

Soutenance de thèse

8 juillet 2024

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 Chamaillé
Anne-Béatrice Dufour
Stéphane Dray
Hervé Fritz

Rapportrice
Rapportrice
Examinateur
Examinatrice
Directeur de thèse
Co-directeur de thèse

© Dessins par Lisa Nicvert



Introduction



Écologie



Écologie

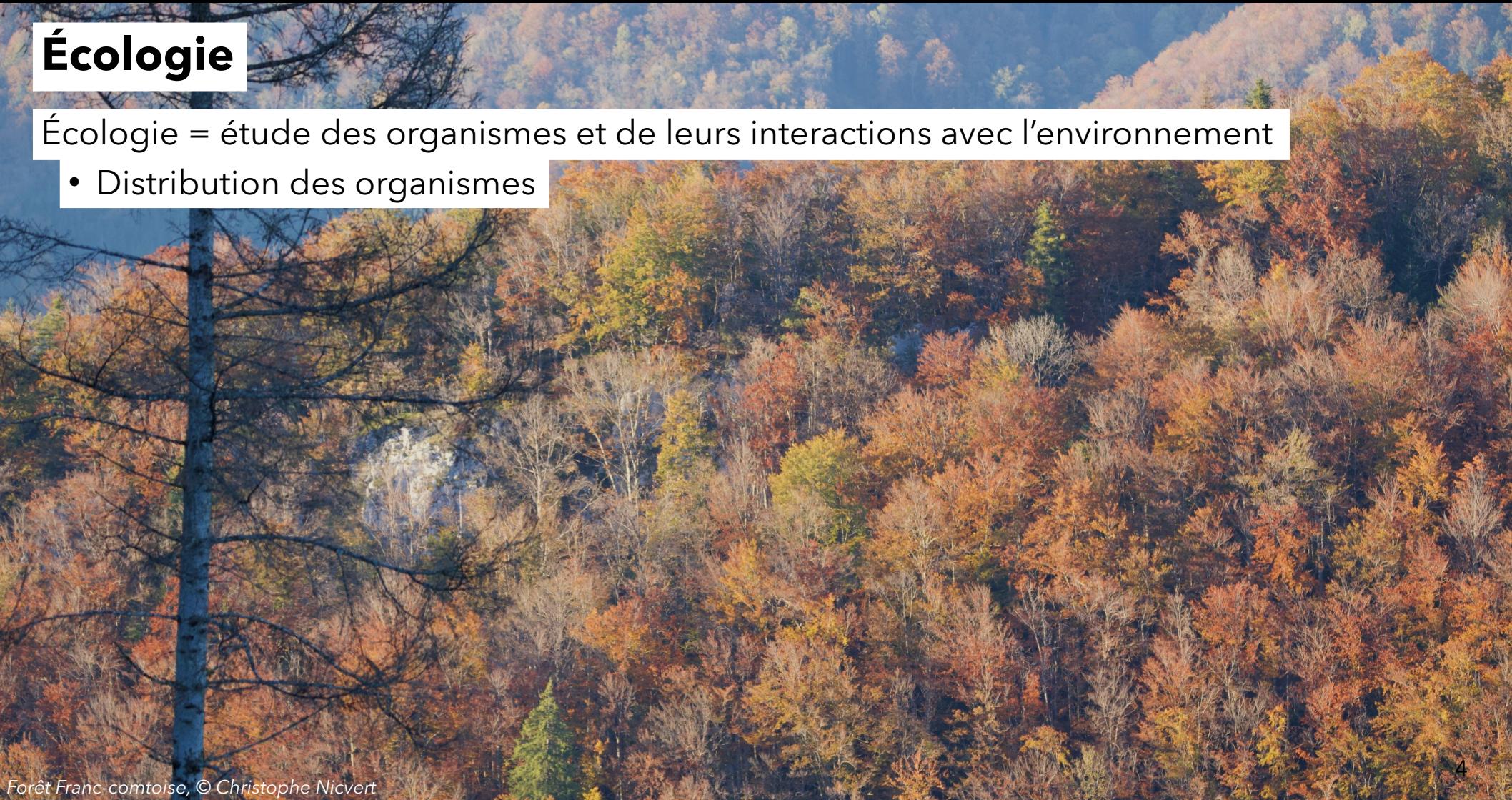
Écologie = étude des organismes et de leurs interactions avec l'environnement



Écologie

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

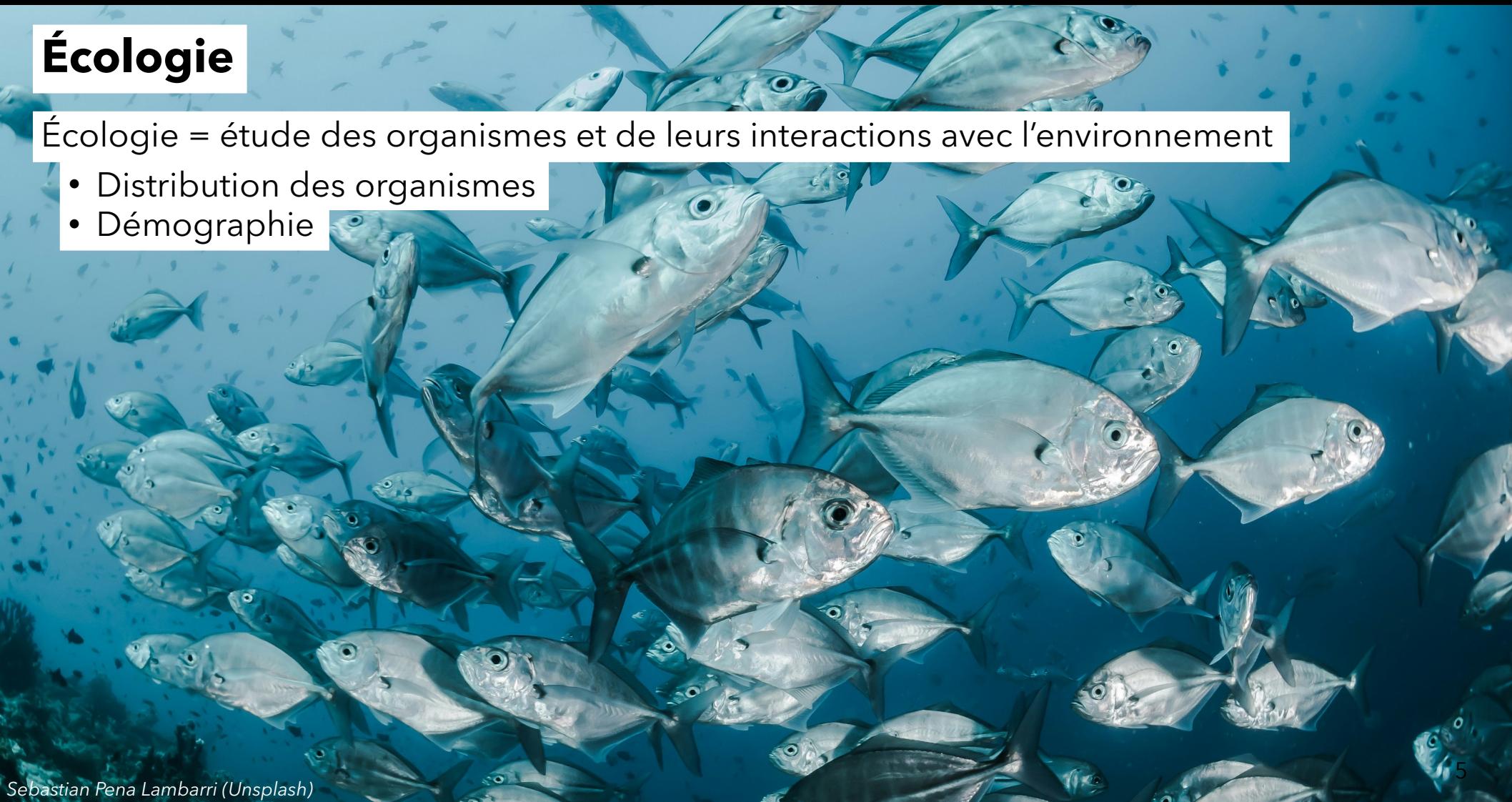
- Distribution des organismes



Écologie

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

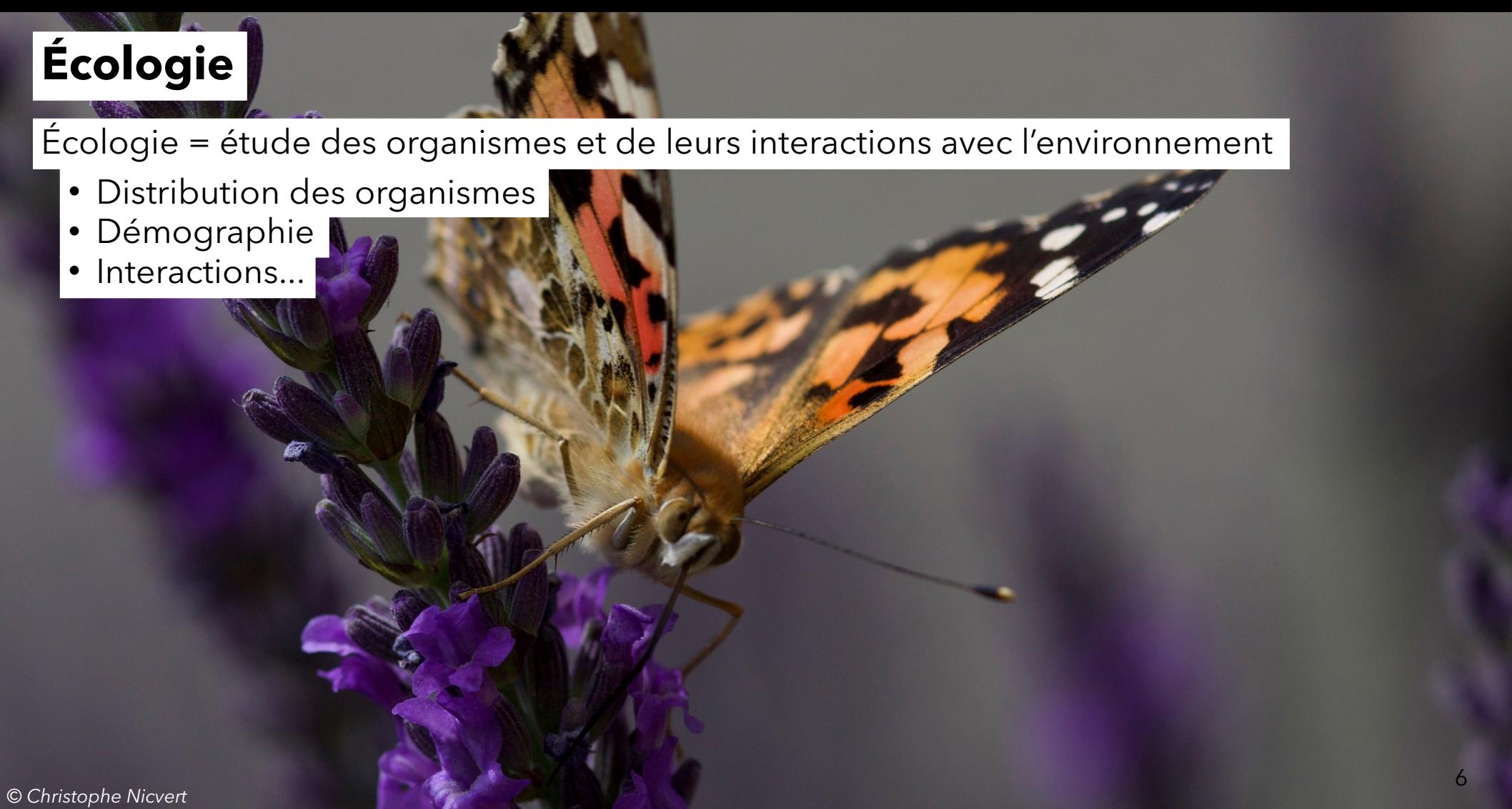
- Distribution des organismes
- Démographie



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



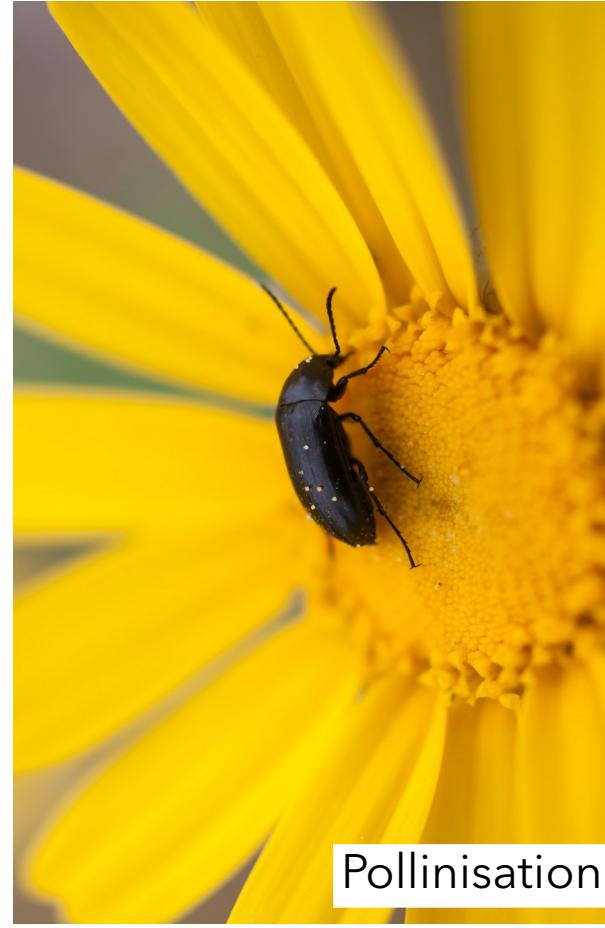
Prédation

Juli Kosolapova (Unsplash)

Interactions interspécifiques = effet d'une espèce sur une autre



Prédation



Pollinisation

Juli Kosolapova (Unsplash)

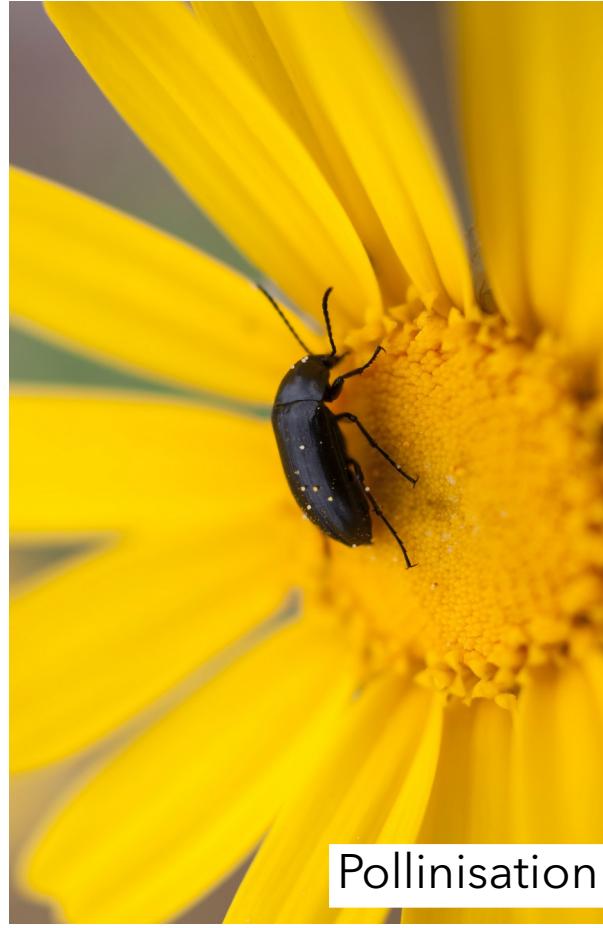
George Liapis (Unsplash)

Interactions interspécifiques = effet d'une espèce sur une autre



Prédation

Juli Kosolapova (Unsplash)



Pollinisation

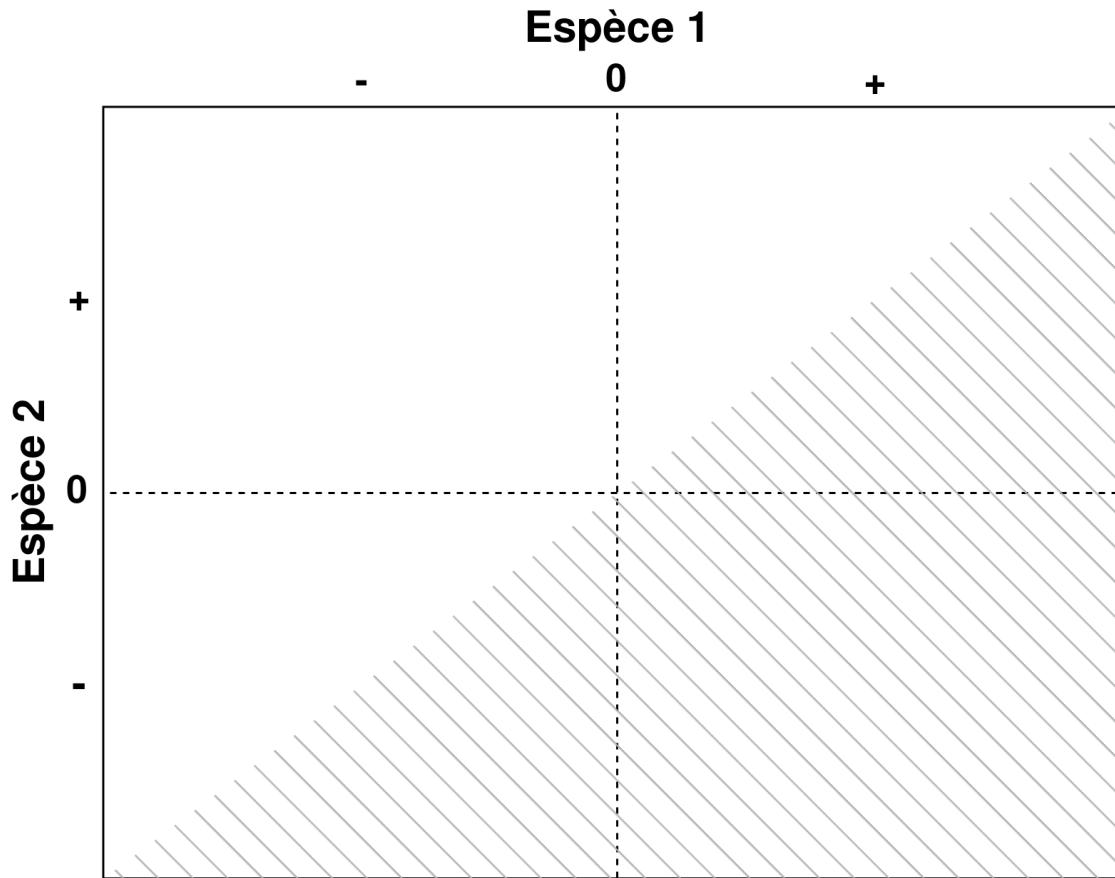
George Liapis (Unsplash)



