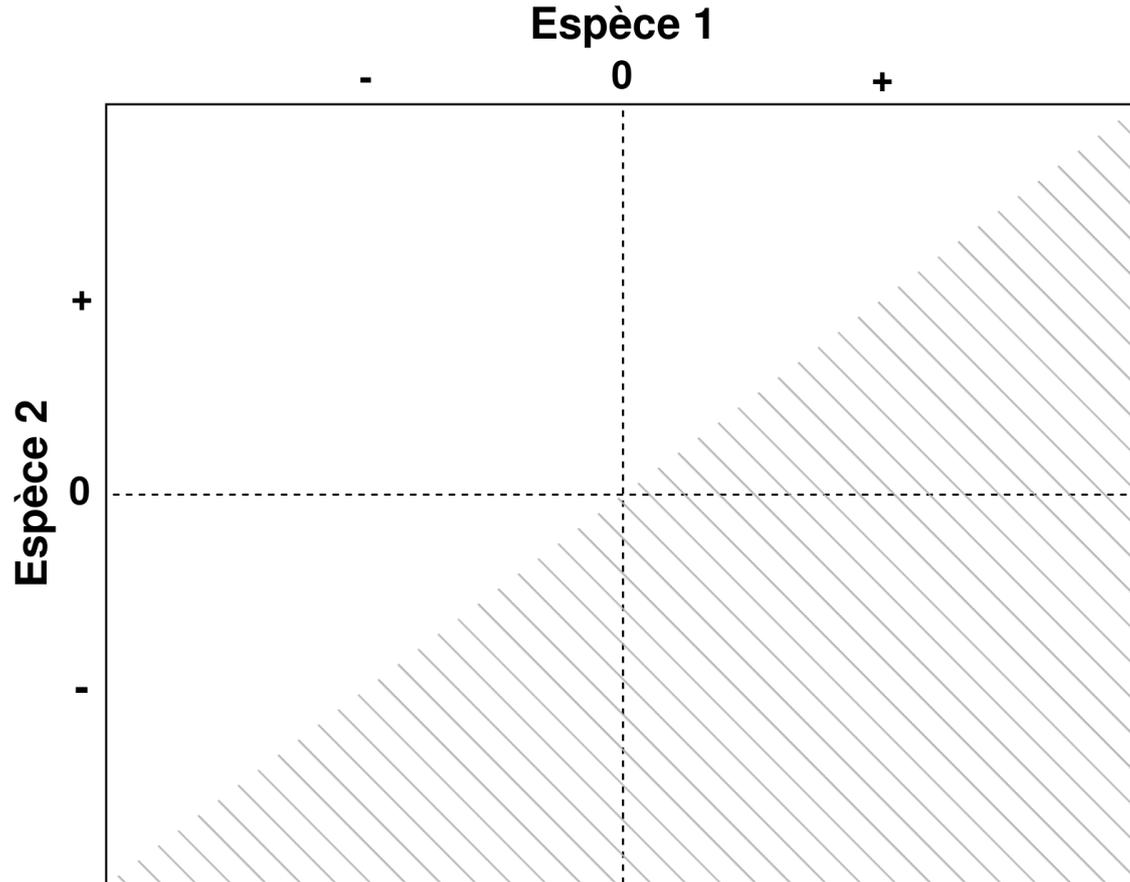
George Liapis (Unsplash)



Compétition

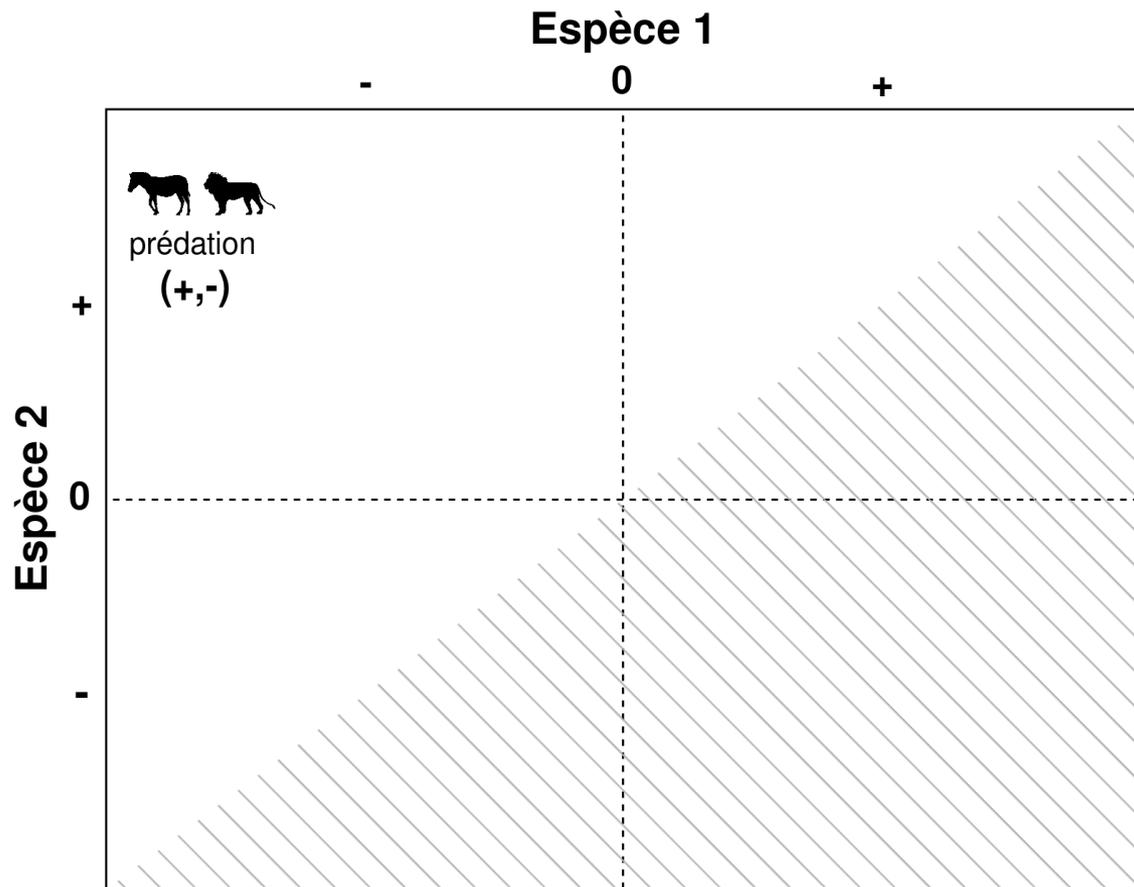
Mark Timberlake (Unsplash) 8

Interactions interspécifiques



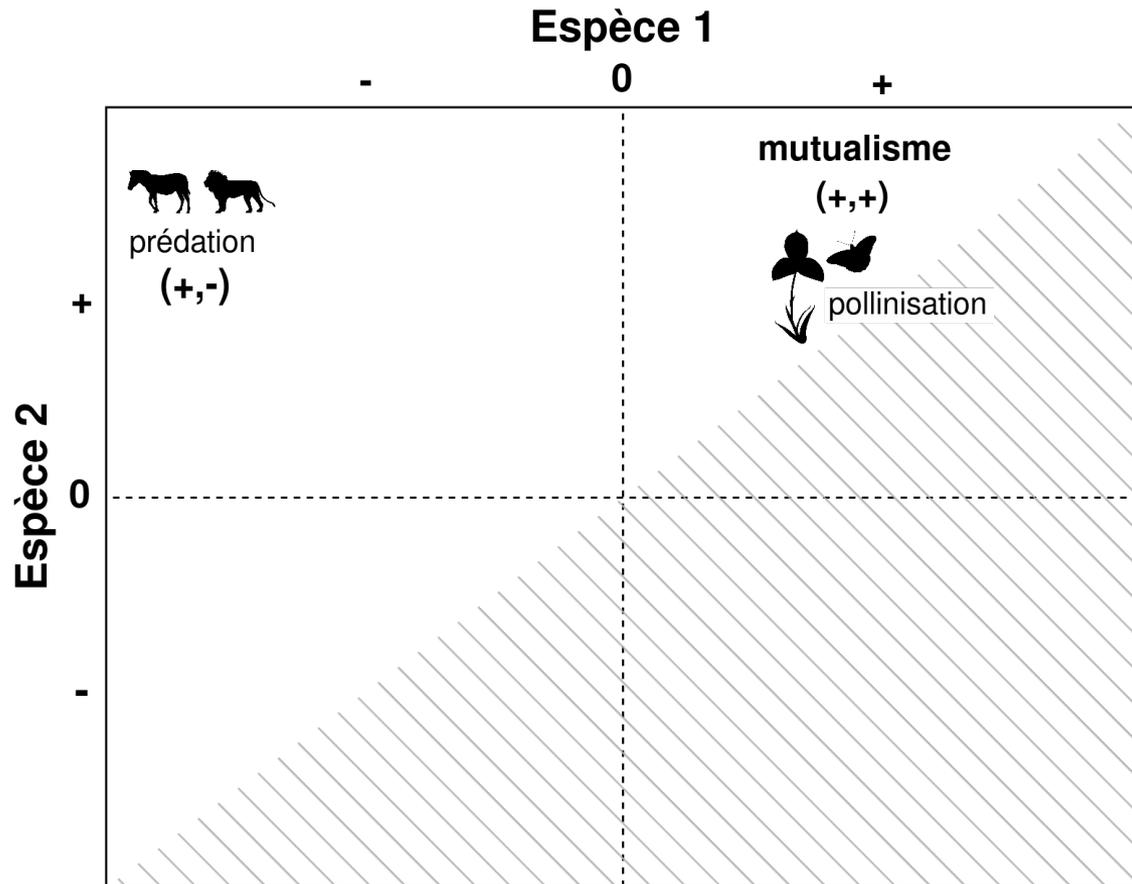
Classification selon leurs effets positifs (+) ou négatifs (-)

Interactions interspécifiques



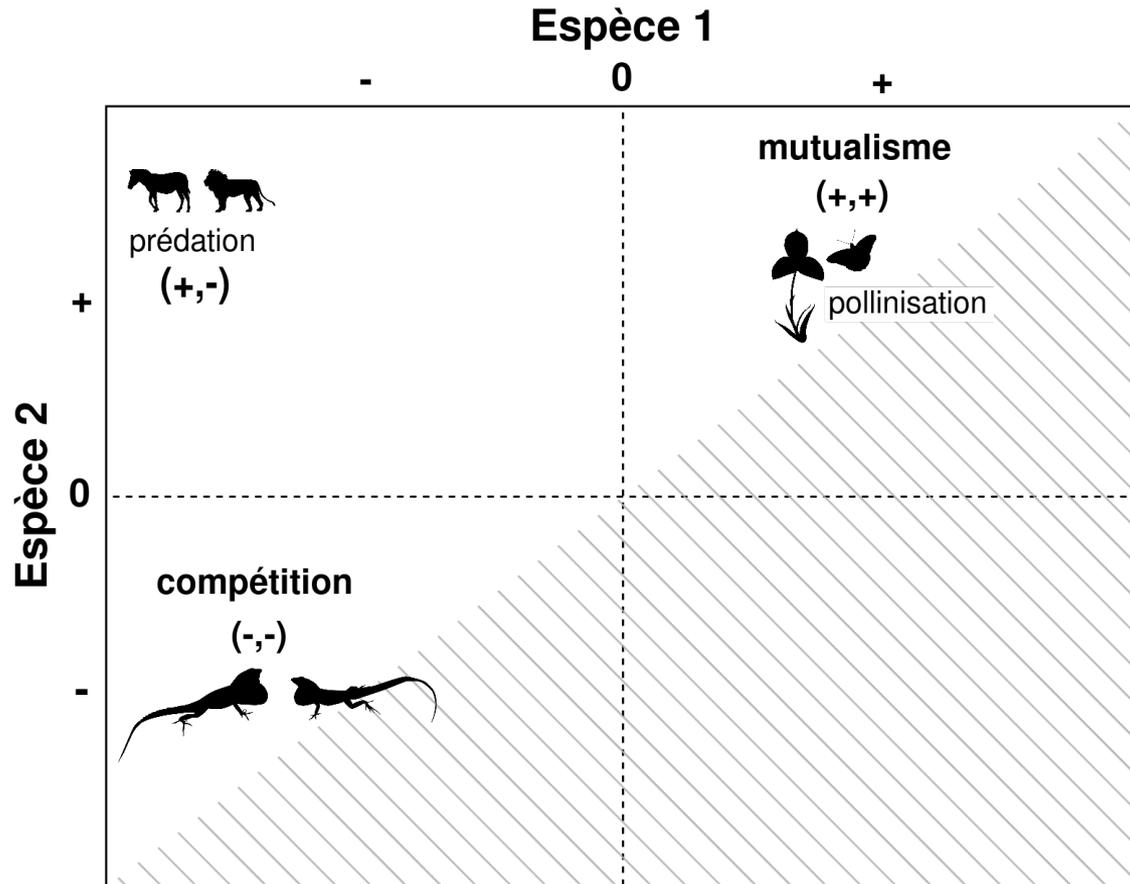
Classification selon leurs effets positifs (+) ou négatifs (-)

Interactions interspécifiques



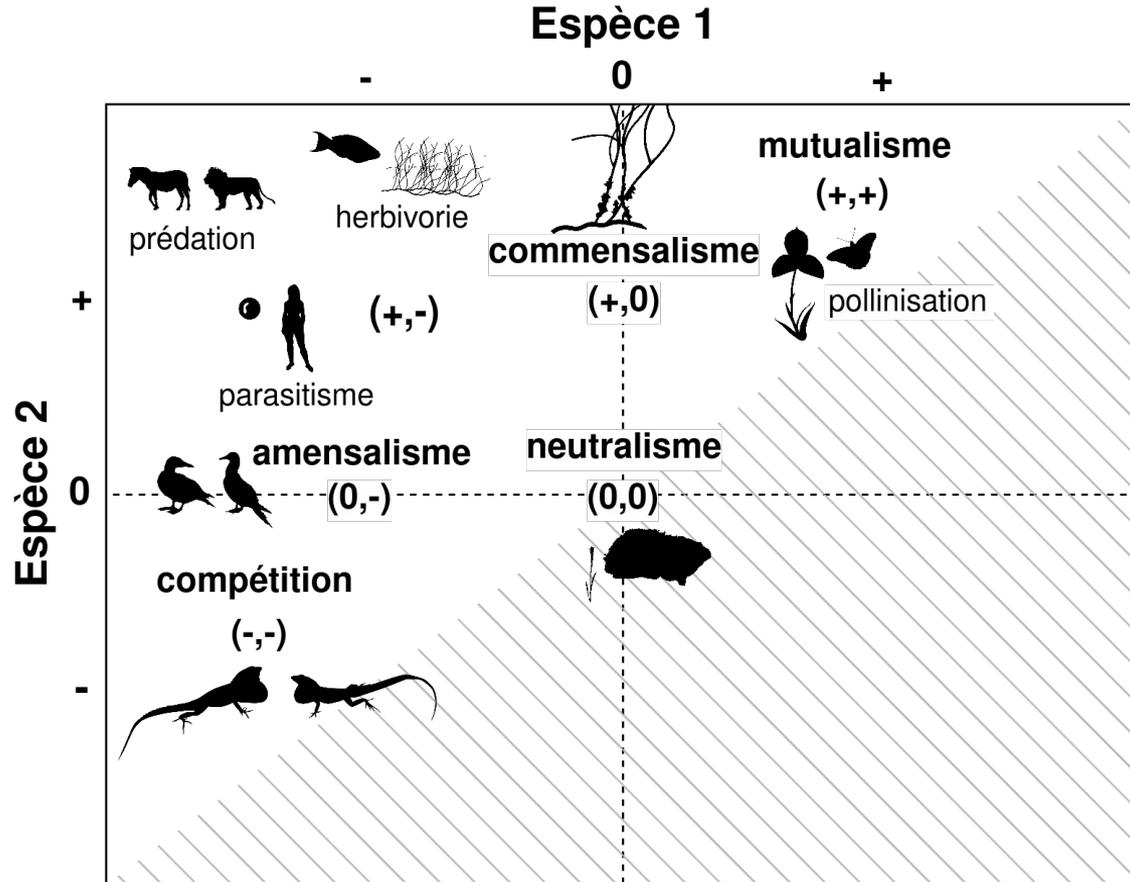
Classification selon leurs effets positifs (+) ou négatifs (-)

Interactions interspécifiques



Classification selon leurs effets positifs (+) ou négatifs (-)

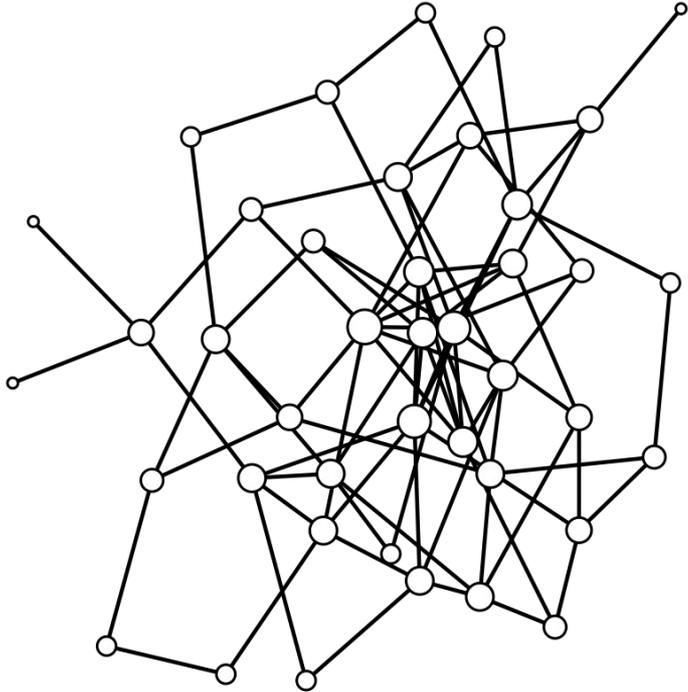
Interactions interspécifiques



Classification selon leurs effets positifs (+) ou négatifs (-)

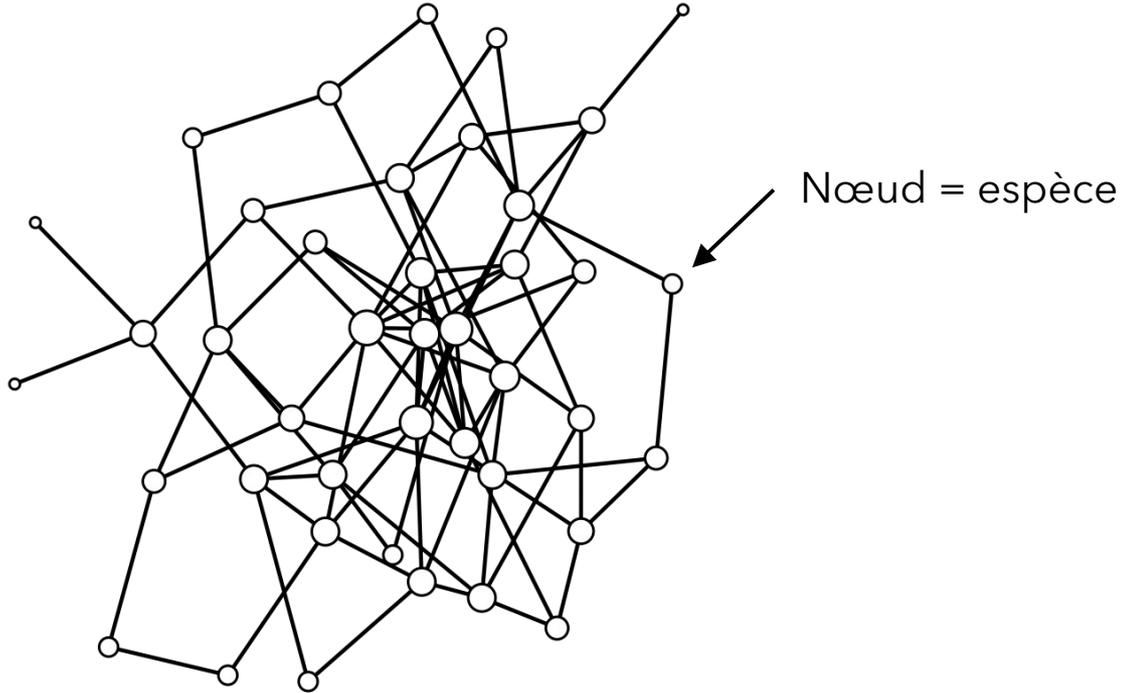
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



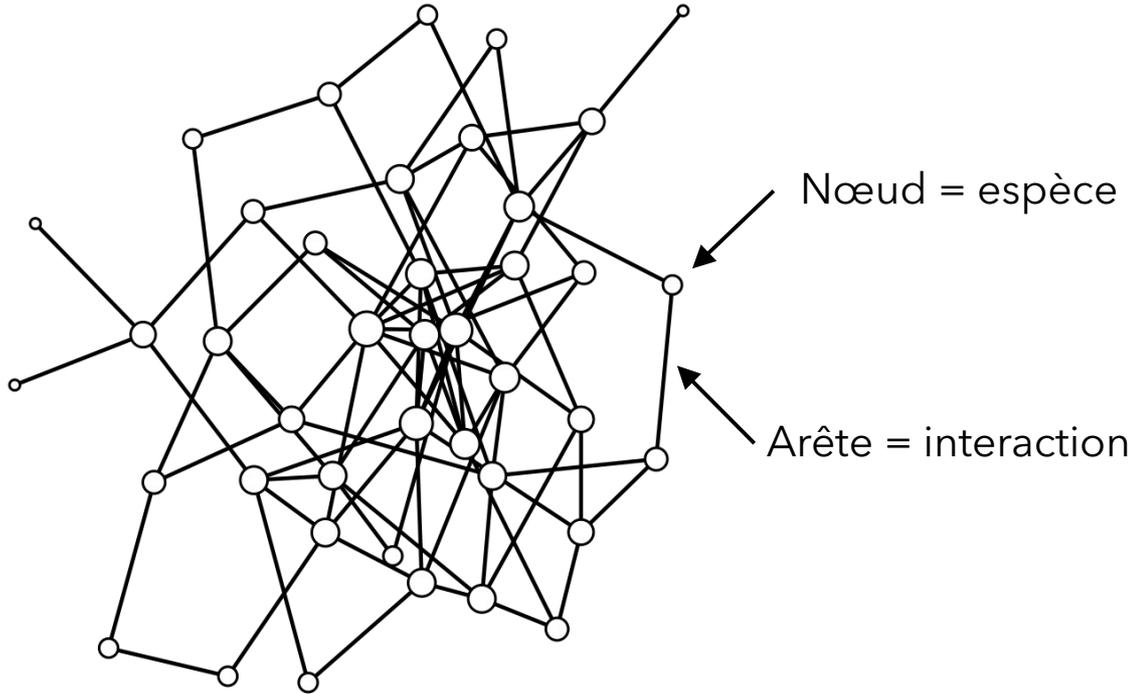
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



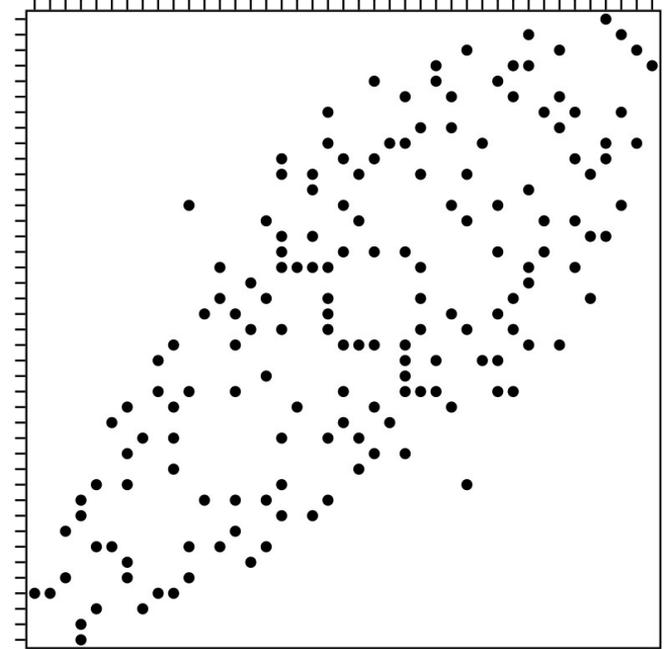
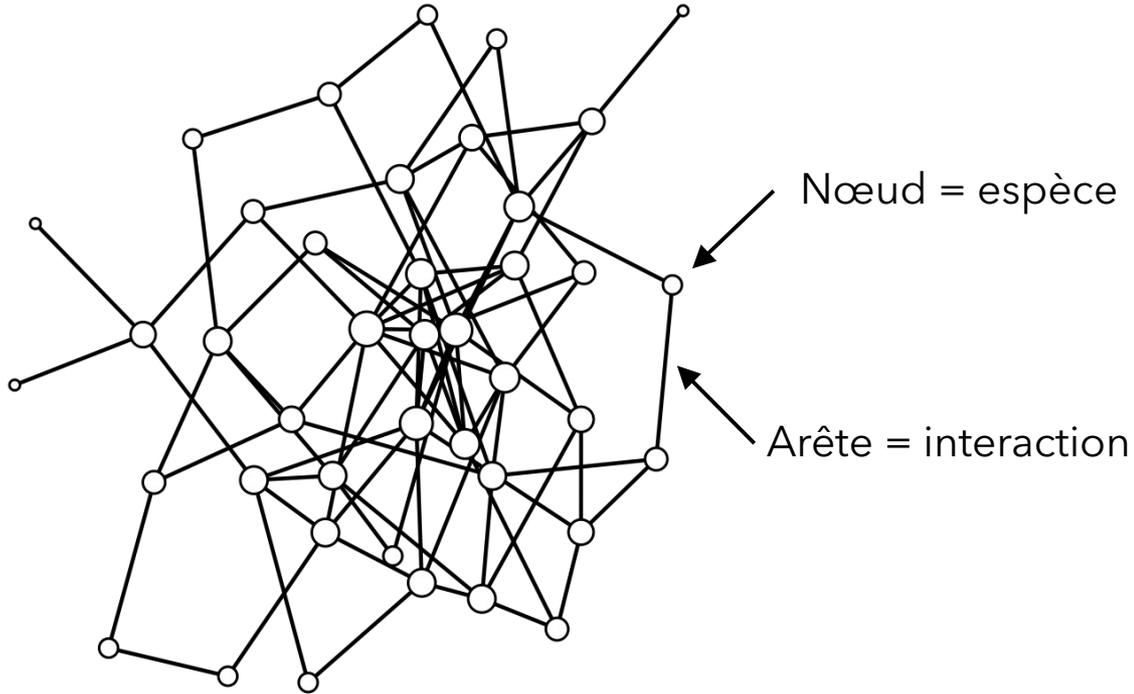
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



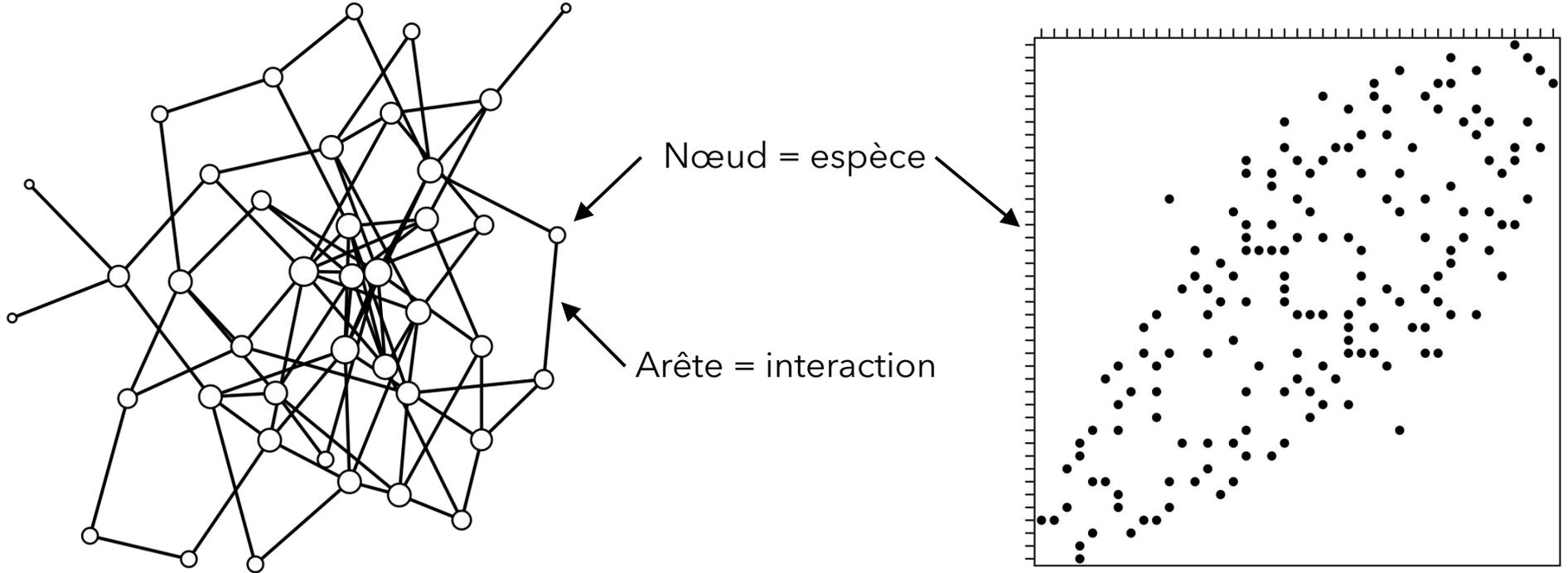
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



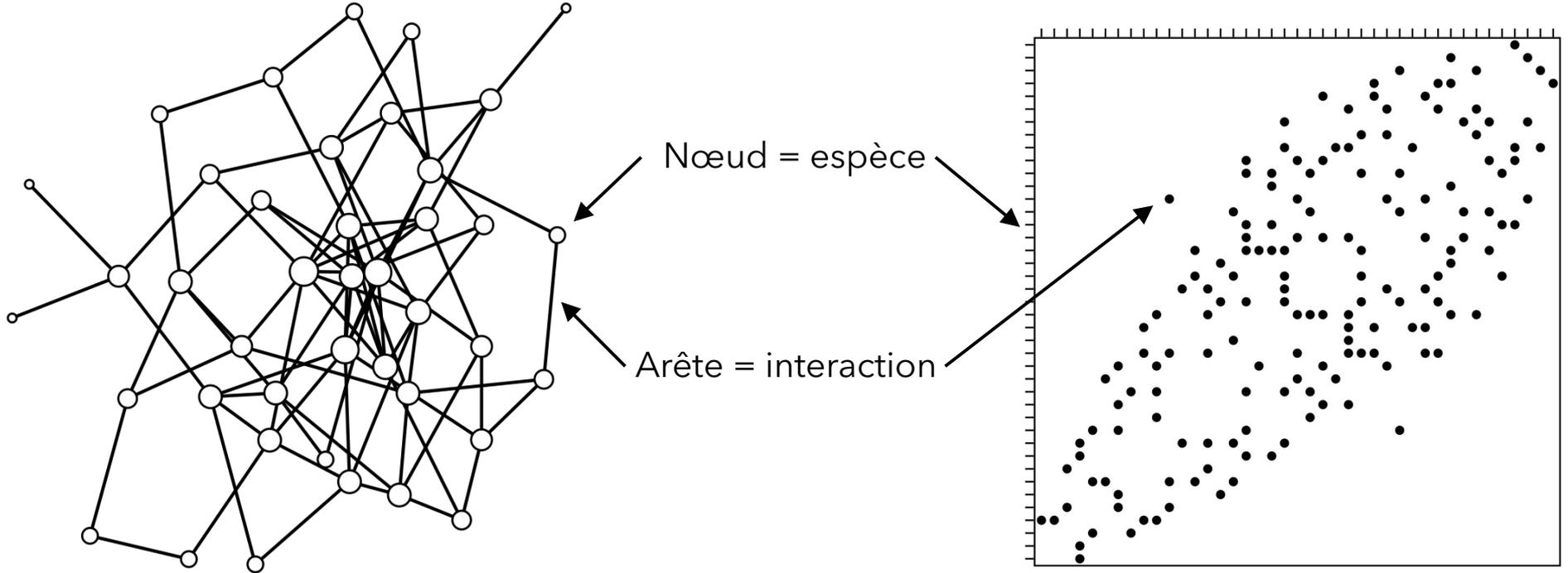
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



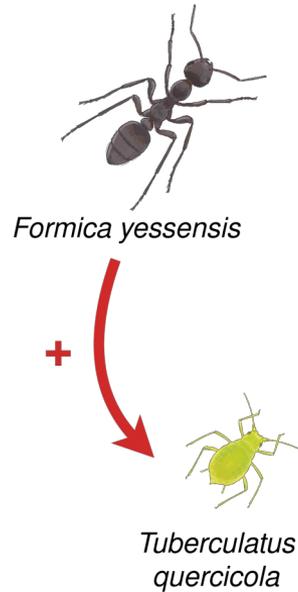
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



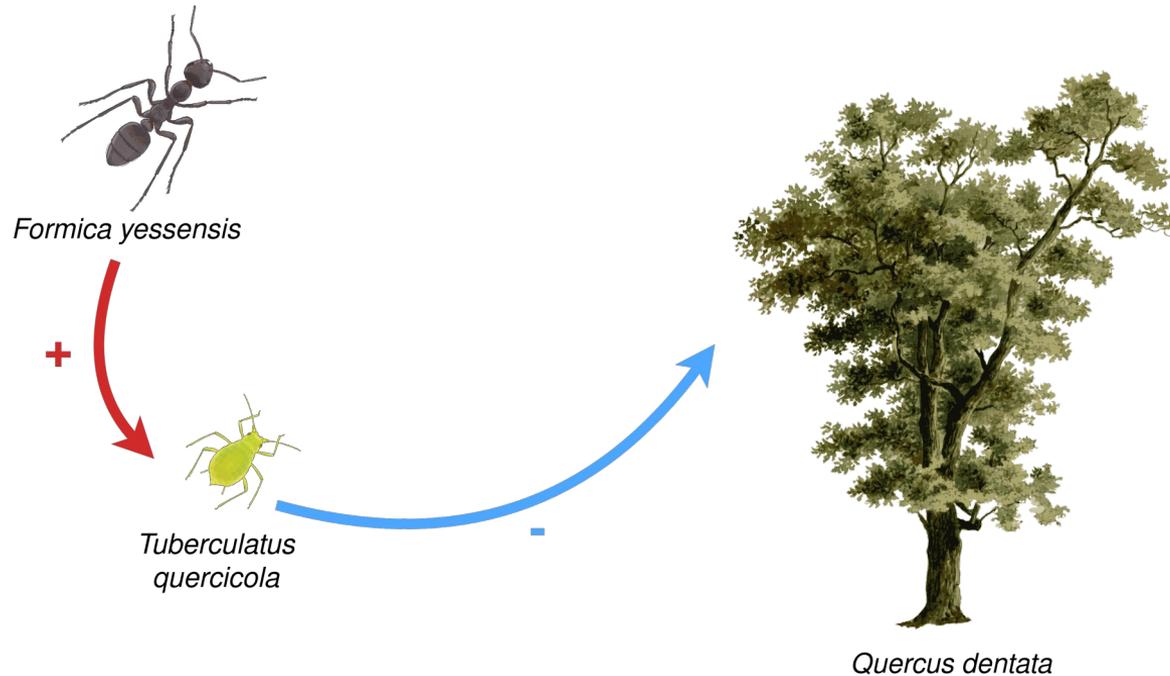
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau** *Ito & Higashi 1991*



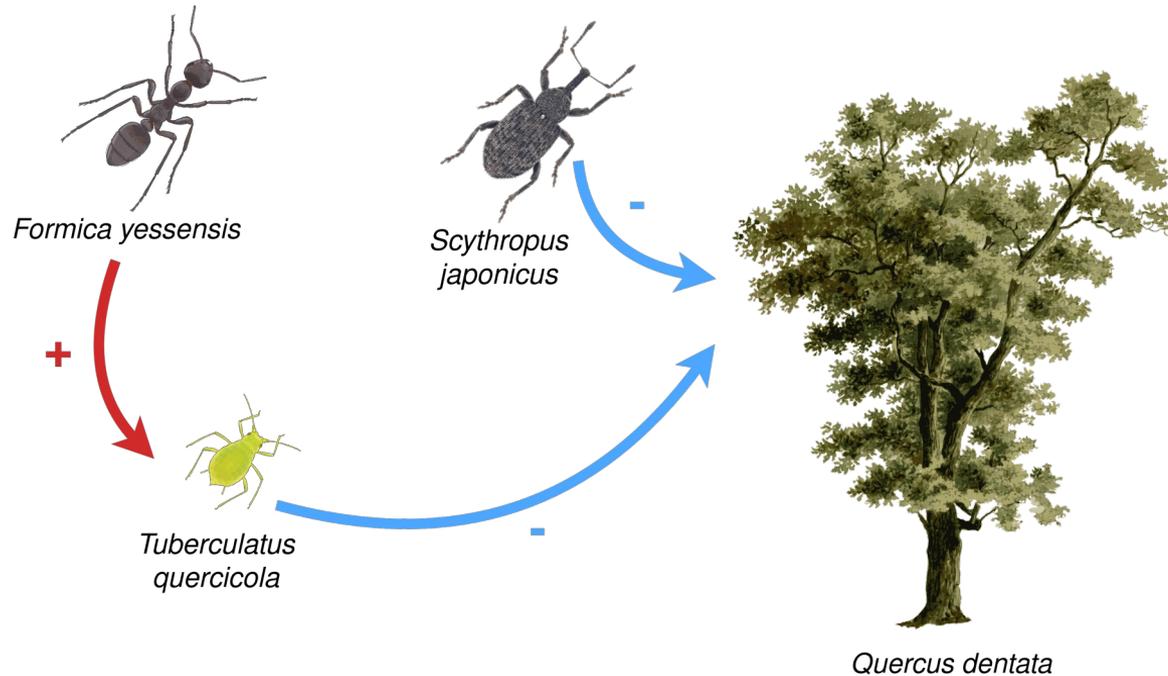
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau** *Ito & Higashi 1991*



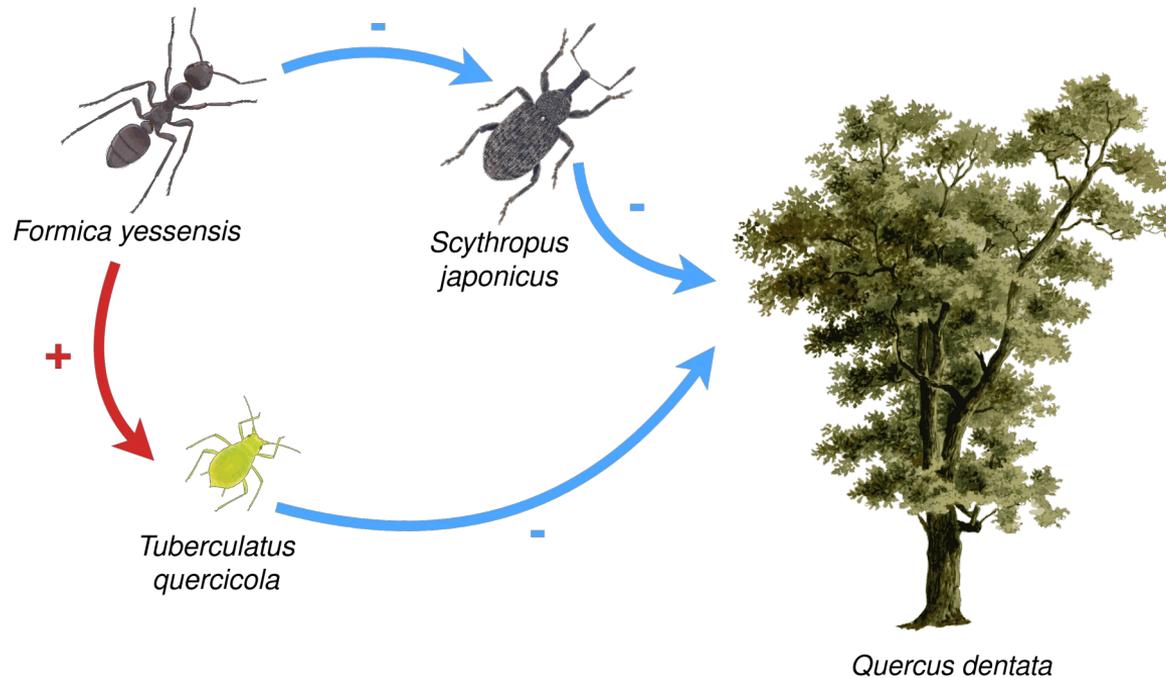
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau** *Ito & Higashi 1991*



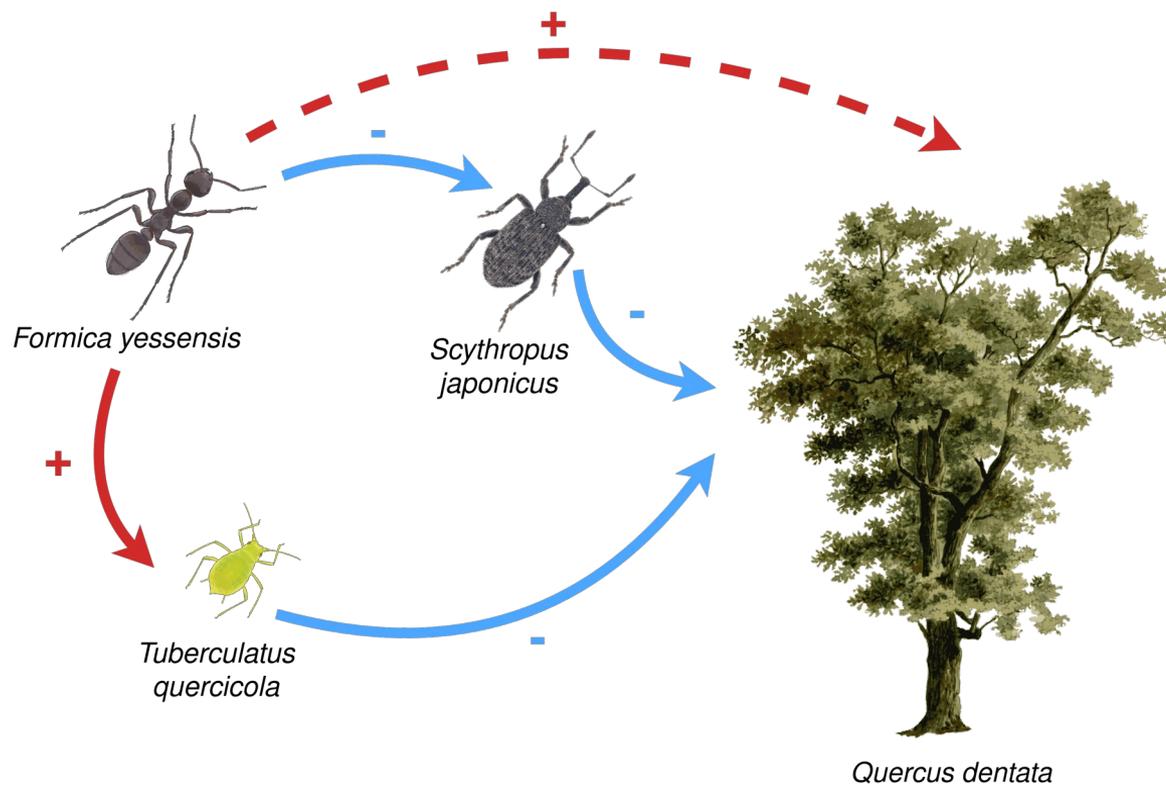
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau** *Ito & Higashi 1991*

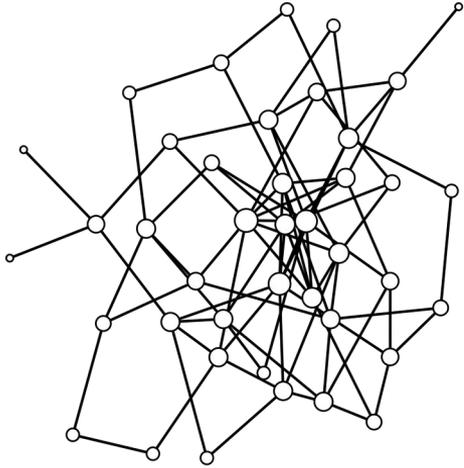


Réseaux d'interactions

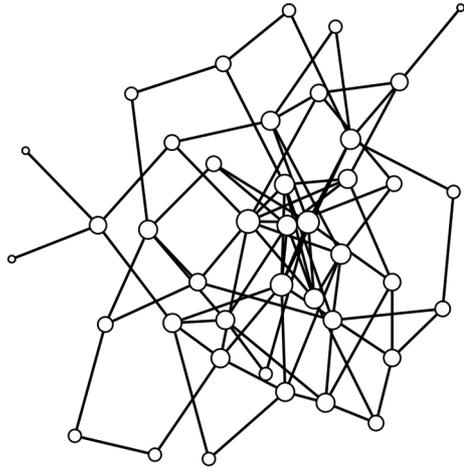
Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau** *Ito & Higashi 1991*



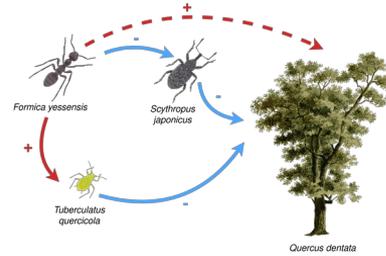
Réseaux d'interactions : questions et enjeux



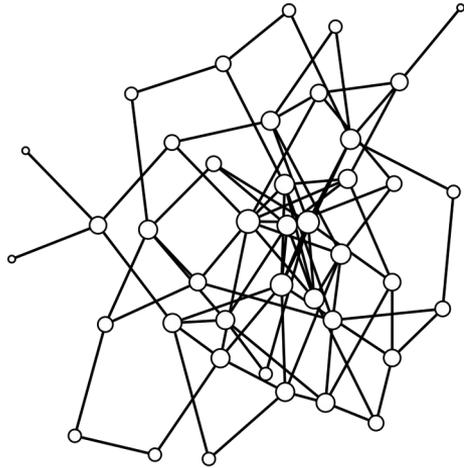
Réseaux d'interactions : questions et enjeux



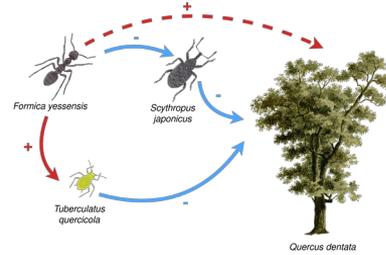
Effets indirects



Réseaux d'interactions : questions et enjeux



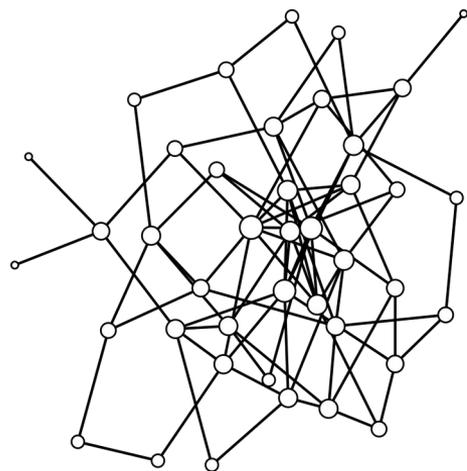
Effets indirects



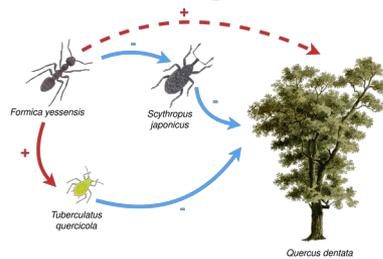
Espèces spécialistes ou généralistes



Réseaux d'interactions : questions et enjeux



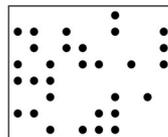
Effets indirects



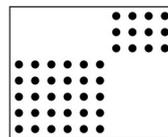
Espèces spécialistes ou généralistes



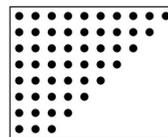
Structure du réseau



aléatoire

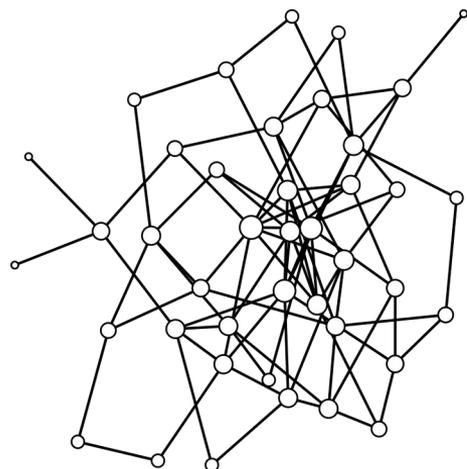


modulaire

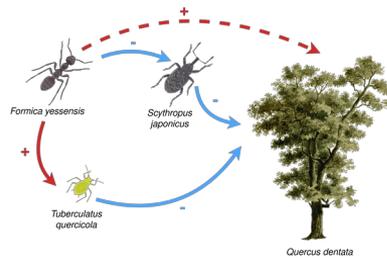


imbriquée

Réseaux d'interactions : questions et enjeux



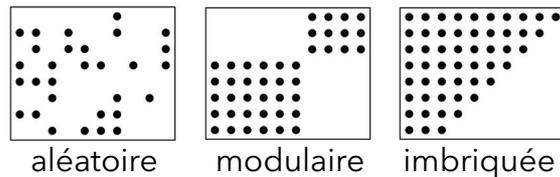
Effets indirects



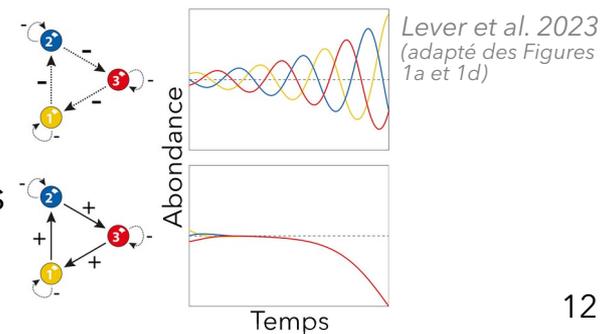
Espèces spécialistes ou généralistes



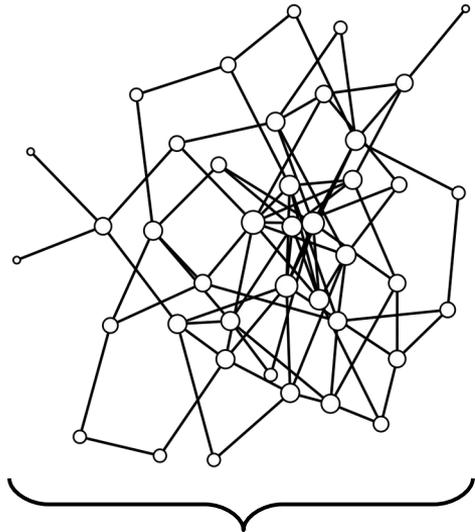
Structure du réseau



Fonctionnement des communautés



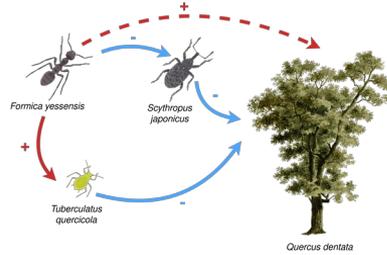
Réseaux d'interactions : questions et enjeux



Analyse d'objets complexes



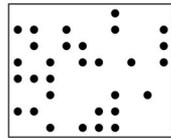
Effets indirects



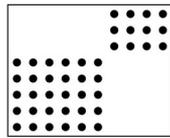
Espèces spécialistes ou généralistes



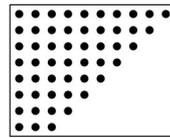
Structure du réseau



aléatoire

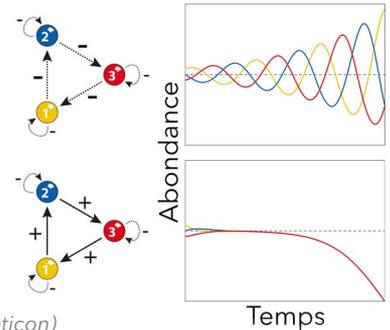


modulaire



imbriquée

Fonctionnement des communautés



Lever et al. 2023
(adapté des Figures 1a et 1d)

Plan de la présentation

Plan de la présentation



1. Quels facteurs déterminent les interactions ?

Plan de la présentation



1. Quels facteurs déterminent les interactions ?

2. Quelles sont les conséquences des interactions ?

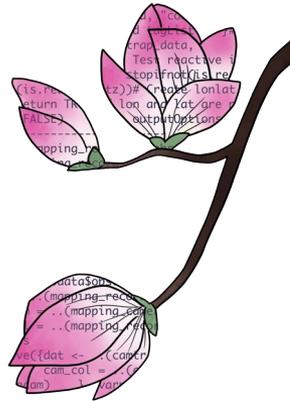
Plan de la présentation



1. Quels facteurs déterminent les interactions ?

2. Quelles sont les conséquences des interactions ?

3. Comment manipuler des données complexes ?



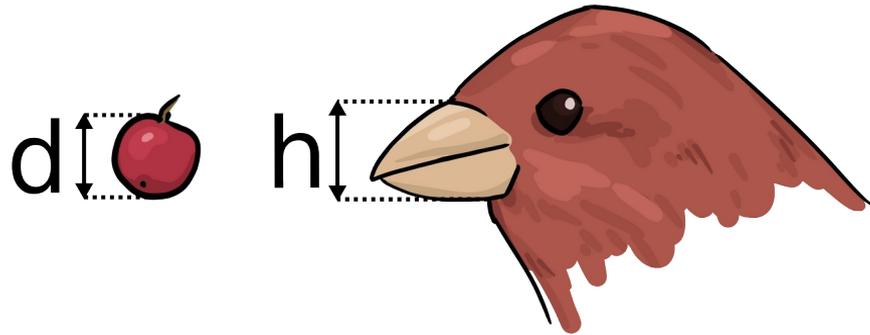


1. Quels facteurs déterminent les interactions ?

Pourquoi certaines espèces interagissent ?

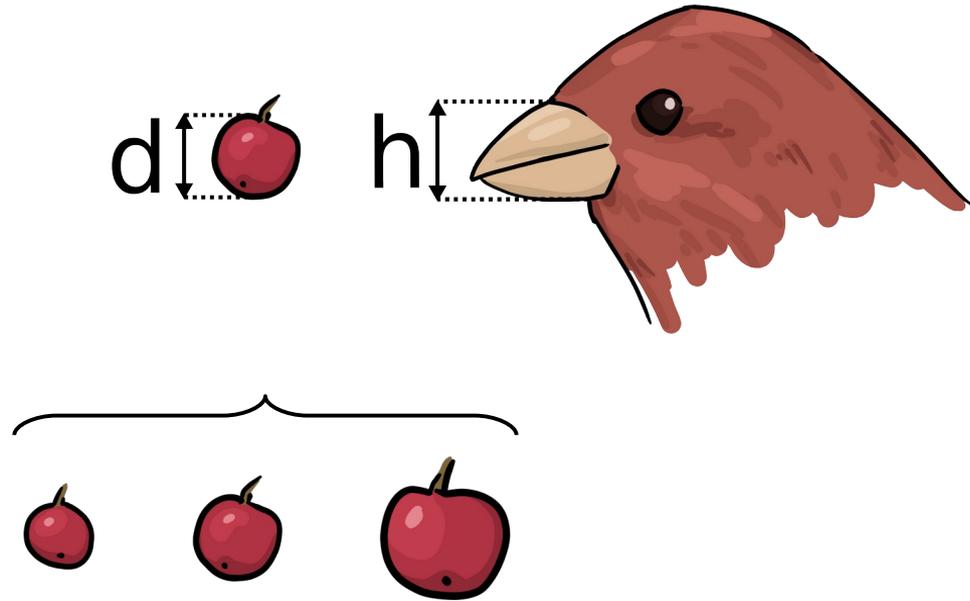
Pourquoi certaines espèces interagissent ?

Concordance des traits = complémentarité des traits qui favorise les interactions



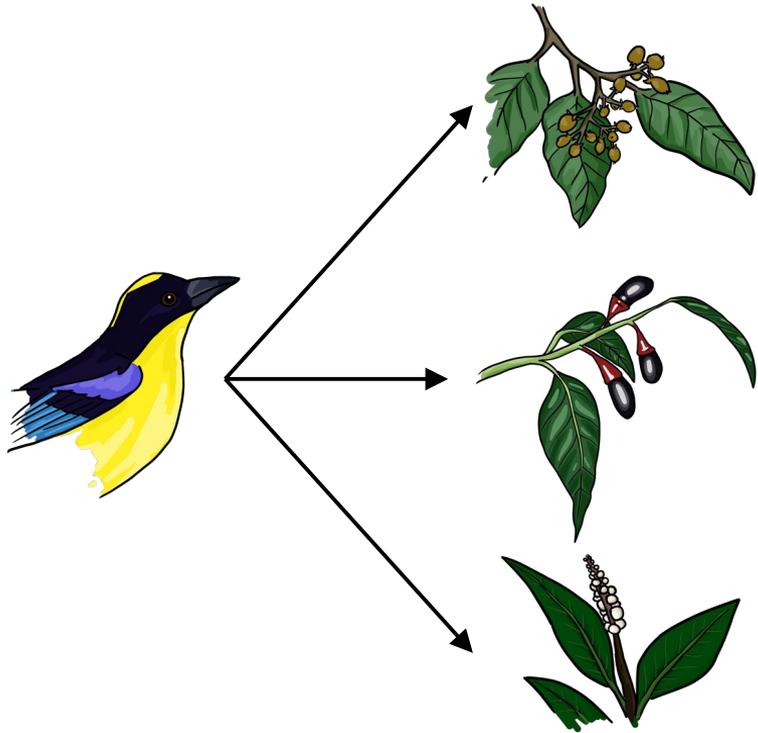
Pourquoi certaines espèces interagissent ?

Concordance des traits = complémentarité des traits qui favorise les interactions

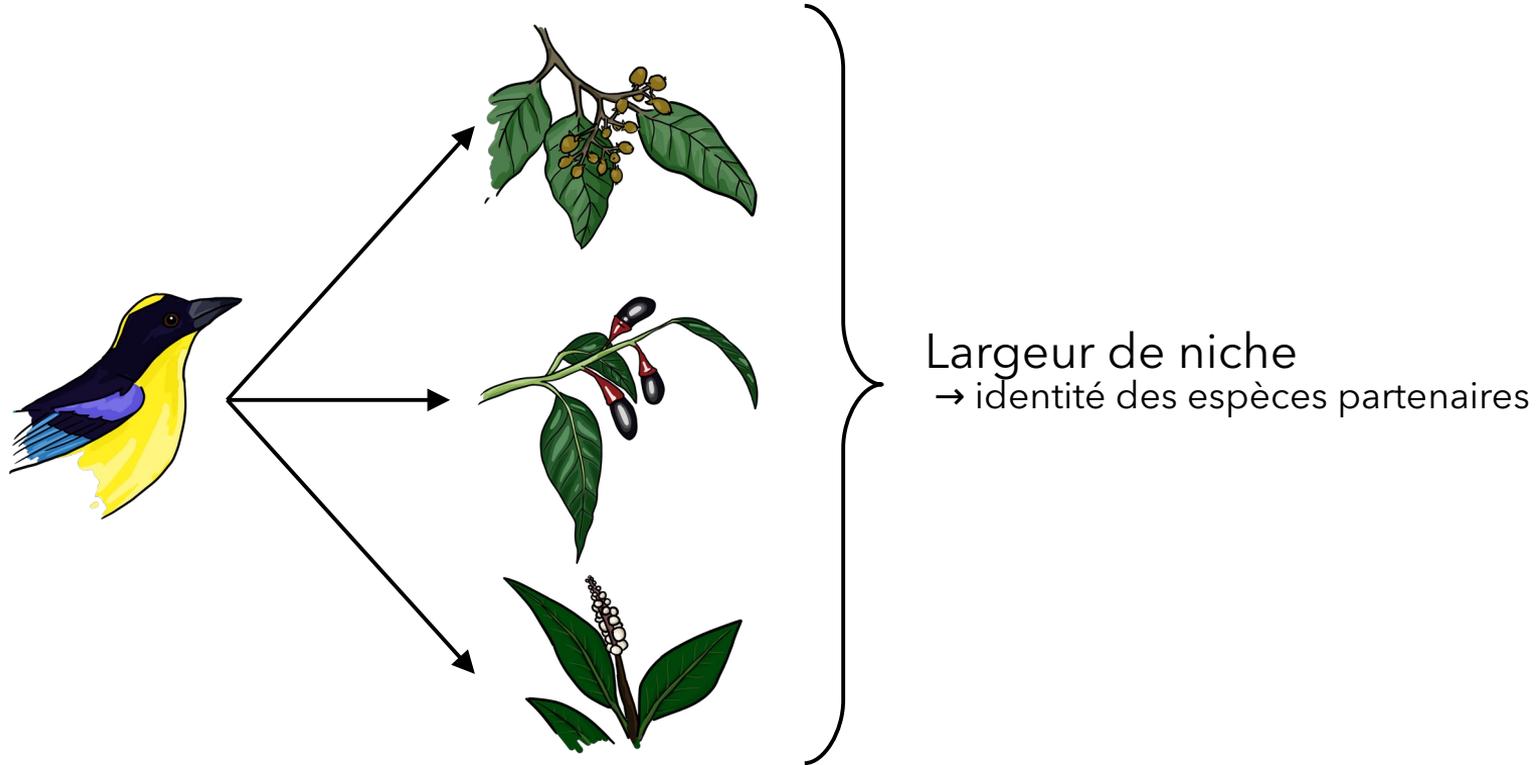


Niche d'interaction = ensemble des partenaires d'interaction d'une espèce *Elton 1927*

Niche d'interaction = ensemble des partenaires d'interaction d'une espèce *Elton 1927*



Niche d'interaction = ensemble des partenaires d'interaction d'une espèce *Elton 1927*

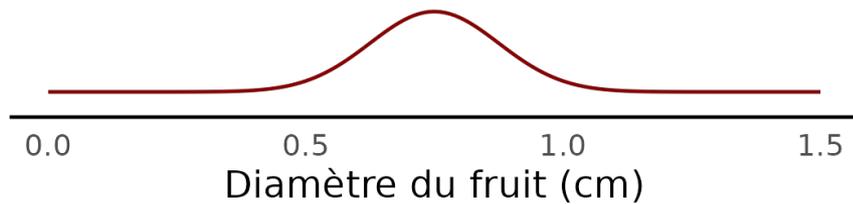


Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits

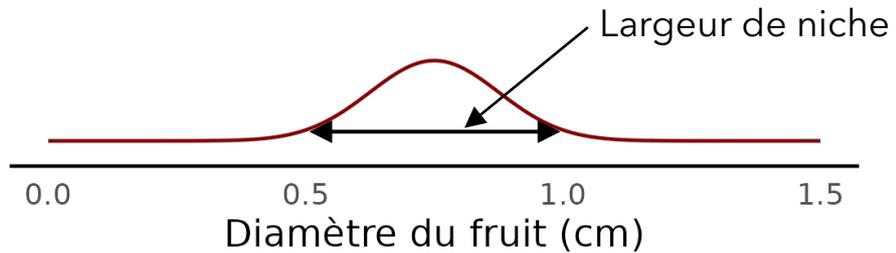
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



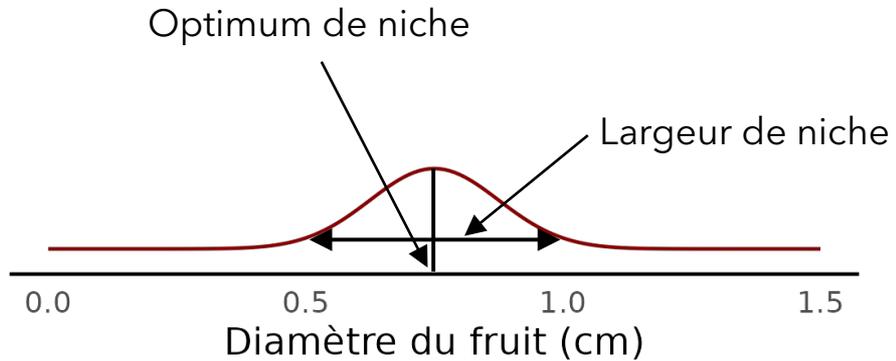
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



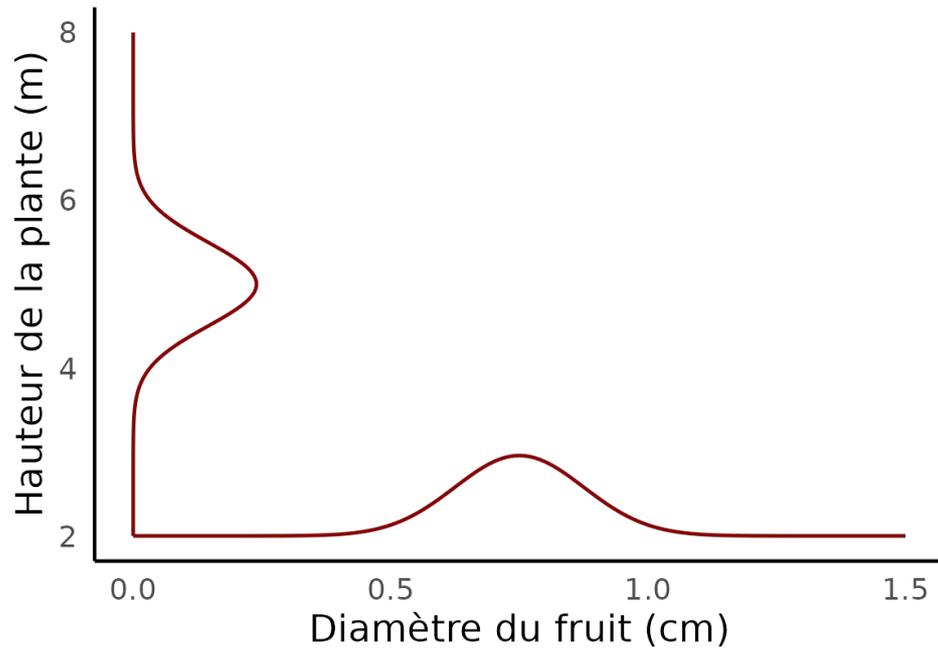
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



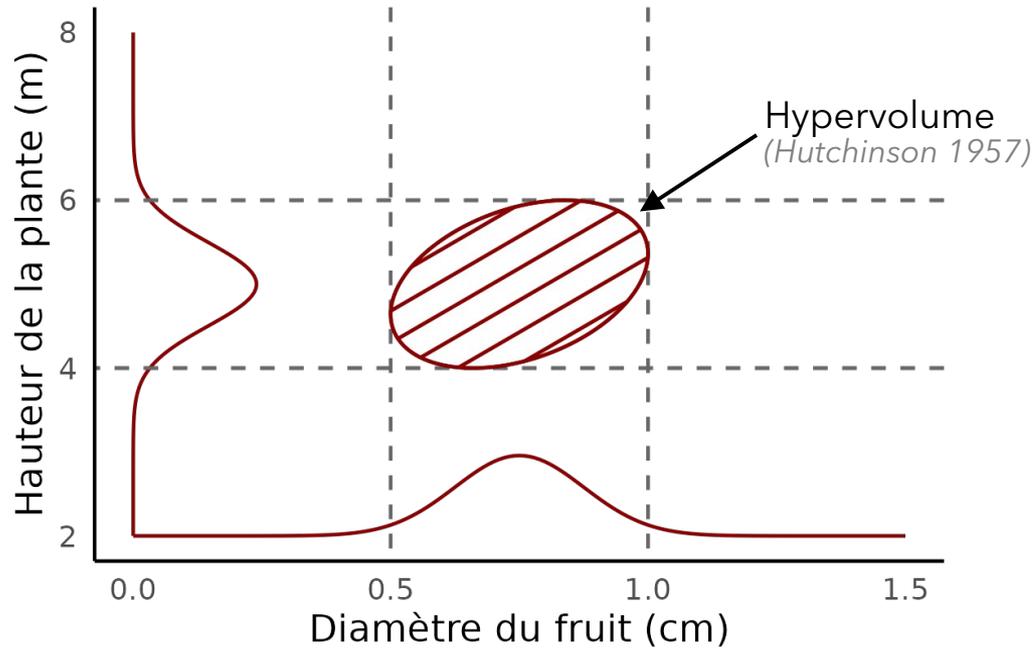
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



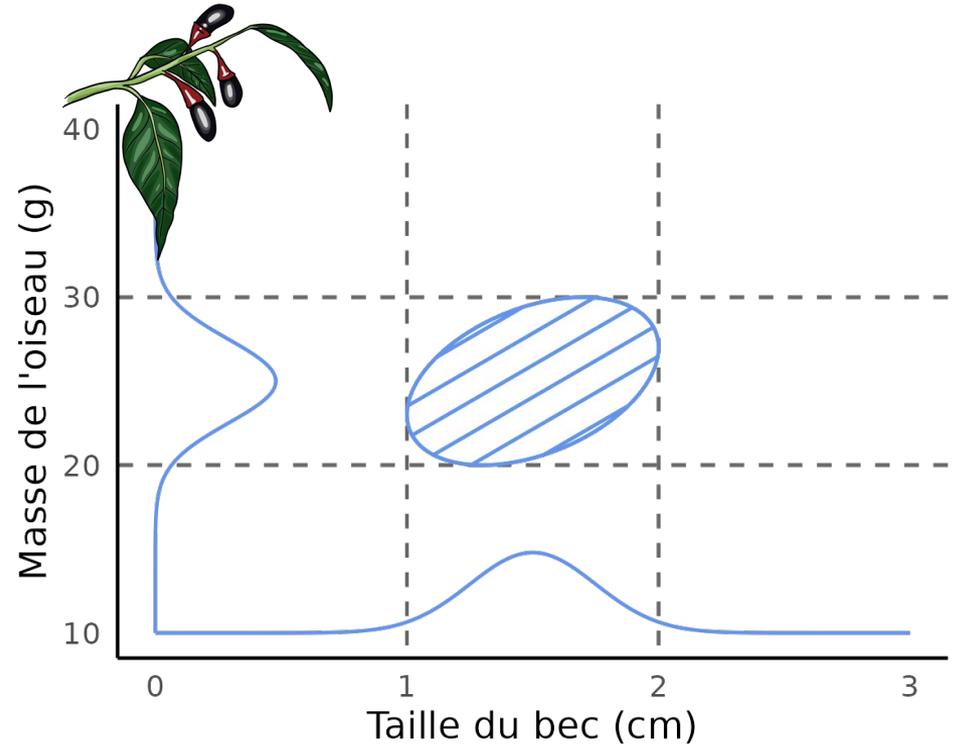
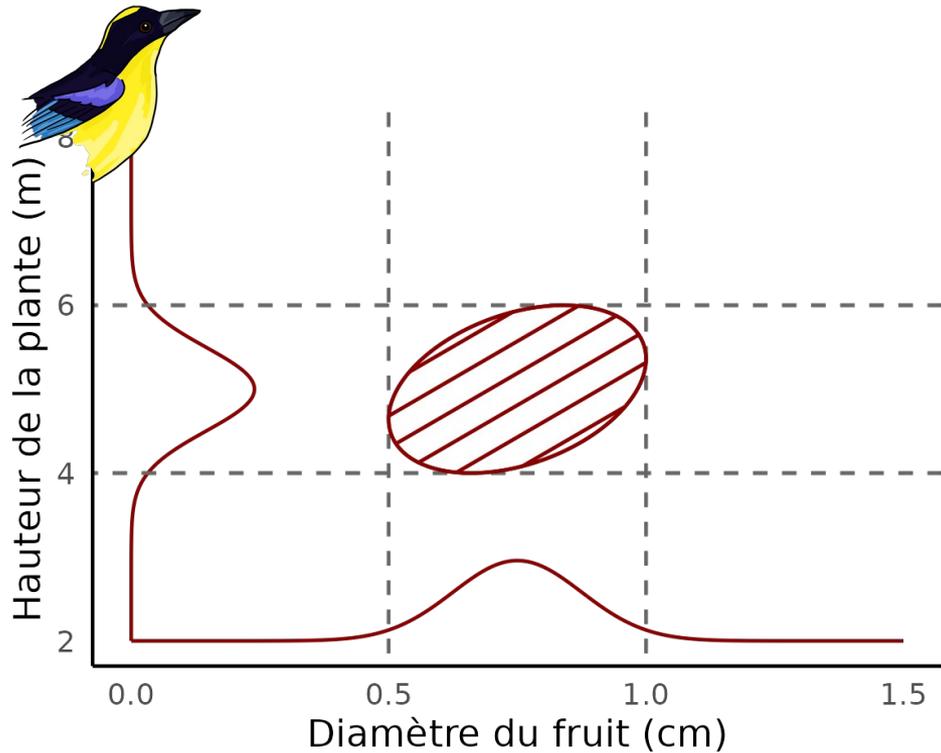
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



Réseau plantes-frugivores *Dehling et al. 2021*

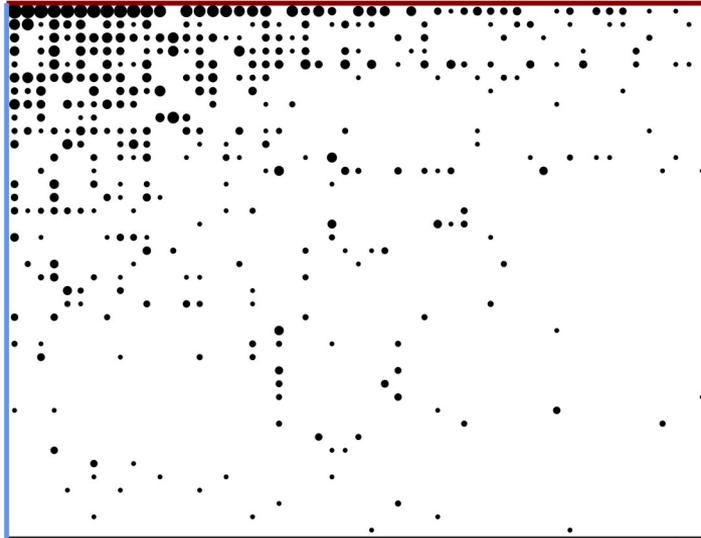


Oiseaux

- 53 oiseaux et 40 plantes



Plantes



Nombre d'interactions · 1 · 10 ● 100 ● 500

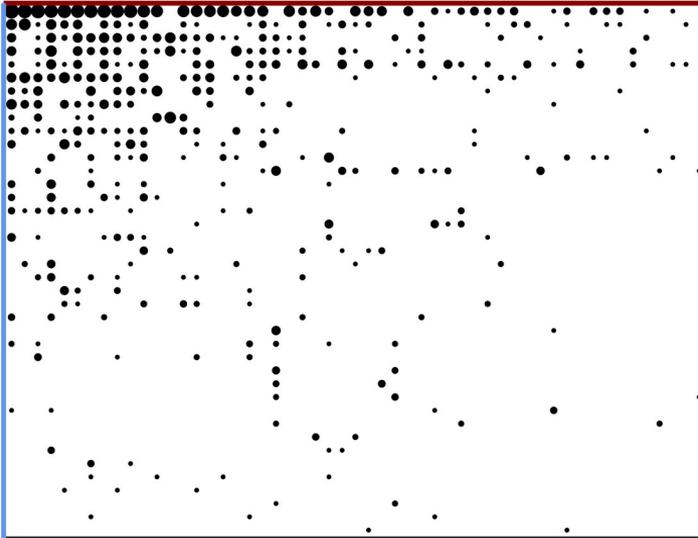
Réseau plantes-frugivores *Dehling et al. 2021*