Compétition

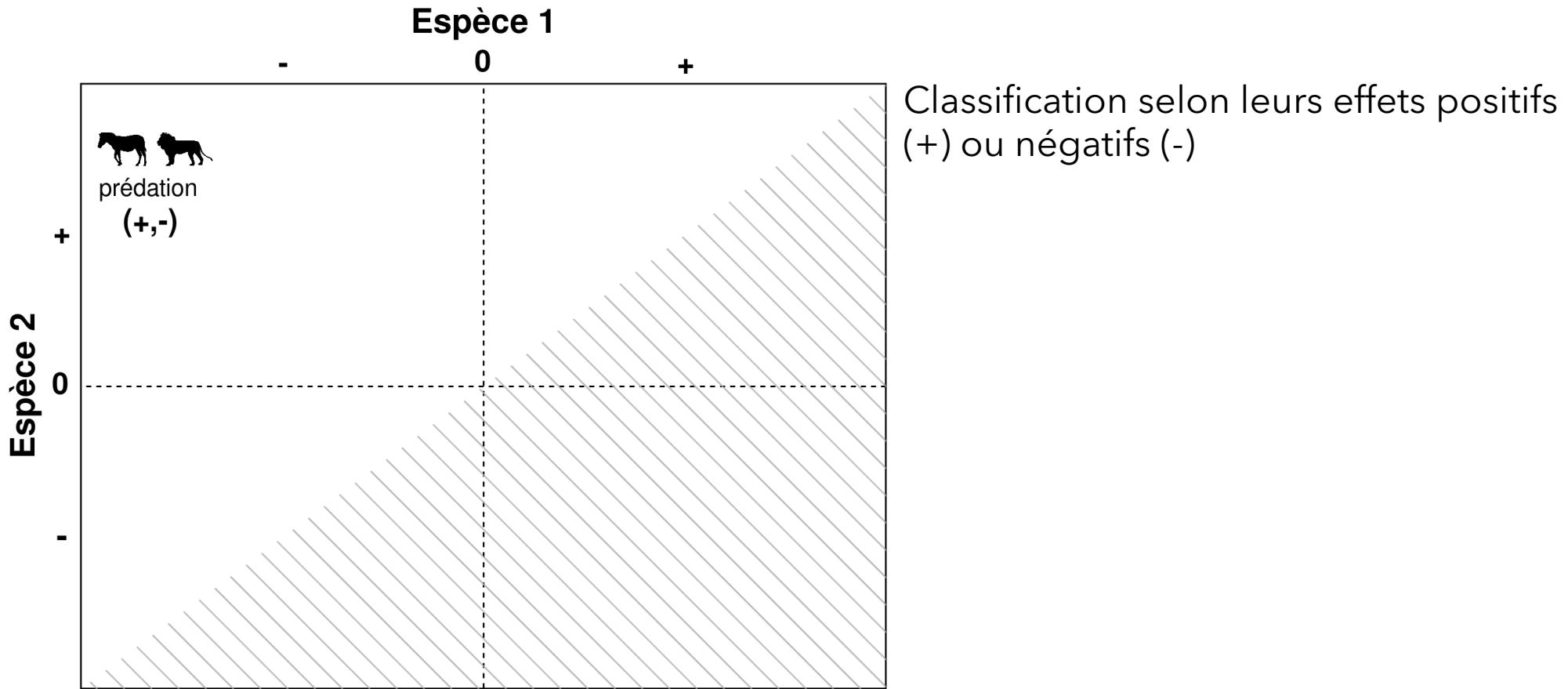
Mark Timberlake (Unsplash) 8

Interactions interspécifiques

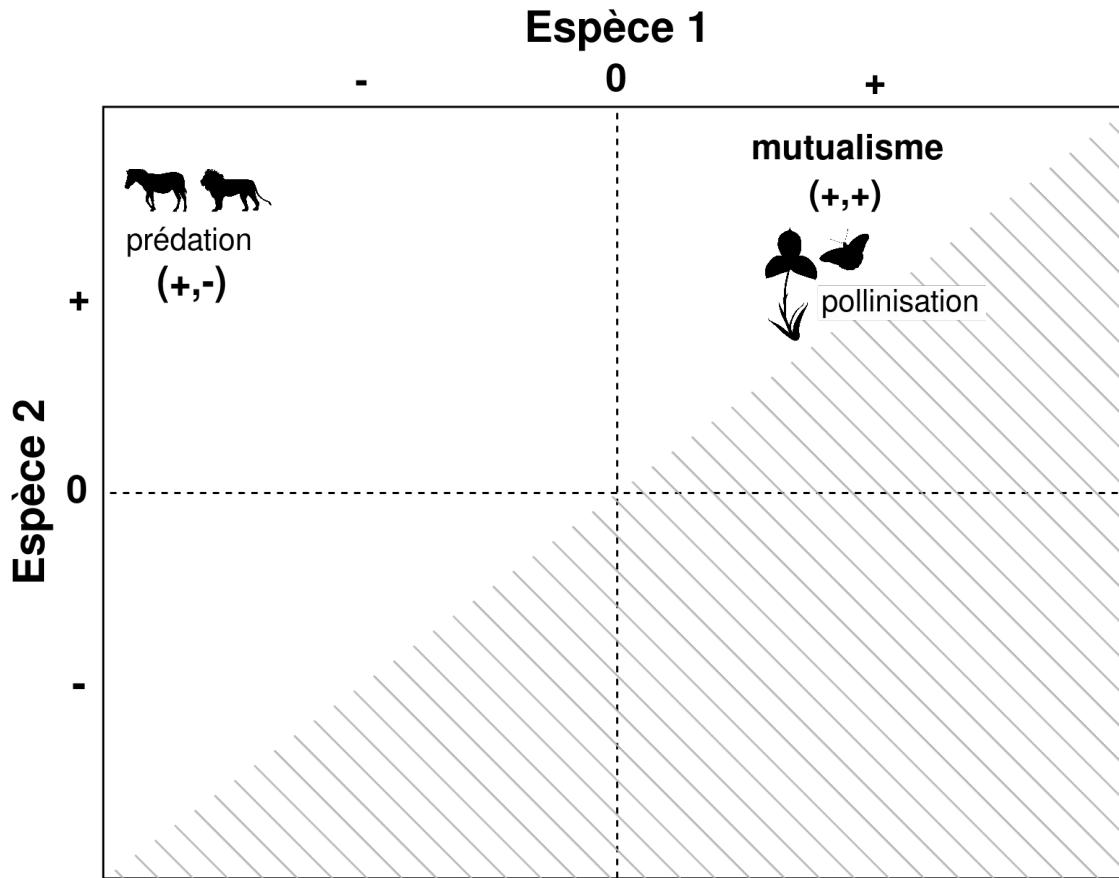


Classification selon leurs effets positifs (+) ou négatifs (-)

Interactions interspécifiques

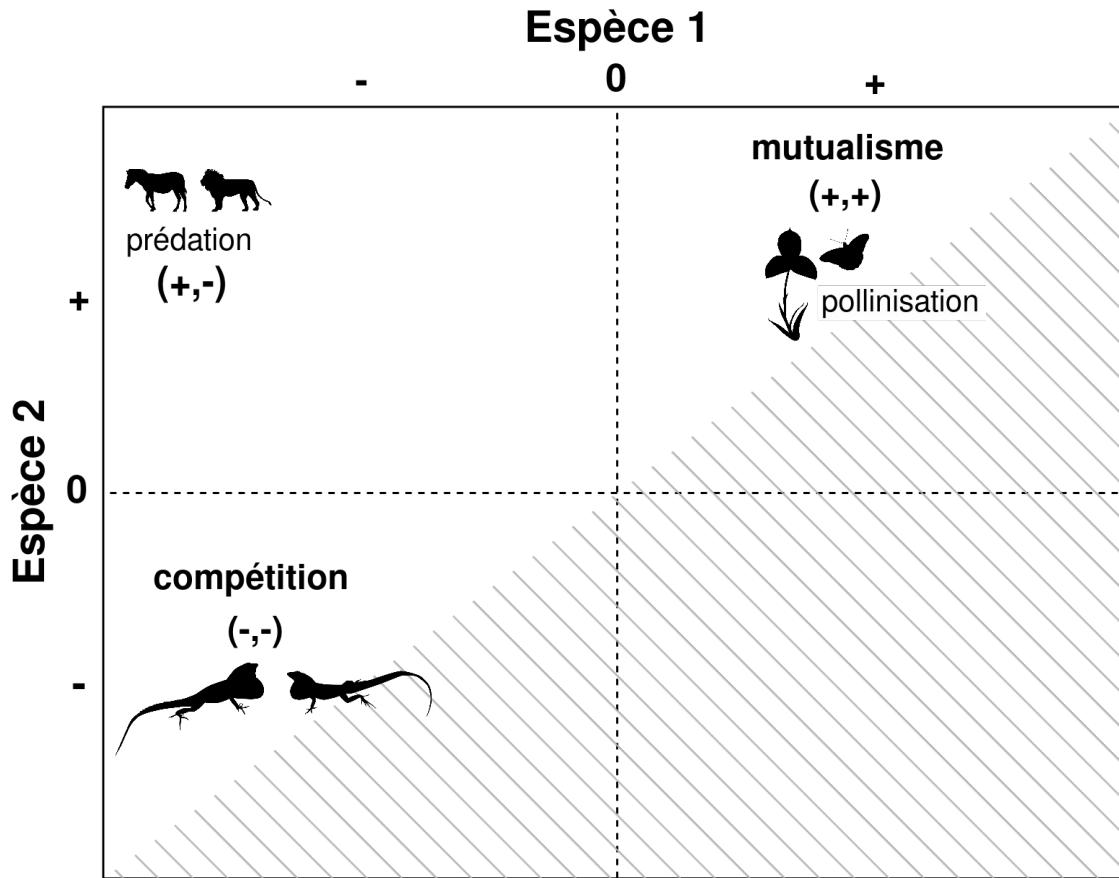


Interactions interspécifiques



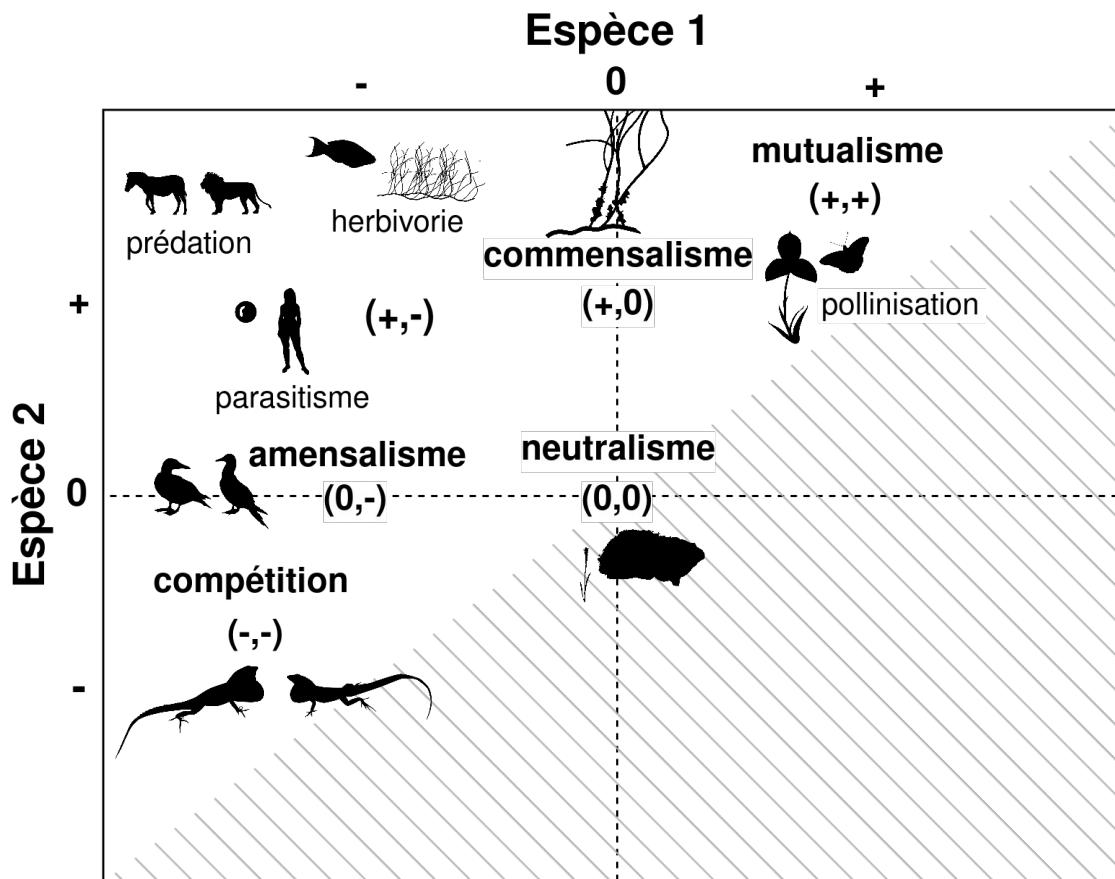
Classification selon leurs effets positifs (+) ou négatifs (-)

Interactions interspécifiques



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

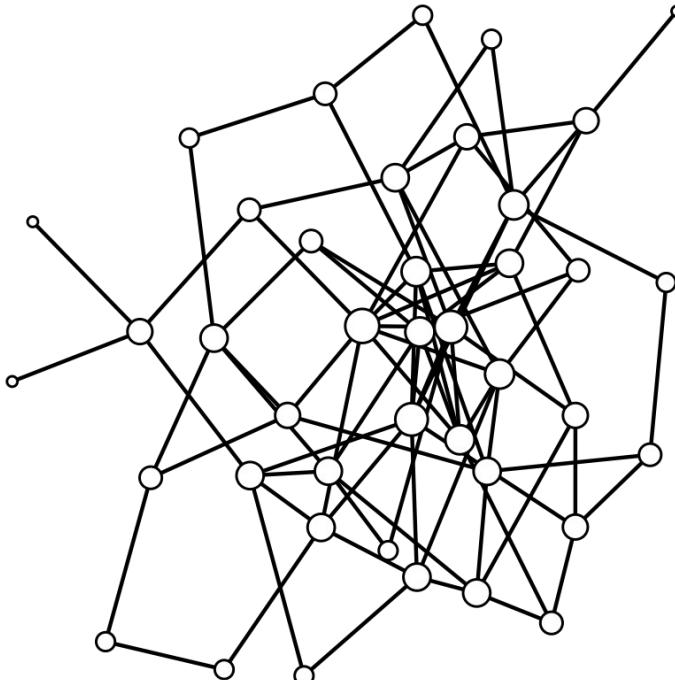
Interactions interspécifiques



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

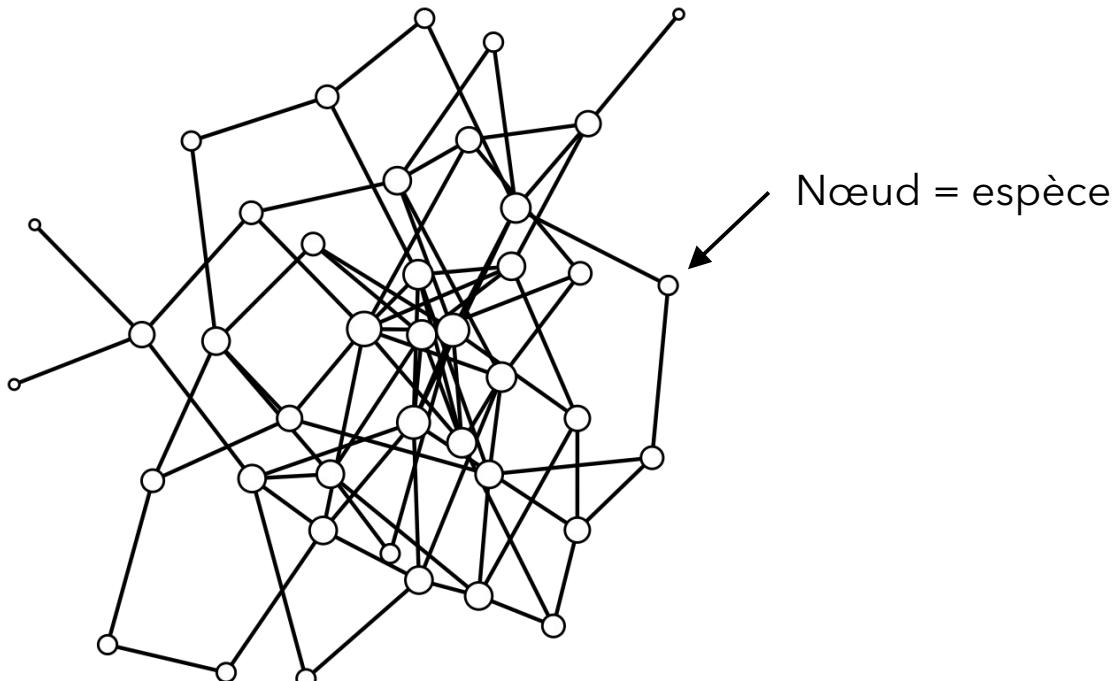
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