Oiseaux



Plantes



Nombre d'interactions · 1 • 10 ● 100 ● 500

- 53 oiseaux et 40 plantes
- Interactions mutualistes

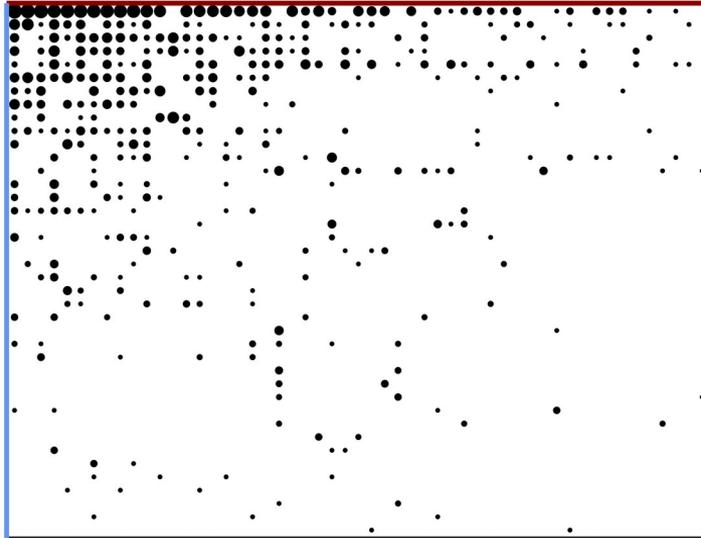
Réseau plantes-frugivores *Dehling et al. 2021*



Oiseaux



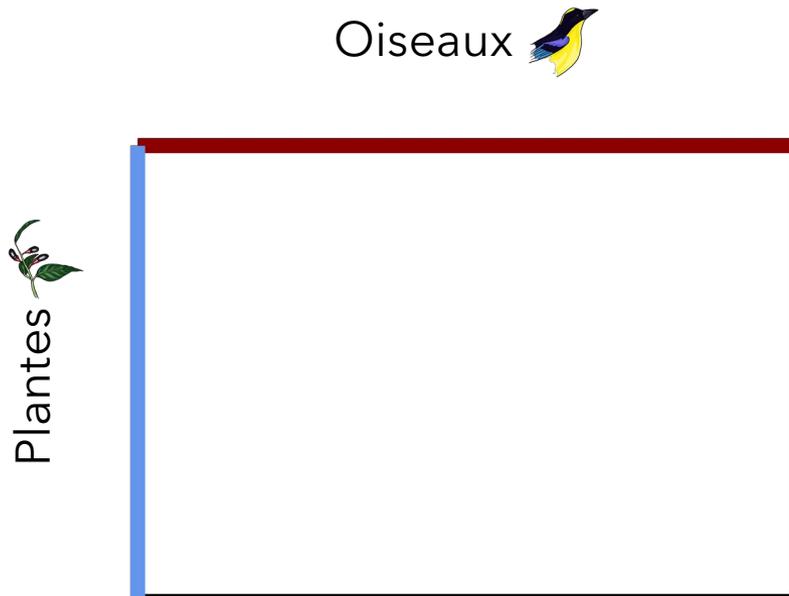
Plantes



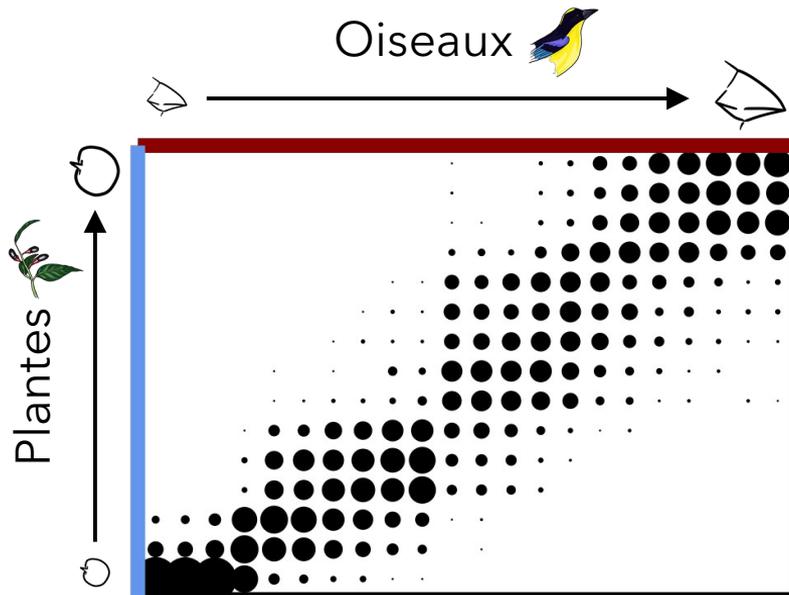
Nombre d'interactions · 1 · 10 ● 100 ● 500

- 53 oiseaux et 40 plantes
- Interactions mutualistes
- Réseau bipartite

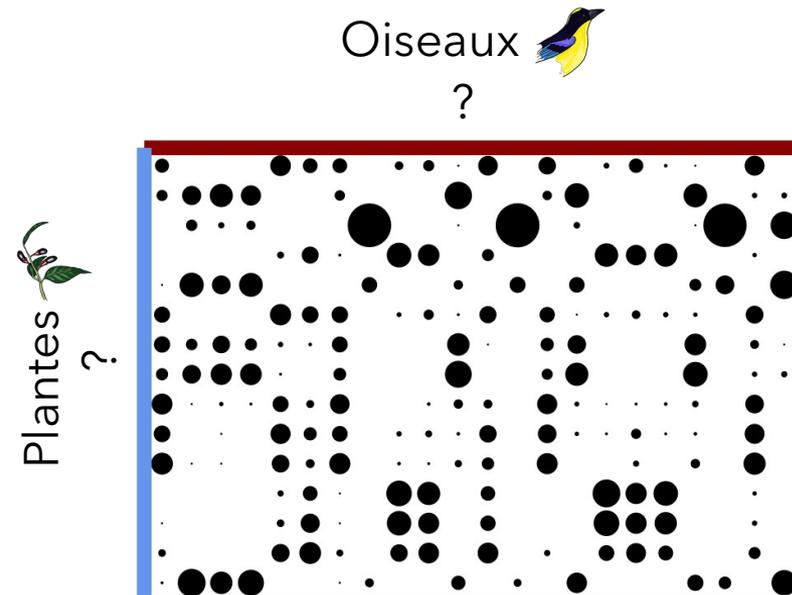
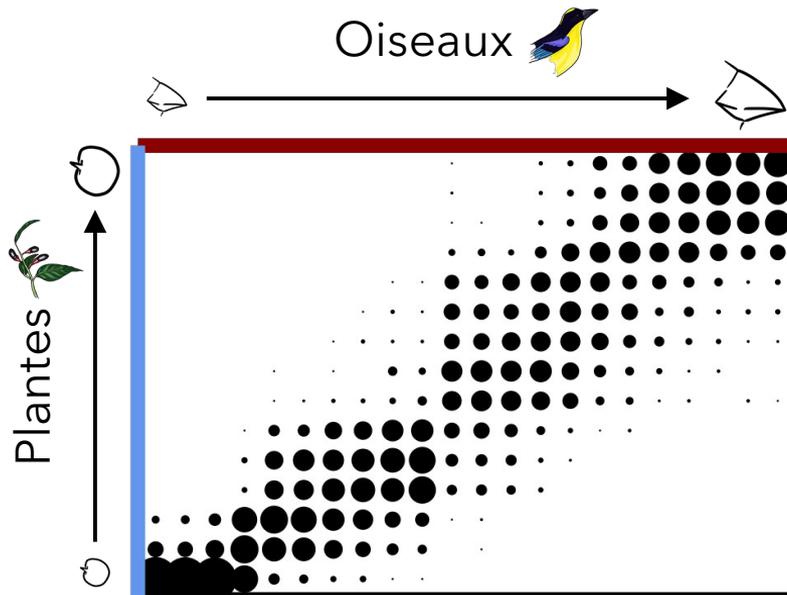
Détecter la concordance des traits par la structure du réseau



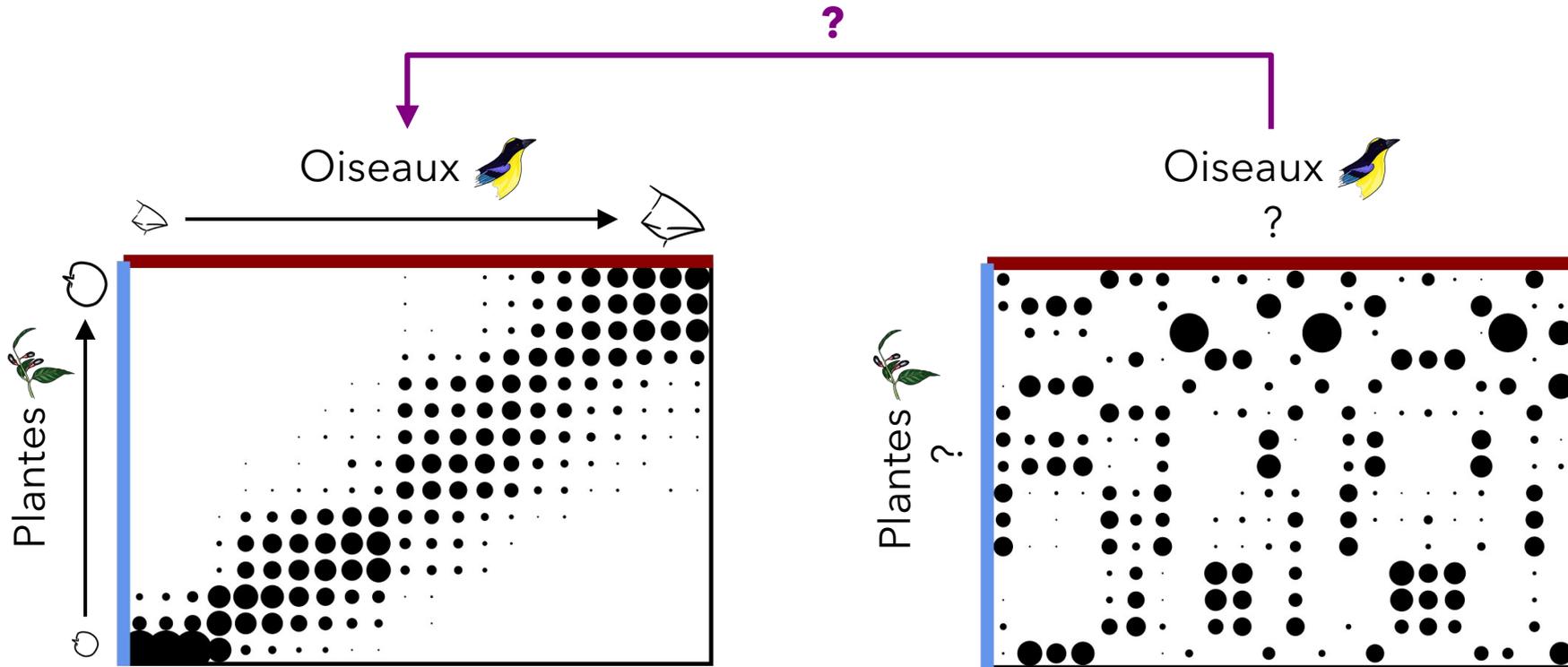
Détecter la concordance des traits par la structure du réseau



Détecter la concordance des traits par la structure du réseau



Détecter la concordance des traits par la structure du réseau



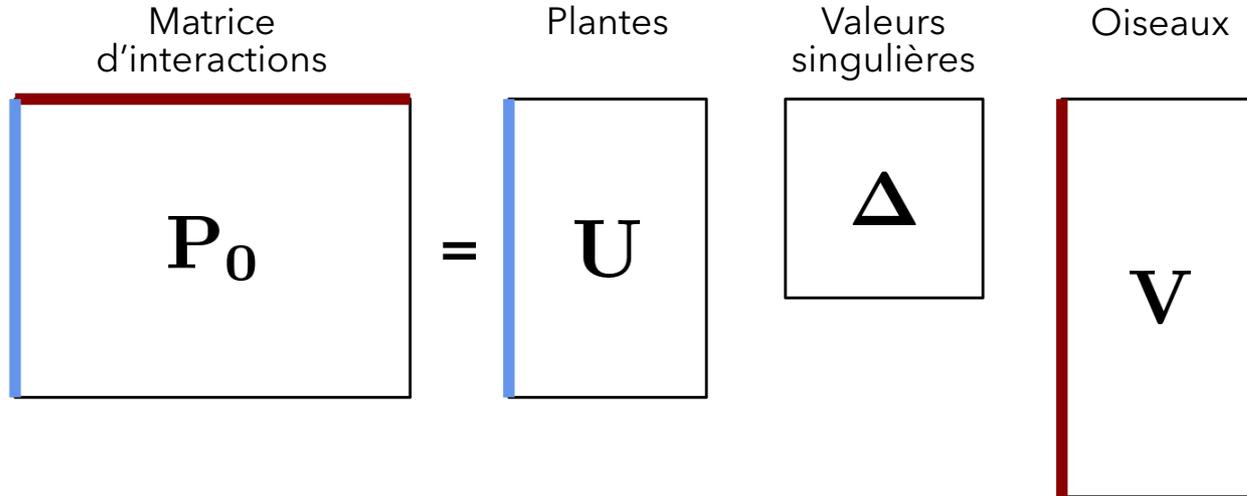
Analyse factorielle des correspondances (AFC) *Hirschfeld 1935, Hill 1974*

Analyse factorielle des correspondances (AFC) Hirschfeld 1935, Hill 1974

Décomposition en valeurs singulières $\mathbf{P}_0 = \mathbf{U}\Delta\mathbf{V}^\top$

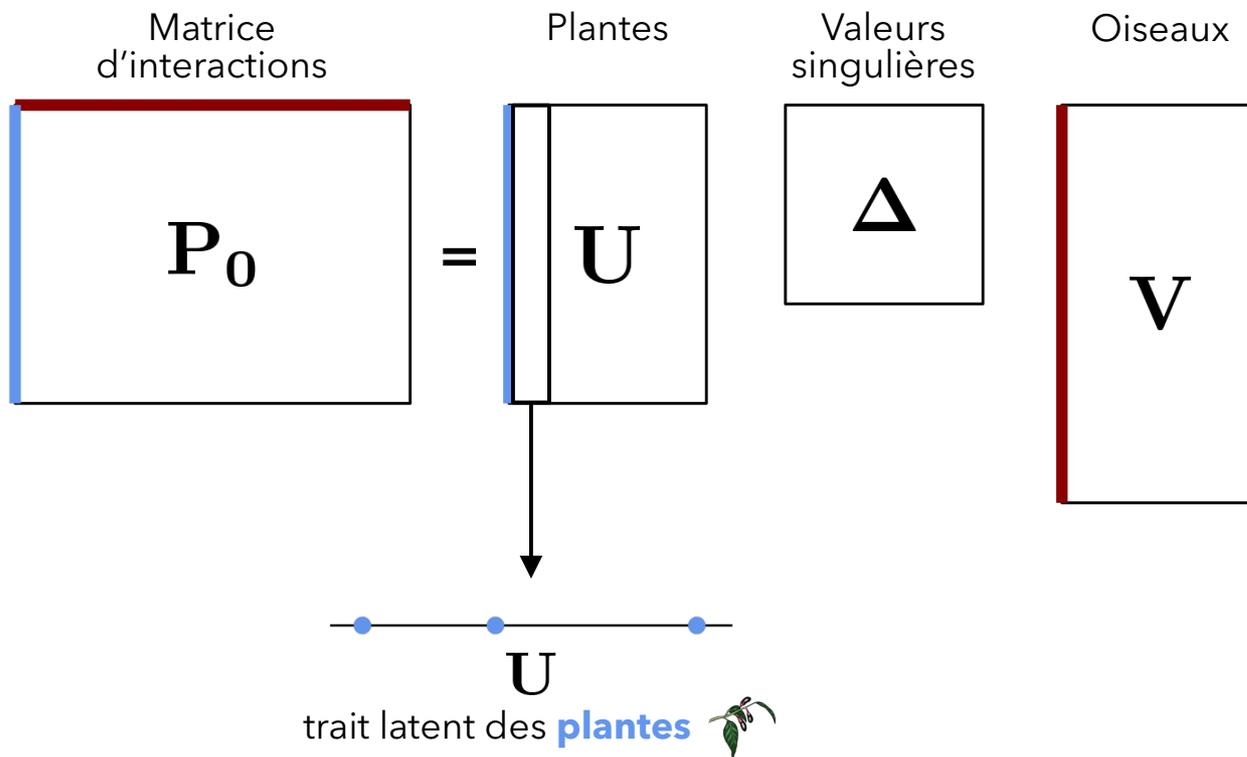
Analyse factorielle des correspondances (AFC) Hirschfeld 1935, Hill 1974

Décomposition en valeurs singulières $P_0 = U\Delta V^T$



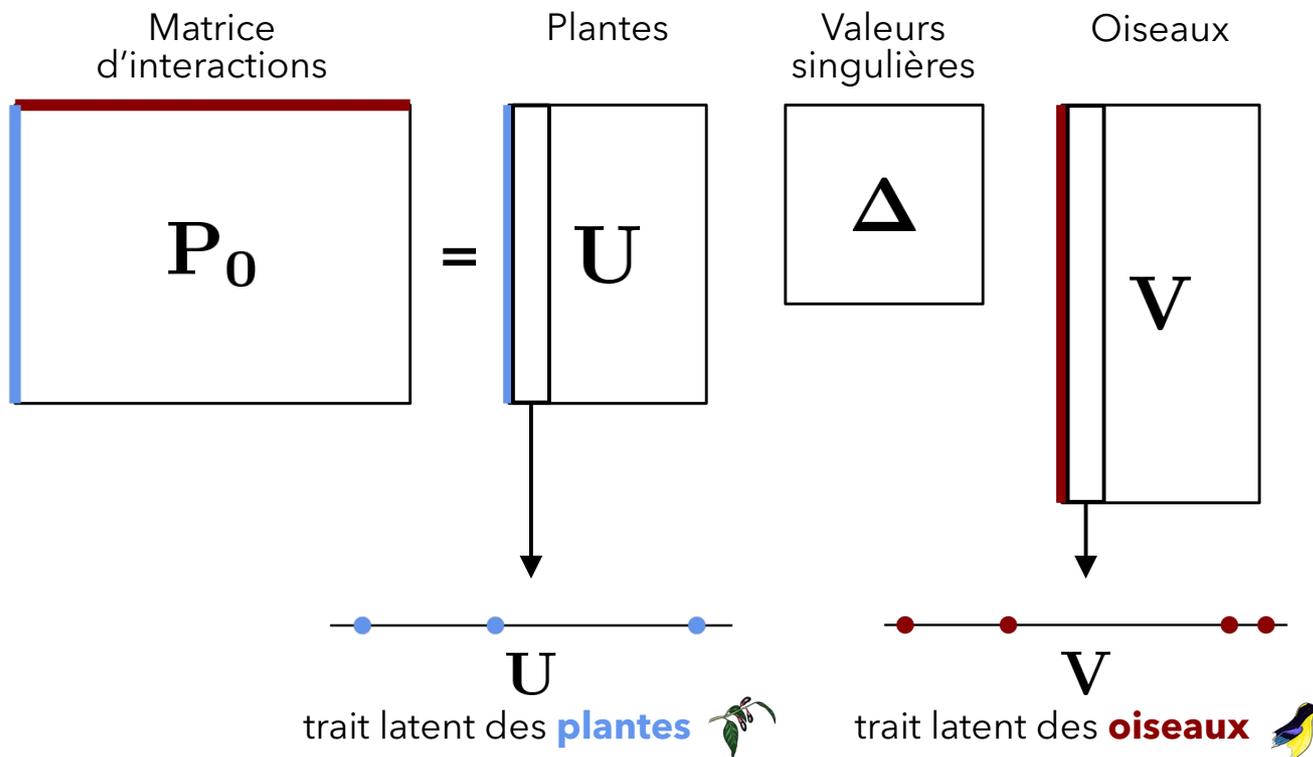
Analyse factorielle des correspondances (AFC) Hirschfeld 1935, Hill 1974

Décomposition en valeurs singulières $P_0 = U\Delta V^T$



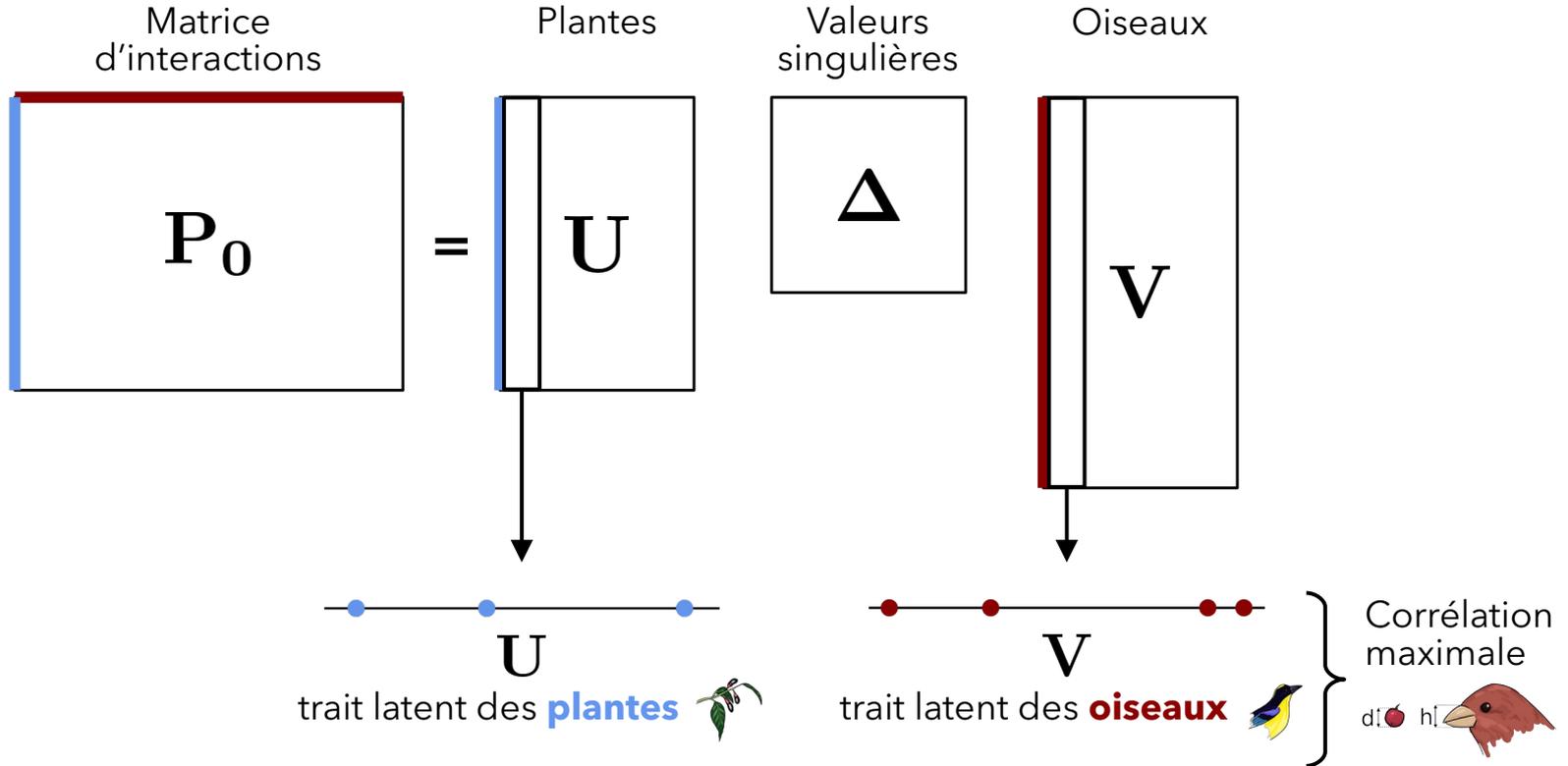
Analyse factorielle des correspondances (AFC) Hirschfeld 1935, Hill 1974

Décomposition en valeurs singulières $P_0 = U\Delta V^T$



Analyse factorielle des correspondances (AFC) Hirschfeld 1935, Hill 1974

Décomposition en valeurs singulières $P_0 = U\Delta V^T$



Mesurer l'optimum de niche avec l'AFC

Moyennes des traits des partenaires d'interaction *ter Braak & Prentice 2004, ter Braak & Verdonschot 1995*

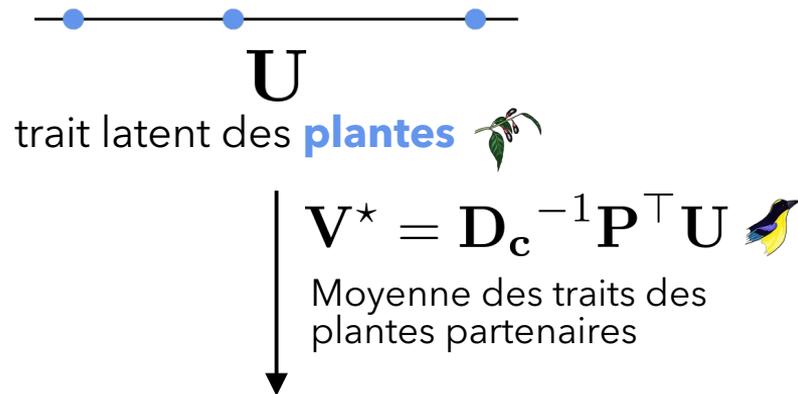
Mesurer l'optimum de niche avec l'AFC

Moyennes des traits des partenaires d'interaction *ter Braak & Prentice 2004, ter Braak & Verdonschot 1995*



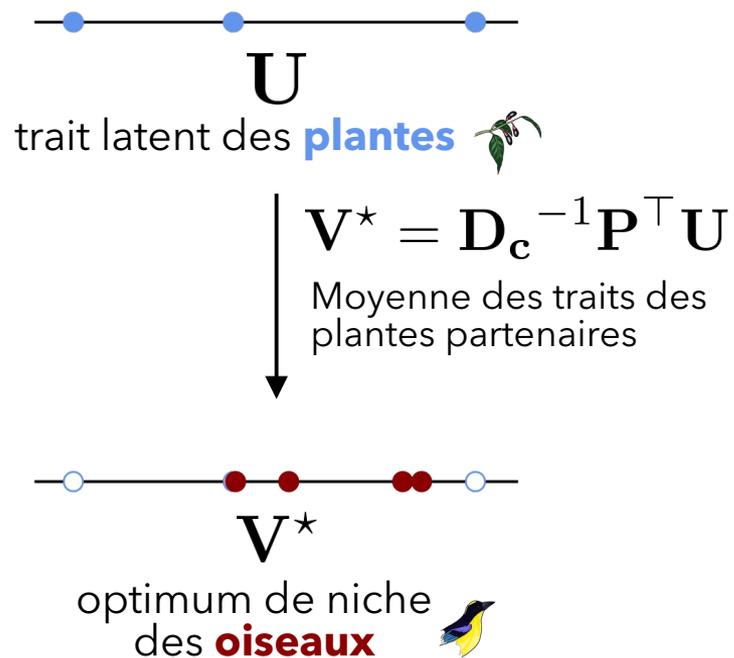
Mesurer l'optimum de niche avec l'AFC

Moyennes des traits des partenaires d'interaction *ter Braak & Prentice 2004, ter Braak & Verdonschot 1995*



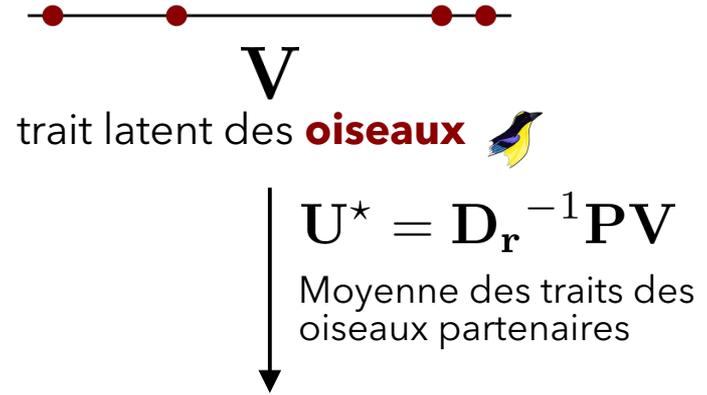
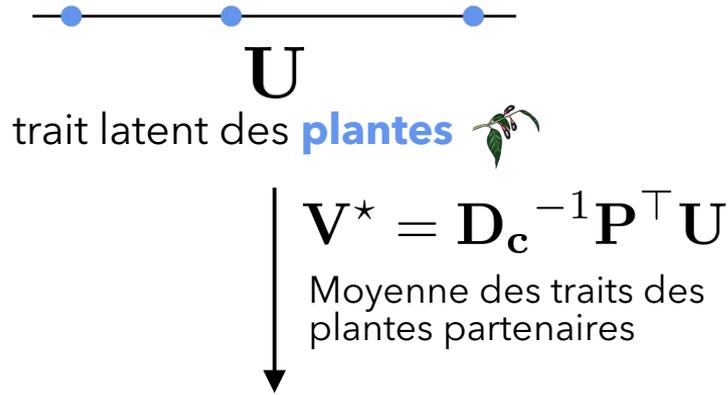
Mesurer l'optimum de niche avec l'AFC

Moyennes des traits des partenaires d'interaction *ter Braak & Prentice 2004, ter Braak & Verdonschot 1995*



Mesurer l'optimum de niche avec l'AFC

Moyennes des traits des partenaires d'interaction *ter Braak & Prentice 2004, ter Braak & Verdonschot 1995*



Mesurer la largeur de niche

Mise à l'échelle réciproque *Thioulouse & Chessel 1992*

Mesurer la largeur de niche

Mise à l'échelle réciproque *Thioulouse & Chessel 1992*

$$\text{Scores d'interactions } h_k(i, j) = \frac{u_{ik}^* + v_{jk}^*}{\sqrt{2\lambda_k(1 + \sqrt{\lambda_k})}}$$



Mesurer la largeur de niche

Mise à l'échelle réciproque *Thioulouse & Chessel 1992*

Scores d'interactions $h_k(i, j) = \frac{u_{ik}^* + v_{jk}^*}{\sqrt{2\lambda_k(1 + \sqrt{\lambda_k})}}$

plante i oiseau j



H

Mesurer la largeur de niche

Mise à l'échelle réciproque *Thioulouse & Chessel 1992*

Scores d'interactions $h_k(i, j) = \frac{u_{ik}^* + v_{jk}^*}{\sqrt{2\lambda_k(1 + \sqrt{\lambda_k})}}$ → optima de niches

plante i oiseau j

H

Mesurer la largeur de niche

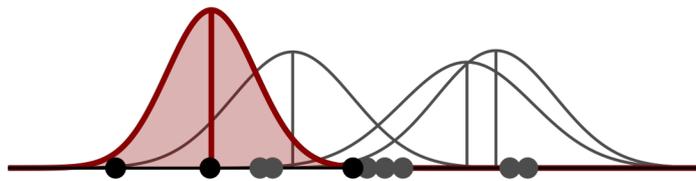
Mise à l'échelle réciproque *Thioulouse & Chessel 1992*

Scores d'interactions $h_k(i, j) = \frac{u_{ik}^* + v_{jk}^*}{\sqrt{2\lambda_k(1 + \sqrt{\lambda_k})}}$ → optima de niches

\swarrow plante i \searrow oiseau j



Groupé par oiseau



optimum et largeur de niche des **oiseaux** 

Mesurer la largeur de niche

Mise à l'échelle réciproque *Thioulouse & Chessel 1992*

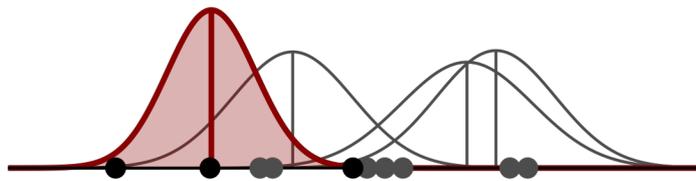
Scores d'interactions $h_k(i, j) = \frac{u_{ik}^* + v_{jk}^*}{\sqrt{2\lambda_k(1 + \sqrt{\lambda_k})}}$ → optima de niches

plante *i* oiseau *j*

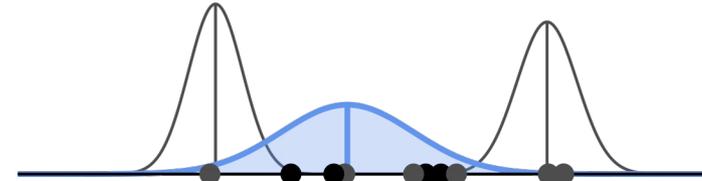


Groupé par oiseau

Groupé par plante

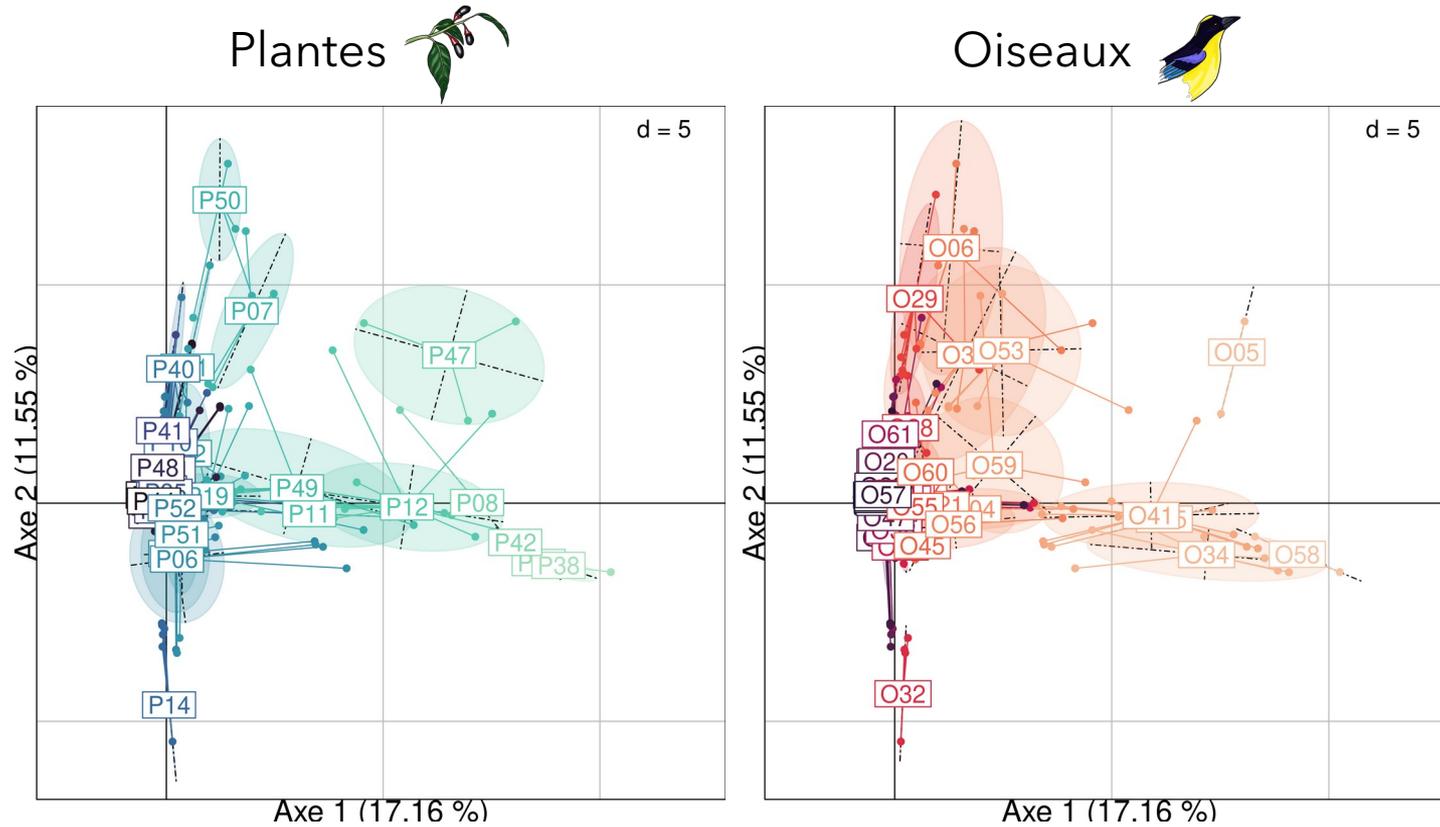


optimum et largeur de niche des **oiseaux** 



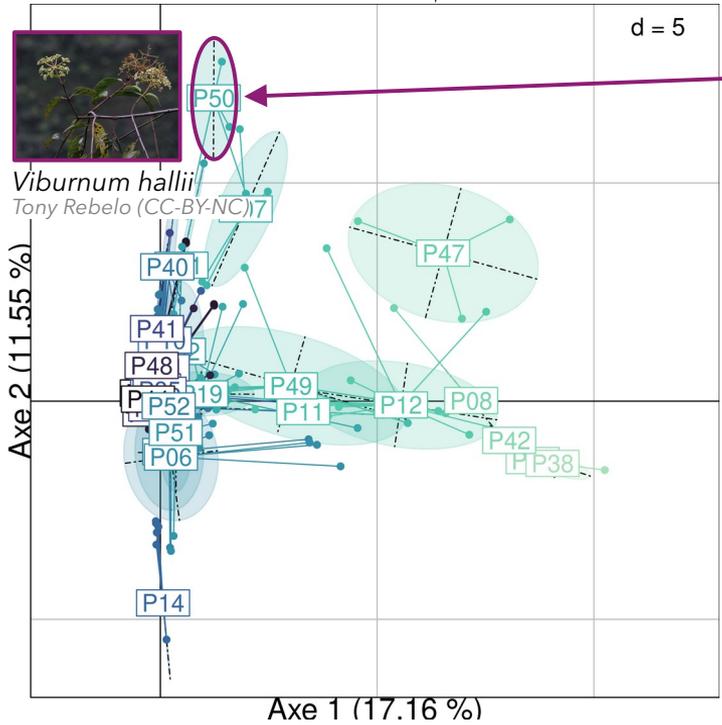
optimum et largeur de niche des **plantes** 