Réseaux d'interactions

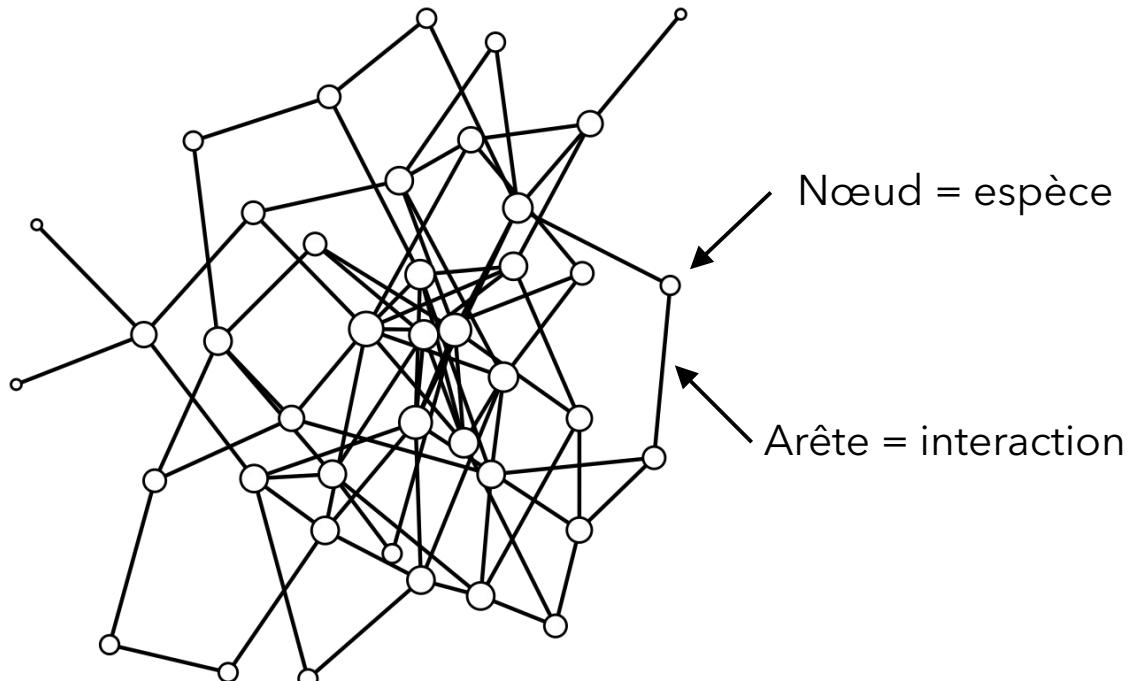
Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



Nœud = espèce

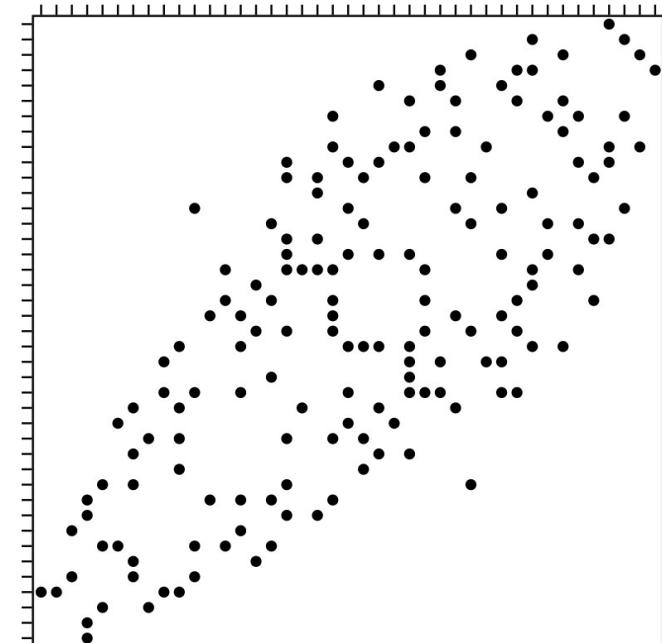
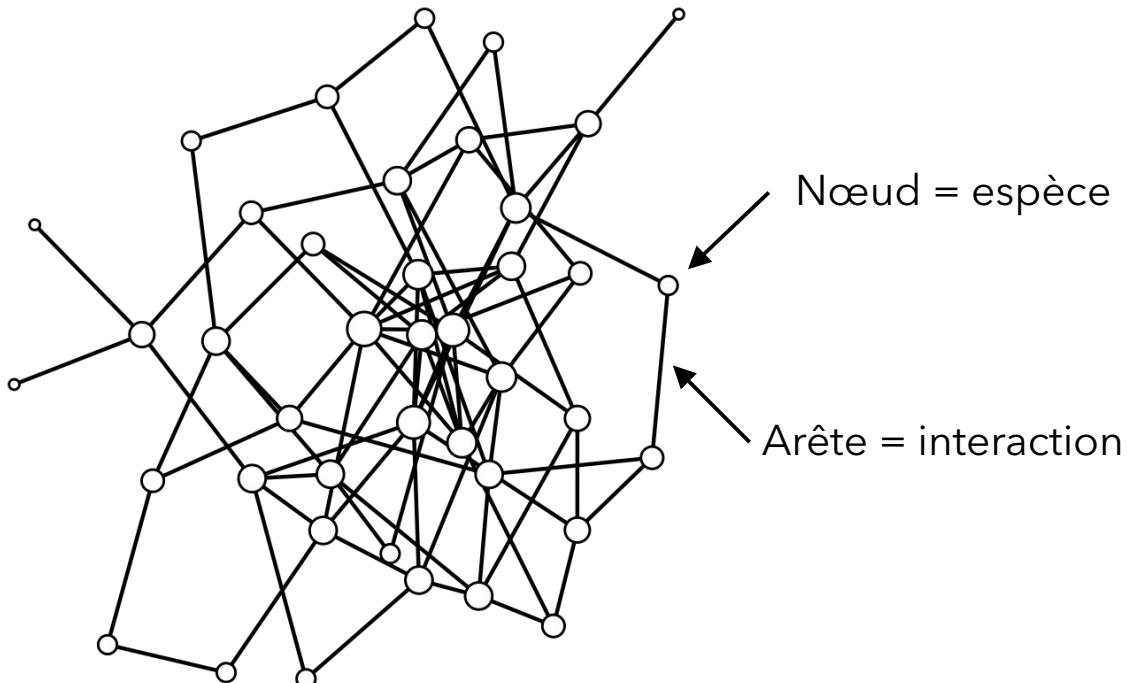
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



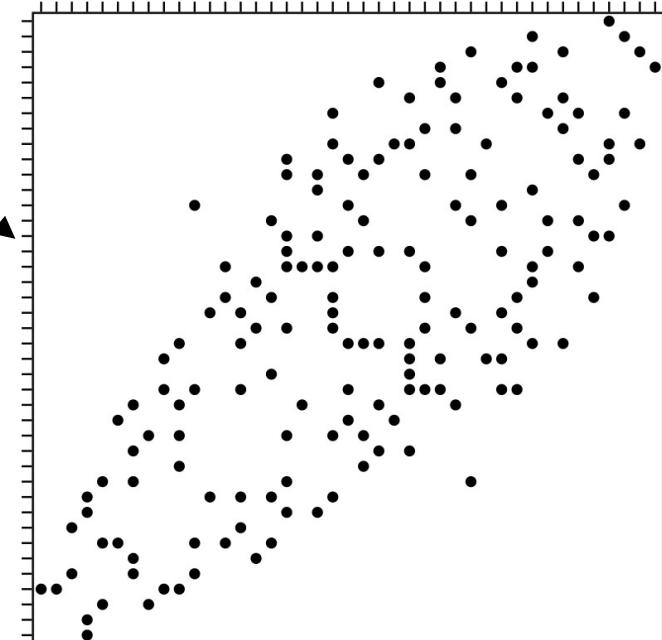
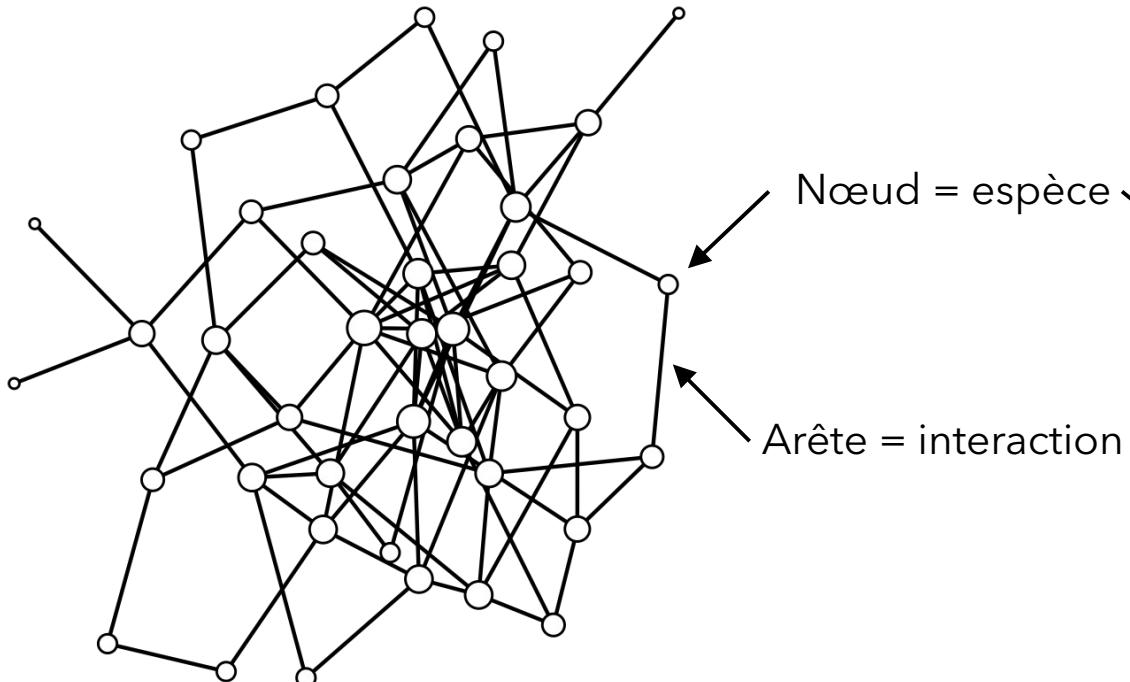
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



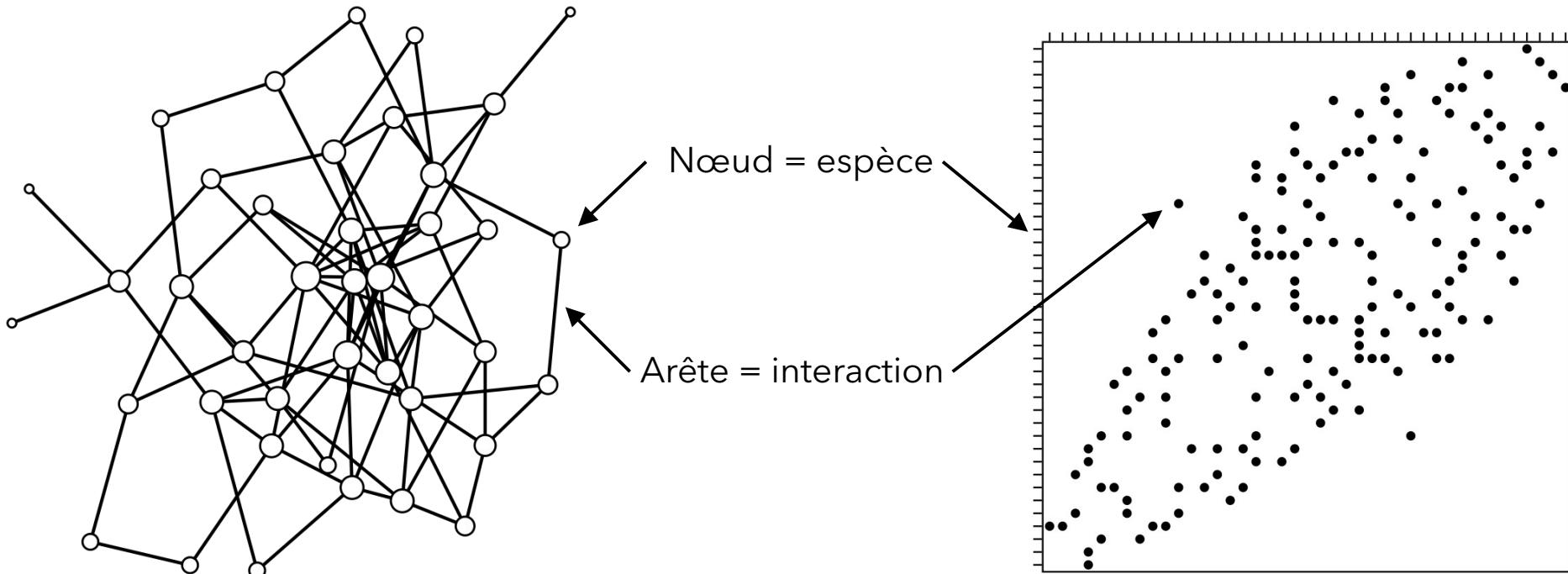
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



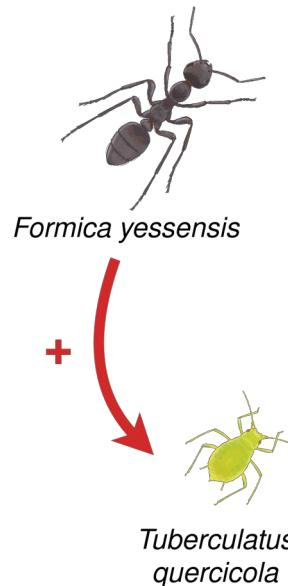
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**



Réseaux d'interactions

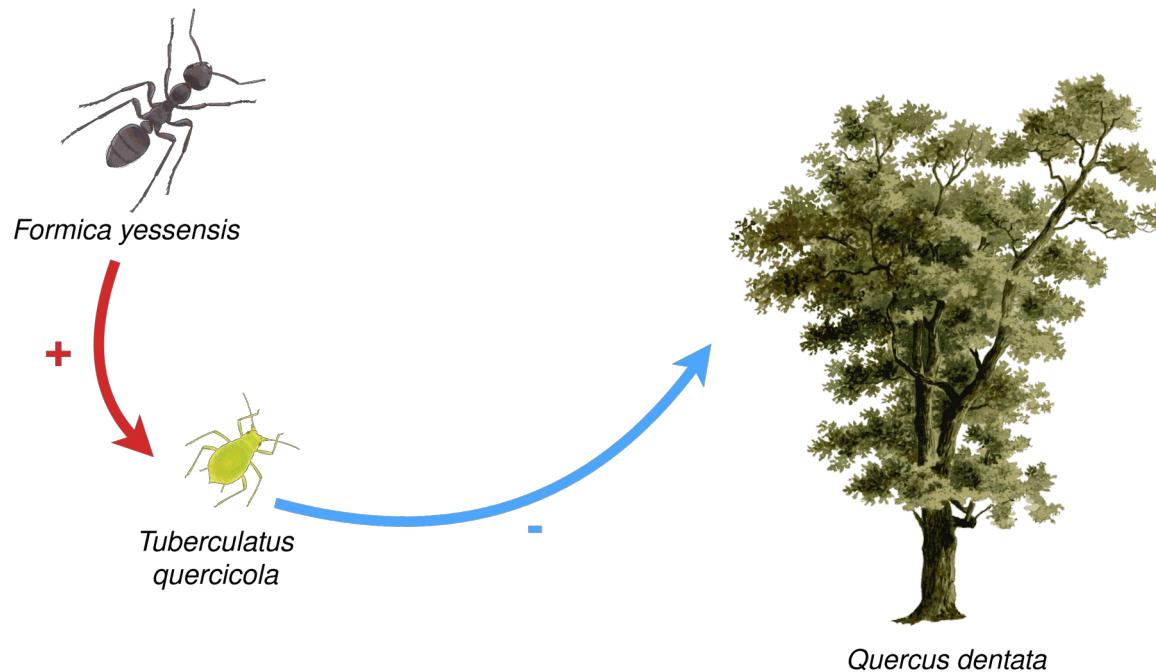
Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau** *Ito & Higashi 1991*



Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**

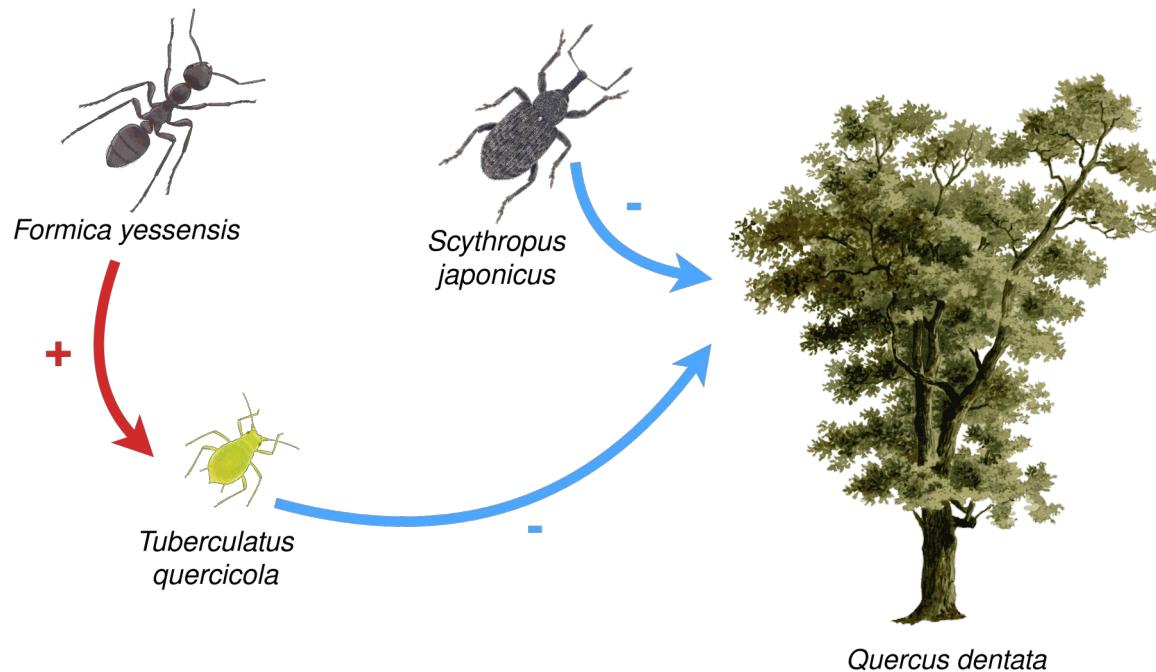
Ito & Higashi 1991



Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**

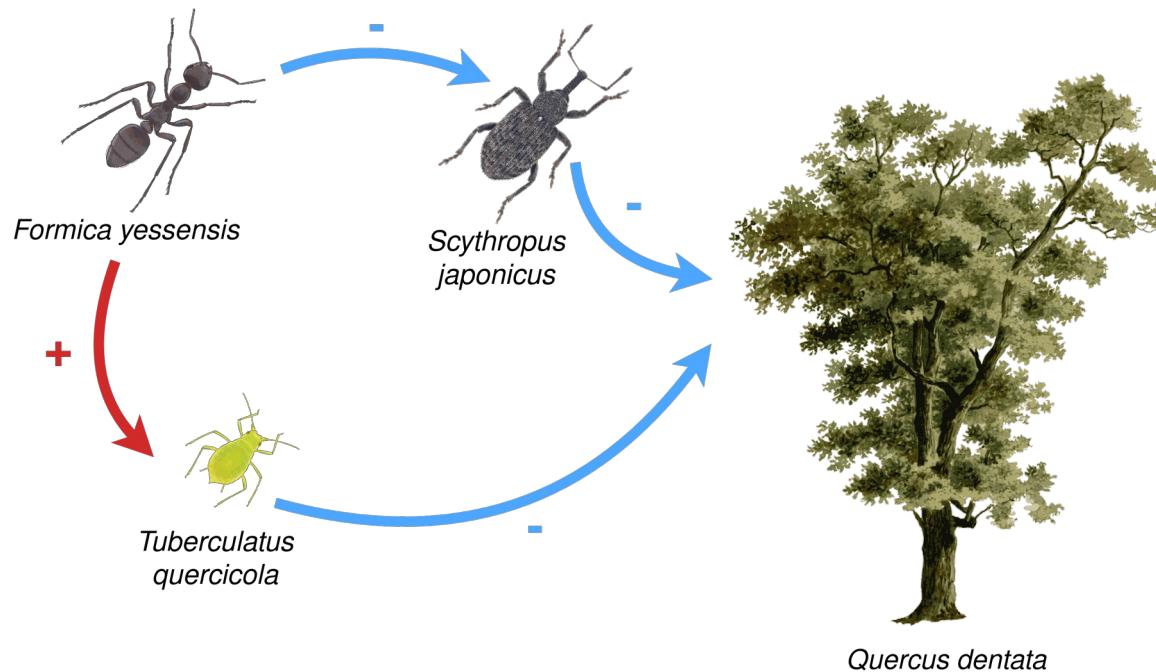
Ito & Higashi 1991



Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**

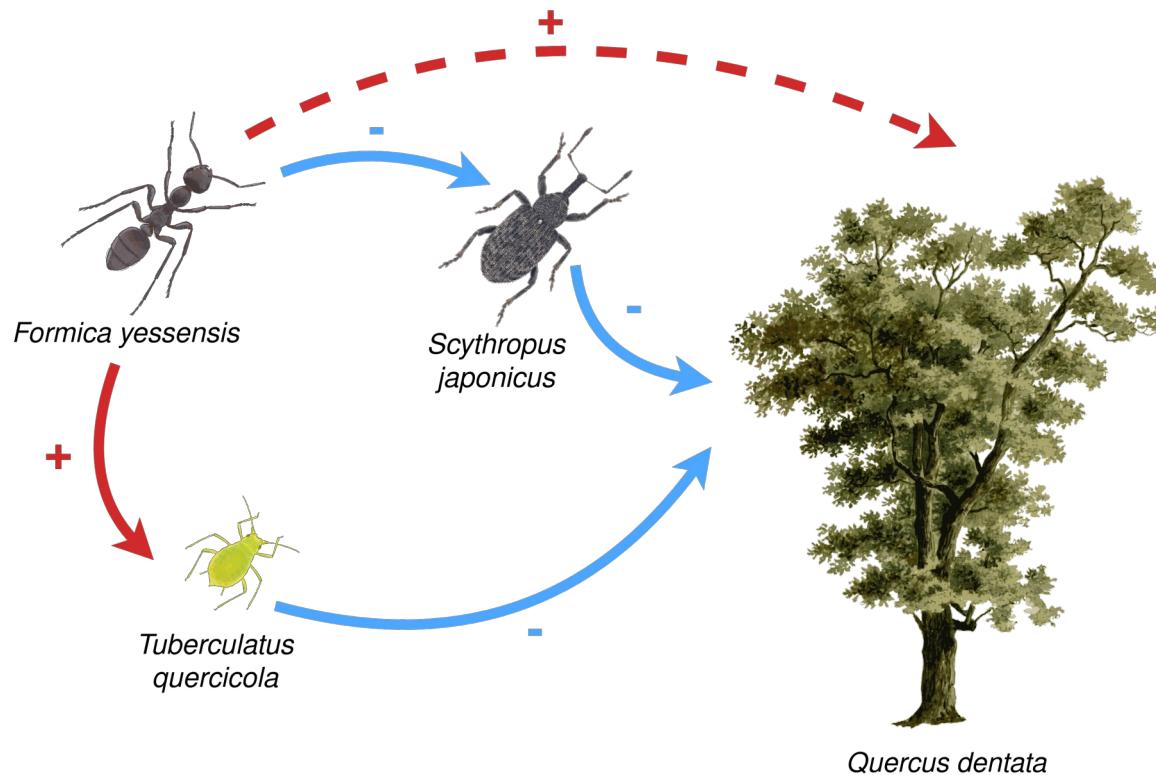
Ito & Higashi 1991



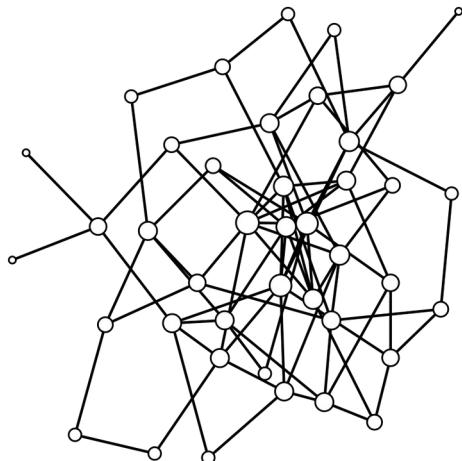
Réseaux d'interactions

Plusieurs interactions coexistent dans un **réseau**

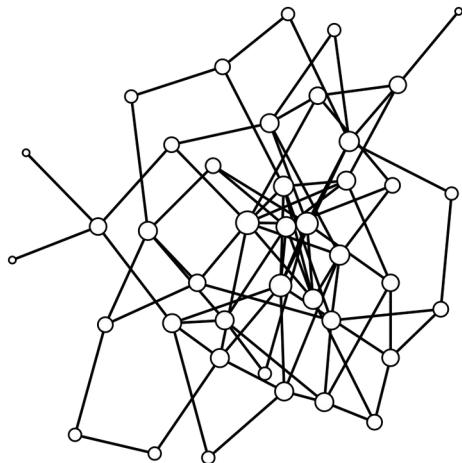
Ito & Higashi 1991



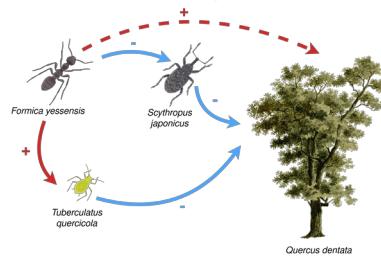
Réseaux d'interactions : questions et enjeux



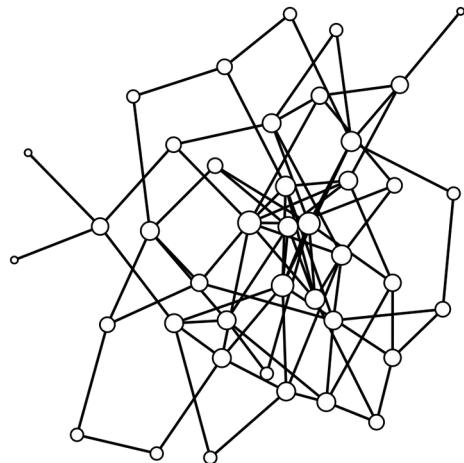
Réseaux d'interactions : questions et enjeux



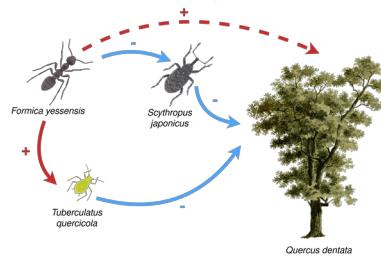
Effets indirects



Réseaux d'interactions : questions et enjeux



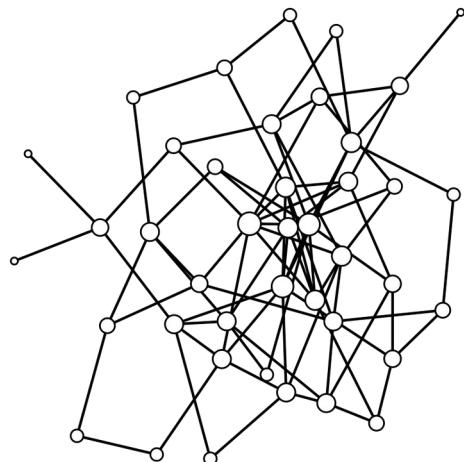
Effets indirects



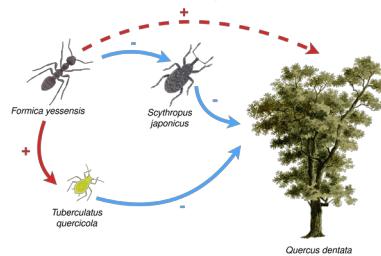
Espèces spécialistes ou généralistes



Réseaux d'interactions : questions et enjeux



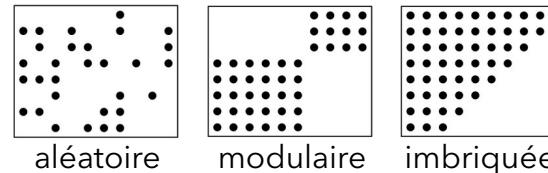
Effets indirects



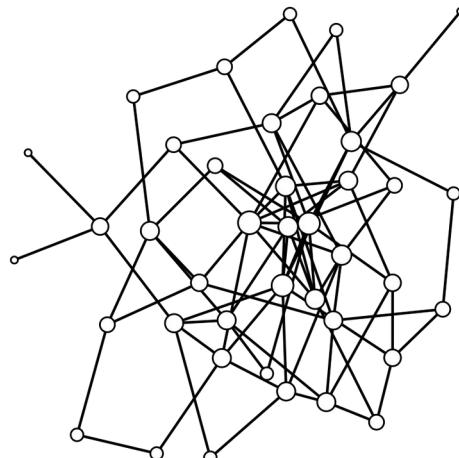
Espèces spécialistes ou généralistes



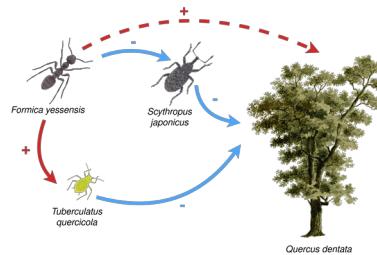
Structure du réseau



Réseaux d'interactions : questions et enjeux



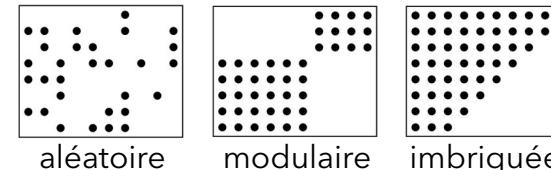
Effets indirects



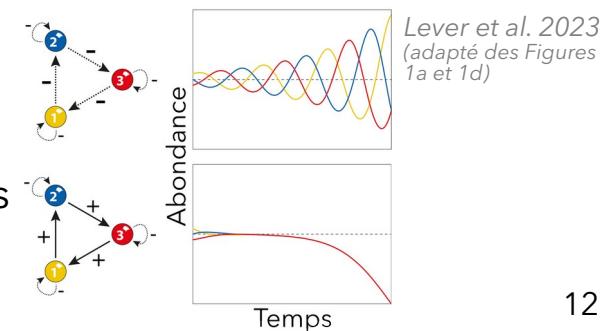
Espèces spécialistes ou généralistes



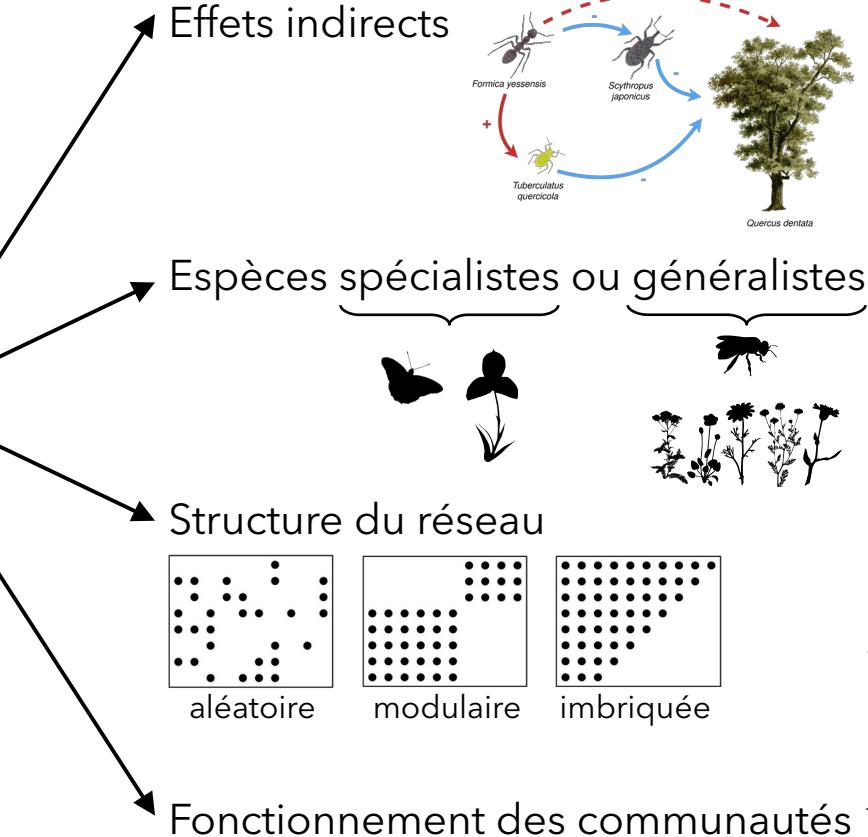
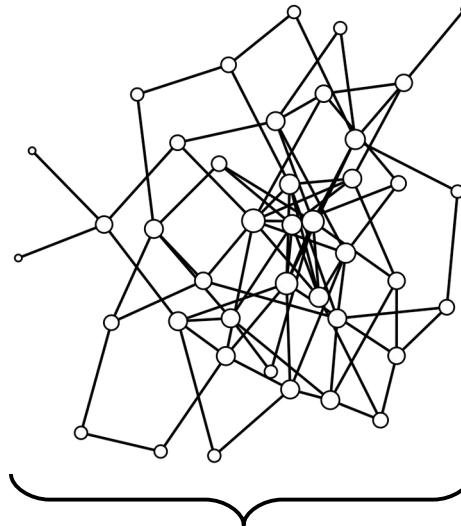
Structure du réseau



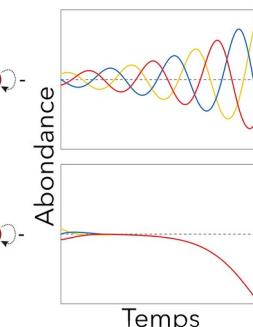
Fonctionnement des communautés



Réseaux d'interactions : questions et enjeux



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 ?

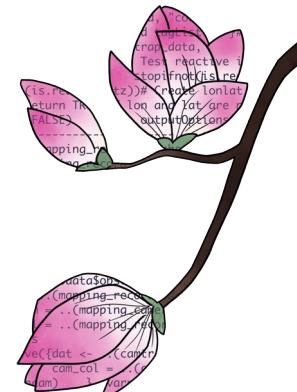
Plan de la présentation



1. Quels facteurs déterminent les interactions ?

2. Quelles sont les conséquences des interactions ?

3. Comment manipuler des données complexes ?



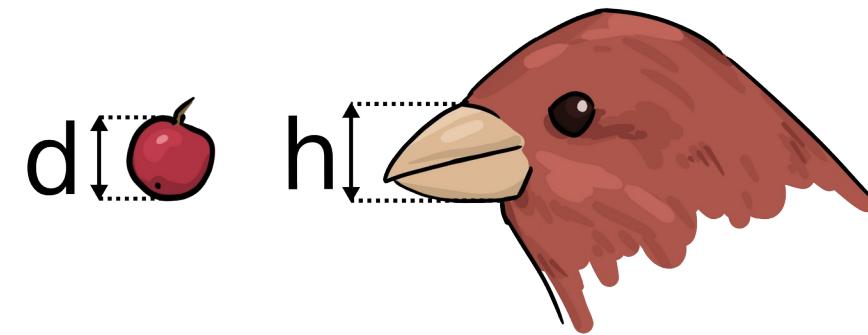


1. Quels facteurs déterminent les interactions ?

Pourquoi certaines espèces interagissent ?

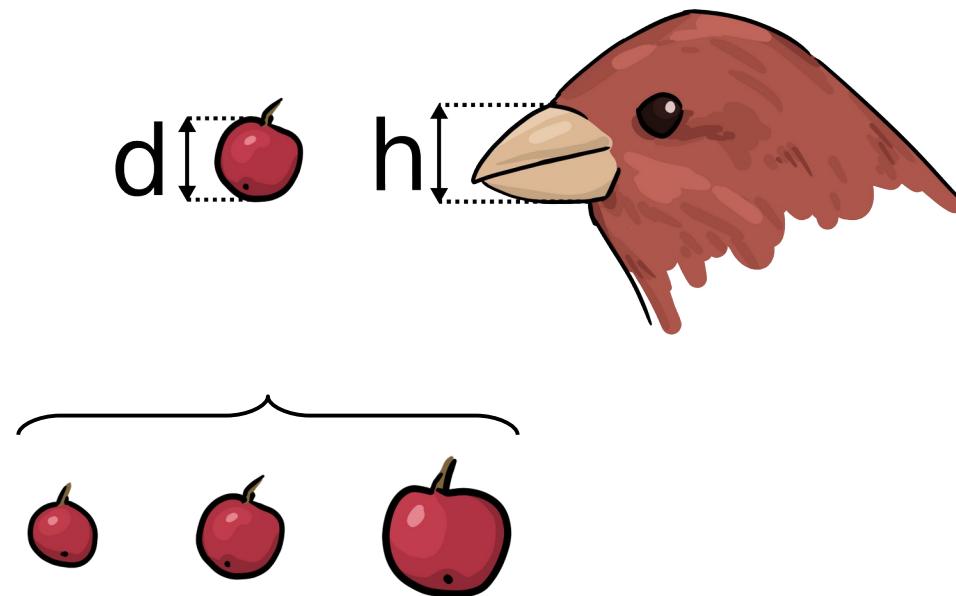
Pourquoi certaines espèces interagissent ?

Concordance des traits = complémentarité des traits qui favorise les interactions



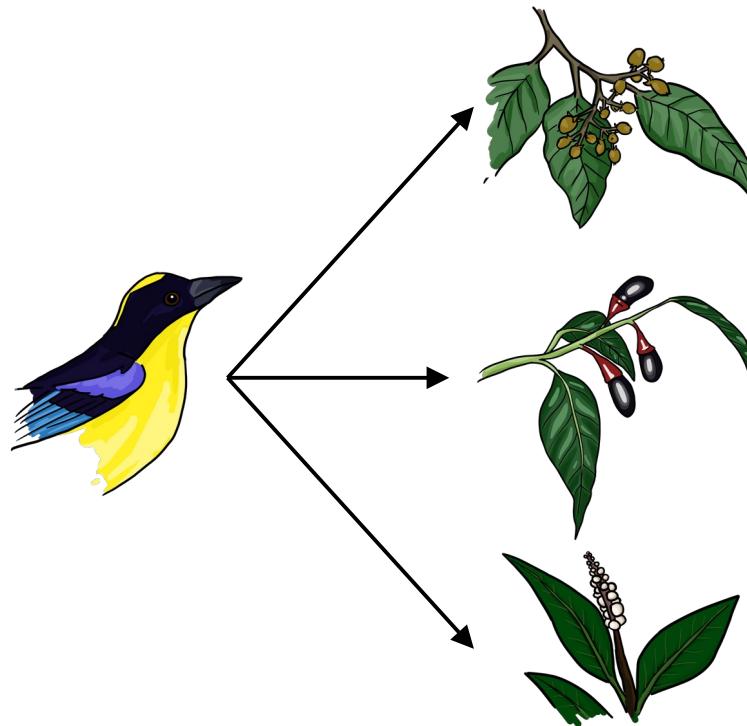
Pourquoi certaines espèces interagissent ?

Concordance des traits = complémentarité des traits qui favorise les interactions

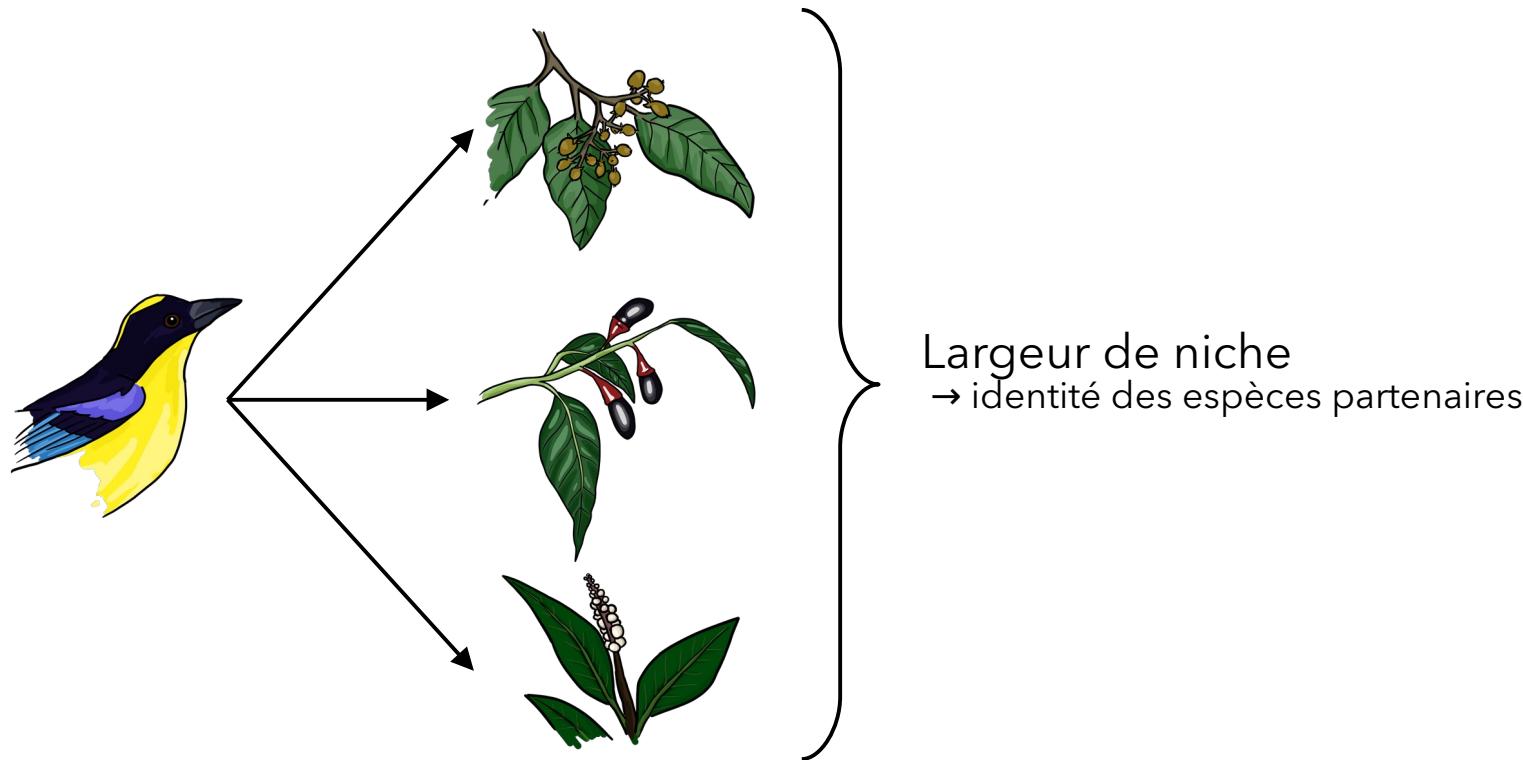


Niche d'interaction = ensemble des partenaires d'interaction d'une espèce *Elton 1927*

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*

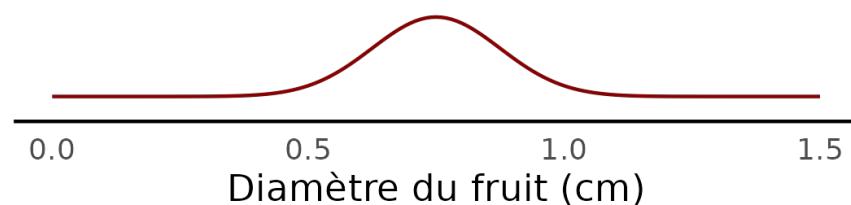


Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits

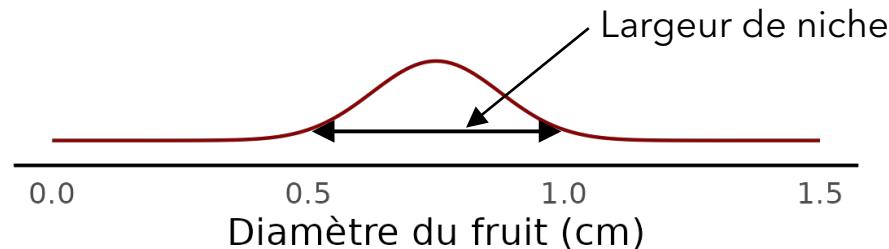
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



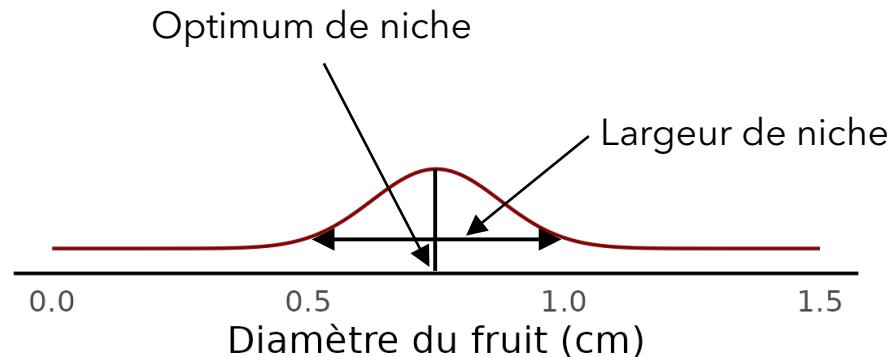
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



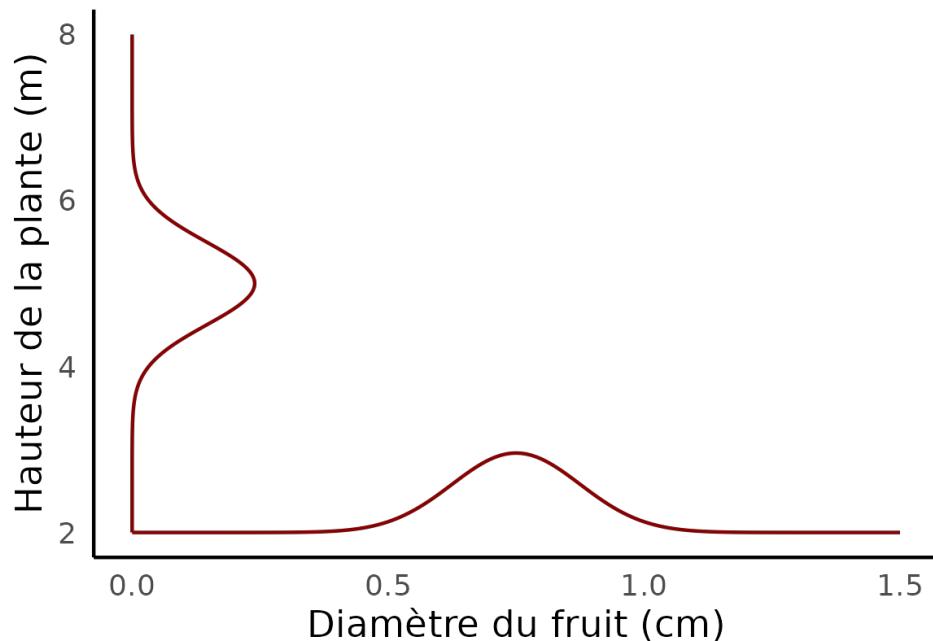
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



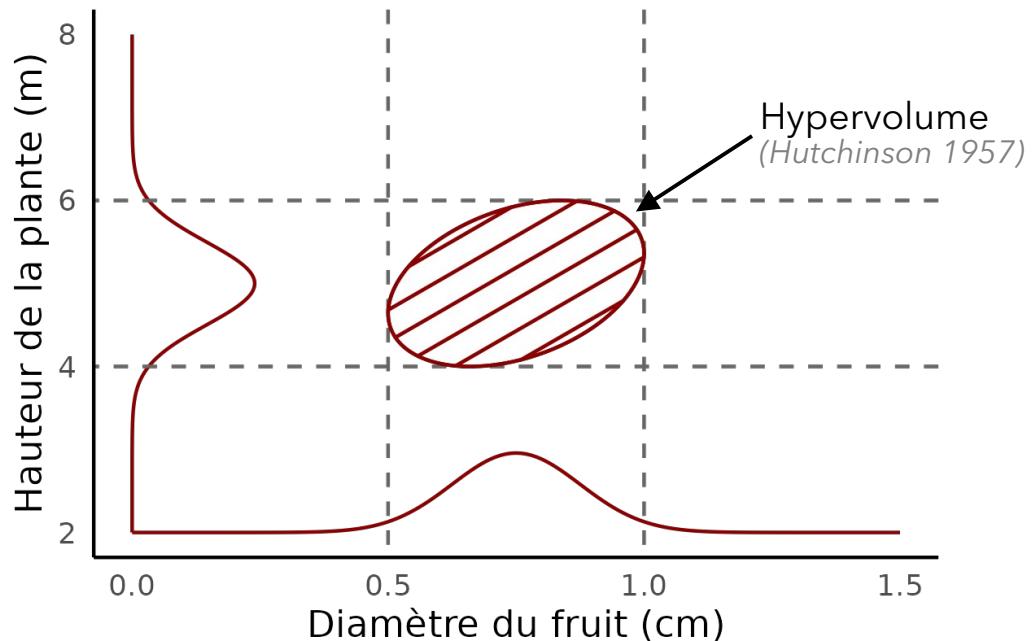
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



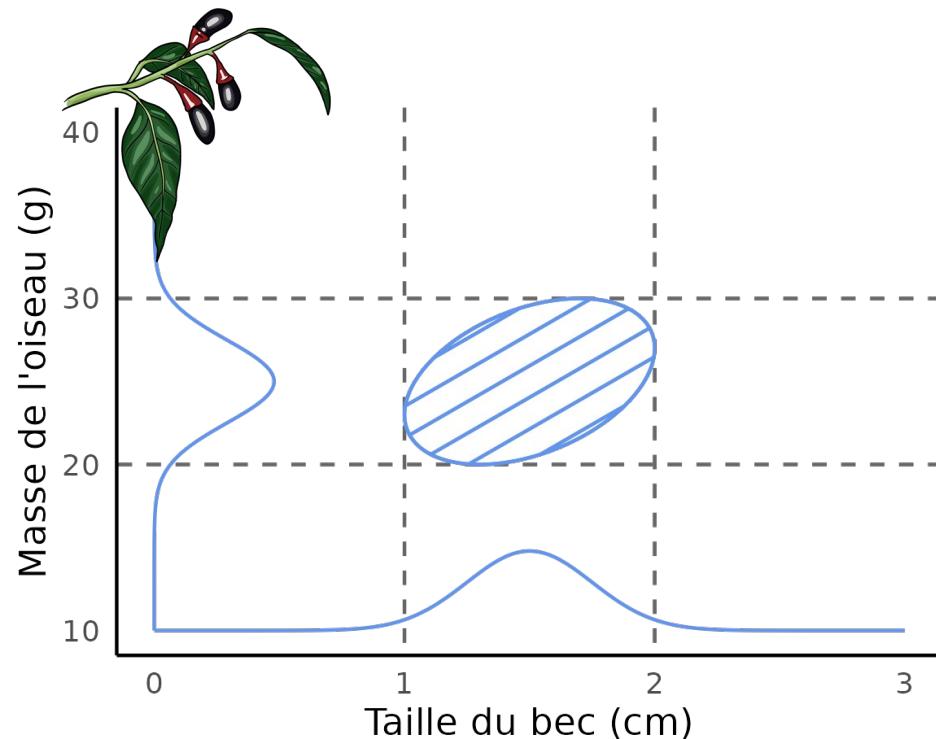
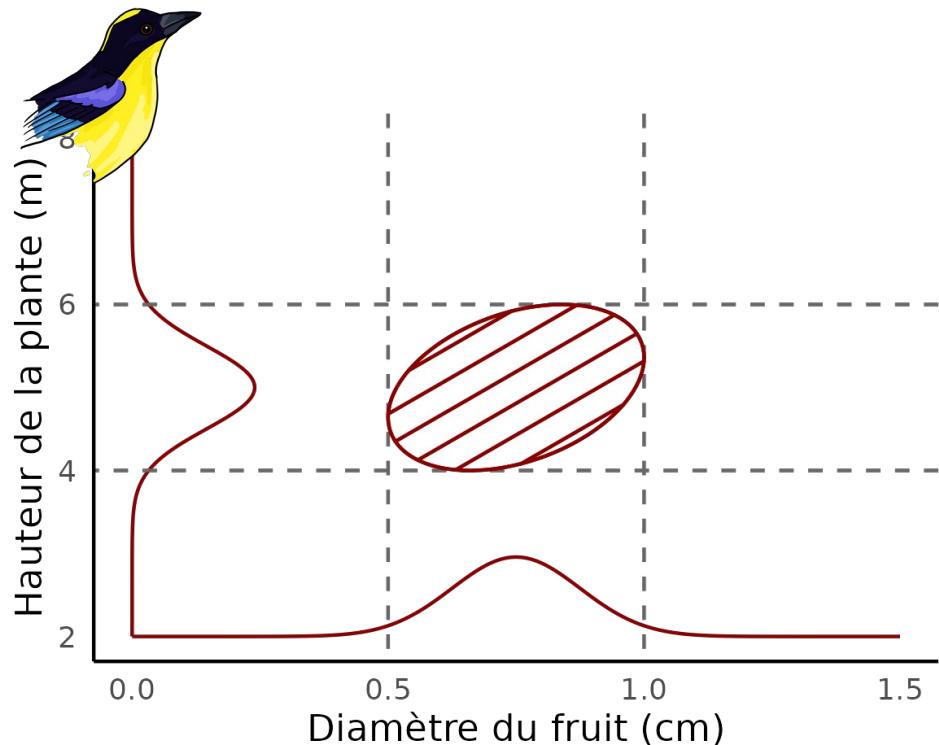
Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