Niches des espèces

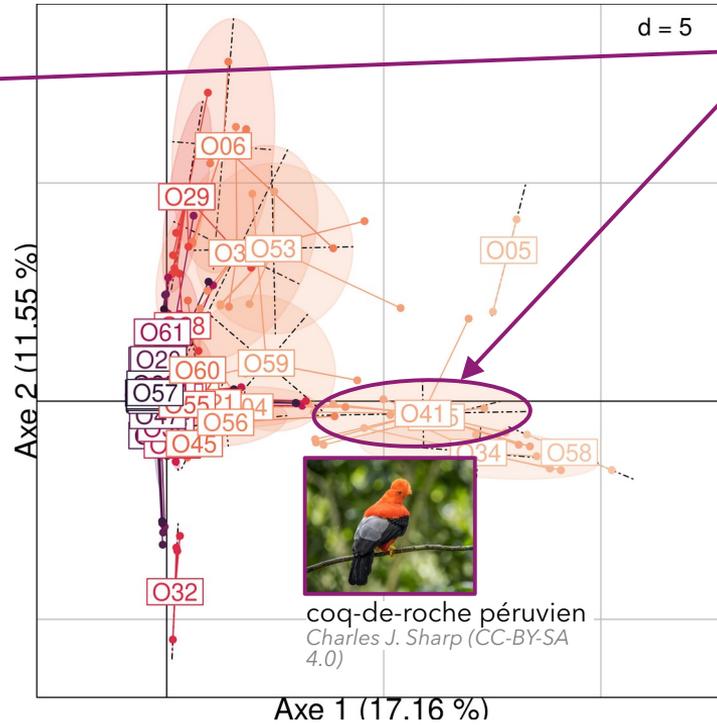


Niches des espèces

Plantes



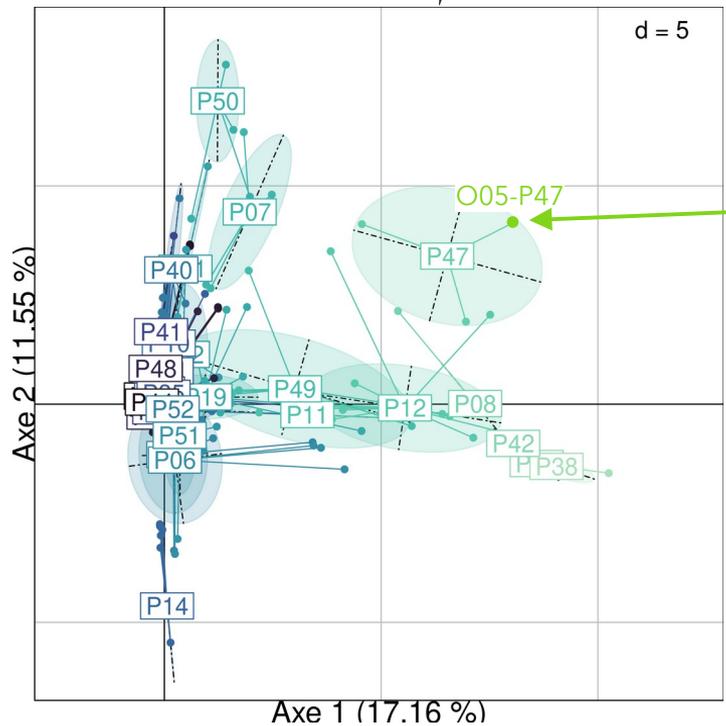
Oiseaux



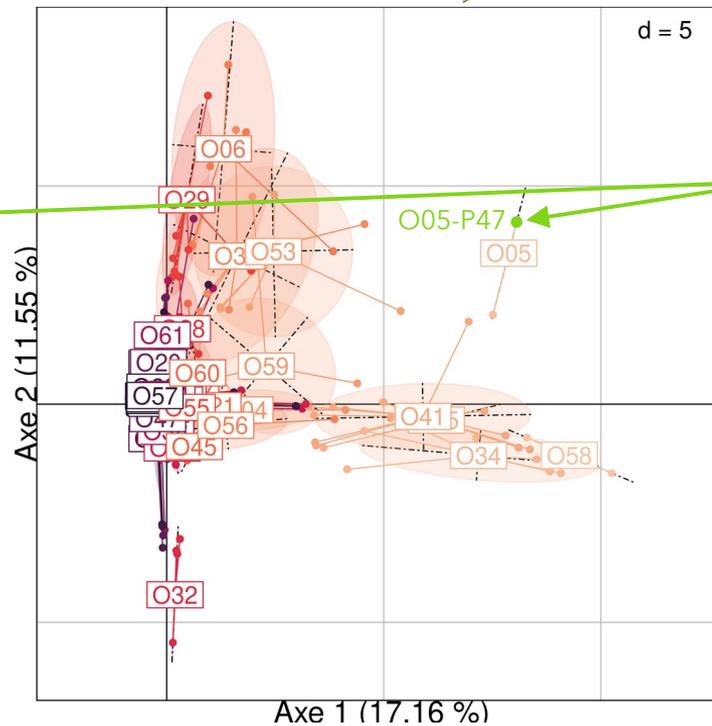
Chaque ellipse représente une niche d'espèce

Niches des espèces

Plantes 



Oiseaux 



Chaque ellipse représente une niche d'espèce

Chaque point représente une interaction $h_k(i, j)$



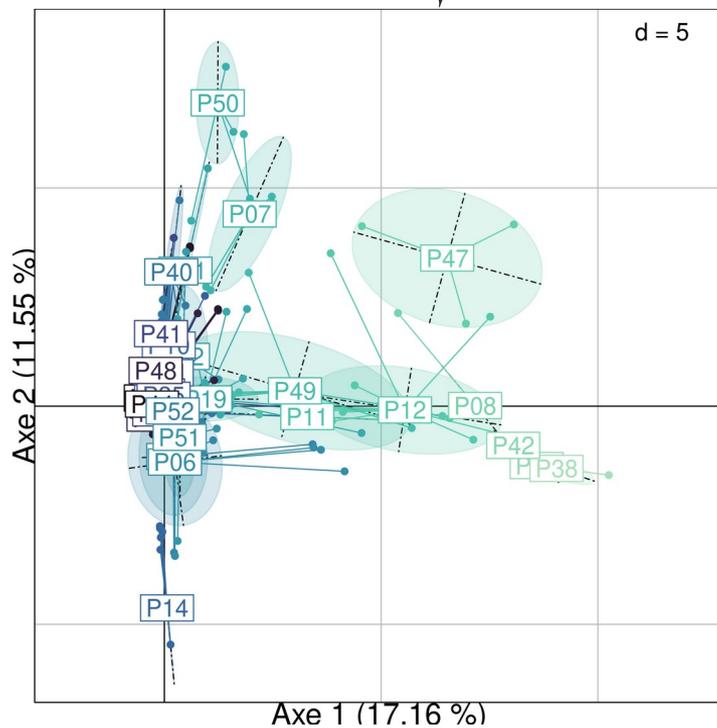
Symplocos arechea
Robin D. Foster
(CC-BY-SA 4.0)



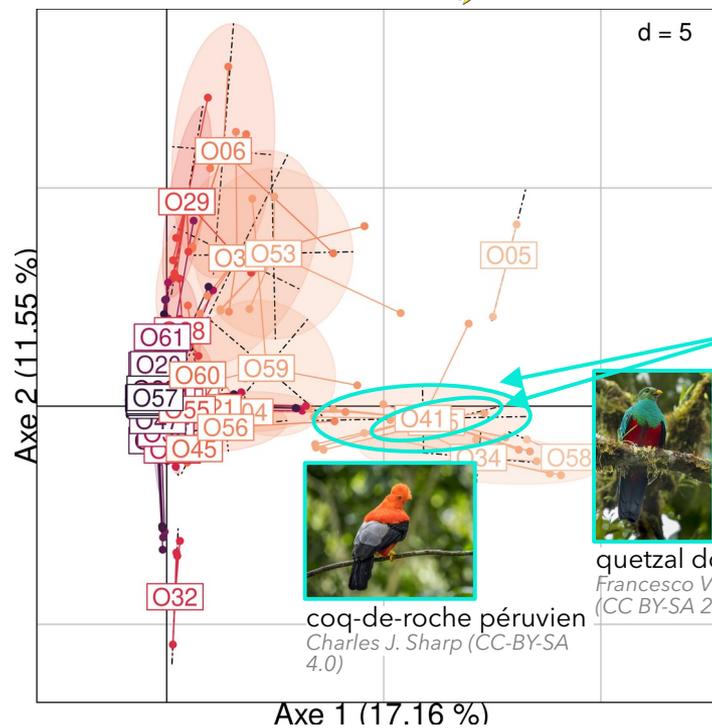
coracine ornée
© Richard Garrigues

Niches des espèces

Plantes 



Oiseaux 



Chaque ellipse représente une niche d'espèce

Chaque point représente une interaction $h_k(i, j)$

Deux espèces proches ont des niches similaires



quetzal doré
Francesco Veronesi
(CC BY-SA 2.0)



coq-de-roche péruvien
Charles J. Sharp (CC-BY-SA
4.0)

Niches des espèces

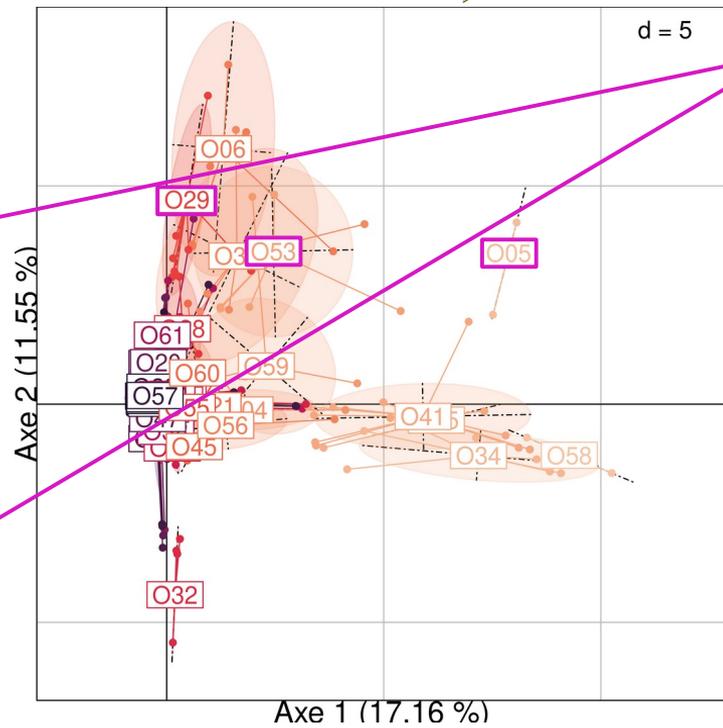
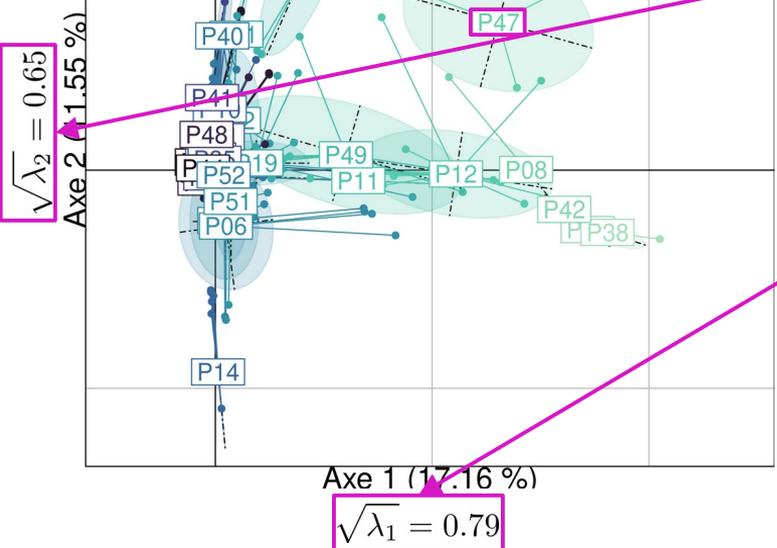
Plantes 

Oiseaux 

d = 5

d = 5

Corrélation entre les traits latents

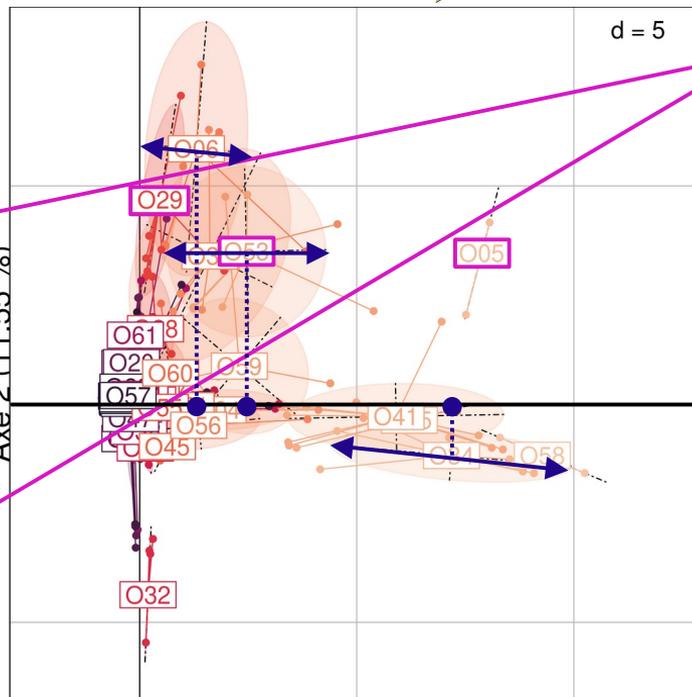
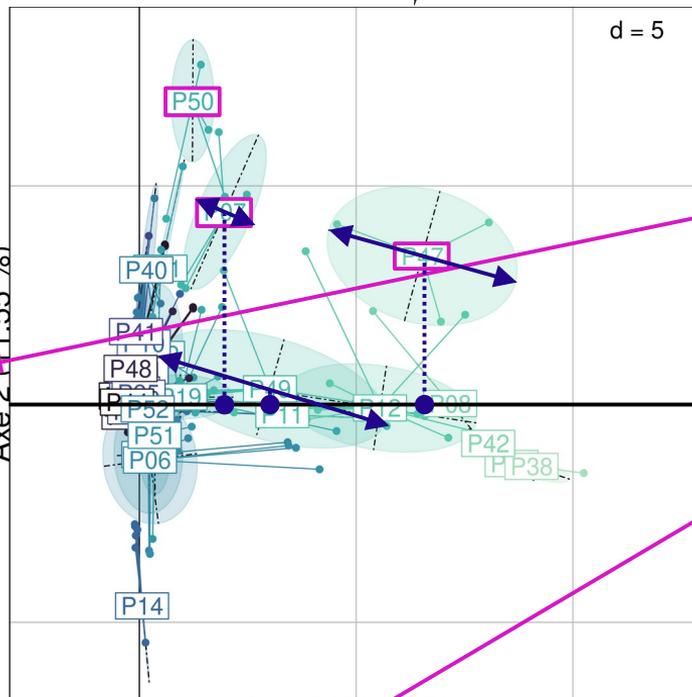


Niches des espèces

Plantes



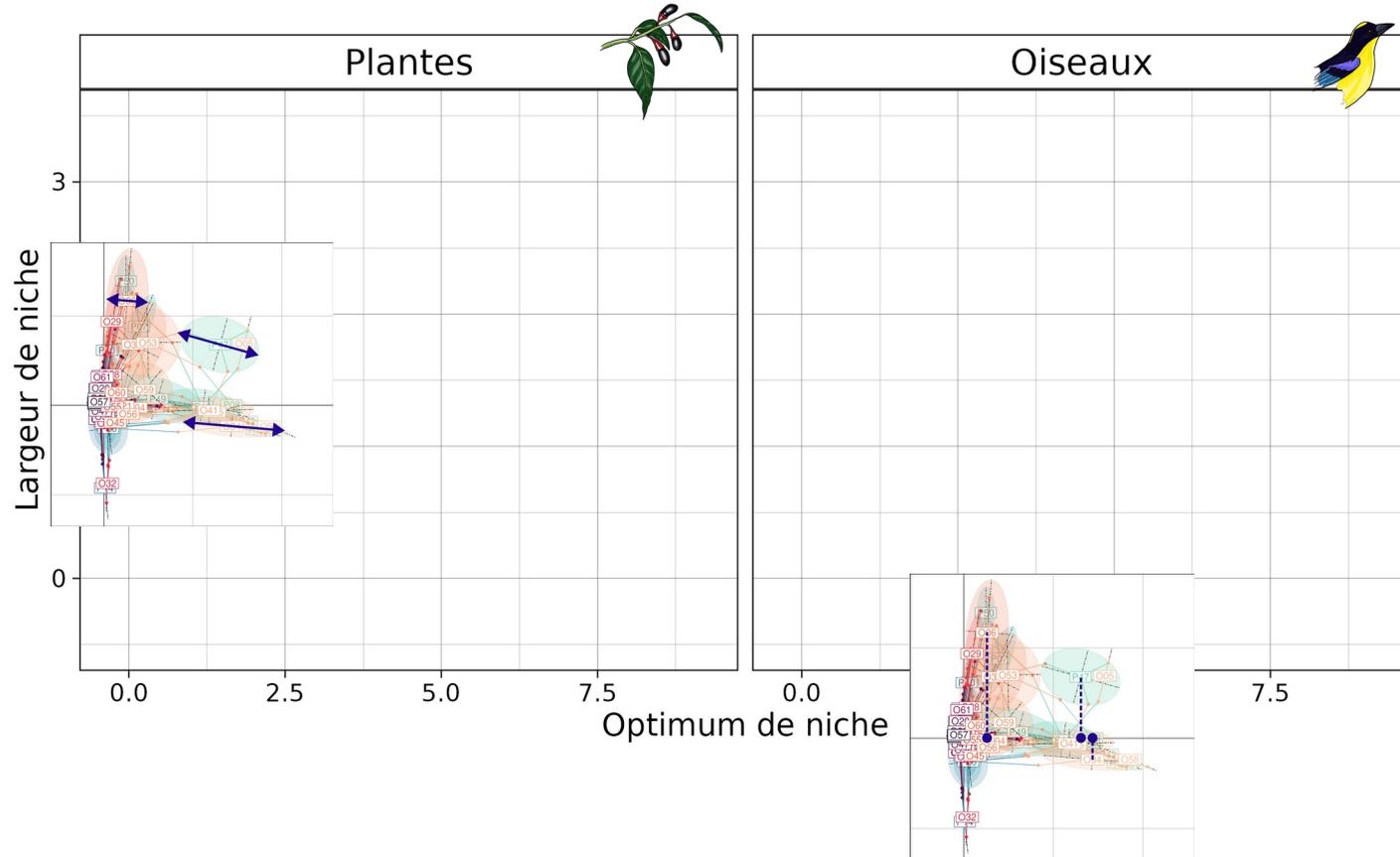
Oiseaux



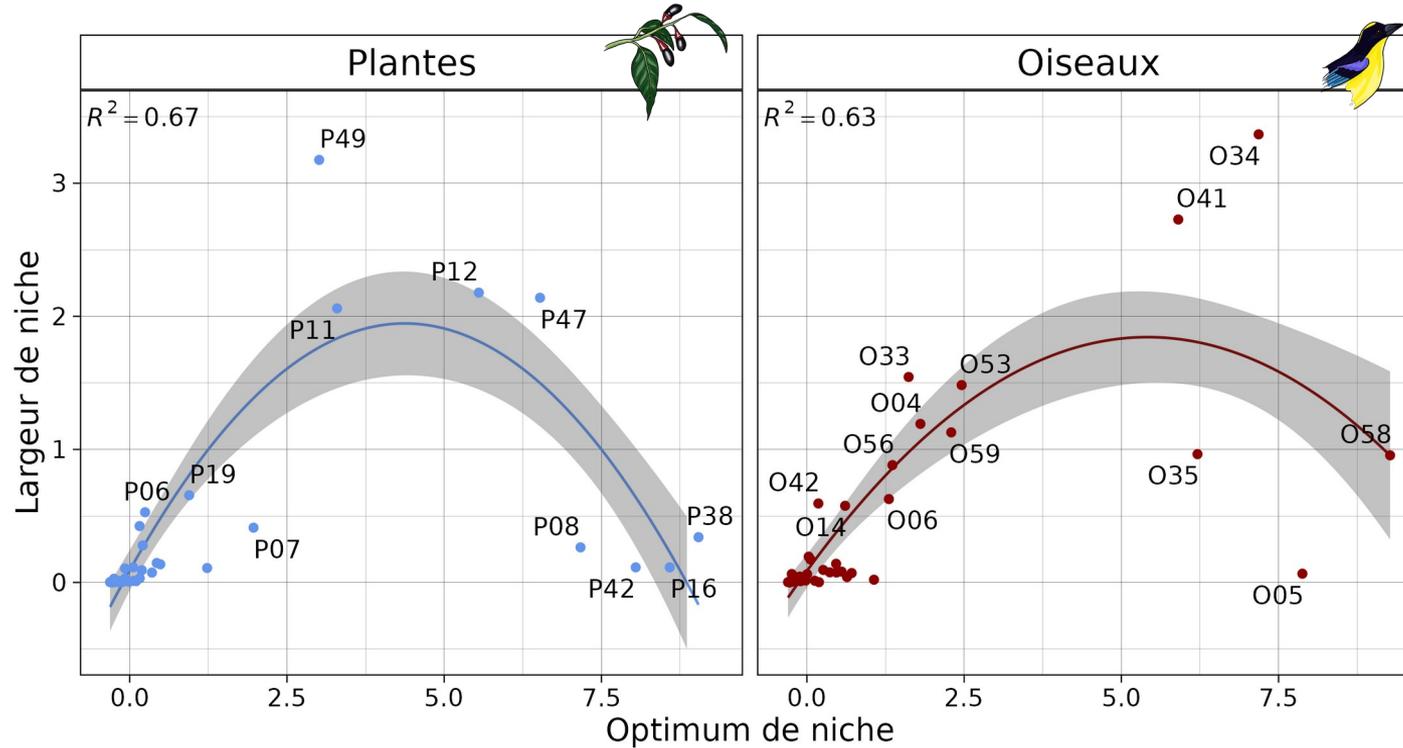
Corrélation entre les traits latents

Lien entre optimum et largeur de niche ?

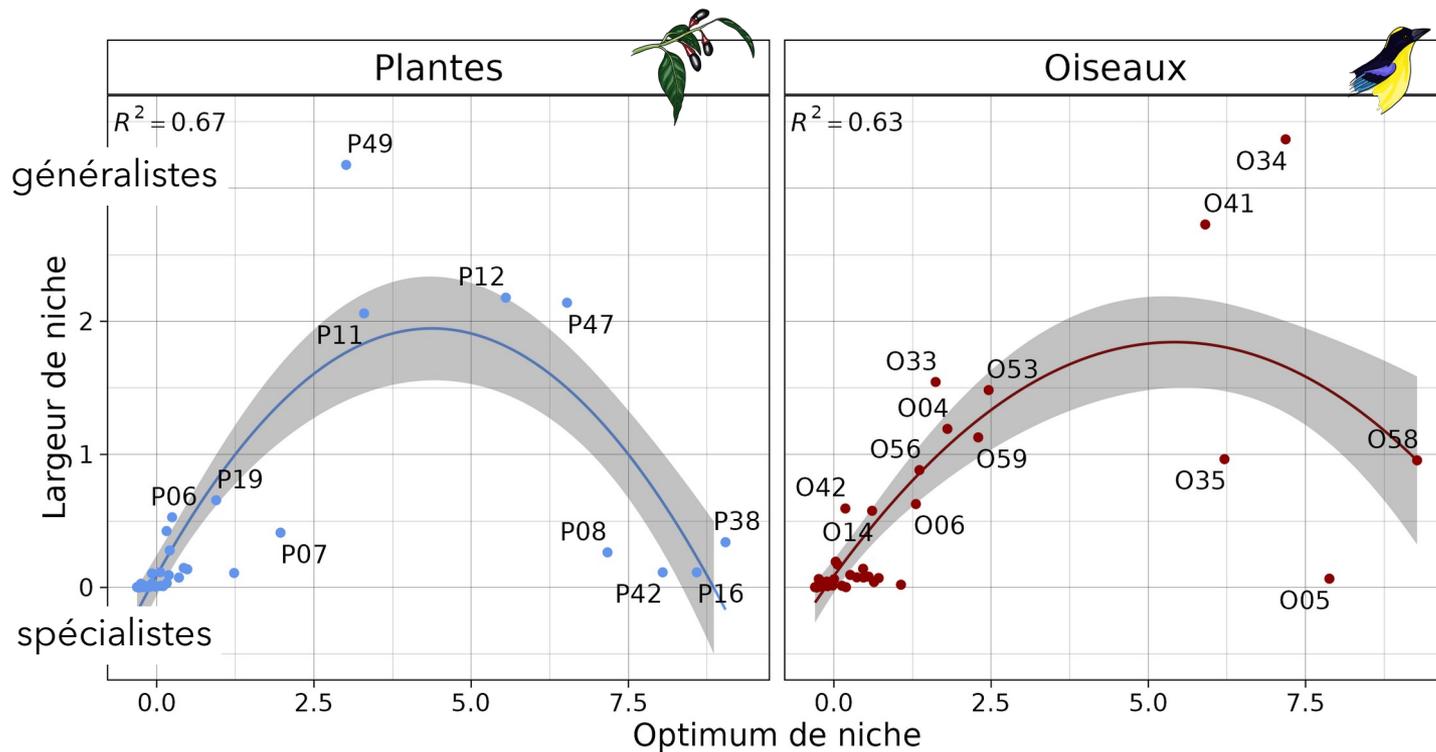
Relation entre optimum et largeur de niche



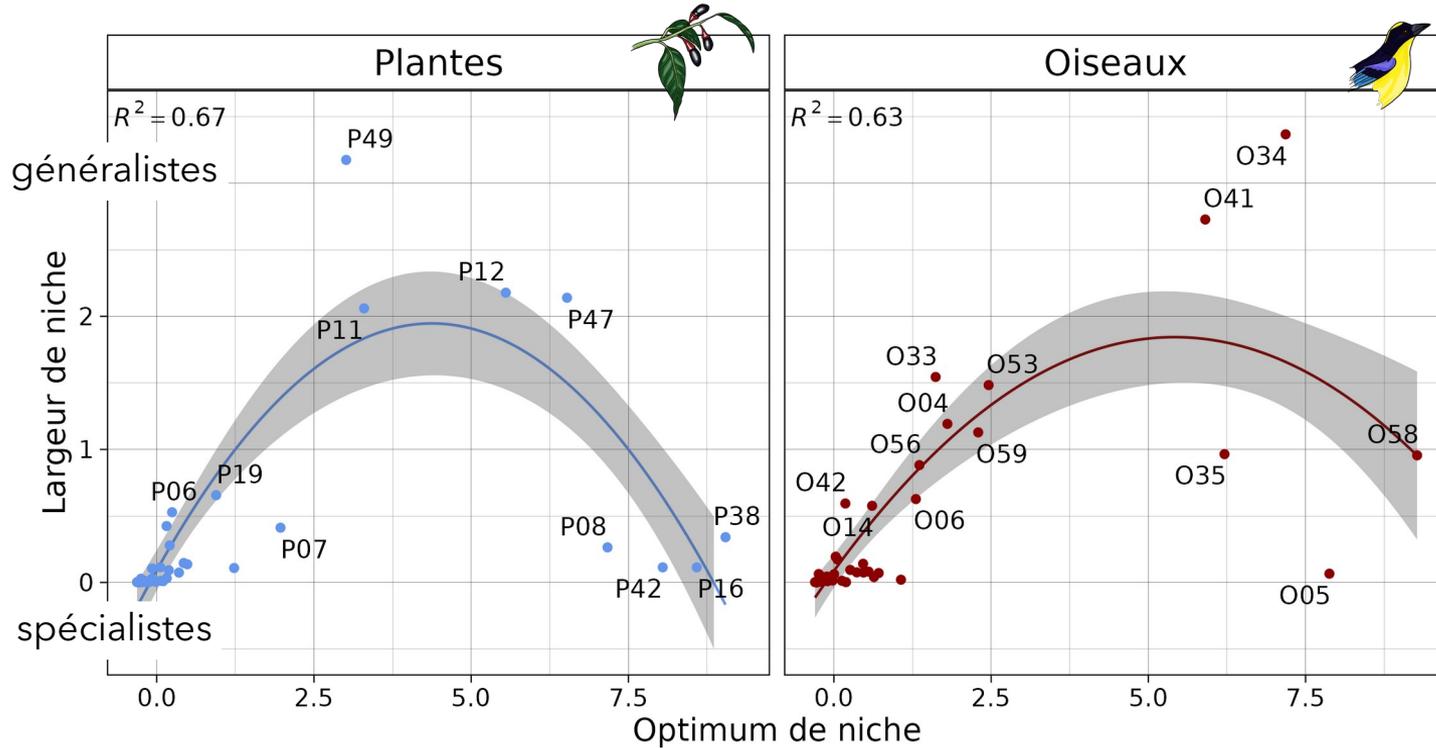
Relation entre optimum et largeur de niche



Relation entre optimum et largeur de niche

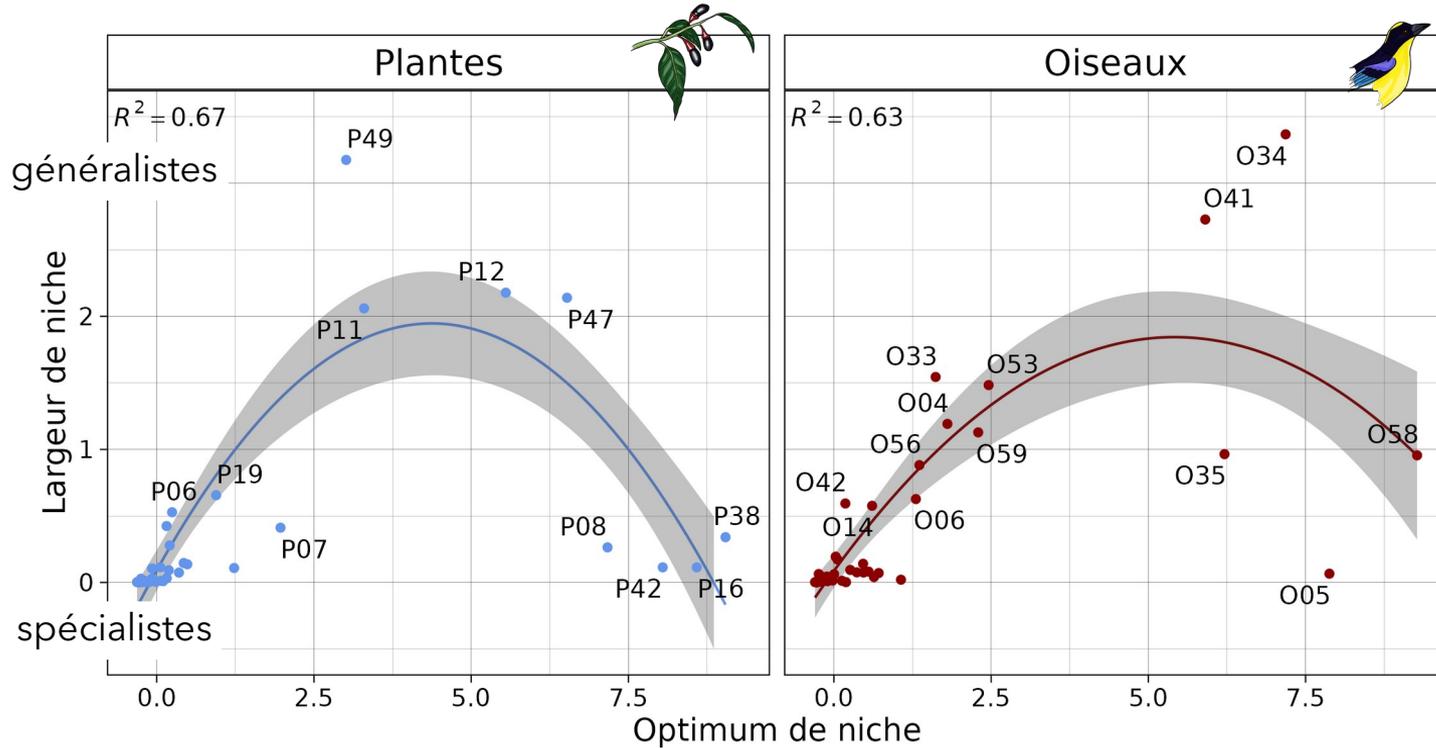


Relation entre optimum et largeur de niche



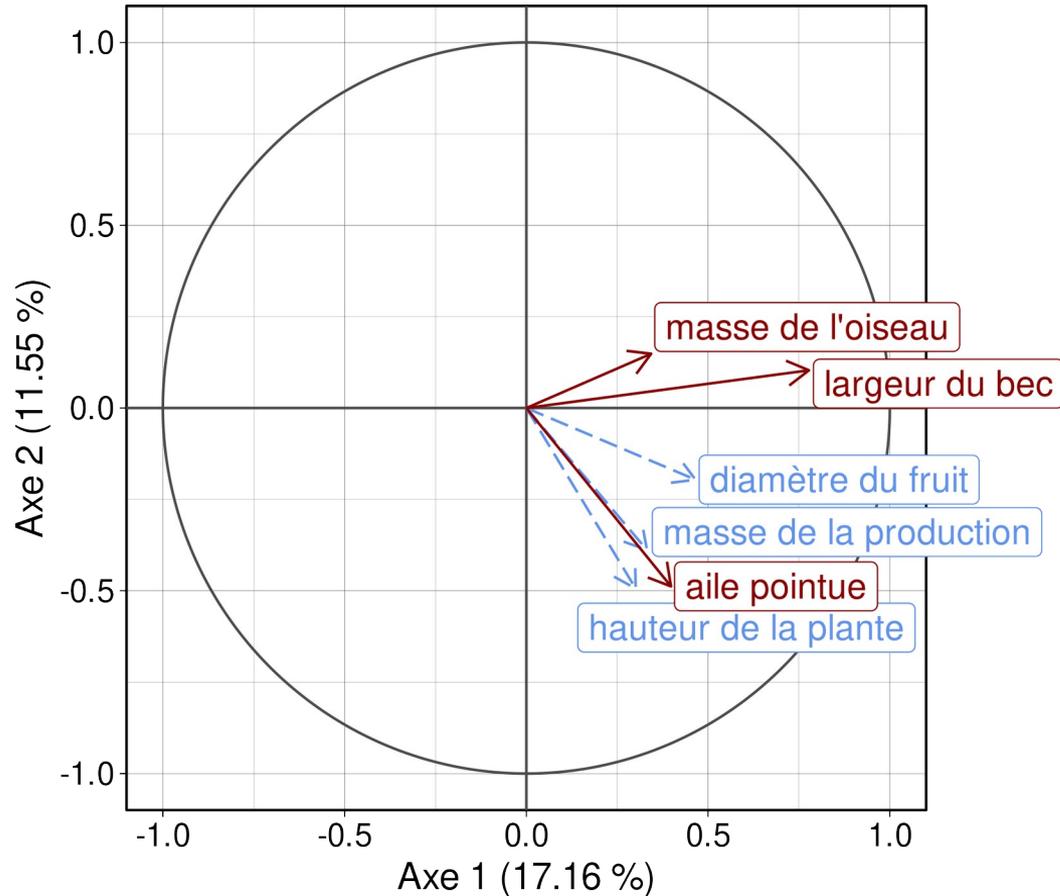
Oiseaux et plantes **généralistes** pour les optima moyens

Relation entre optimum et largeur de niche

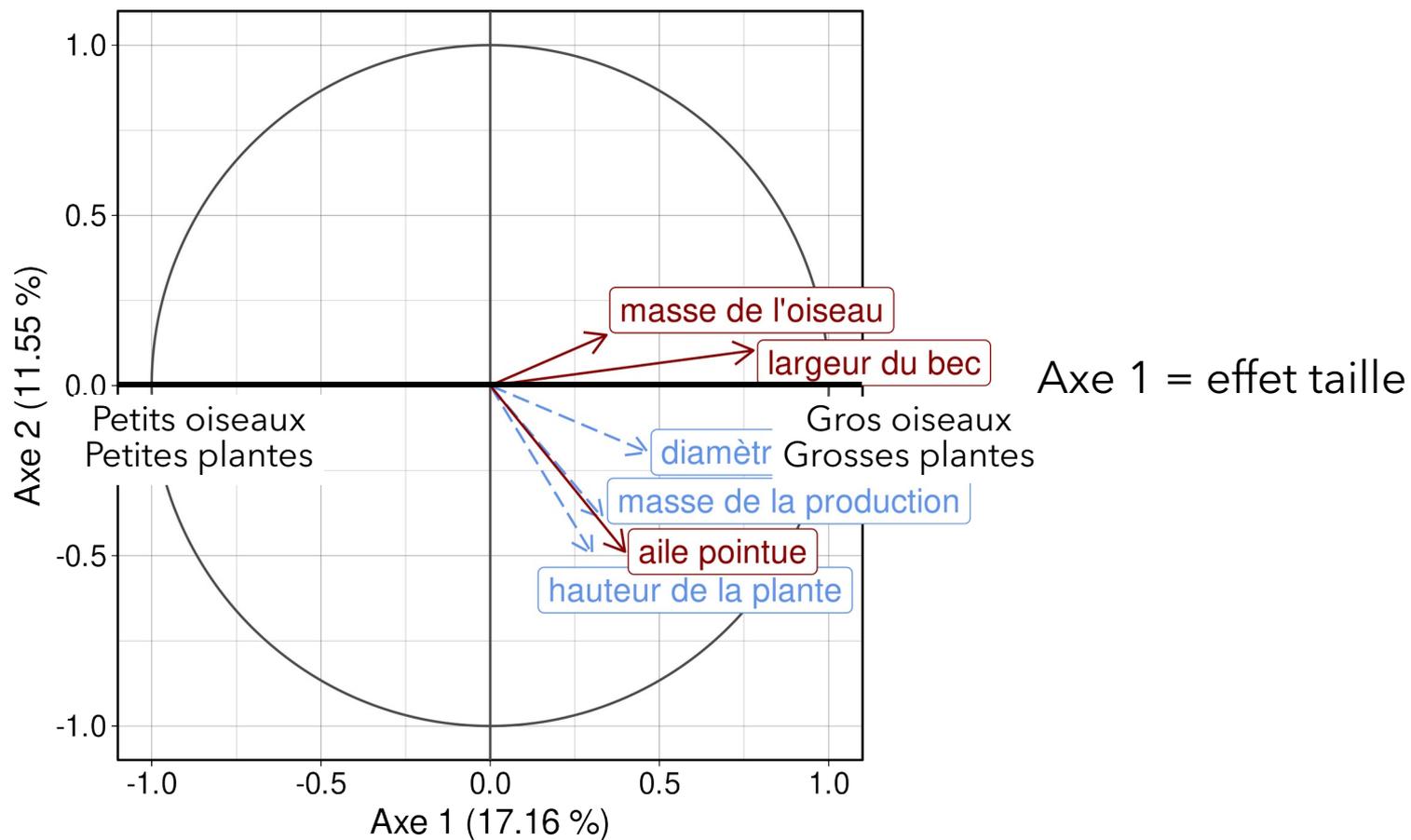


Oiseaux et plantes **généralistes**
pour les optima moyens
→ Qu'est-ce qui caractérise ces
traits latents ?