Niche d'interaction

Proposition : définir la niche d'interaction avec des traits



Réseau plantes-frugivores

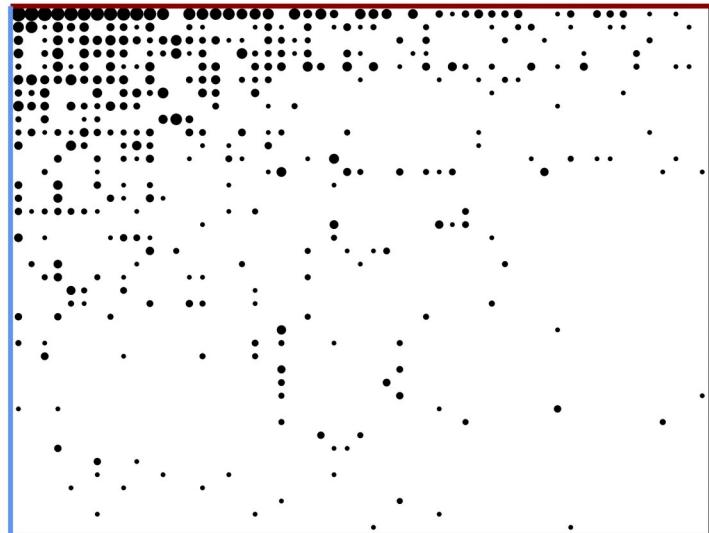
Dehling et al. 2021



Oiseaux



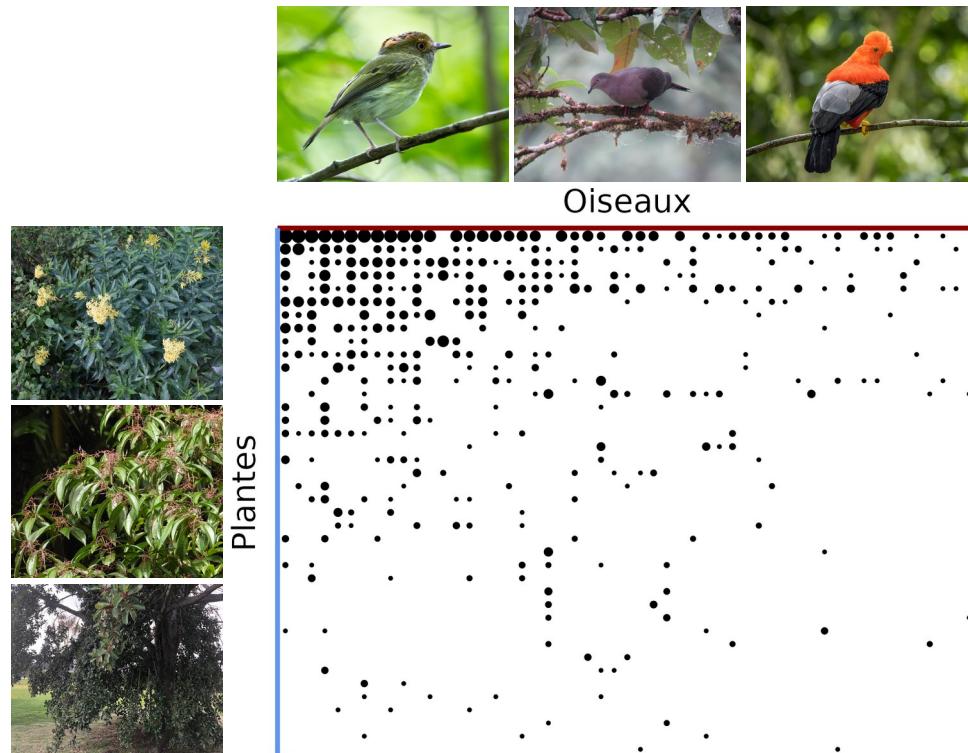
Plantes



- 53 oiseaux et 40 plantes

Réseau plantes-frugivores

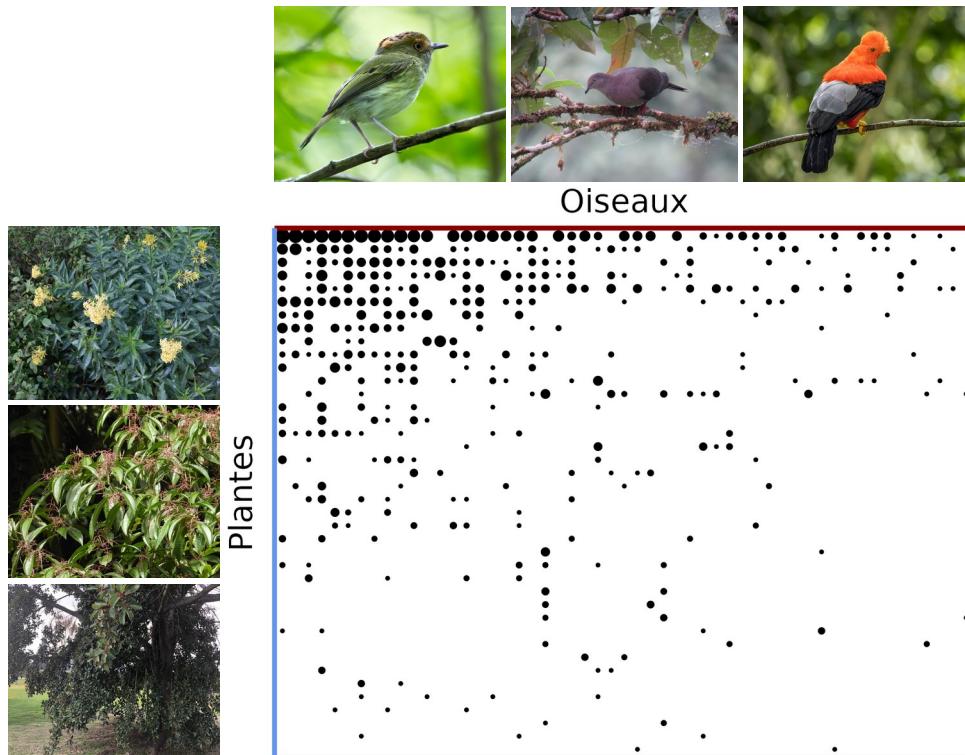
Dehling et al. 2021



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

Réseau plantes-frugivores

Dehling et al. 2021



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

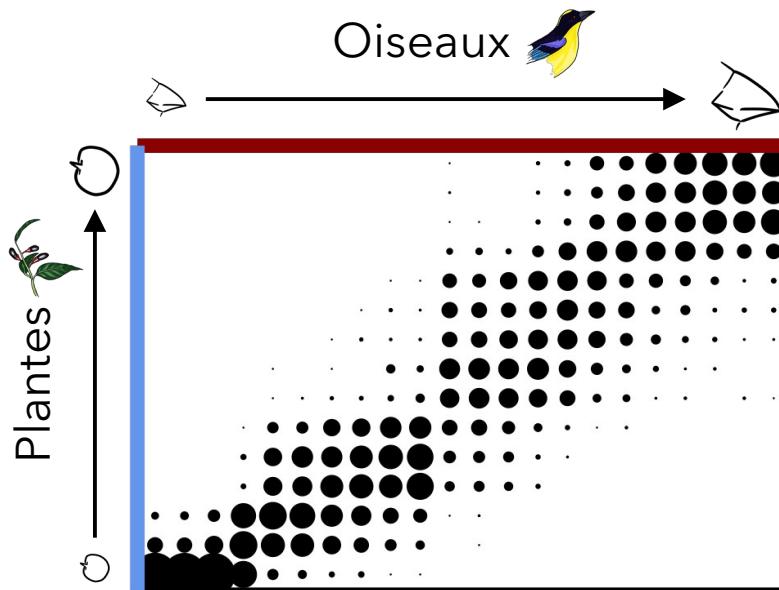
Déetecter la concordance des traits par la structure du réseau



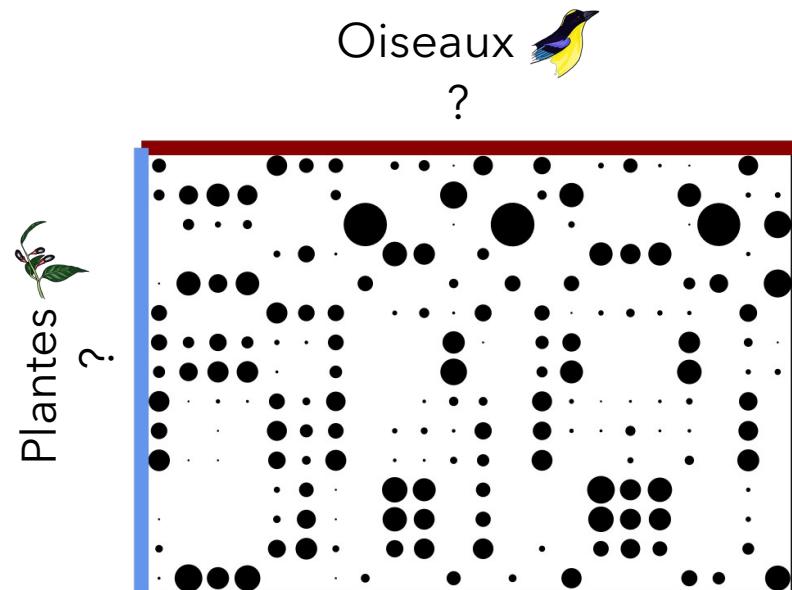
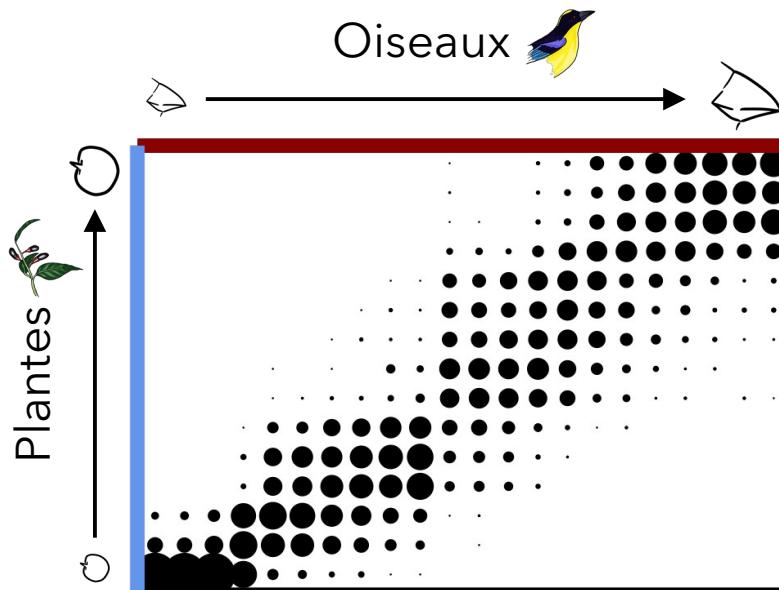
Plantes



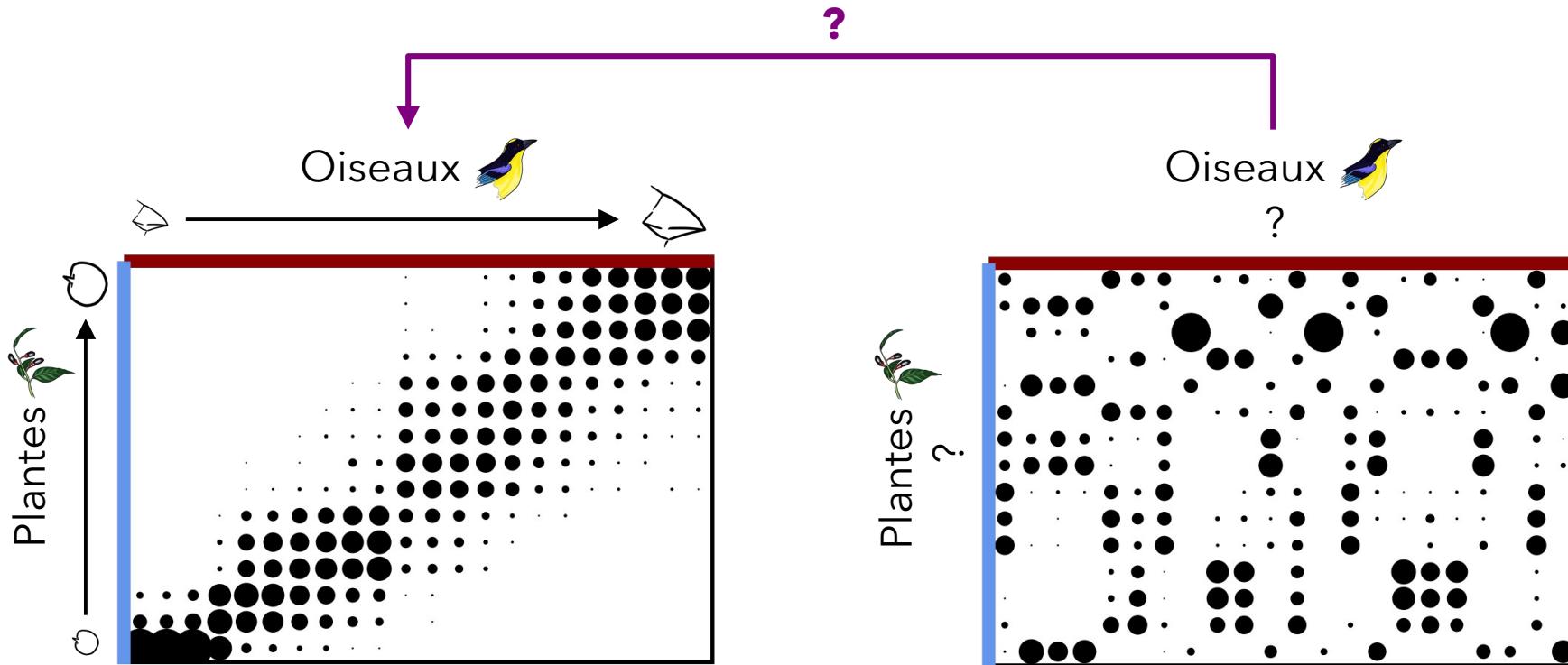
Déetecter la concordance des traits par la structure du réseau



Déetecter la concordance des traits par la structure du réseau



Déetecter la concordance des traits par la structure du réseau



Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Hirschfeld 1935, Hill 1974

Analyse factorielle des correspondances (AFC)

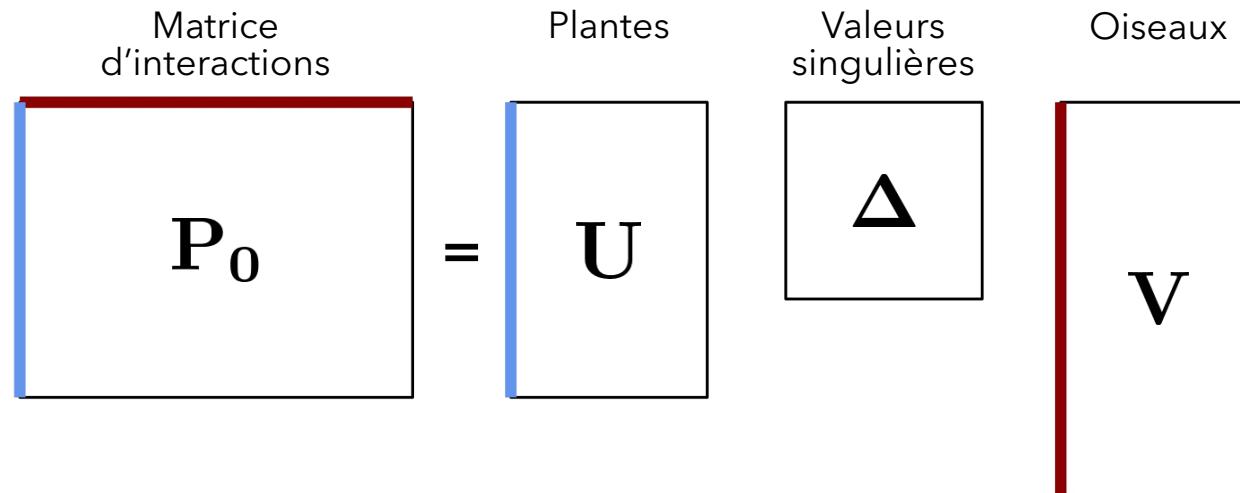
Hirschfeld 1935, Hill 1974

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

Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Hirschfeld 1935, Hill 1974

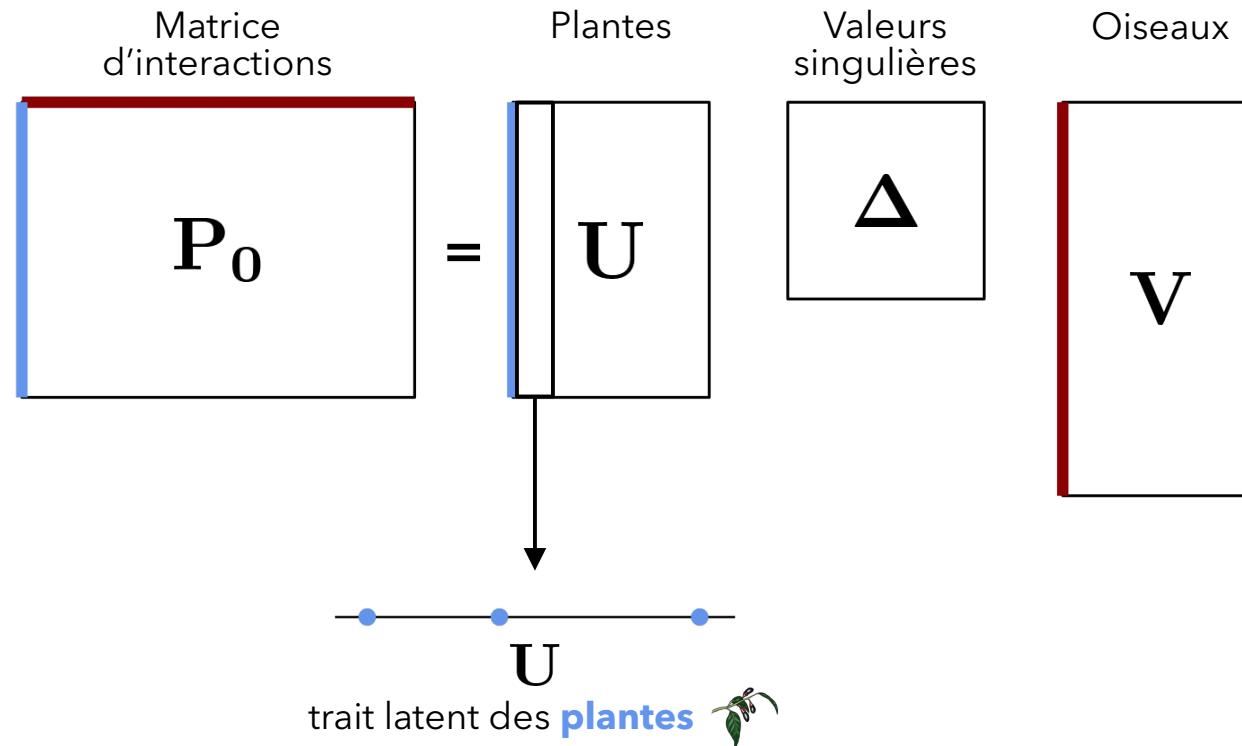
Décomposition en valeurs singulières $P_0 = U\Delta V^\top$



Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Hirschfeld 1935, Hill 1974

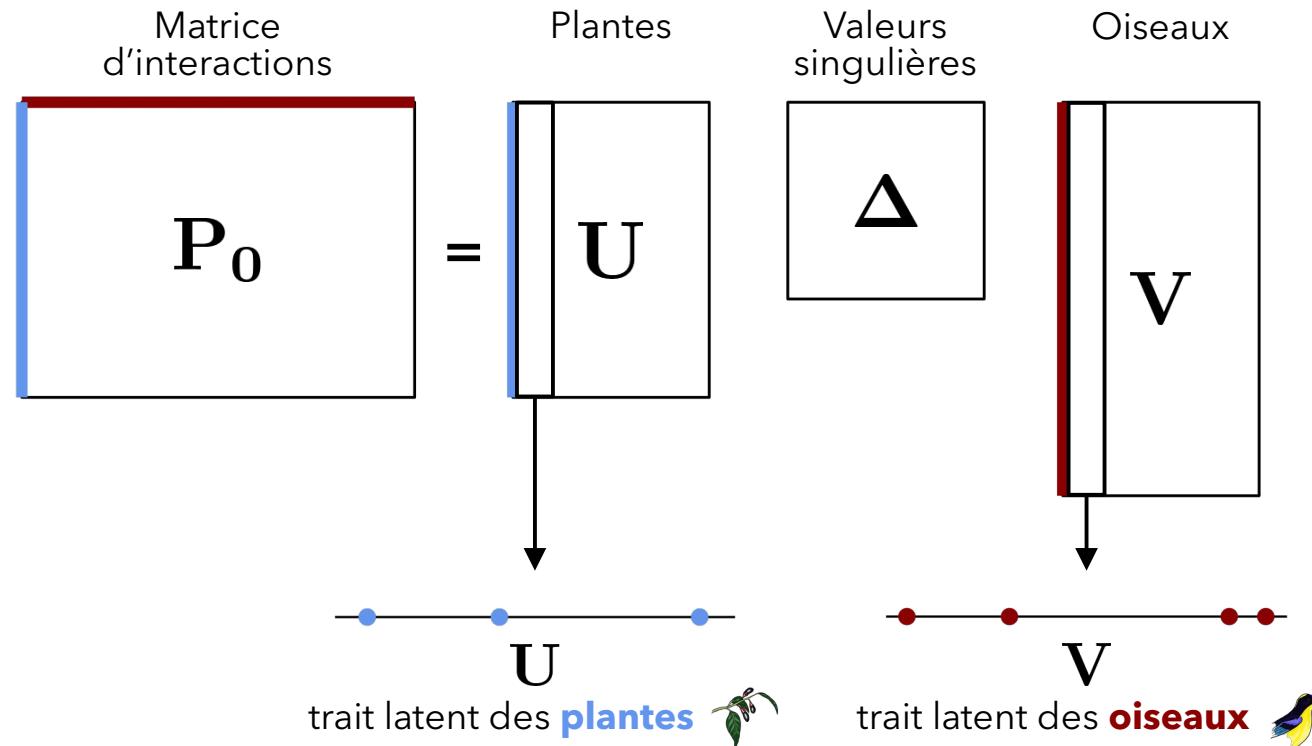
Décomposition en valeurs singulières $P_0 = U\Delta V^\top$



Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Hirschfeld 1935, Hill 1974

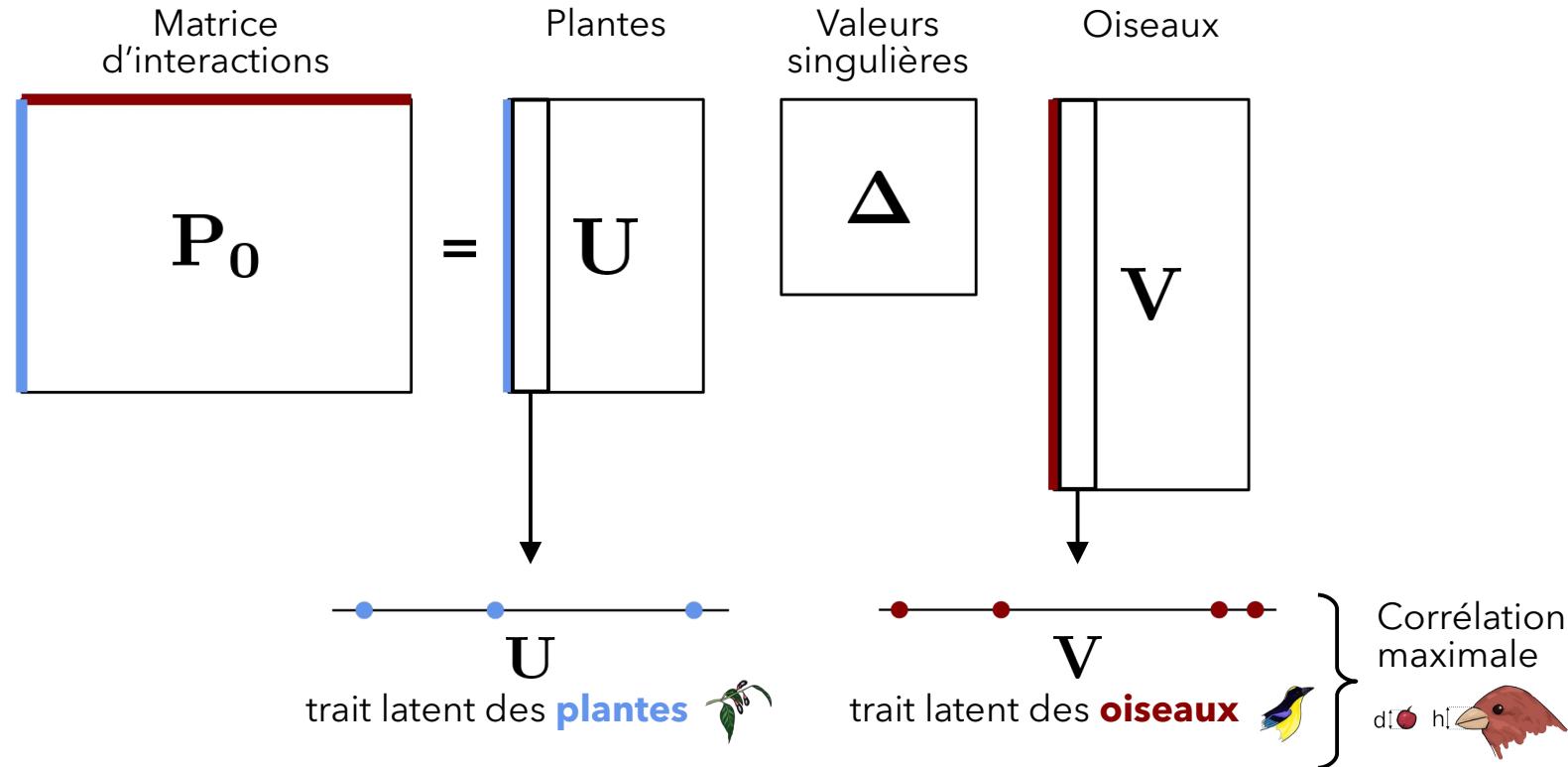
Décomposition en valeurs singulières $P_0 = U\Delta V^\top$



Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Hirschfeld 1935, Hill 1974

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



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

The diagram shows a horizontal line with three blue dots representing the latent trait U . Below this line, the text "trait latent des plantes" is followed by an icon of a plant. A vertical arrow points downwards from this section to a mathematical equation and its definition. The equation is $V^* = D_c^{-1} P^\top U$, where D_c is represented by a bird icon and P by a colorful parrot icon. Below the equation, the text "Moyenne des traits des plantes partenaires" is written.

$$V^* = D_c^{-1} P^\top U$$

trait latent des plantes

Moyenne des traits des plantes partenaires

Mesurer l'optimum de niche avec l'AFC

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



U

trait latent des **plantes**

$$\mathbf{V}^* = \mathbf{D}_c^{-1} \mathbf{P}^\top \mathbf{U}$$

Moyenne des traits des plantes partenaires



V*

optimum de niche
des **oiseaux**

Mesurer l'optimum de niche avec l'AFC

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



U

trait latent des **plantes**

$$V^* = D_c^{-1} P^\top U$$

Moyenne des traits des plantes partenaires



V

trait latent des **oiseaux**

$$U^* = D_r^{-1} P V$$

Moyenne des traits des oiseaux partenaires



V*

optimum de niche des **oiseaux**



U*

optimum de niche des **plantes**

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*

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



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

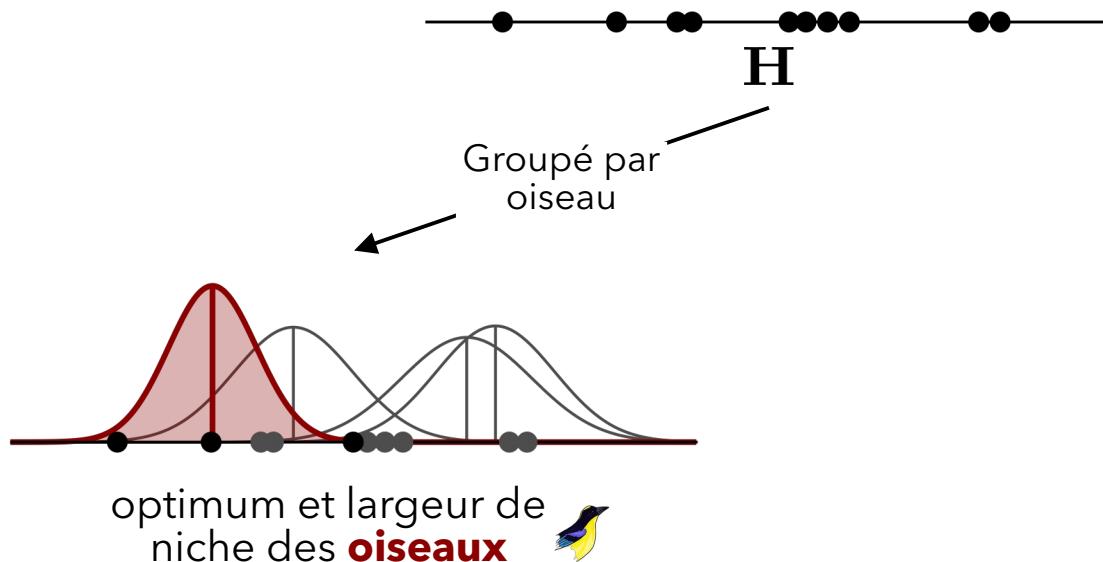


Mesurer la largeur de niche

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

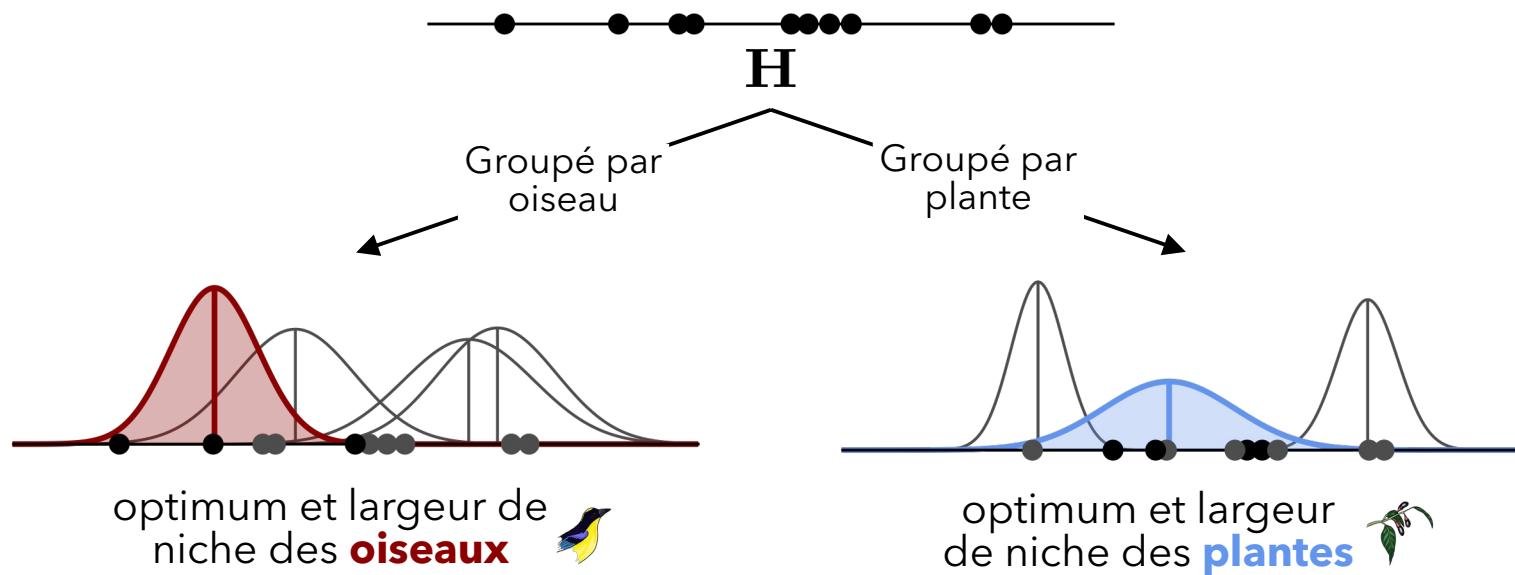


Mesurer la largeur de niche

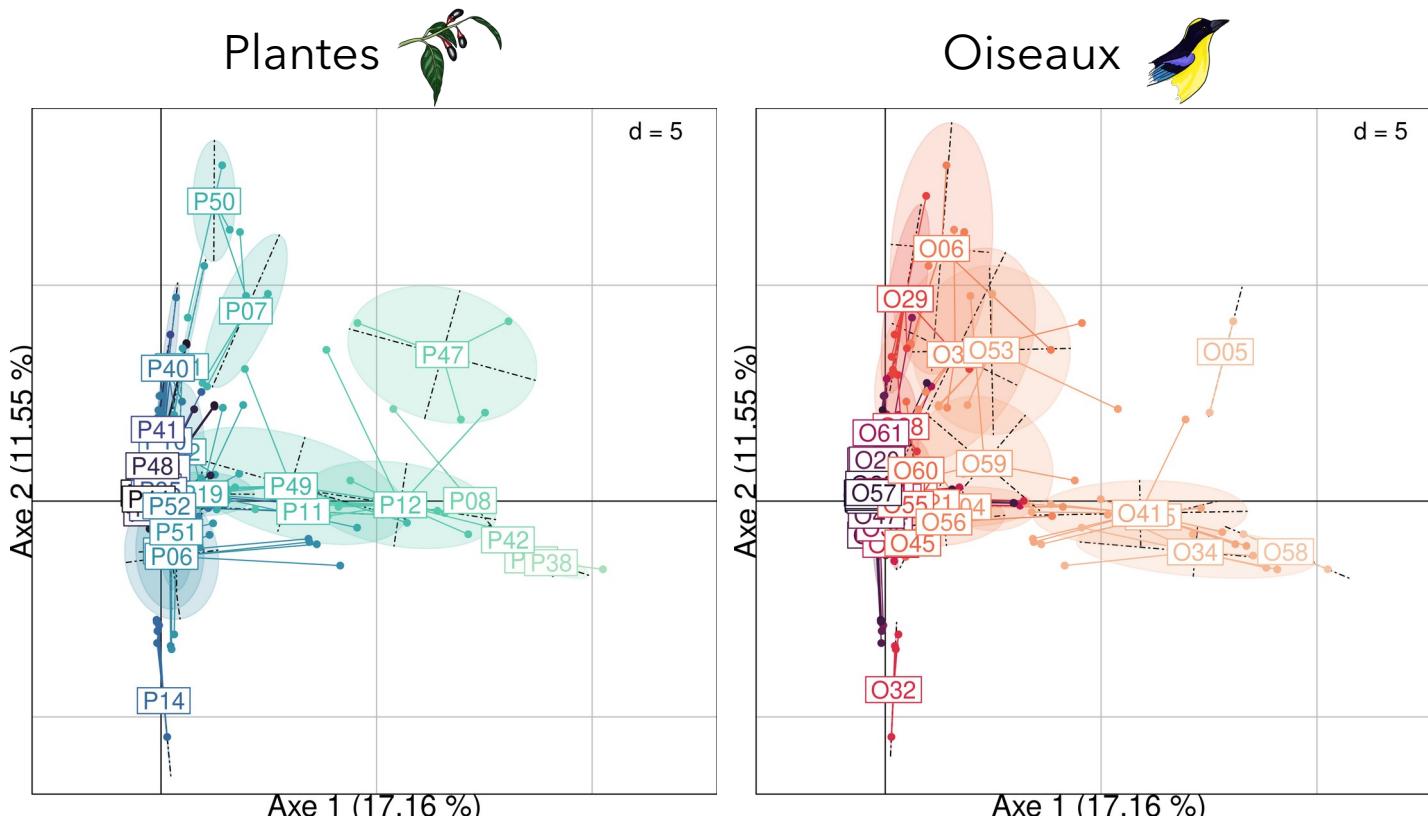
Mise à l'échelle réciproque *Thioulouse & Chessel 1992*