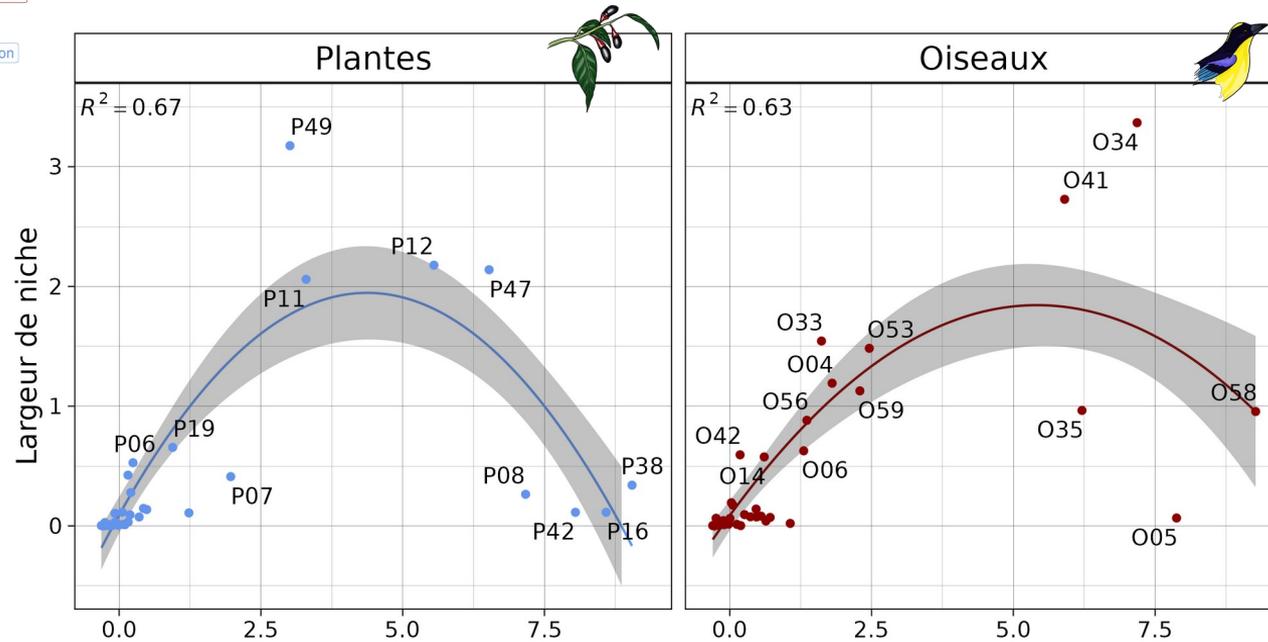
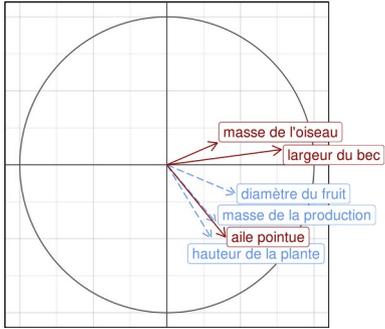
Relation entre optimum et largeur de niche



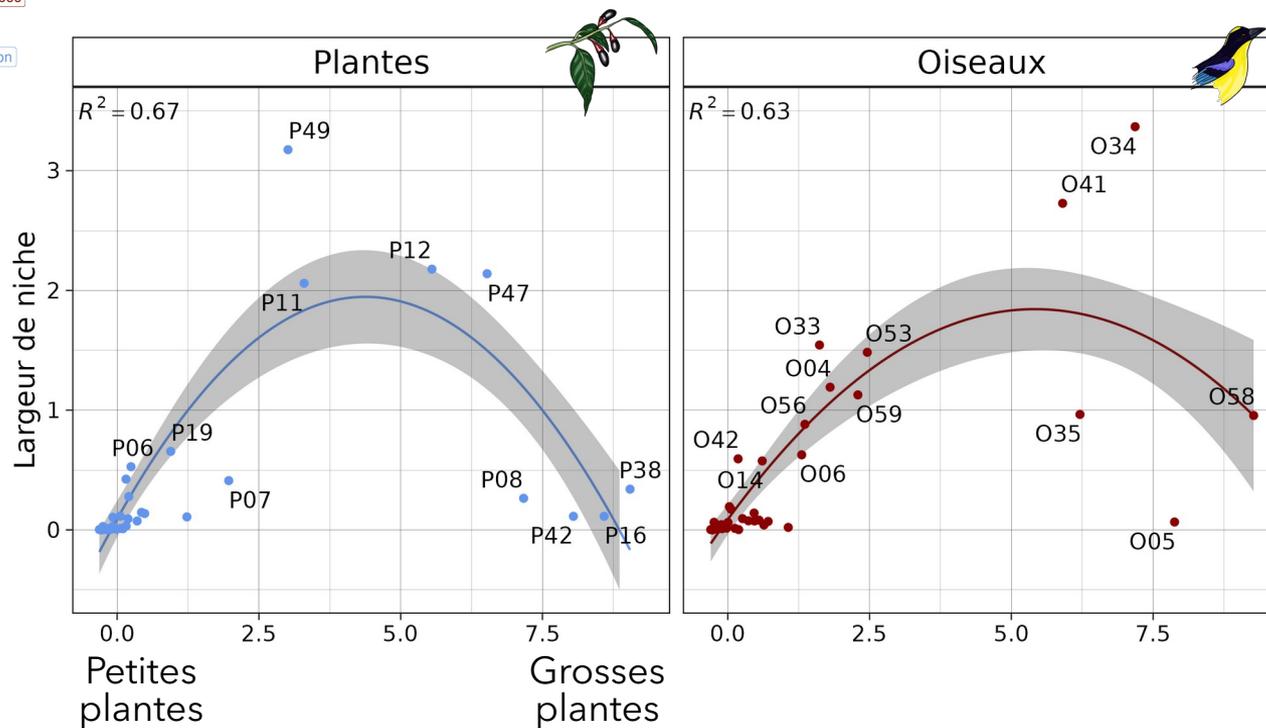
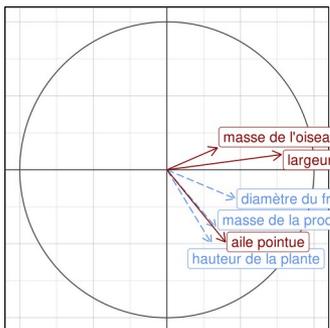
Relation entre optimum et largeur de niche



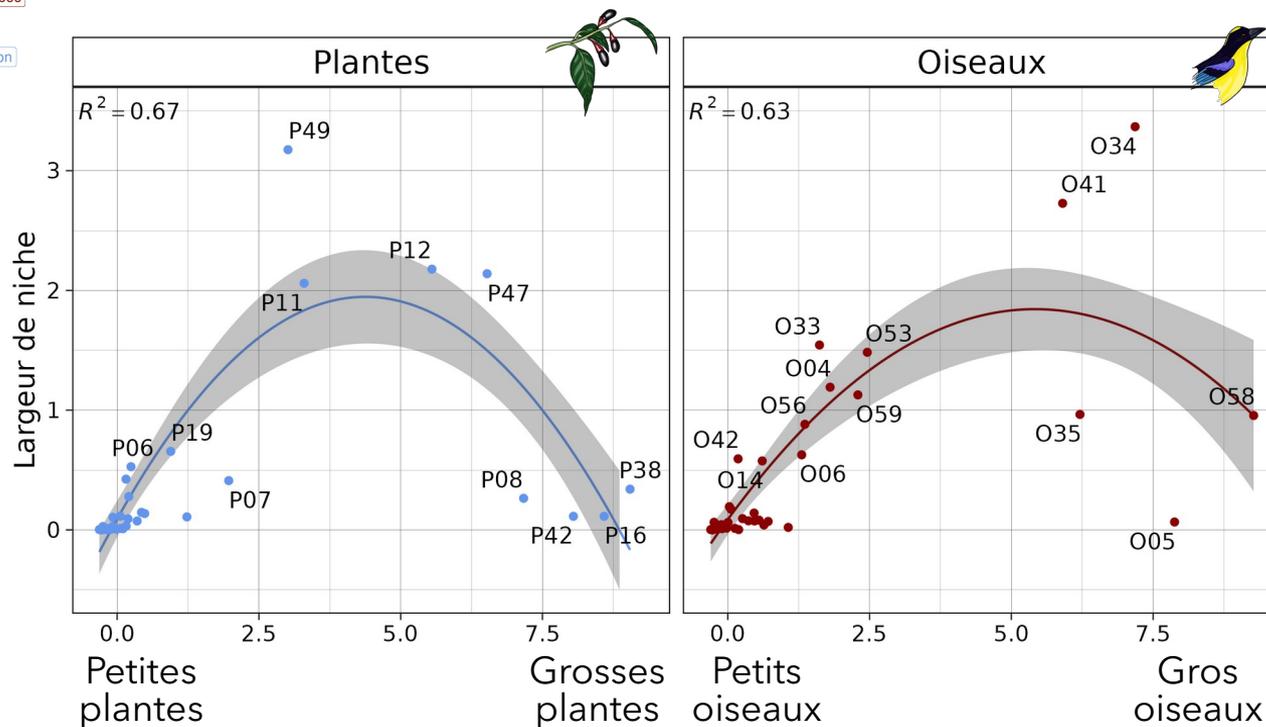
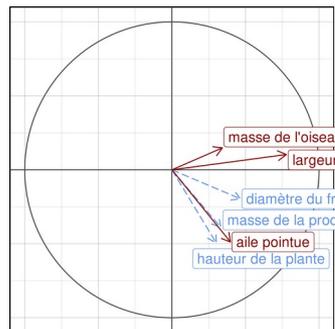
Relation entre optimum et largeur de niche



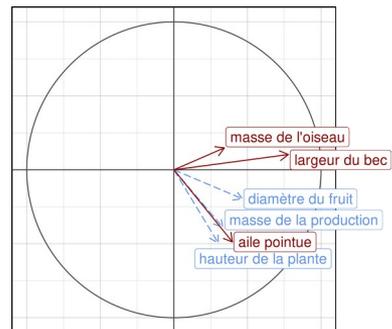
Relation entre optimum et largeur de niche



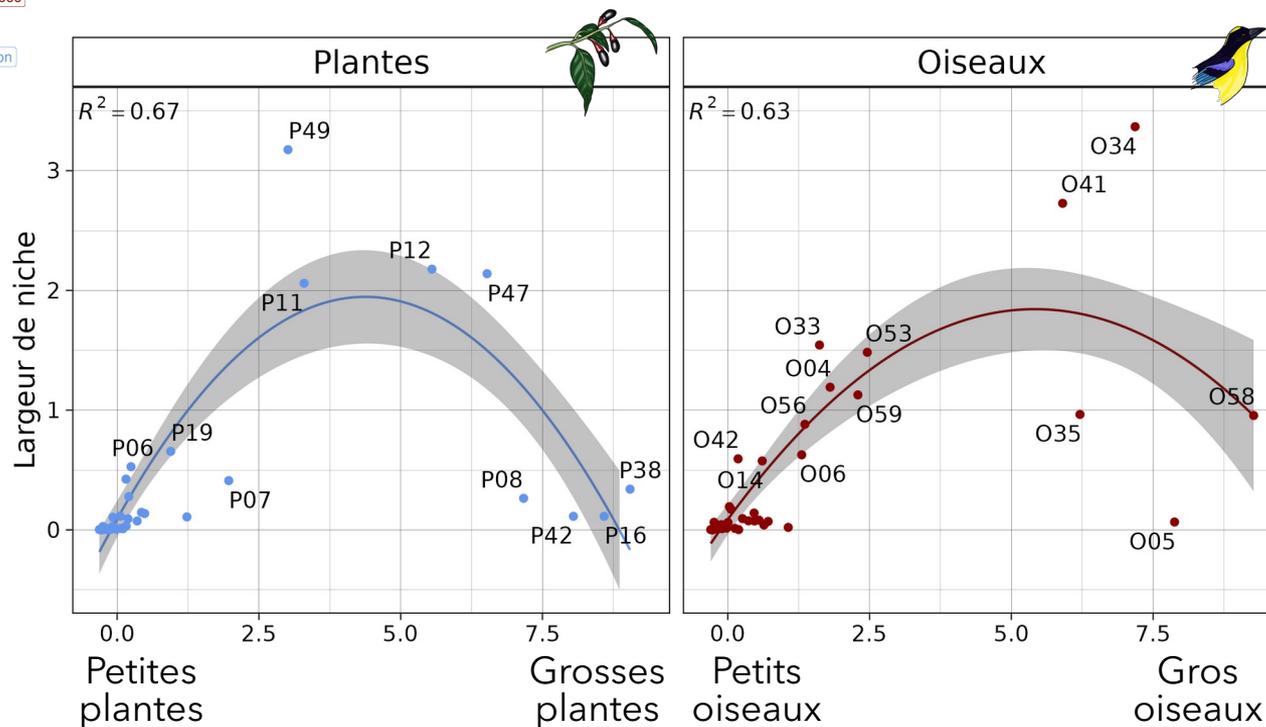
Relation entre optimum et largeur de niche



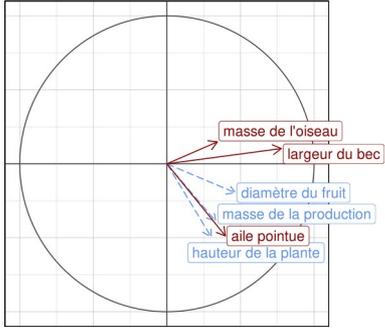
Relation entre optimum et largeur de niche



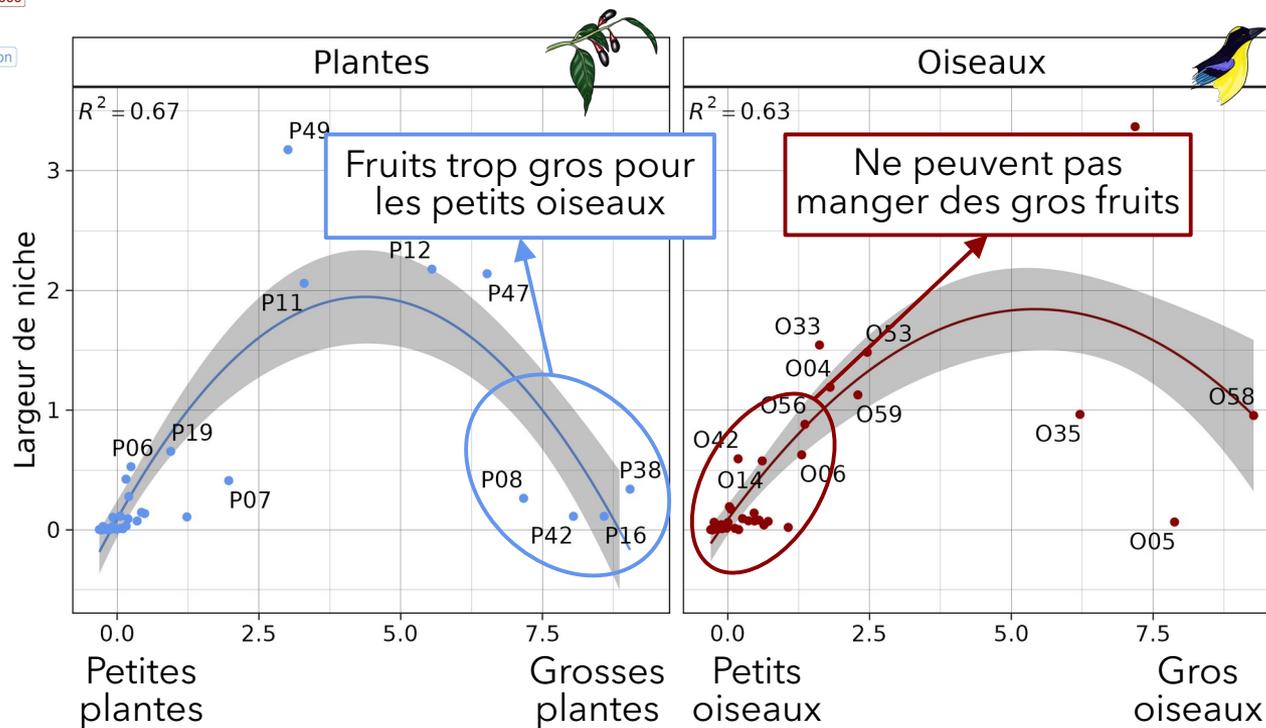
→ contraintes morphologiques



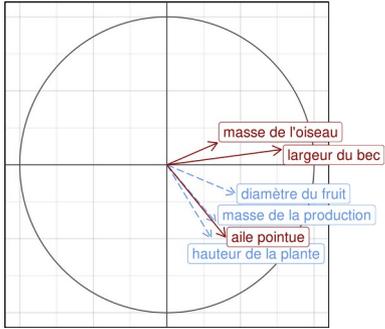
Relation entre optimum et largeur de niche



→ contraintes morphologiques

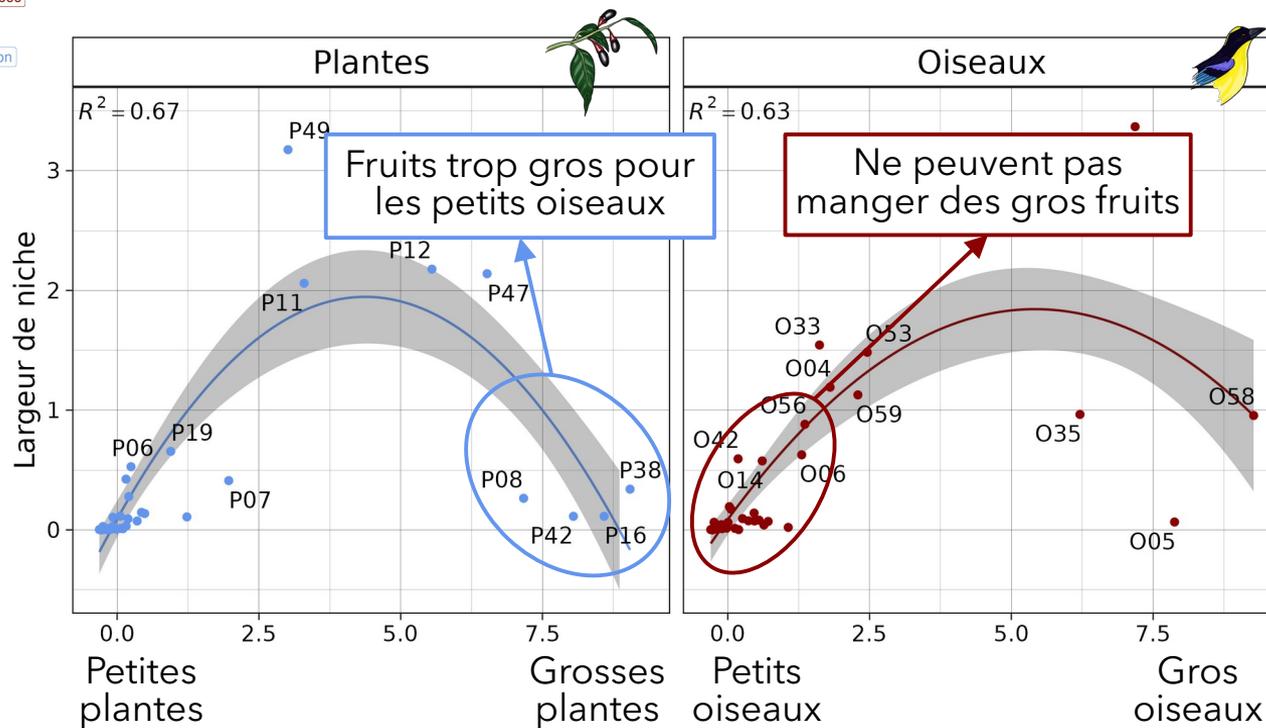


Relation entre optimum et largeur de niche



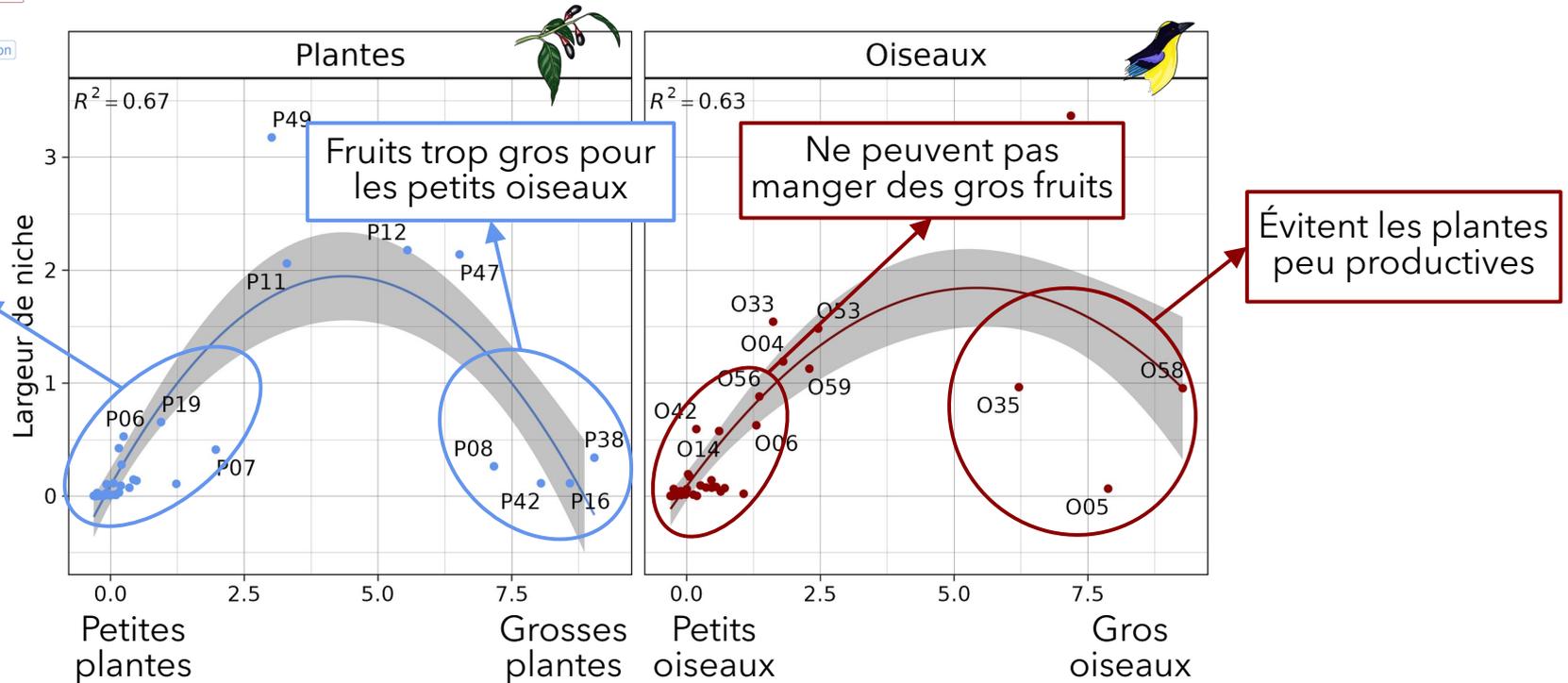
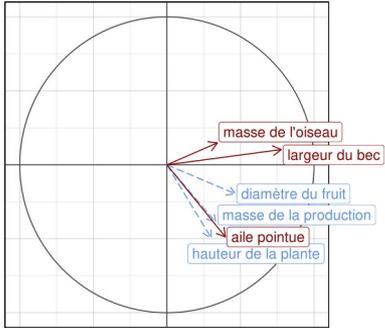
→ contraintes morphologiques

→ contraintes énergétiques



Relation entre optimum et largeur de niche

- contraintes morphologiques
- contraintes énergétiques



Importance des traits connus

Importance des traits connus

AFC



Importance des traits connus

AFC



AFC contrainte

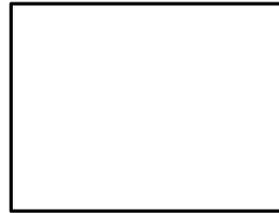


Traits des
oiseaux



Traits des
plantes

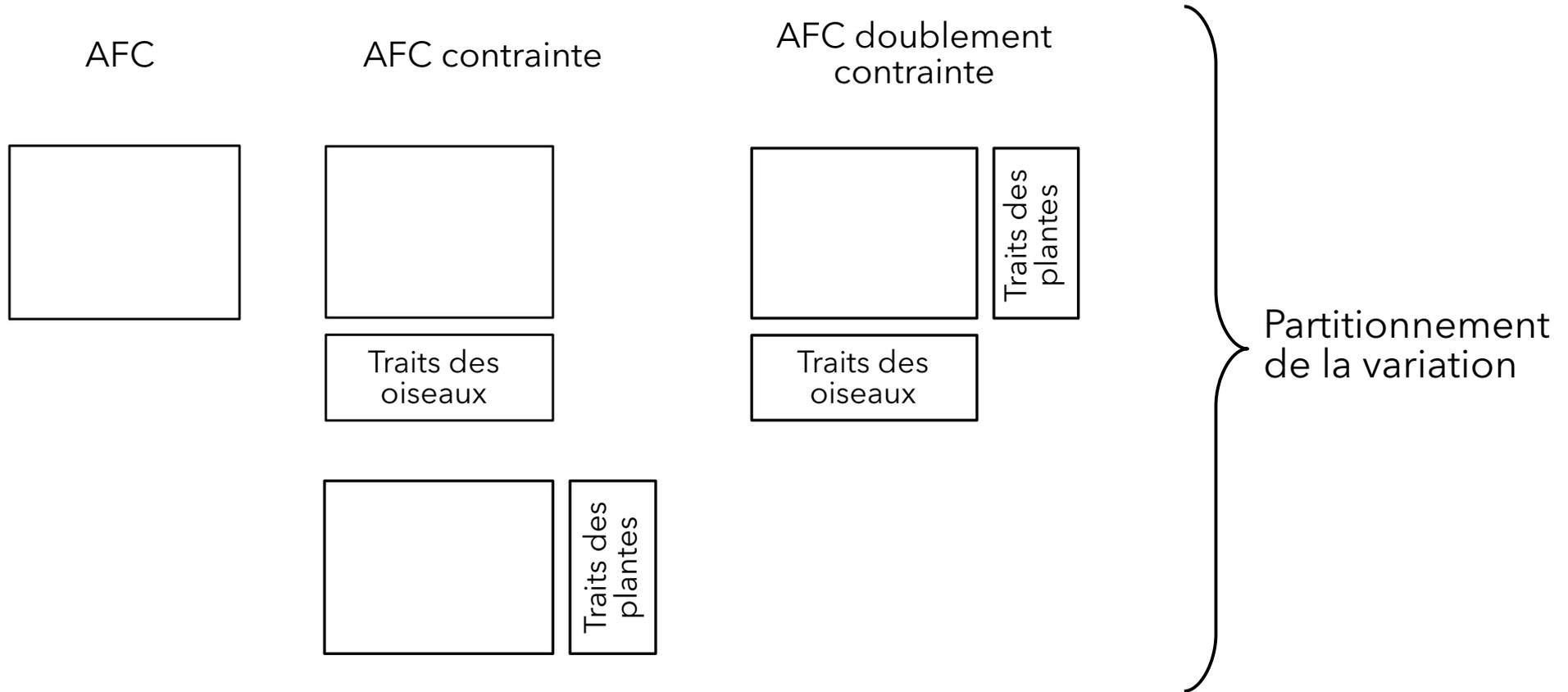
AFC doublement
contrainte



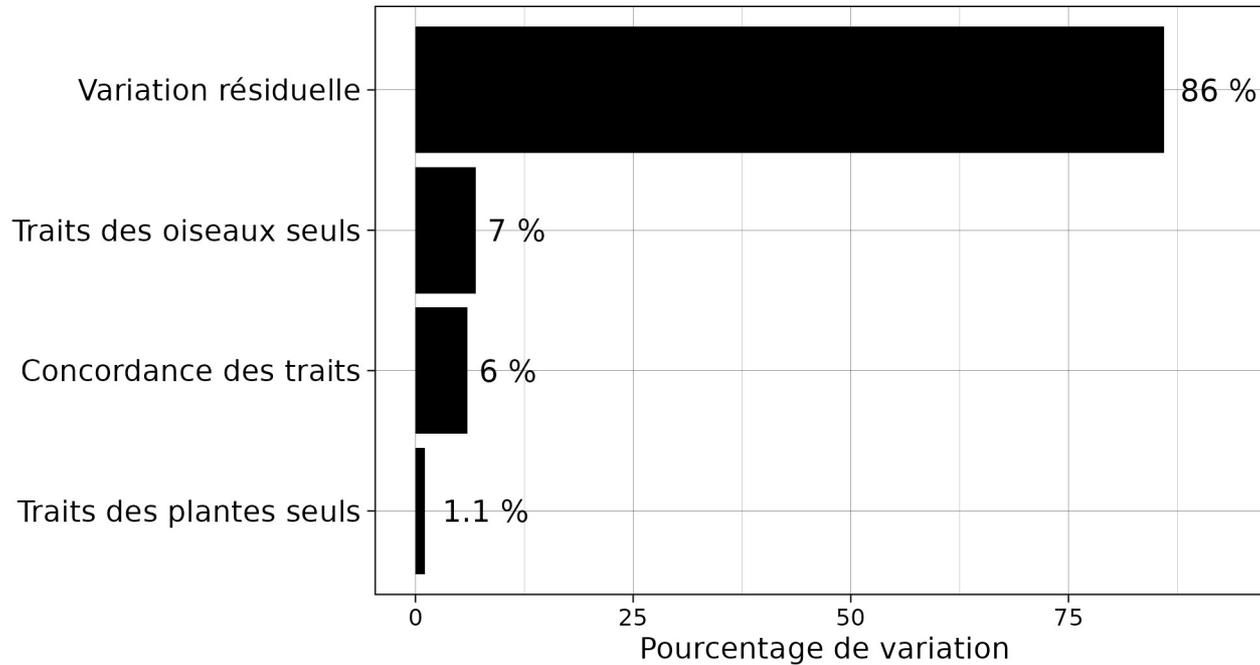
Traits des
plantes

Traits des
oiseaux

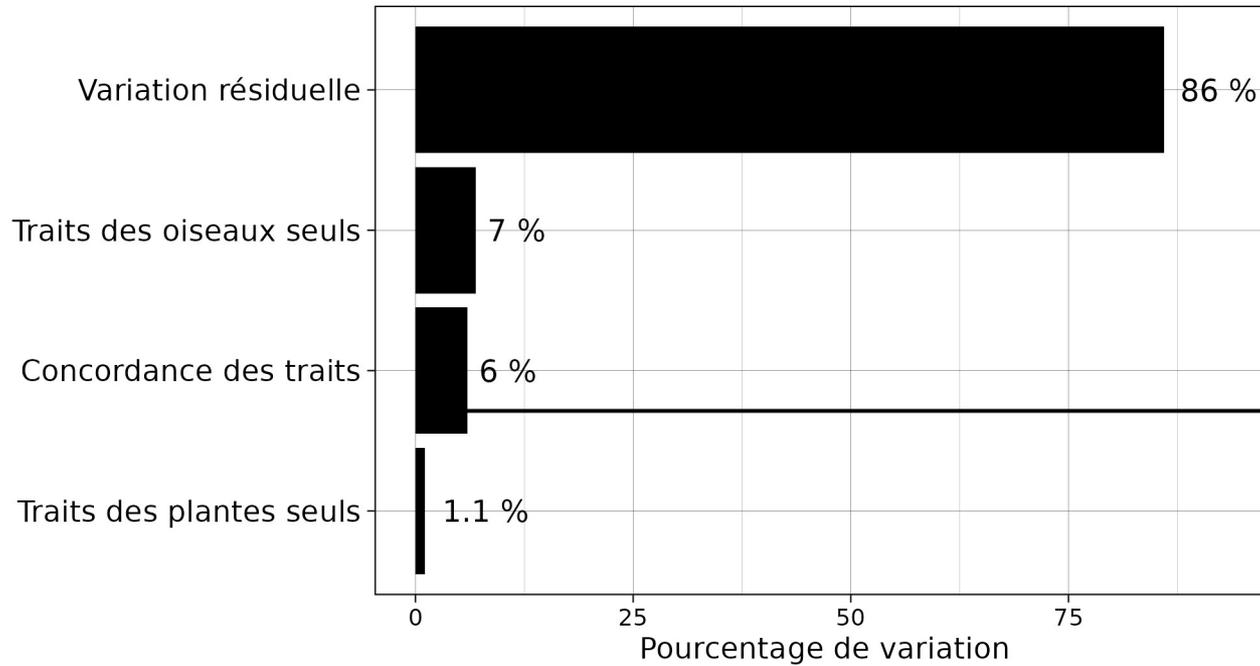
Importance des traits connus



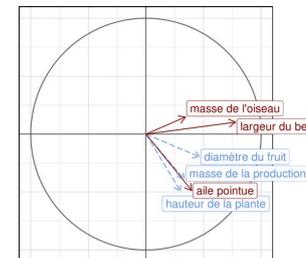
Partitionnement de la variation



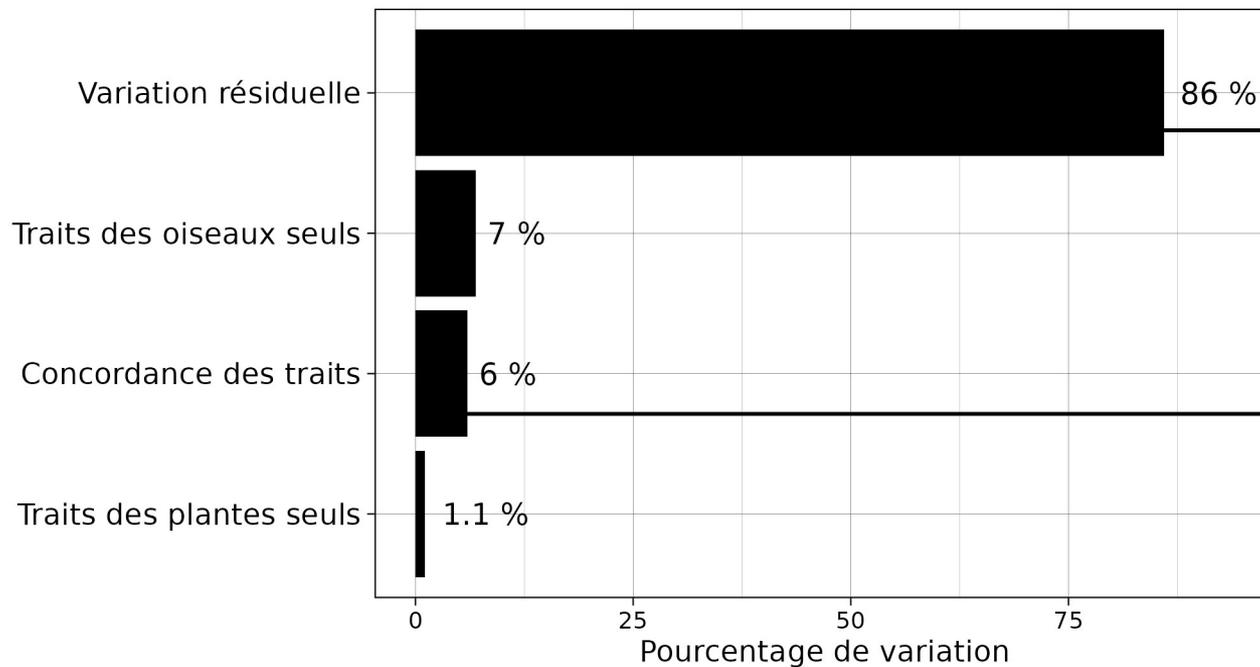
Partitionnement de la variation



Importance faible de la concordance des traits

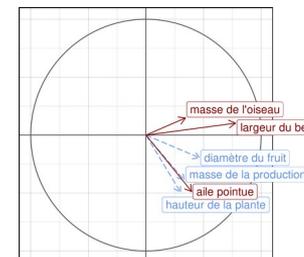


Partitionnement de la variation

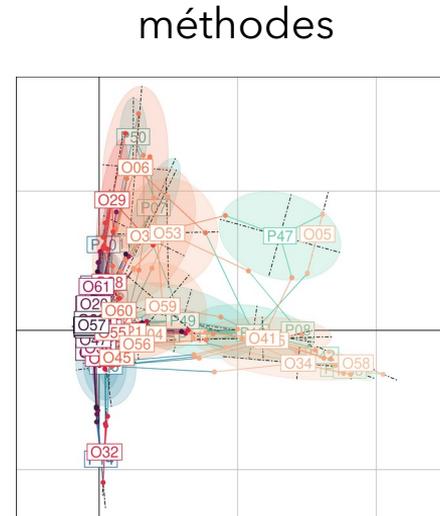
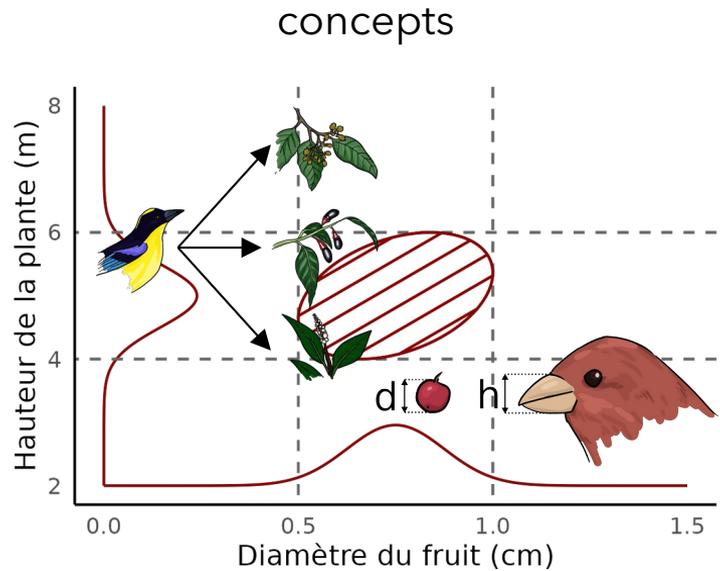


Quelles sont les autres sources de structure ?

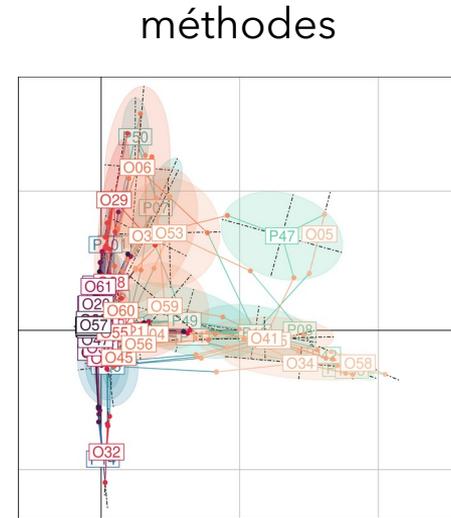
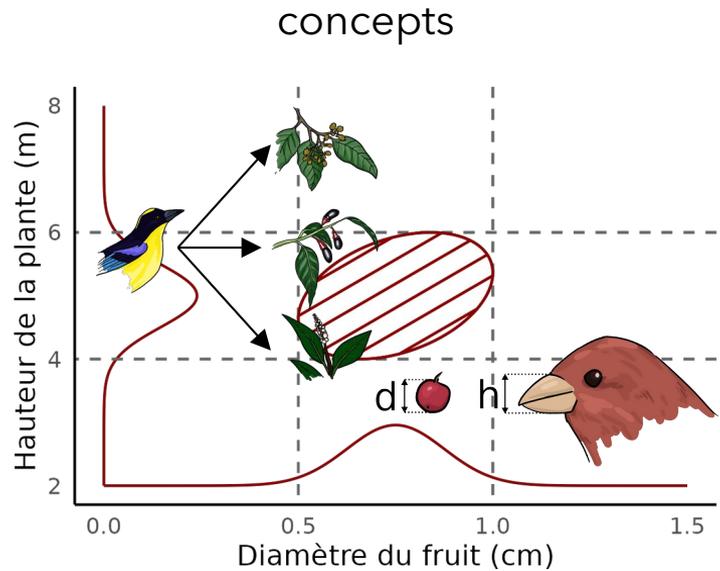
Importance faible de la concordance des traits



Conclusion & perspectives

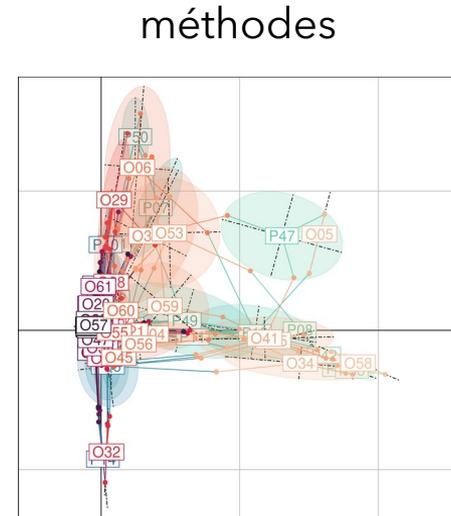
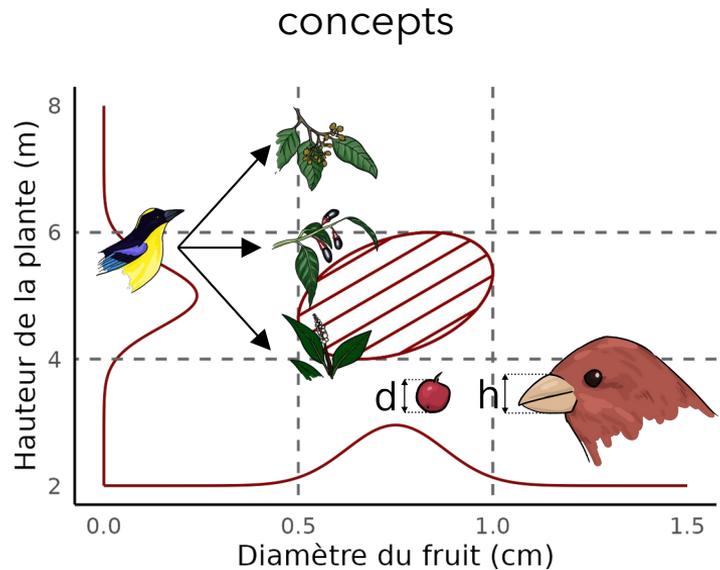


Conclusion & perspectives



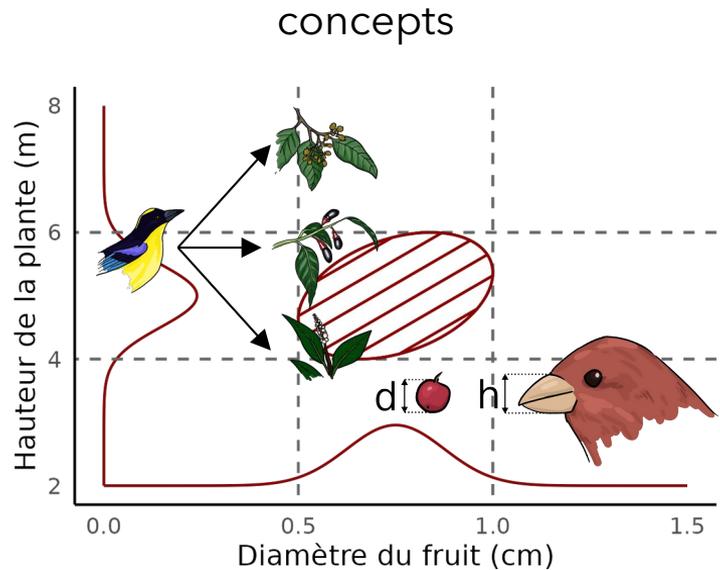
- Liens entre structure et traits latents

Conclusion & perspectives

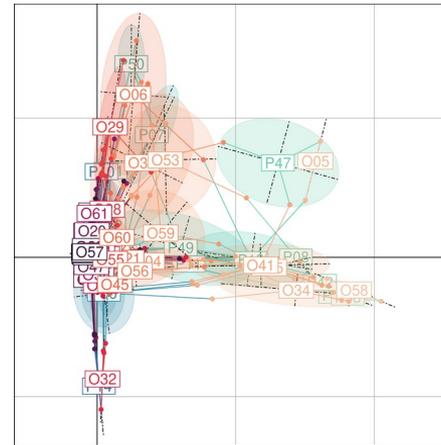


- Liens entre structure et traits latents
- Faible importance des traits mesurés

Conclusion & perspectives



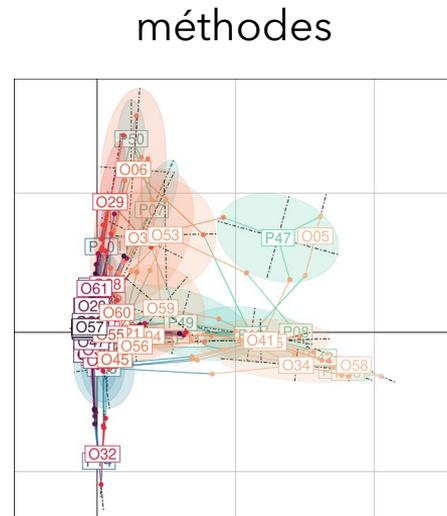
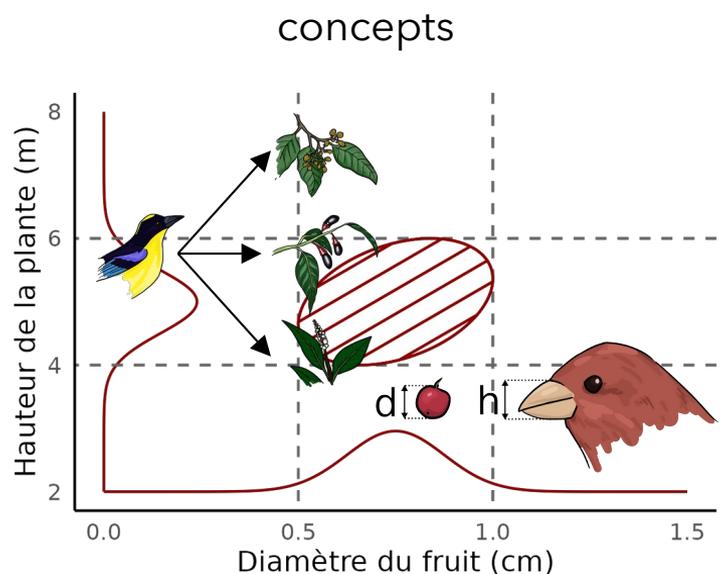
méthodes



- Liens entre structure et traits latents
- Faible importance des traits mesurés

Intégration de la variabilité des réseaux

Conclusion & perspectives



- Liens entre structure et traits latents
- Faible importance des traits mesurés

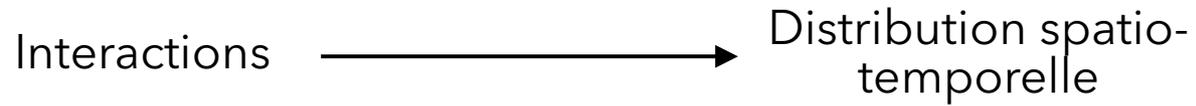
Intégration de la variabilité des réseaux

Effets des niches dans les communautés

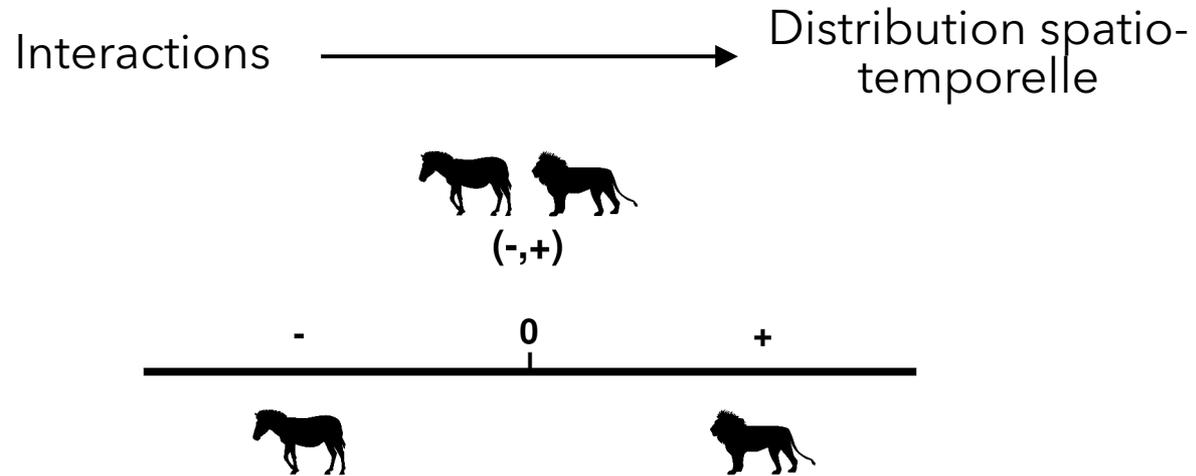


2. Quelles sont les conséquences des interactions ?

Interactions et distribution des espèces

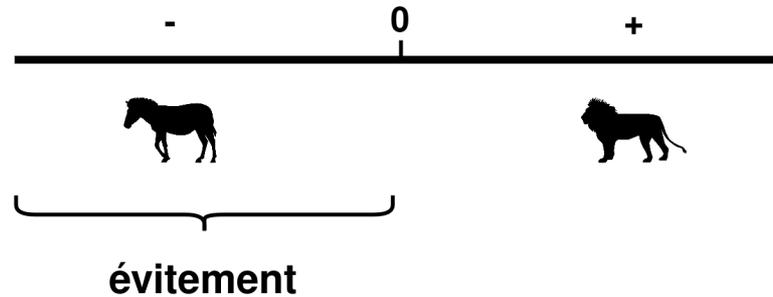
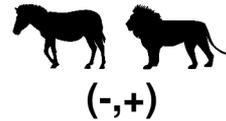


Interactions et distribution des espèces



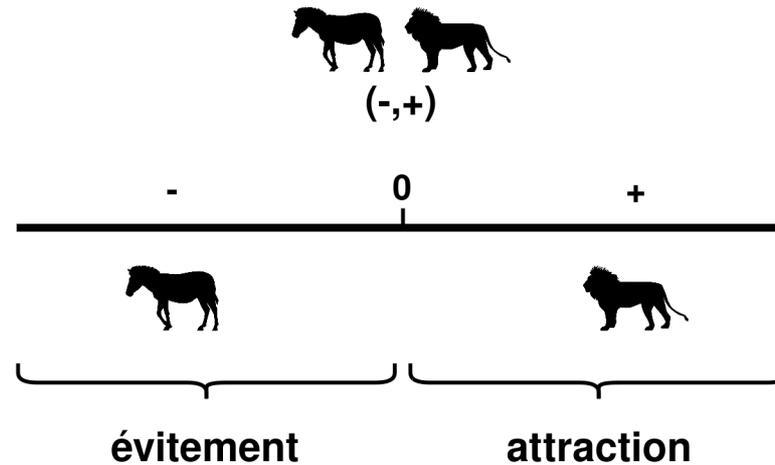
Interactions et distribution des espèces

Interactions \longrightarrow Distribution spatio-temporelle

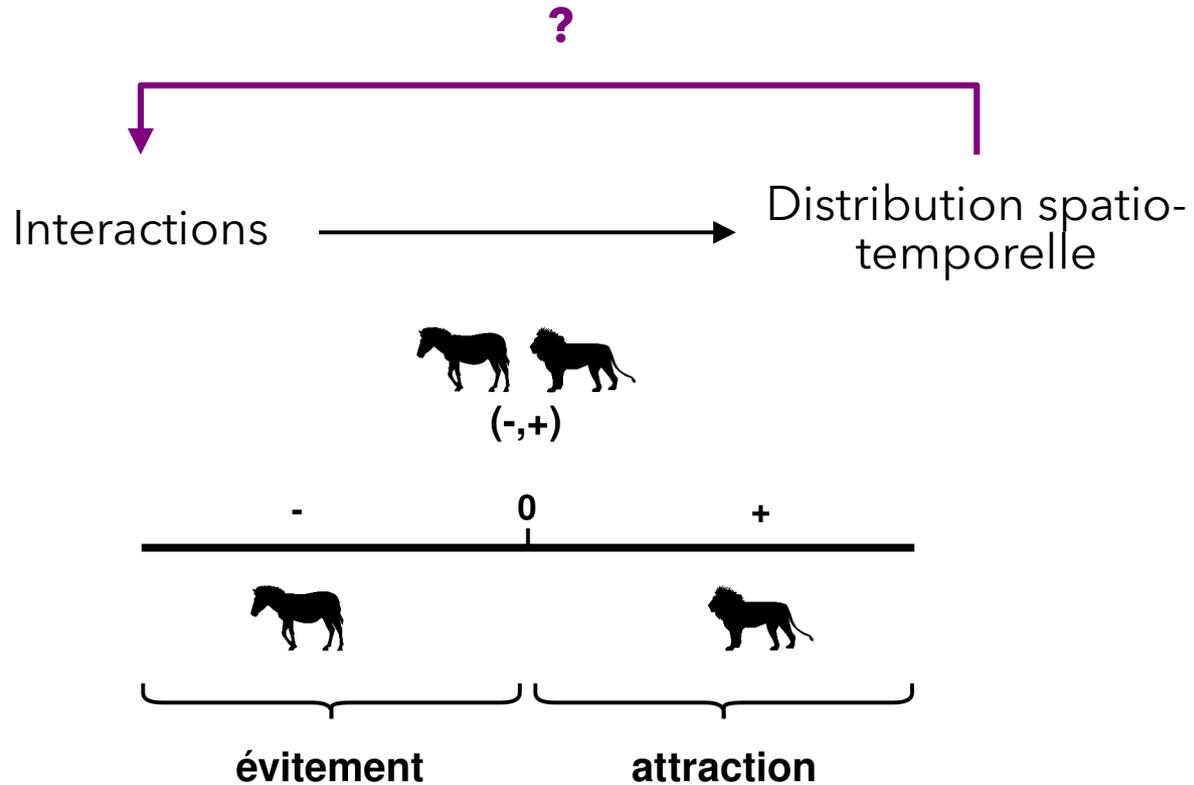


Interactions et distribution des espèces

Interactions \longrightarrow Distribution spatio-temporelle



Interactions et distribution des espèces



Pièges photos = appareils photos à déclenchement automatique



Piège photo dans le parc national du Karoo (Afrique du Sud) © Lisa Nicvert

Pièges photos = appareils photos à déclenchement automatique



Pièges photos = appareils photos à déclenchement automatique



Pièges photos = appareils photos à déclenchement automatique



Données en continu

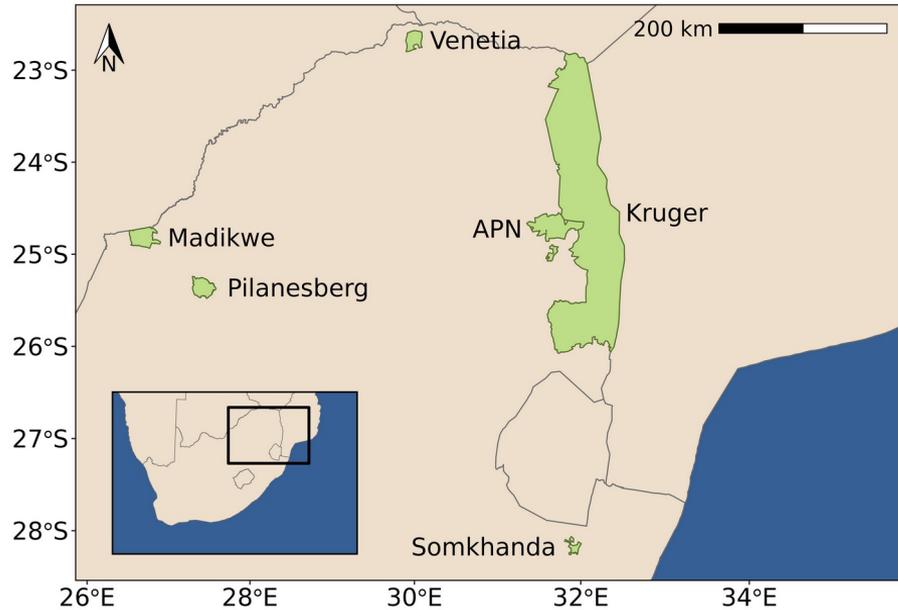
Données de pièges photos

Projet Snapshot Safari (*Pardo et al. 2021*)

Données de pièges photos

Projet Snapshot Safari (Pardo et al. 2021)

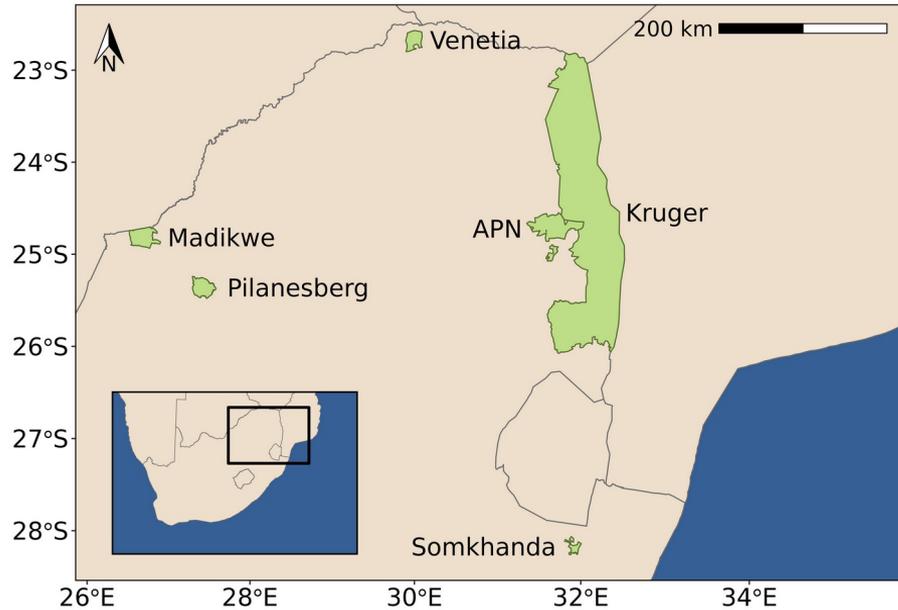
> 150 pièges photos en Afrique du Sud



Données de pièges photos

Projet Snapshot Safari (Pardo et al. 2021)

> 150 pièges photos en Afrique du Sud



5 espèces



grand koudou



zèbre de Burchell



gnou bleu



impala

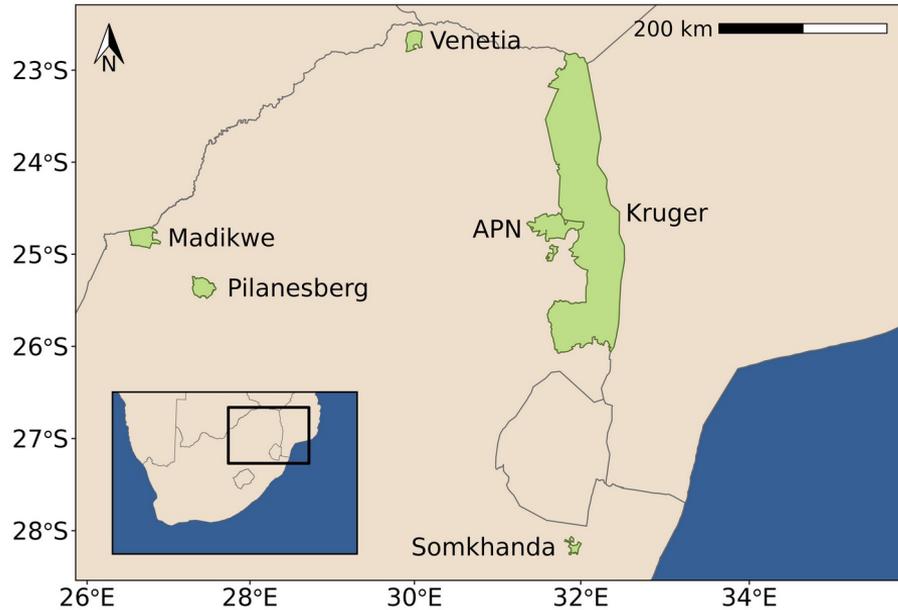


lion

Données de pièges photos

Projet Snapshot Safari (Pardo et al. 2021)

> 150 pièges photos en Afrique du Sud



5 espèces



grand koudou



zèbre de Burchell



gnou bleu



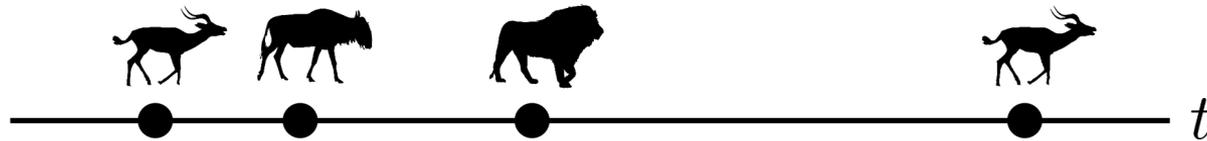
impala



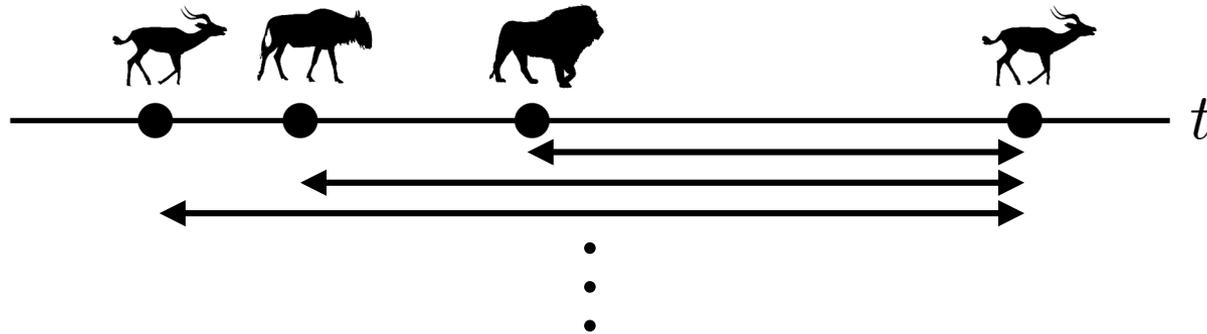
lion

> 2 ans de données et > 70 000 photos

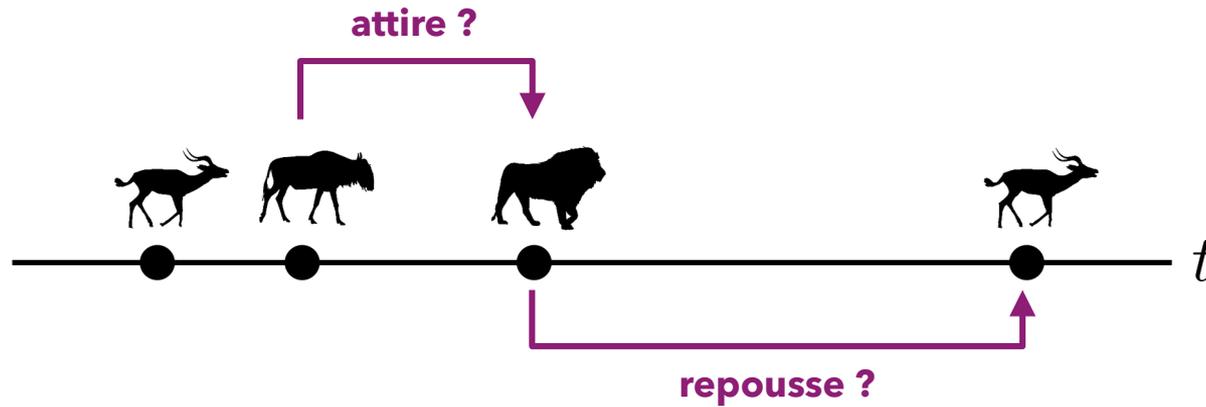
Inférence d'interactions



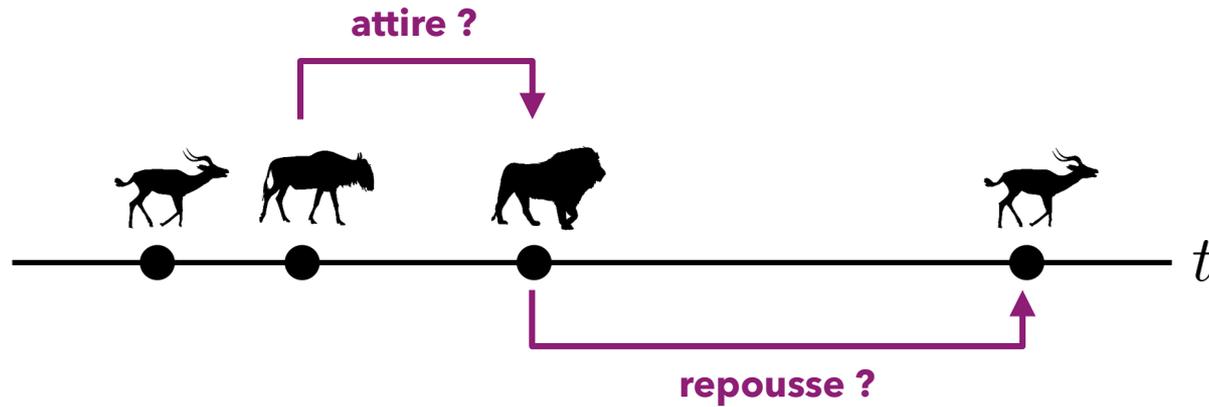
Inférence d'interactions



Inférence d'interactions



Inférence d'interactions



interaction = attraction ou répulsion

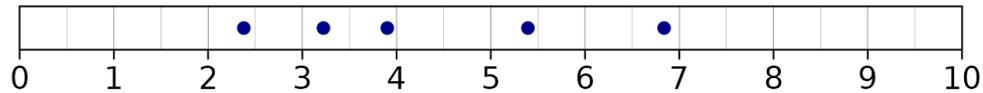
Processus de Hawkes multivarié

Processus de Hawkes = processus ponctuel auto-excité *Hawkes 1971*

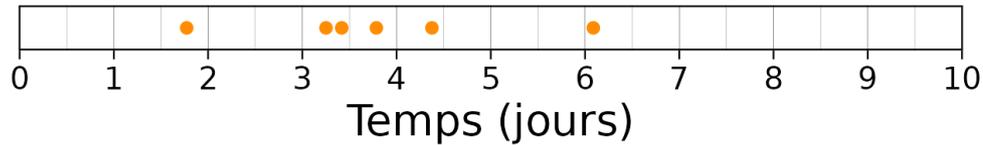
Processus de Hawkes multivarié

Processus de Hawkes = processus ponctuel auto-excité *Hawkes 1971*

S_1



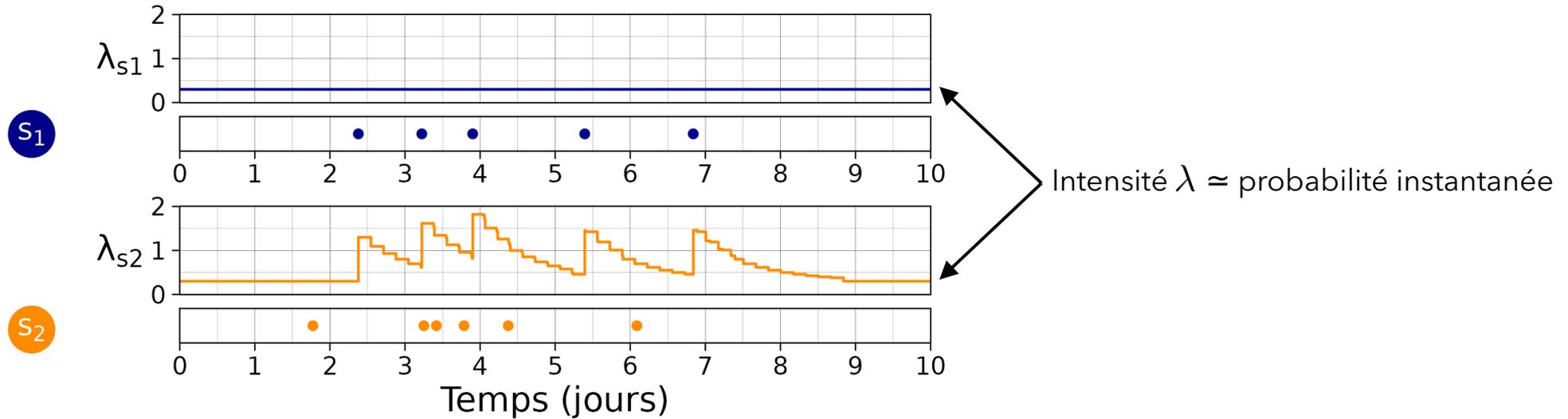
S_2



Temps (jours)

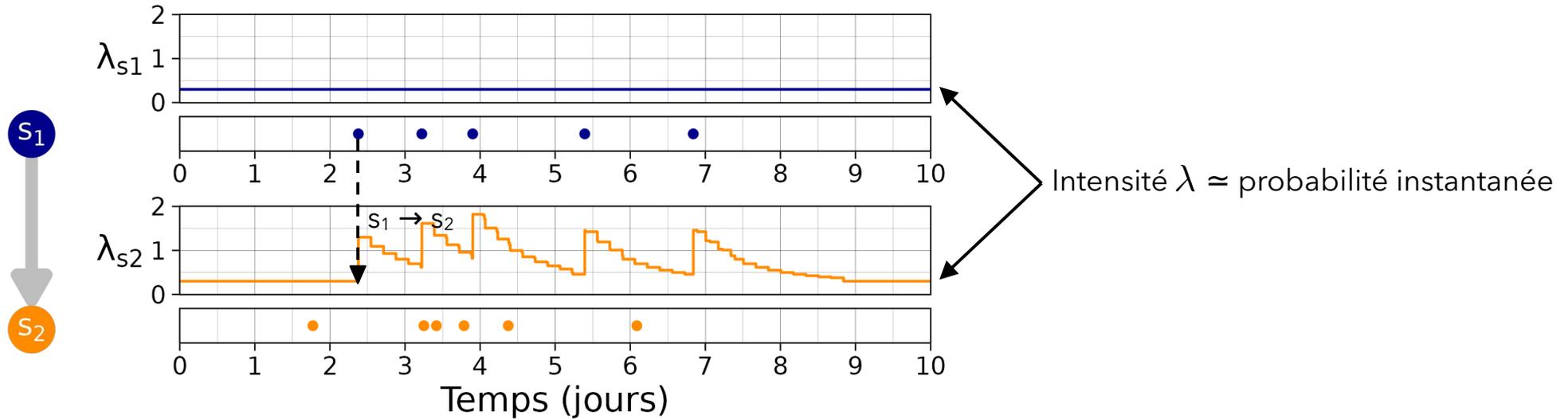
Processus de Hawkes multivarié

Processus de Hawkes = processus ponctuel auto-excité *Hawkes 1971*



Processus de Hawkes multivarié

Processus de Hawkes = processus ponctuel auto-excité *Hawkes 1971*



Processus de Hawkes multivarié

Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`

Albert et al. 2021

Processus de Hawkes multivarié

Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`

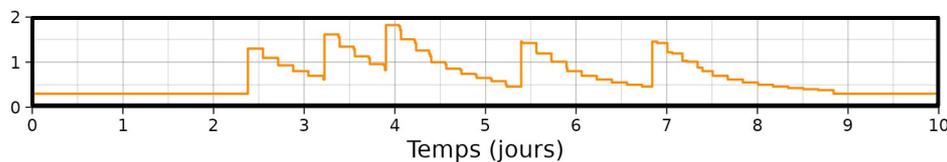
Albert et al. 2021

$$\lambda_i^l(t) = \left(\nu_i + \sum_{j=1}^S \sum_{m \mid T_m^{lj} < t} f_{j \rightarrow i}(t - T_m^{lj}) \right) +$$

Processus de Hawkes multivarié

Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`

Albert et al. 2021



$$\lambda_i^l(t) = \left(\nu_i + \sum_{j=1}^S \sum_{m \mid T_m^{lj} < t} f_{j \rightarrow i}(t - T_m^{lj}) \right) +$$

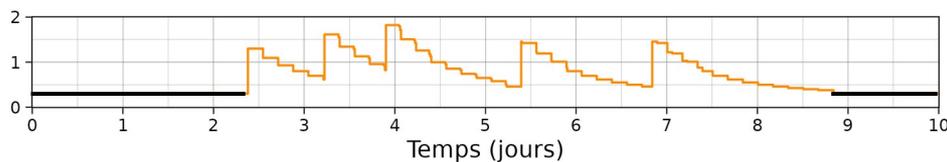
Intensité pour l'espèce i
au piège photo l



Processus de Hawkes multivarié

Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`

Albert et al. 2021



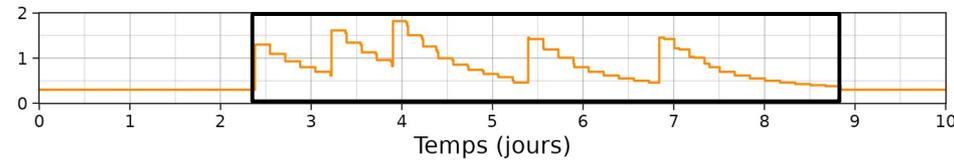
$$\lambda_i^l(t) = \left(\underbrace{\nu_i}_{\substack{\text{Taux basal pour} \\ \text{l'espèce } i}} + \sum_{j=1}^S \sum_{m \mid T_m^{lj} < t} f_{j \rightarrow i}(t - T_m^{lj}) \right) +$$

Intensité pour l'espèce i
 au piège photo l


Processus de Hawkes multivarié

Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`

Albert et al. 2021



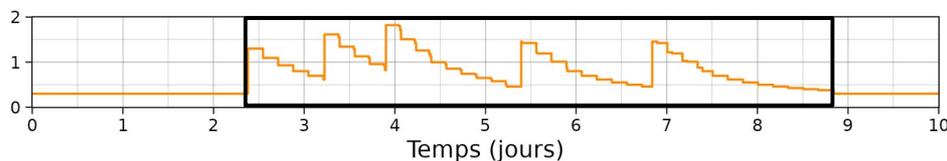
$$\lambda_i^l(t) = \left(\underbrace{\nu_i}_{\text{Taux basal pour l'espèce } i} + \underbrace{\sum_{j=1}^S \sum_{m \mid T_m^{lj} < t} f_{j \rightarrow i}(t - T_m^{lj})}_{\text{Influence des autres espèces}} \right) +$$

Intensité pour l'espèce i au piège photo l

Processus de Hawkes multivarié

Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`

Albert et al. 2021



$$\lambda_i^l(t) = \left(\underbrace{\nu_i}_{\text{Taux basal pour l'espèce } i} + \sum_{j=1}^S \sum_{m \mid T_m^{lj} < t} \frac{f_{j \rightarrow i}(t - T_m^{lj})}{\text{Fonction d'interaction de l'espèce } j \text{ vers l'espèce } i} \right) +$$

Intensité pour l'espèce i au piège photo l 

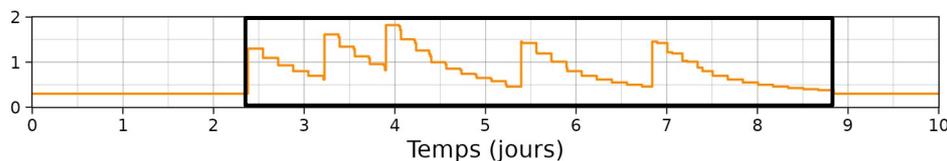
Taux basal pour l'espèce i 

Fonction d'interaction de l'espèce j vers l'espèce i  \rightarrow 

Processus de Hawkes multivarié

Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`

Albert et al. 2021



$$\lambda_i^l(t) = \left(\underbrace{\nu_i}_{\text{Taux basal pour l'espèce } i} + \sum_{j=1}^S \sum_{m \mid T_m^{lj} < t} \frac{f_{j \rightarrow i}(t - T_m^{lj})}{\text{Fonction d'interaction de l'espèce } j \text{ vers l'espèce } i} \right) +$$

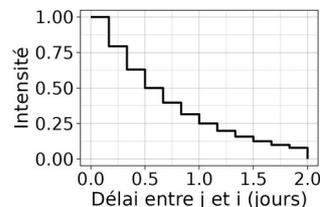
Intensité pour l'espèce i
au piège photo l



Taux basal pour
l'espèce i



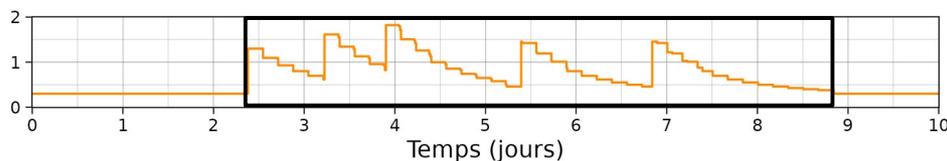
Fonction d'interaction de
l'espèce j vers l'espèce i



Processus de Hawkes multivarié

Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`

Albert et al. 2021



$$\lambda_i^l(t) = \left(\underbrace{\nu_i}_{\text{Taux basal pour l'espèce } i} + \sum_{j=1}^S \sum_{m \mid T_m^{lj} < t} \frac{f_{j \rightarrow i}(t - T_m^{lj})}{\text{Fonction d'interaction de l'espèce } j \text{ vers l'espèce } i} \right) +$$

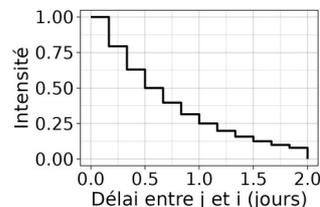
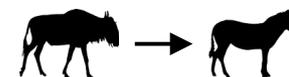
Intensité pour l'espèce i
au piège photo l



Taux basal pour
l'espèce i



Fonction d'interaction de
l'espèce j vers l'espèce i

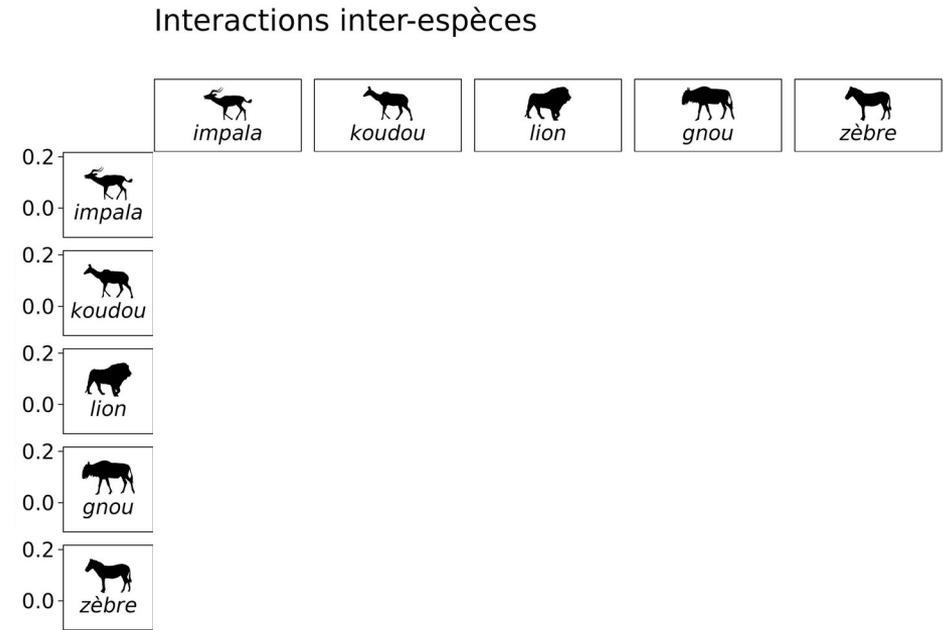


> 0 : attraction

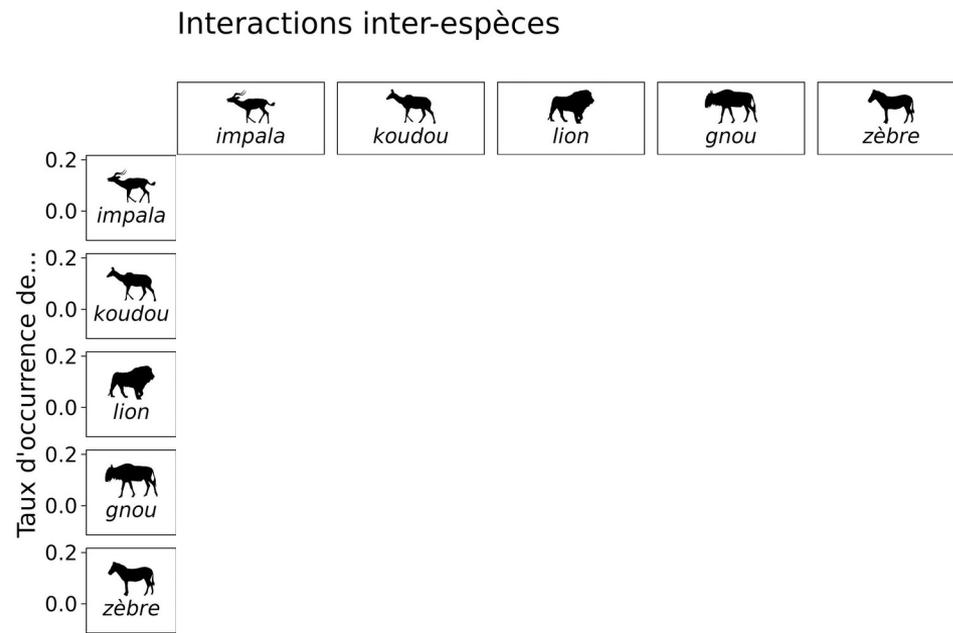
= 0 : pas d'effet

< 0 : répulsion

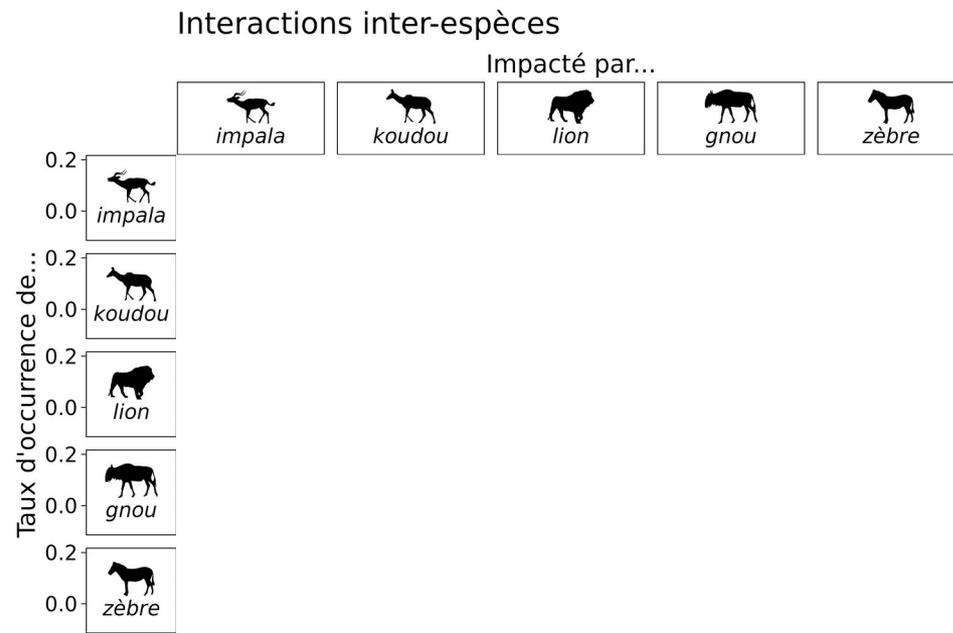
Inférence d'interactions



Inférence d'interactions



Inférence d'interactions

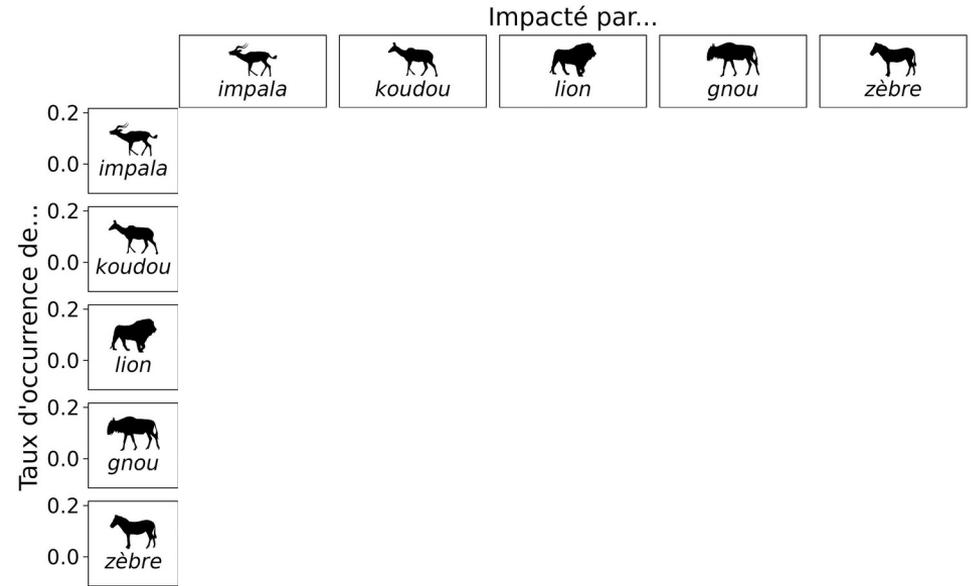


Inférence d'interactions

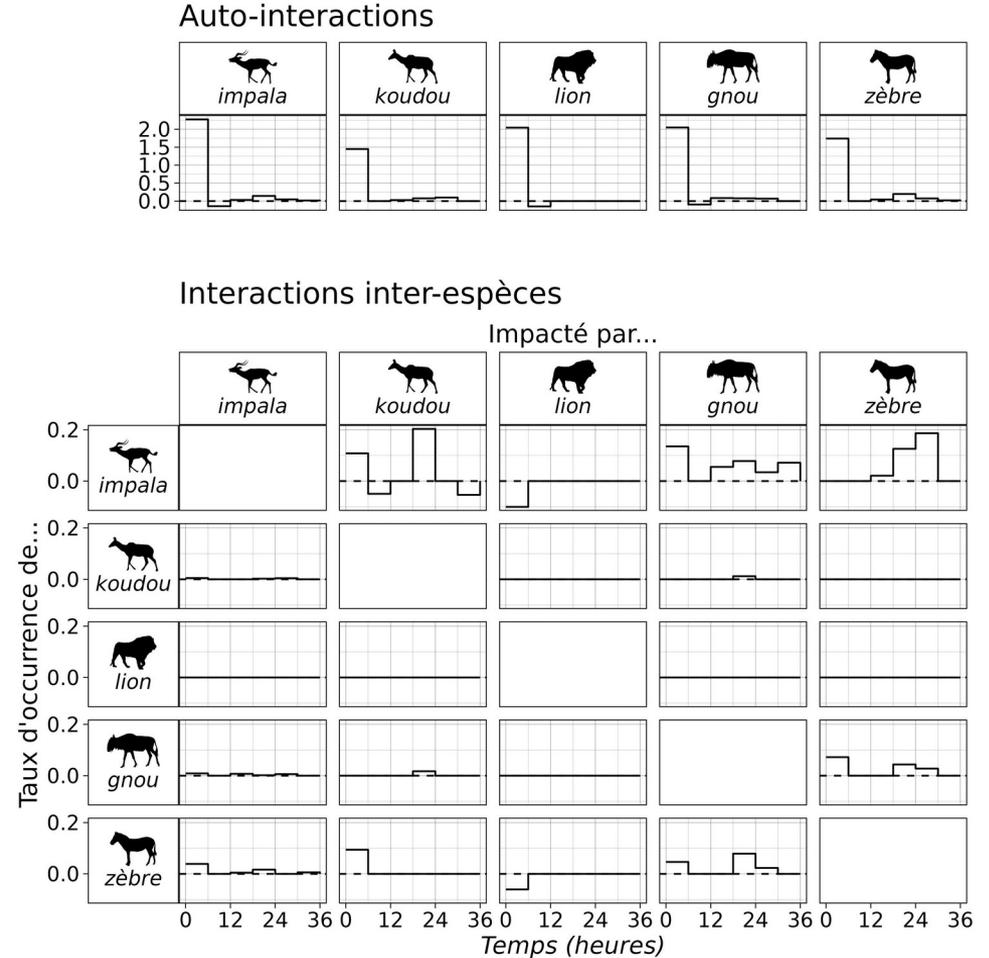
Auto-interactions



Interactions inter-espèces

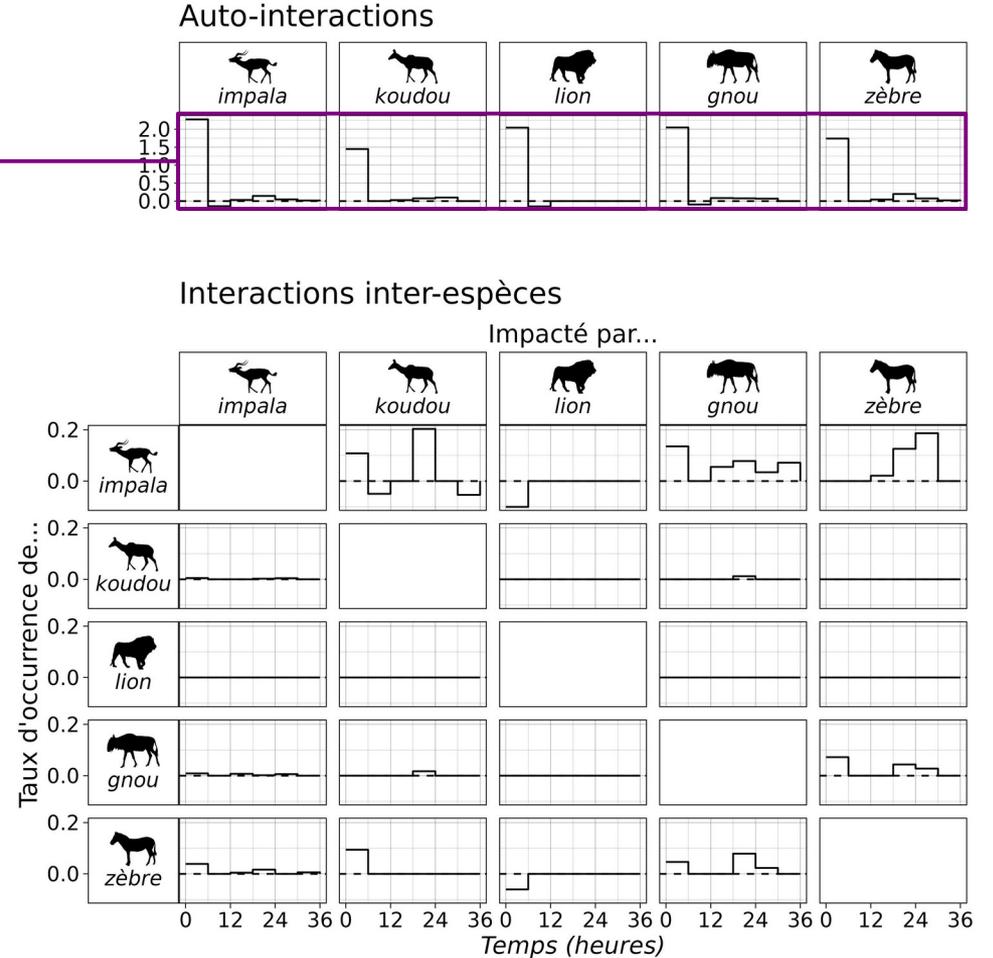


Inférence d'interactions



Inférence d'interactions

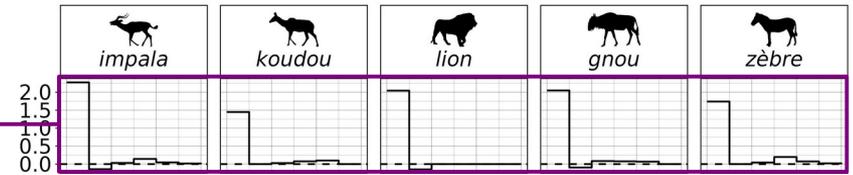
Fortes auto-attractions ←



Inférence d'interactions

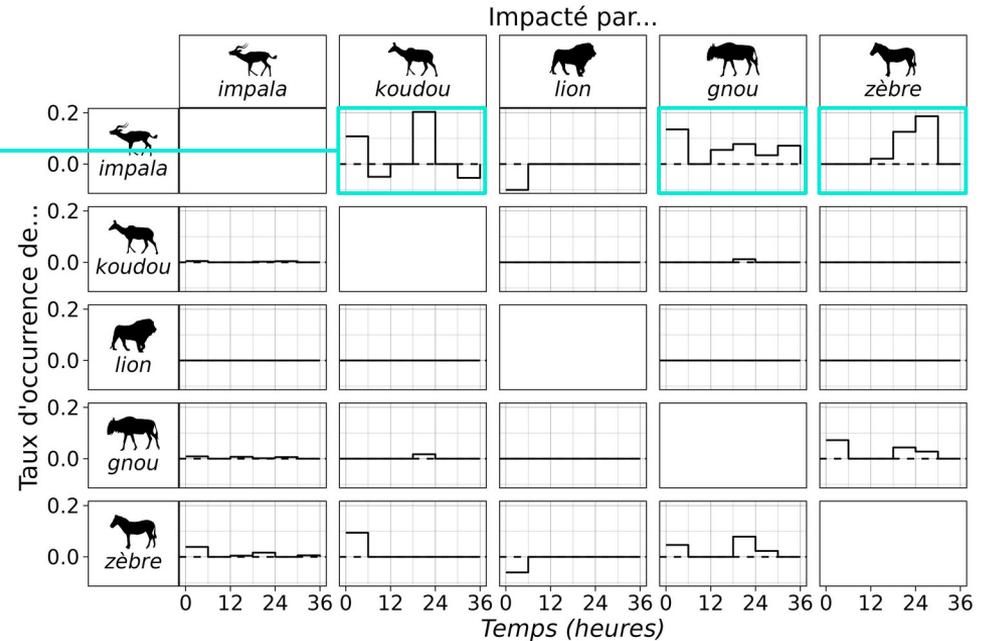
Fortes auto-attractions ←

Auto-interactions



Impala attiré par les autres herbivores ←

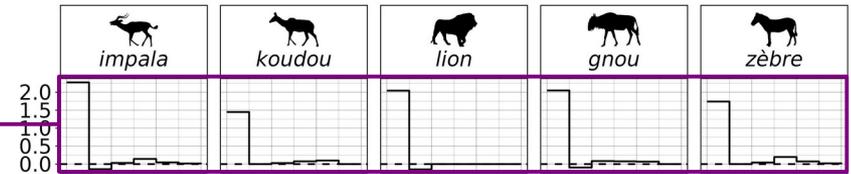
Interactions inter-espèces



Inférence d'interactions

Fortes auto-attractions

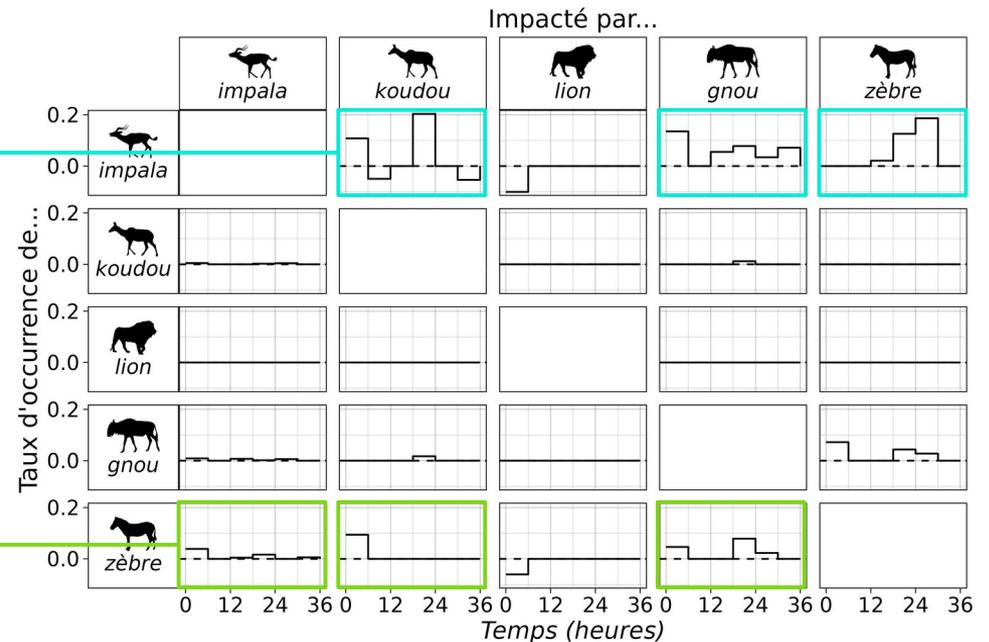
Auto-interactions



Impala attiré par les autres herbivores

Zèbre attiré par les autres herbivores

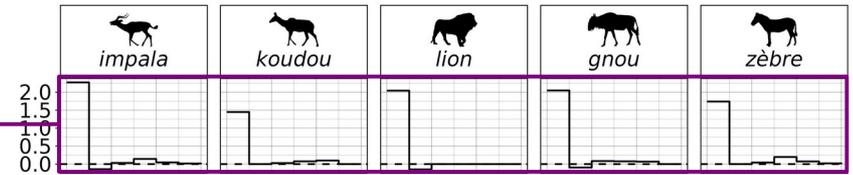
Interactions inter-espèces



Inférence d'interactions

Fortes auto-attractions

Auto-interactions

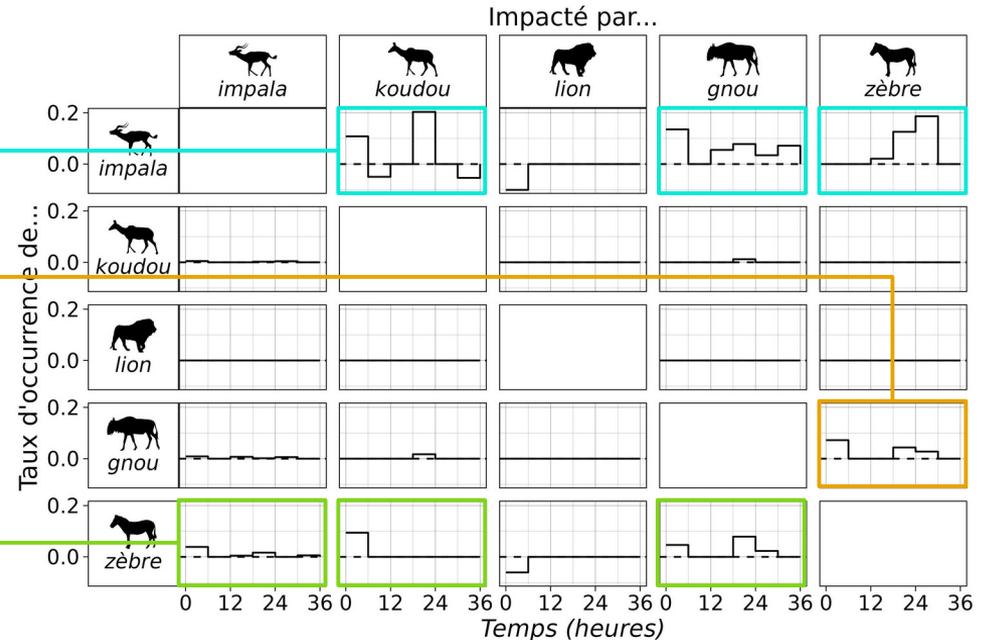


Impala attiré par les autres herbivores

Zèbre attiré par les autres herbivores

Gnou attiré par le zèbre

Interactions inter-espèces



Inférence d'interactions

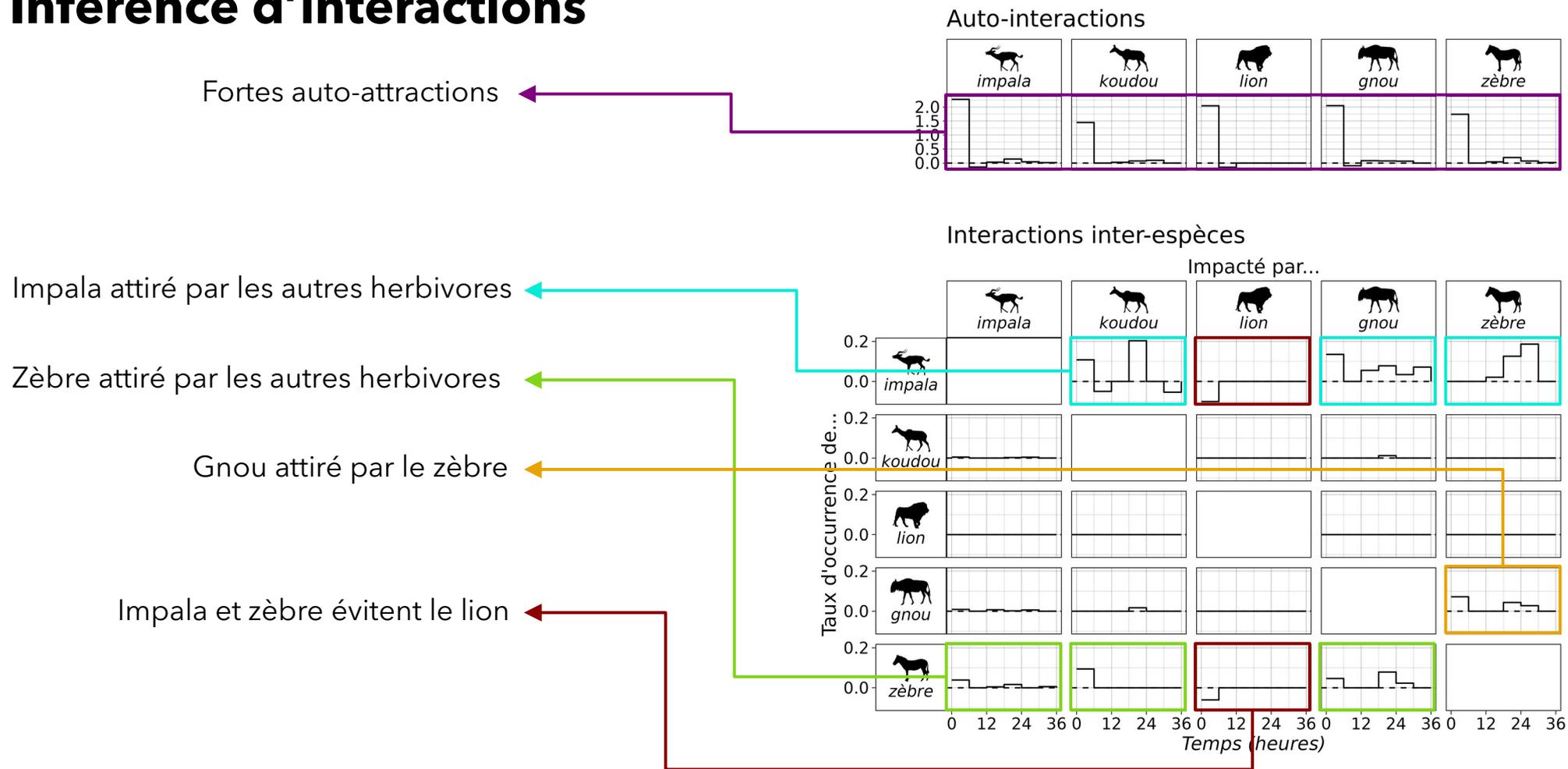


Figure 5 de Nicvert et al. 2024. Silhouette issues de PhyloPic par Lukasiniho (gnou), Margot Michaud (lion), Robert Hering (koudou), Zimices (zèbre) et auteur inconnu (impala).

Inférence d'interactions

Auto-attractions → Comportements sociaux



Groupe d'impalas © Snapshot Safari

Inférence d'interactions

Auto-attractions → Comportements sociaux

Attractions entre
herbivores



Groupes d'espèces mixtes
Beaudrot et al 2020



Impalas et zèbres © Snapshot Safari

Inférence d'interactions

Auto-attractions → Comportements sociaux

Attractions entre herbivores



Groupes d'espèces mixtes

Beaudrot et al 2020

Succession de pâturage

Bell 1971, Anderson et al. 2024



Impalas et zèbres © Snapshot Safari

Inférence d'interactions

Auto-attractions → Comportements sociaux

Attractions entre herbivores



Groupes d'espèces mixtes

Beaudrot et al 2020

Succession de pâturage

Bell 1971, Anderson et al. 2024

Évitement du lion →

Stratégie anti-prédation

Valeix et al. 2009



Impala fuyant des lions © Gavin St Leger

Inférence d'interactions

Auto-attractions → Comportements sociaux

Attractions entre herbivores

Groupes d'espèces mixtes

Beaudrot et al 2020

Succession de pâturage

Bell 1971, Anderson et al. 2024

Évitement du lion →

Stratégie anti-prédation

Valeix et al. 2009

Effets confondants :

- Variables spatiales



Inférence d'interactions

Auto-attractions → Comportements sociaux

Attractions entre herbivores

Groupes d'espèces mixtes

Beaudrot et al 2020

Succession de pâturage

Bell 1971, Anderson et al. 2024

Évitement du lion →

Stratégie anti-prédation

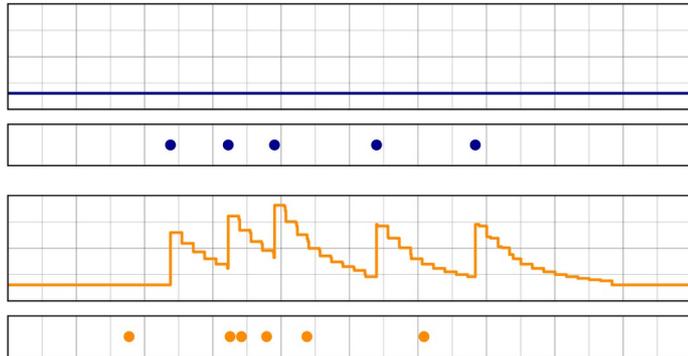
Valeix et al. 2009

Effets confondants :

- Variables spatiales 
- Rythmes temporels 

Conclusions & perspectives

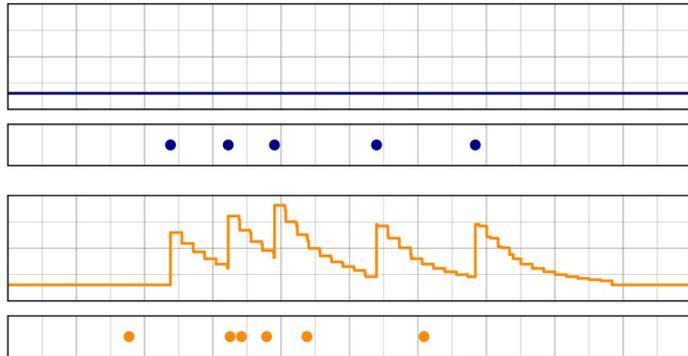
Processus ponctuel & données de pièges photos



© Snapshot Safari

Conclusions & perspectives

Processus ponctuel & données de pièges photos

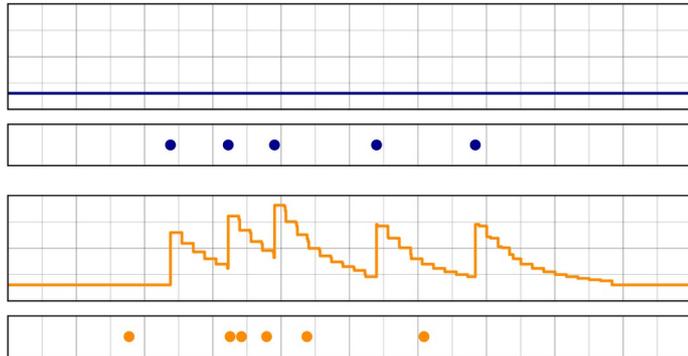


© Snapshot Safari

- interaction dirigée

Conclusions & perspectives

Processus ponctuel & données de pièges photos

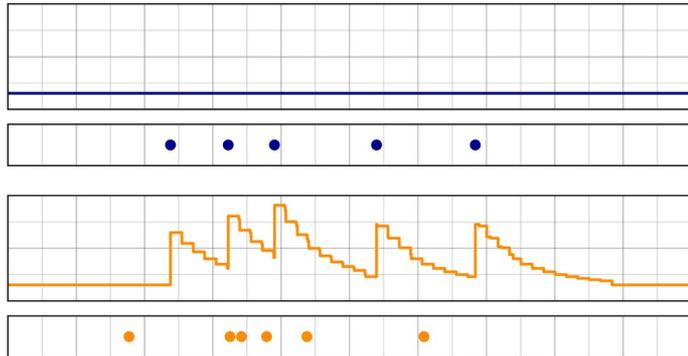


© Snapshot Safari

- interaction dirigée
- évolution dans le temps

Conclusions & perspectives

Processus ponctuel & données de pièges photos

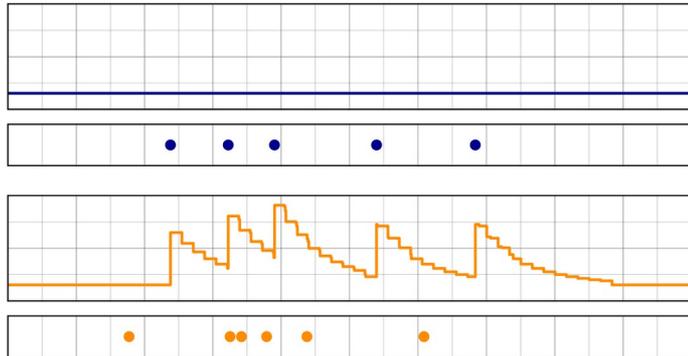


© Snapshot Safari

- interaction dirigée
- évolution dans le temps
- approche multi-espèces

Conclusions & perspectives

Processus ponctuel & données de pièges photos



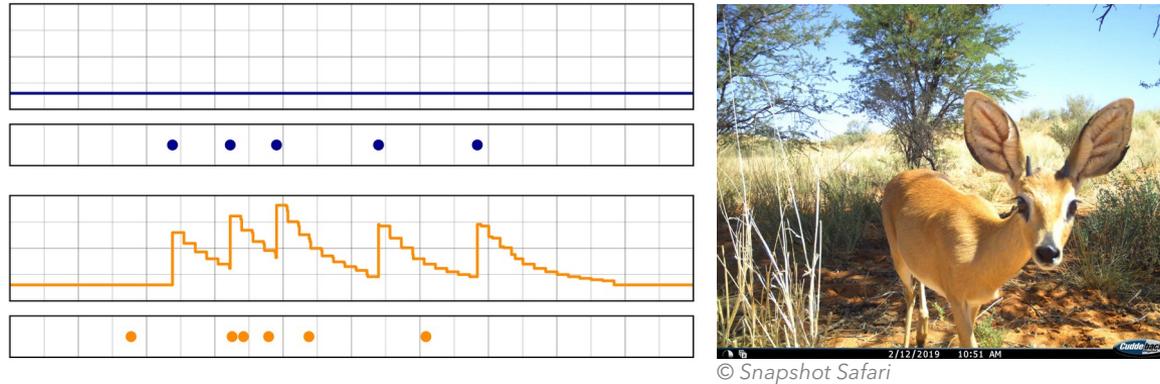
© Snapshot Safari

- interaction dirigée
- évolution dans le temps
- approche multi-espèces

↙
Vérification des hypothèses

Conclusions & perspectives

Processus ponctuel & données de pièges photos



- interaction dirigée
- évolution dans le temps
- approche multi-espèces

Vérification des hypothèses

Amélioration du modèle

Analyses de données en écologie

Analyses de données en écologie

De plus en plus de données

Analyses de données en écologie

De plus en plus de données

Données complexes (plusieurs variables, formats, plans d'échantillonnage...)

Analyses de données en écologie

De plus en plus de données

Données complexes (plusieurs variables, formats, plans d'échantillonnage...)

« Noyés dans les données, assoiffés d'information et affamés de compréhension »

MacFadyen et al. 2022



Données de pièges photos



- Beaucoup de données
- Multiples espèces
- Multiples sites

Données de pièges photos



- Beaucoup de données
- Multiples espèces
- Multiples sites

Analyses automatisées

Données de pièges photos



Intérêt de publics variés

- Beaucoup de données
- Multiples espèces
- Multiples sites

Analyses automatisées

Données de pièges photos



Intérêt de publics variés

- Beaucoup de données
- Multiples espèces
- Multiples sites

Analyses automatisées

Outils d'analyse intuitifs

camtrapviz



Camtrapviz

Home
Import
Filter
Overview
All species
One species
About

Camtrapviz

camtrapviz is an application and R package to visualize camera trap data. It is intended for data where species have already been annotated and compiled in tables.

Analysis modules

The different modules allow to import, filter and analyze camera trap data. First, you must choose data with the import module. All other modules are optional and can be run in any order. To launch the modules, navigate the sidebar on the left.

Import (example or own file) → **Filter** (species, cameras or date range) → **Overview** (synthetic information on the data) → **All species** (abundance and diversity) → **One species** (activity pattern and detections)

Select data (Import, Filter) **Analyze data** (Overview, All species, One species)

First, you must import data from the included example files or from your own dataset. Then, you can filter data based on species, cameras or date range. The overview module provides general information about the data, such as the number of

camtrapviz



Application web interactive (Shiny)

camtrapviz



Camtrapviz

camtrapviz is an application and R package to visualize camera trap data. It is intended for data where species have already been annotated and compiled in tables.

Analysis modules

The different modules allow to import, filter and analyze camera trap data. First, you must choose data with the import module. All other modules are optional and can be run in any order. To launch the modules, navigate the sidebar on the left.

Select data

- Import: example or own file
- Filter: species, cameras or date range

Analyze data

- Overview: synthetic information on the data
- All species: abundance and diversity
- One species: activity pattern and detections

First, you must import data from the included example files or from your own dataset. Then, you can filter data based on species, cameras or date range. The overview module provides general information about the data, such as the number of

- package R
- export du code (Shinymeta)

Application web interactive (Shiny)

camtrapviz



Camtrapviz

camtrapviz is an application and R package to visualize camera trap data. It is intended for data where species have already been annotated and compiled in tables.

Analysis modules

The different modules allow to import, filter and analyze camera trap data. First, you must choose data with the import module. All other modules are optional and can be run in any order. To launch the modules, navigate the sidebar on the left.

Import (example or own file) → **Filter** (species, cameras or date range) → **Overview** (synthetic information on the data) → **All species** (abundance and diversity) → **One species** (activity pattern and detections)

Select data (Import, Filter) **Analyze data** (Overview, All species, One species)

First, you must import data from the included example files or from your own dataset. Then, you can filter data based on species, cameras or date range. The overview module provides general information about the data, such as the number of

- package R
- export du code (Shiny) (Shiny) (Shiny)

Application web interactive (Shiny)

→ En développement, disponible sur <https://lbbe-shiny.univ-lyon1.fr/camtrapviz/>

Science ouverte et code ouvert

Science ouverte et code ouvert

Enjeu scientifique

- Vérifiabilité
- Efficacité (ne pas « réinventer la roue »)



Science ouverte et code ouvert

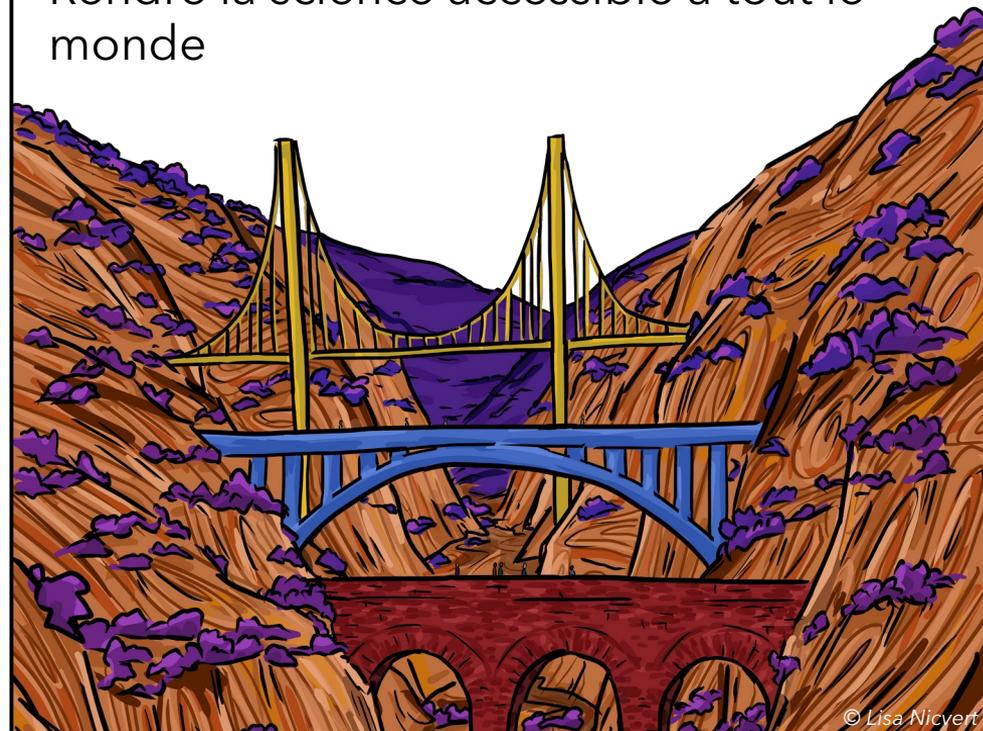
Enjeu scientifique

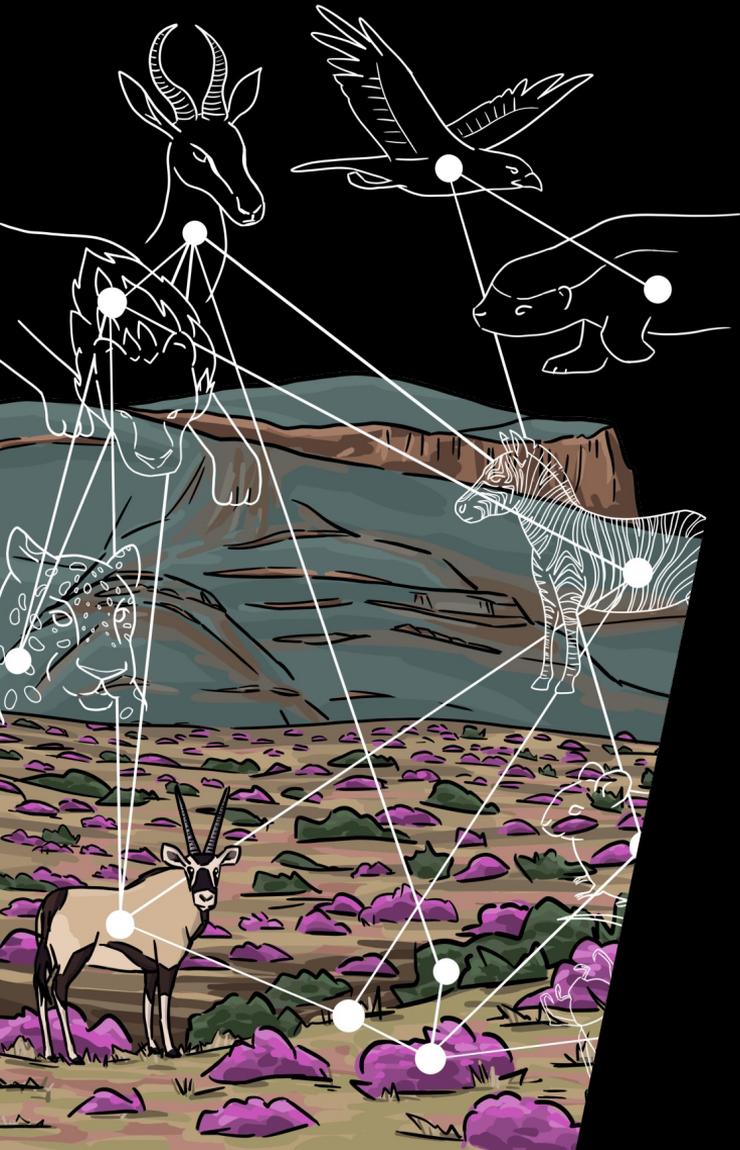
- Vérifiabilité
- Efficacité (ne pas « réinventer la roue »)



Transparence

Rendre la science accessible à tout le monde



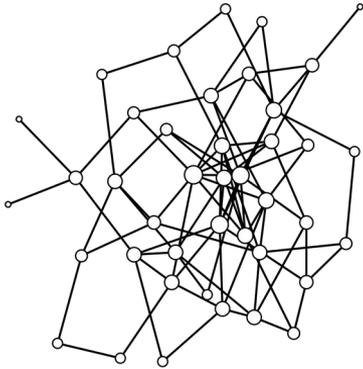


Discussion

Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

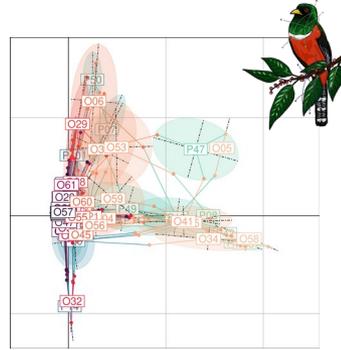
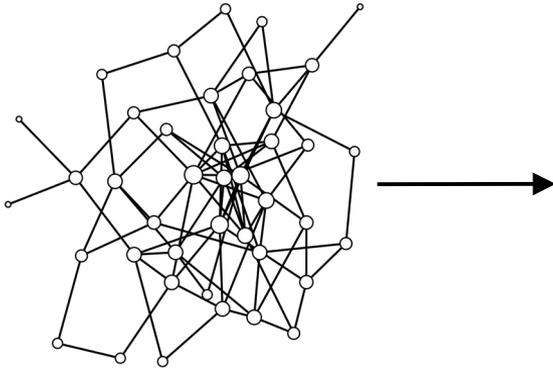
Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

objet d'étude

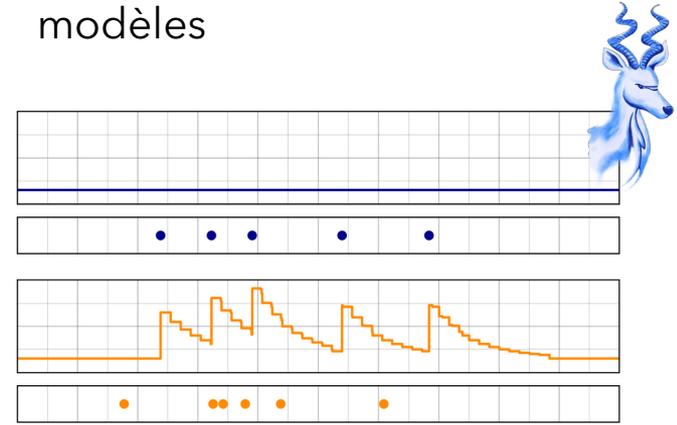


Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

objet d'étude

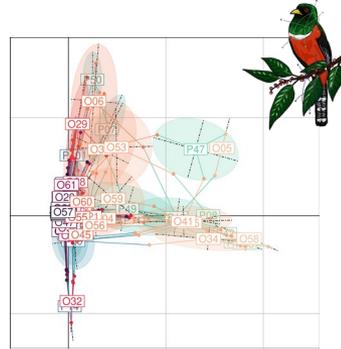
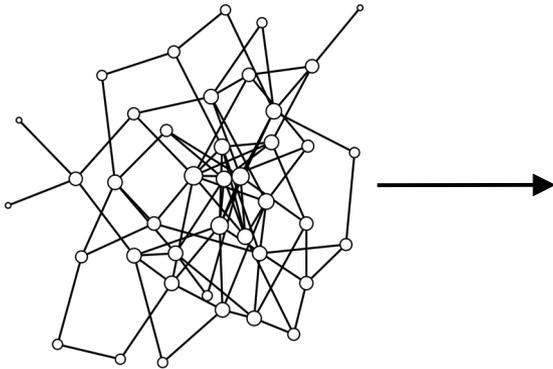


modèles

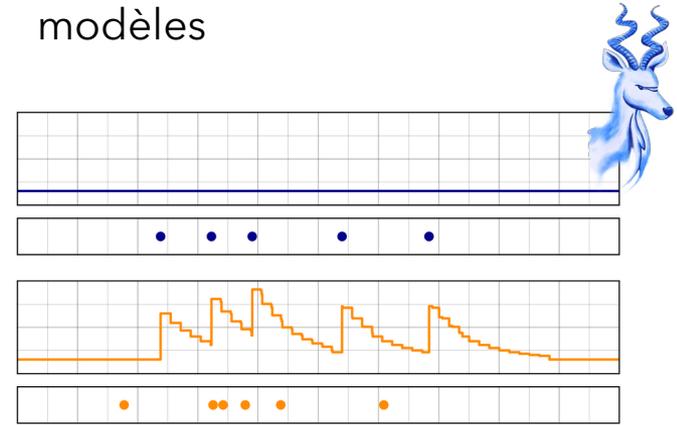


Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

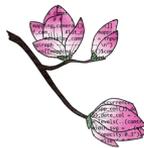
objet d'étude



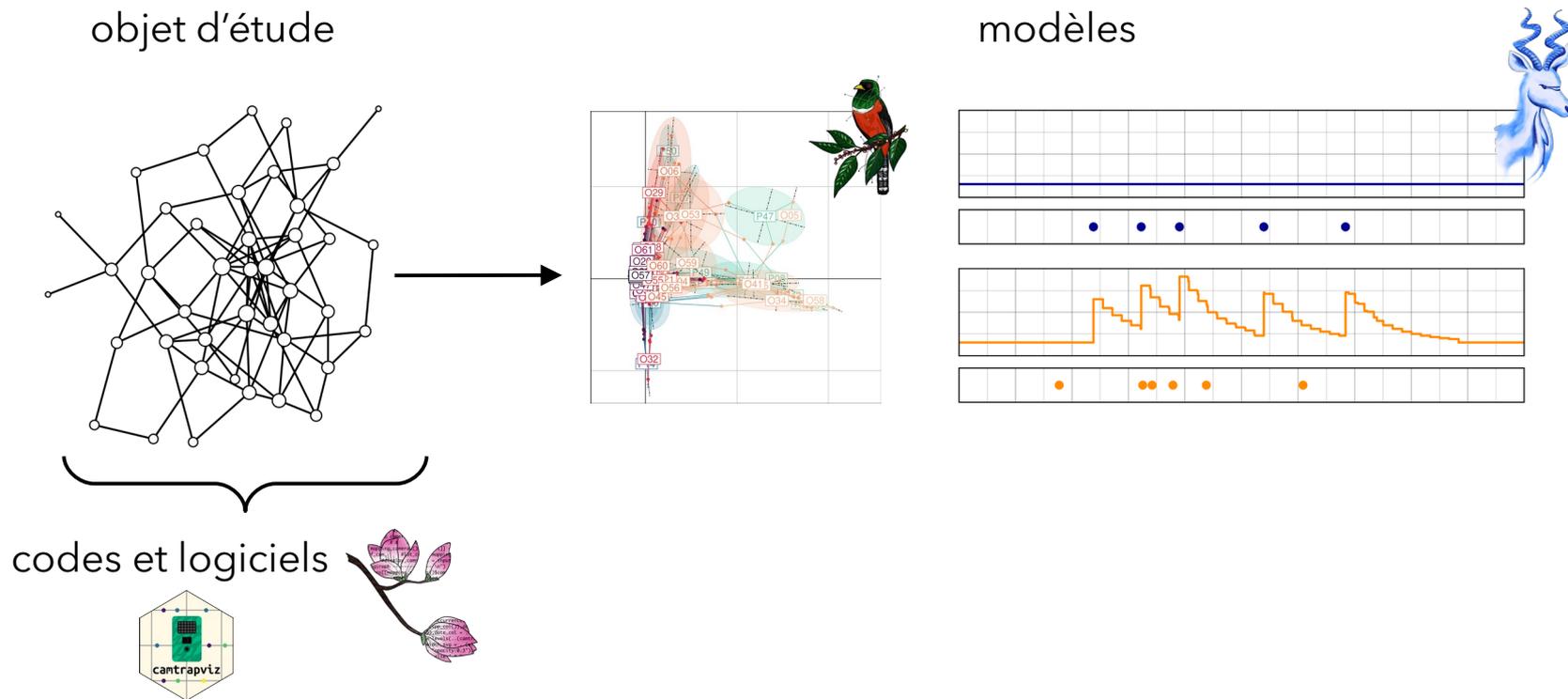
modèles



codes et logiciels



Une approche méthodologique de l'écologie des communautés



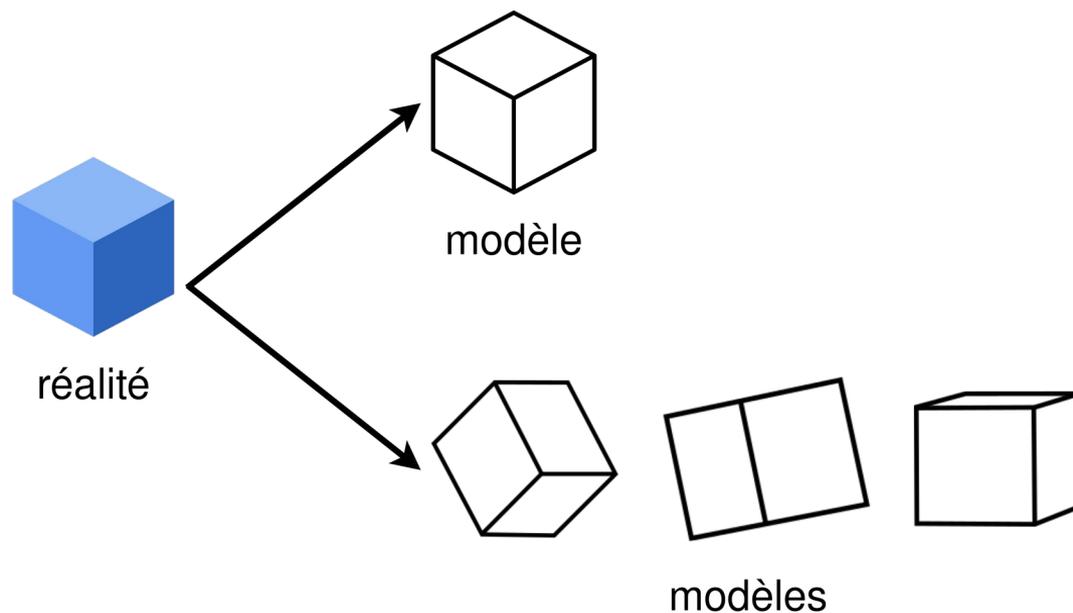
→ *Lawton (1999)* : « il est temps de passer à autre chose »

Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

Vision pragmatique des théories en écologie *Travassos-Britto et al. 2022*

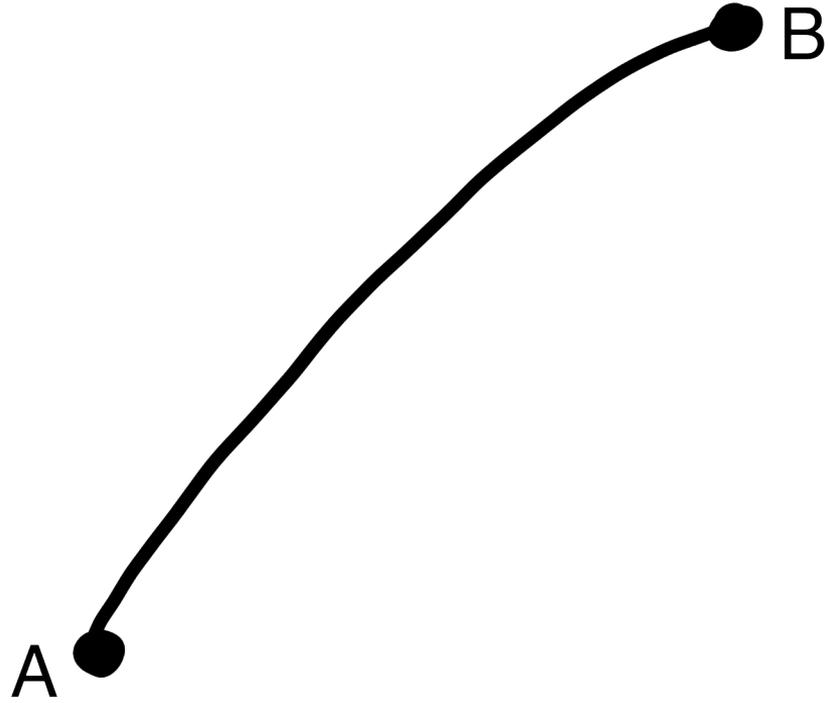
Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

Vision pragmatique des théories en écologie *Travassos-Britto et al. 2022*

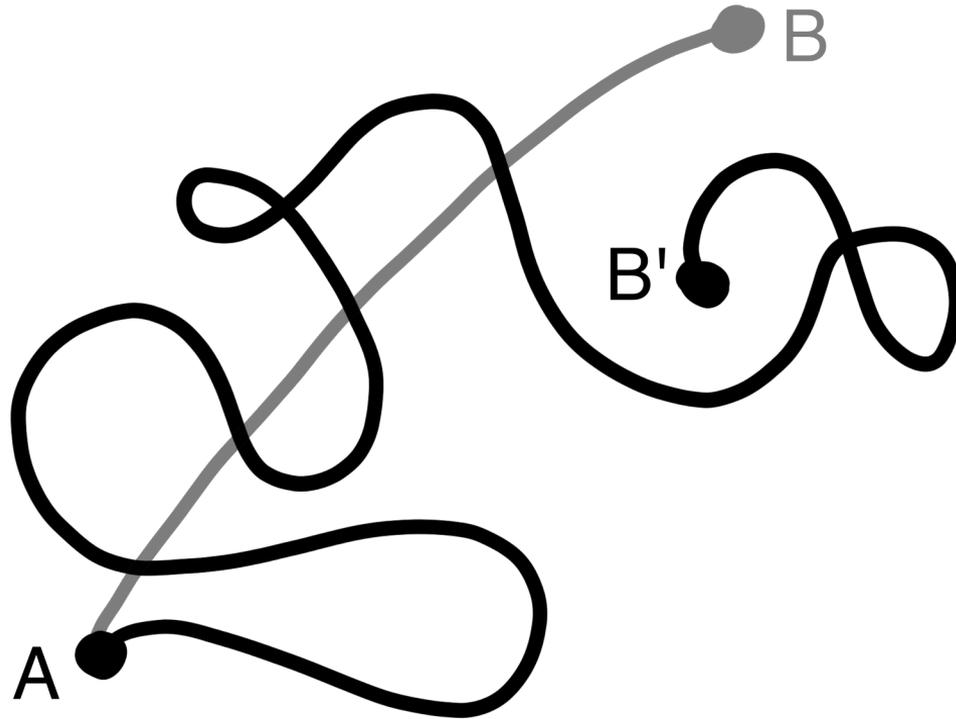


Pratiquer la recherche

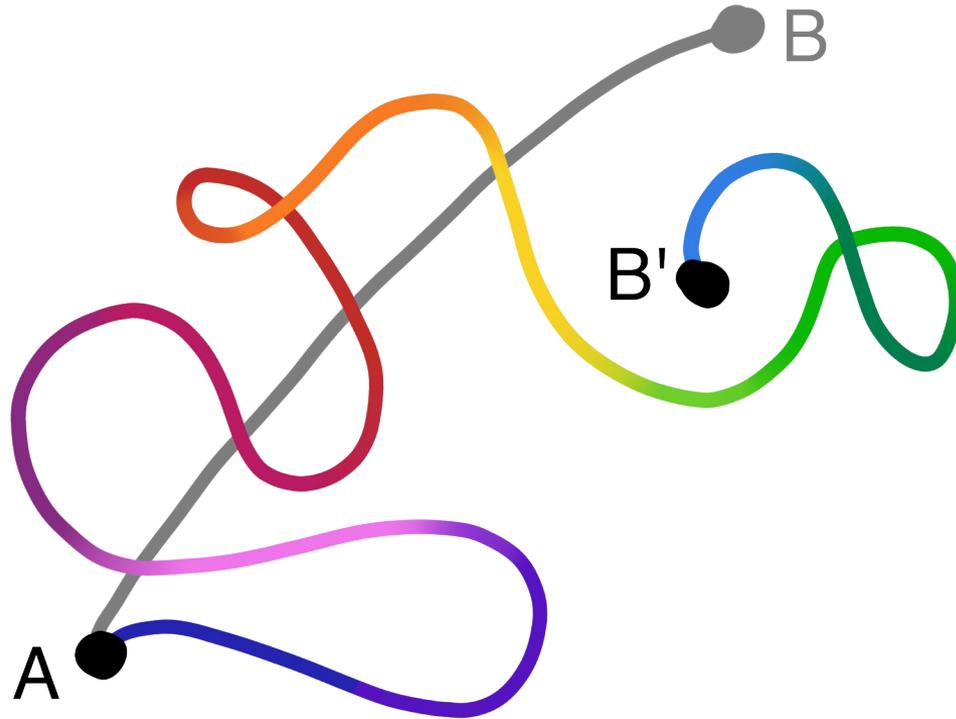
Pratiquer la recherche



Pratiquer la recherche



Pratiquer la recherche



Merci !

Directeurs

Stéphane



Hervé



Merci !

Directeurs

Stéphane



Hervé



Jury



Marie-Pierre
Etienne

Élisa Thébaud

Simon Chamaille

Anne-Béatrice
Dufour

Merci !

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Jury

Marie-Pierre
Etienne

Élisa Thébaud

Simon Chamaille

Anne-Béatrice
Dufour

Merci !

Comité

Jan Kenter

Mahendra Mariadassou

Sara Puijalon

Stéphane Robin

Vincent
Miele

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Jury

Marie-Pierre
Etienne

Élisa Thébaud

Simon Chamaille

Anne-Béatrice
Dufour

Comité

Jan Kenter

Mahendra Mariadassou

Sara Puijalon

Stéphane Robin

Vincent
Miele



ANR Econet

Merci !

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Comité

Jan Kenter
Mahendra Mariadassou
Sara Puijalon

Stéphane Robin
Vincent Miele

 **ANR Econet**

Jury

Marie-Pierre Etienne
Élisa Thébaudt
Simon Chamaille

Anne-Béatrice Dufour

Merci !

LBBE

Pôle admin 

Blandine 

Léa 

Rémi 

Marine 

Collègues

Emma 

Alice G. 

Émilie 

Rémi-Vinh 

Équipe 



Mary 

Alexia N.T. 

Pôle info

Aurélien, Adil,
Bruno, Stéphane

Barbara 

Marie M. 

Aïda 

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Comité

Jan Kenter
Mahendra Mariadassou
Sara Puijalon

Stéphane Robin
Vincent Miele

ANR Econet

Jury

Marie-Pierre Etienne
Élisa Thébaudt
Simon Chamaille

Anne-Béatrice Dufour

Merci !

LBBE

Pôle admin 

Blandine 

Léa 

Rémi 

Marine 

Collègues

Emma 

Alice G. 

Émilie 

Rémi-Vinh 

Alexcia N.T. 

REHABS

Alice B. 

PA

Virginie

Rob

Élie 

Markus 



Franck

Chloé

 Snapshot team

Sarah 

Lain 

Animation

Équipe 

Pôle info 

Aurélie, Adil, Bruno, Stéphane 

Barbara 

Marie M. 

Aïda 

Elizabeth 

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Jury

Marie-Pierre Etienne

Élisa Thébaud

Simon Chamaille

Anne-Béatrice DuFour

Comité

Jan Venter

Mahendra Mariadassou
Sara Puijalon

Stéphane Robin
Vincent Miele

LBBE

Animation

Pôle admin 

Équipe 

Collègues

Pôle info 

Aurélie, Adil, Bruno, Stéphane

Blandine 

Léa 

Emma 

Rémi 

Alice G. 

Mary 

Barbara 

Aïda 

Marine 

Émilie 

Alexcia N.T. 

Marie M. 

Rémi-Vinh 

Merci !



ANR Econet

Proches

Lucie 

Val 

Cyprien 

Ludivine 

Morgane 

Pierre 

Tiphaine 

Zélie 

Océane 

Flo 

Maman 

Guillaume 

Papa 

REHABS

Alice B. 

Alexcia L.F. 

Elizabeth 

PA

Élie 

Snapshot team 

Virginie

Markus 

Franck

Sarah 

Lain 

Rob

Chloé

Chloé

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Jury

Marie-Pierre Etienne
Élisa Thébaudt
Simon Chamaille

Anne-Béatrice DuFour

LBBE

Pôle admin 

Blandine 

Léa 

Rémi 

Marine 

Collègues

Emma 

Alice G. 

Émilie 

Rémi-Vinh 

Alexcia N.T. 

Mary 

Pôle info
Aurélien, Adil, Bruno, Stéphane



Barbara 

Aïda 

Marie M. 

Comité

Jan Venter
Mahendra Mariadassou
Sara Puijalon
Stéphane Robin
Vincent Miele

Merci !

Proches

Vous

REHABS

Lucie 

Val 

Cyprien 

Ludivine 

Morgane 

Pierre 

Zélie 

Océane 

Tiphaine 

Alice B. 

Alexcia L.F. 

Elizabeth 

Marion 

Maman 



Guillaume 

Flo 

Virginie

Rob

Markus 

Franck
Chloé

Snapshot team

Sarah 

Lain 

Références

- Albert, M., Bouret, Y., Chevallier, J., Fromont, M., Grammont, F., Laloe, T., Mascart, C., Reynaud-Bouret, P., Rouis, A., Scarella, G., & Tuleau-Malot, C. (2021). *UnitEvents: Unitary Events Method with Delayed Coincidence Count (MTGAUE or Permutation Method) and Bernstein Lasso method for Hawkes processes (0.0.8)* [Computer software]. https://sourcesup.renater.fr/frs/?group_id=3267
- Anderson, T. M., Hepler, S. A., Holdo, R. M., Donaldson, J. E., Erhardt, R. J., Hopcraft, J. G. C., Hutchinson, M. C., Huebner, S. E., Morrison, T. A., Muday, J., Munuo, I. N., Palmer, M. S., Pansu, J., Pringle, R. M., Sketch, R., & Packer, C. (2024). Interplay of competition and facilitation in grazing succession by migrant Serengeti herbivores. *Science*, *383*(6684), 782–788. <https://doi.org/10.1126/science.adg0744>
- Beaudrot, L., Palmer, M. S., Anderson, T. M., & Packer, C. (2020). Mixed-species groups of Serengeti grazers: A test of the stress gradient hypothesis. *Ecology*, *101*(11), e03163. <https://doi.org/10.1002/ecy.3163>
- Bell, R. H. (1971). A grazing ecosystem in the Serengeti. *Scientific American*, *225*(1), 86–93.
- Dehling, D. M., Bender, I. M. A., Blendinger, P. G., Muñoz, M. C., Quitián, M., Saavedra, F., Santillán, V., Böhning-Gaese, K., Neuschulz, E.-L., & Schleuning, M. (2021). *ANDEAN frugivory: Data on plant–bird interactions and functional traits of plant and bird species from montane forests along the Andes (Version 2)* [dataset]. Dryad. <https://doi.org/10.5061/DRYAD.WM37PVMN5>
- Elton, C. (1927). The animal community. In *Animal Ecology*. Sidgwick and Jackson.
- Hawkes, A. G. (1971). Spectra of some self-exciting and mutually exciting point processes. *Biometrika*, *58*(1), 83–90. <https://doi.org/10.1093/biomet/58.1.83>
- Hill, M. O. (1974). Correspondence Analysis: A Neglected Multivariate Method. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, *23*(3), 340–354. <https://doi.org/10.2307/2347127>
- Hirschfeld, H. O. (1935). A Connection between Correlation and Contingency. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, *31*(4), 520–524. <https://doi.org/10.1017/S0305004100013517>
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, *22*(0), 415–427. <https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>
- Ito, F., & Higashi, S. (1991). An Indirect Mutualism between Oaks and Wood Ants Via Aphids. *Journal of Animal Ecology*, *60*(2), 463–470. <https://doi.org/10.2307/5291>
- Lambert, R. C., Tuleau-Malot, C., Bessaih, T., Rivoirard, V., Bouret, Y., Leresche, N., & Reynaud-Bouret, P. (2018). Reconstructing the functional connectivity of multiple spike trains using Hawkes models. *Journal of Neuroscience Methods*, *297*, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2017.12.026>

Références

- Lawton, J. H. (1999). Are There General Laws in Ecology? *Oikos*, 84(2), 177–192. <https://doi.org/10.2307/3546712>
- Lever, J. J., Van Nes, E. H., Scheffer, M., & Bascompte, J. (2023). Five fundamental ways in which complex food webs may spiral out of control. *Ecology Letters*, 26(10), 1765–1779. <https://doi.org/10.1111/ele.14293>
- MacFadyen, S., Allsopp, N., Altwegg, R., Archibald, S., Botha, J., Bradshaw, K., Carruthers, J., De Klerk, H., de Vos, A., Distiller, G., Foord, S., Freitag-Ronaldson, S., Gibbs, R., Hamer, M., Landi, P., MacFadyen, D., Manuel, J., Midgley, G., Moncrieff, G., ... Hui, C. (2022). Drowning in data, thirsty for information and starved for understanding: A biodiversity information hub for cooperative environmental monitoring in South Africa. *Biological Conservation*, 274, 109736. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109736>
- Morales-Castilla, I., Matias, M. G., Gravel, D., & Araújo, M. B. (2015). Inferring biotic interactions from proxies. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(6), 347–356. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.03.014>
- Nicvert, L., Donnet, S., Keith, M., Peel, M., Somers, M. J., Swanepoel, L. H., Venter, J., Fritz, H., & Dray, S. (2024). Using the multivariate Hawkes process to study interactions between multiple species from camera trap data. *Ecology*, 105(4), e4237. <https://doi.org/10.1002/ecy.4237>
- Pardo, L. E., Bombaci, S. P., Huebner, S., Somers, M. J., Fritz, H., Downs, C., Guthmann, A., Hetem, R. S., Keith, M., le Roux, A., Mqatsa, N., Packer, C., Palmer, M. S., Parker, D. M., Peel, M., Slotow, R., Strauss, W. M., Swanepoel, L., Tambling, C., ... Venter, J. A. (2021). Snapshot Safari: A large-scale collaborative to monitor Africa's remarkable biodiversity. *South African Journal of Science*, 117(1/2), 1–4. <https://doi.org/10.17159/sajs.2021/8134>
- ter Braak, C. J. F., & Prentice, I. C. (2004). A Theory of Gradient Analysis. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 34, pp. 235–282). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(03\)34003-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(03)34003-6)
- ter Braak, C. J. F., & Verdonschot, P. F. M. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*, 57(3), 255–289. <https://doi.org/10.1007/BF00877430>
- Thioulouse, J., & Chessel, D. (1992). A Method for Reciprocal Scaling of Species Tolerance and Sample Diversity. *Ecology*, 73(2), 670–680. <https://doi.org/10.2307/1940773>
- Travassos-Britto, B., Pardini, R., El-Hani, C. N., & Prado, P. I. (2021). Towards a pragmatic view of theories in ecology. *Oikos*, 130(6), 821–830. <https://doi.org/10.1111/oik.07314>
- Valeix, M., Loveridge, A. J., Chamaillé-Jammes, S., Davidson, Z., Murindagomo, F., Fritz, H., & Macdonald, D. W. (2009). Behavioral adjustments of African herbivores to predation risk by lions: Spatiotemporal variations influence habitat use. *Ecology*, 90(1), 23–30. <https://doi.org/10.1890/08-0606.1>