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

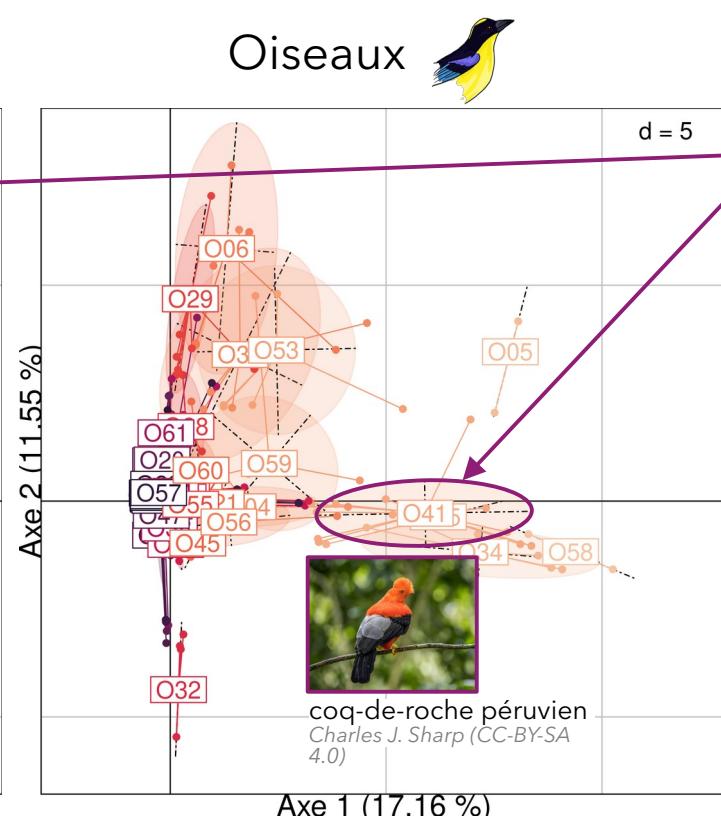
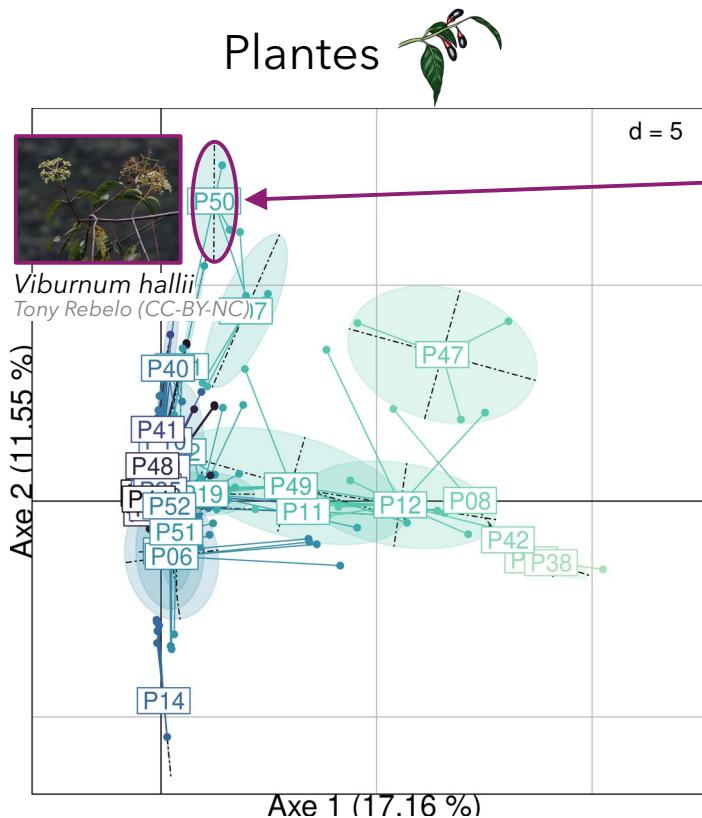
plante i oiseau j



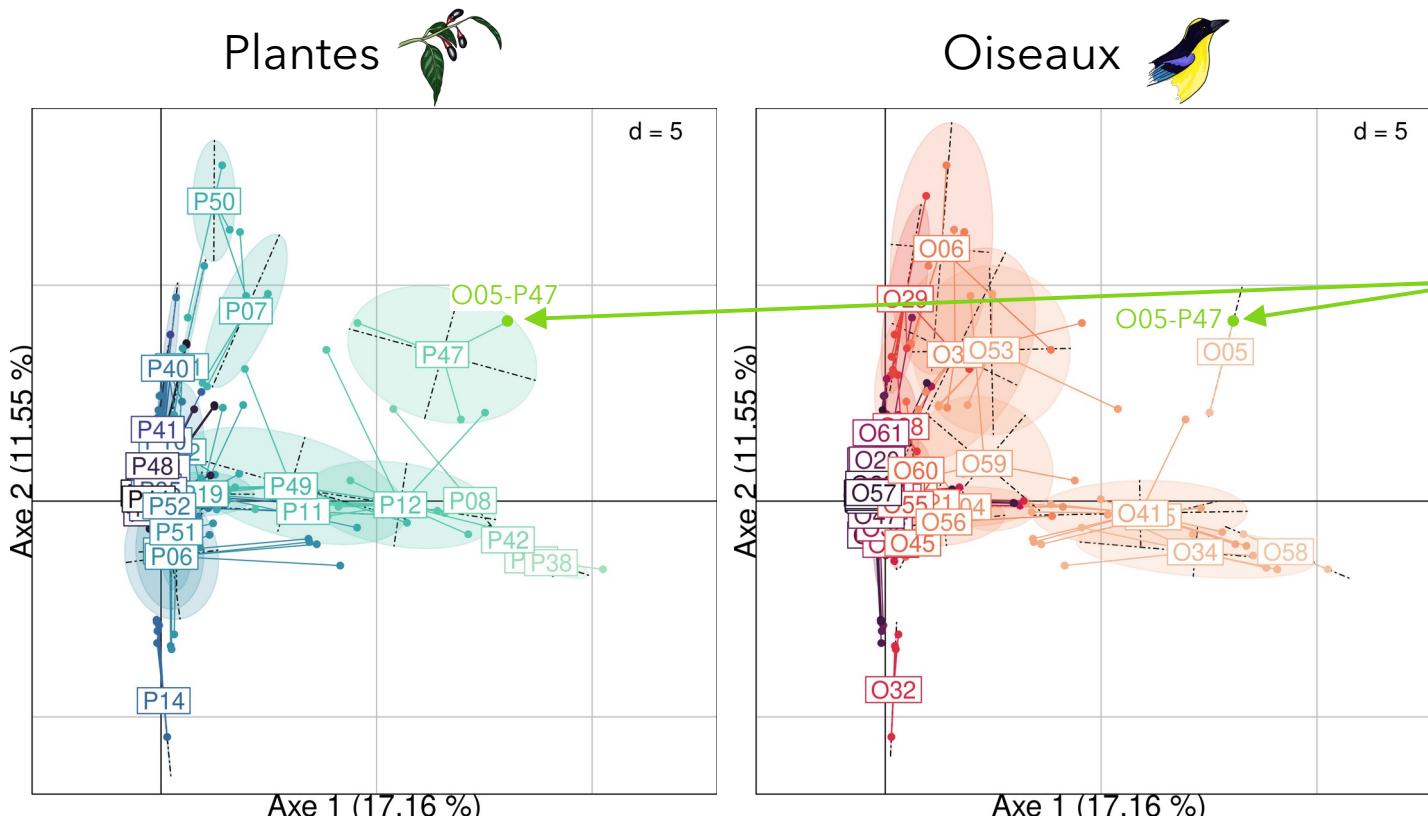
Niches des espèces



Niches des espèces



Niches des espèces



Chaque ellipse représente une niche d'espèce

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

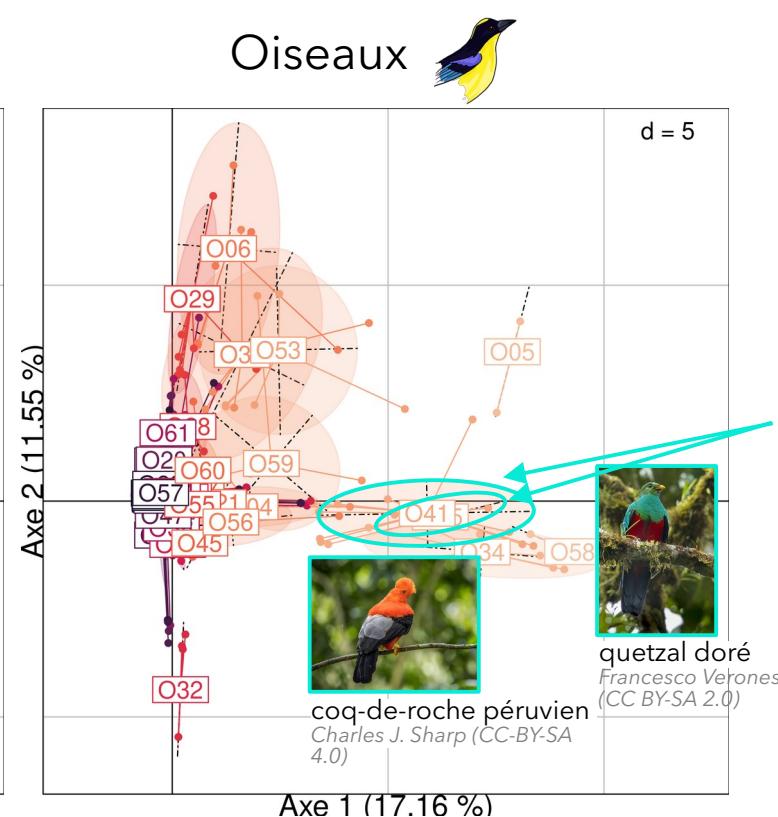
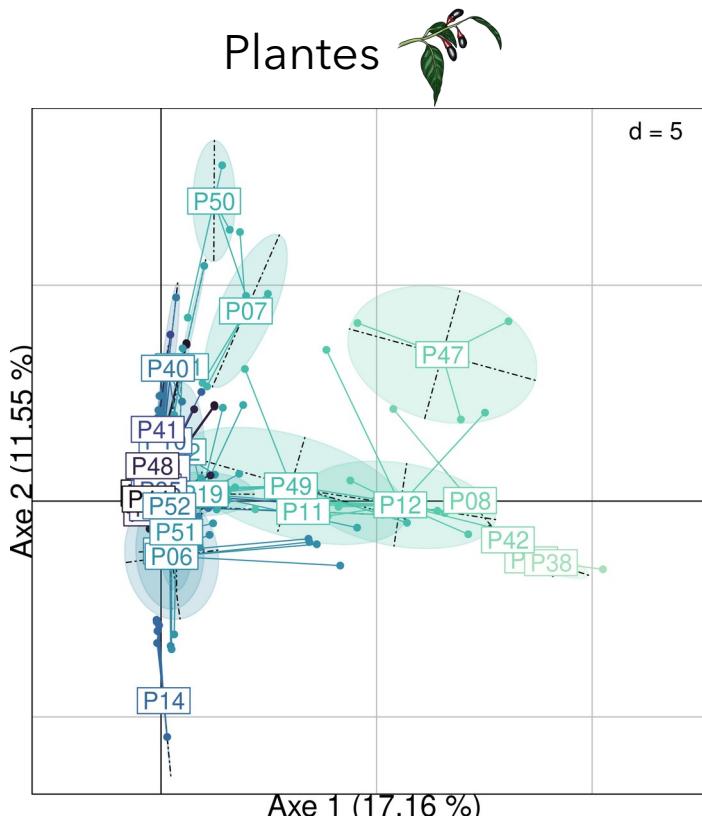


Symplocos arechea
Robin D. Foster
(CC-BY-SA 4.0)



coracine ornée
© Richard Garrigues

Niches des espèces



Chaque ellipse représente une niche d'espèce

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

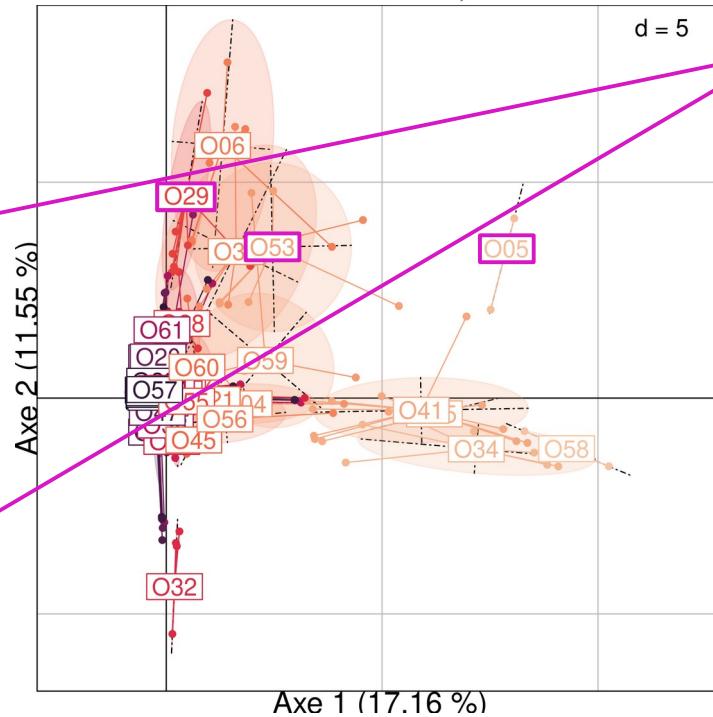
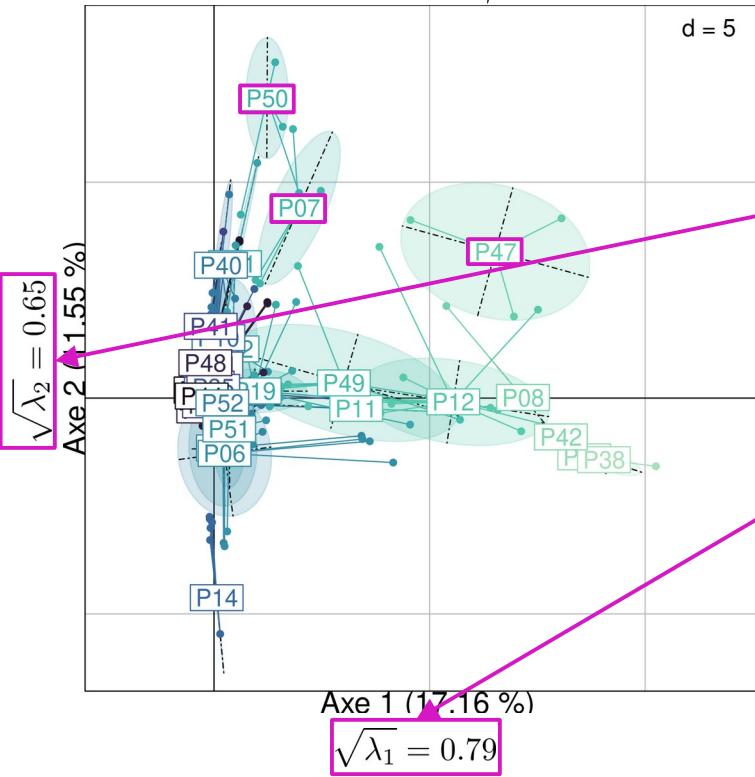
Deux espèces proches ont des niches similaires

Niches des espèces

Plantes



Oiseaux



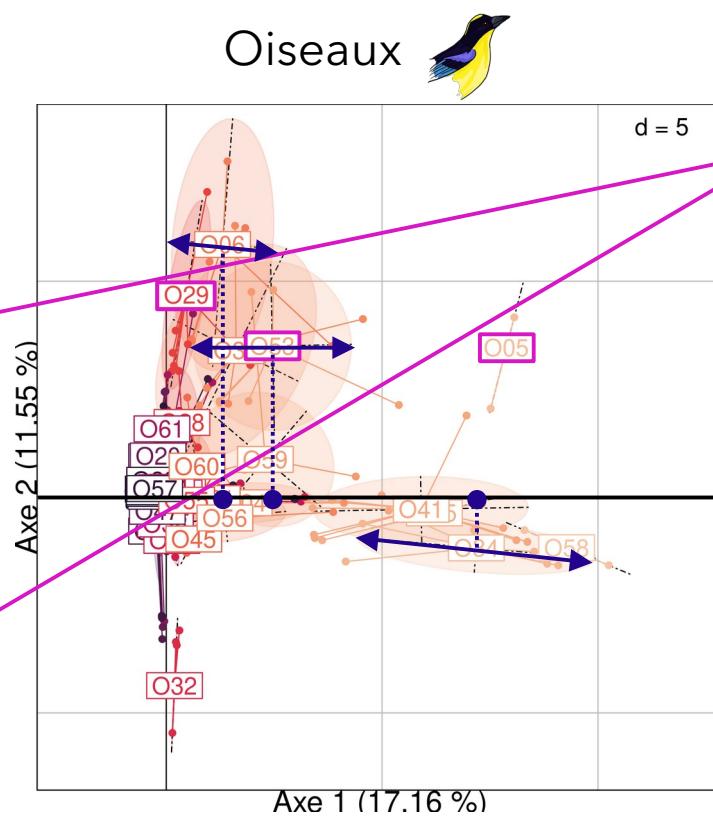
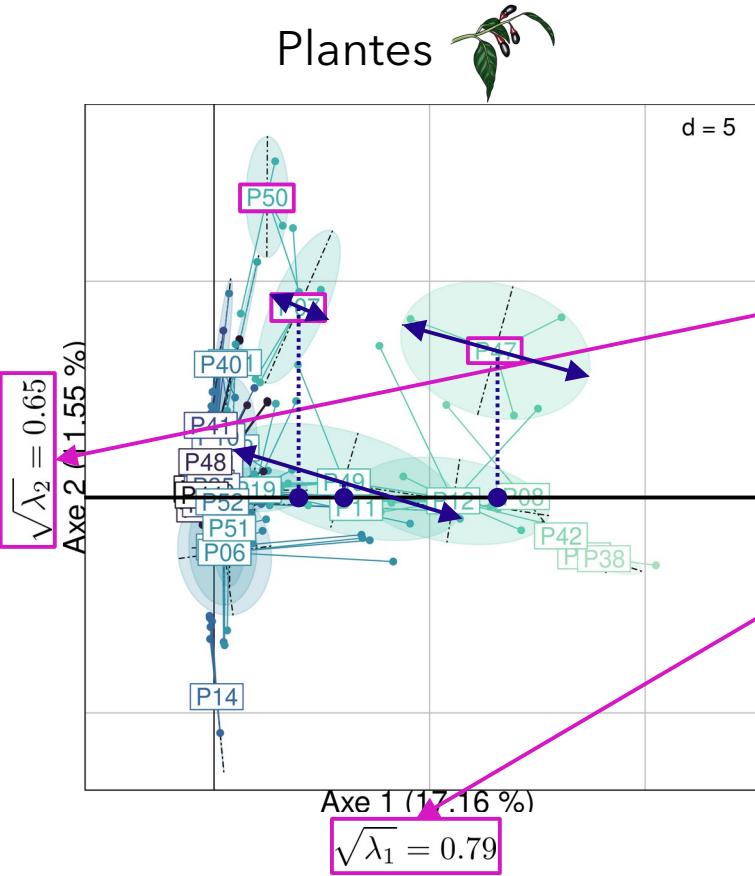
Corrélation entre les traits latents

Niches des espèces

Plantes



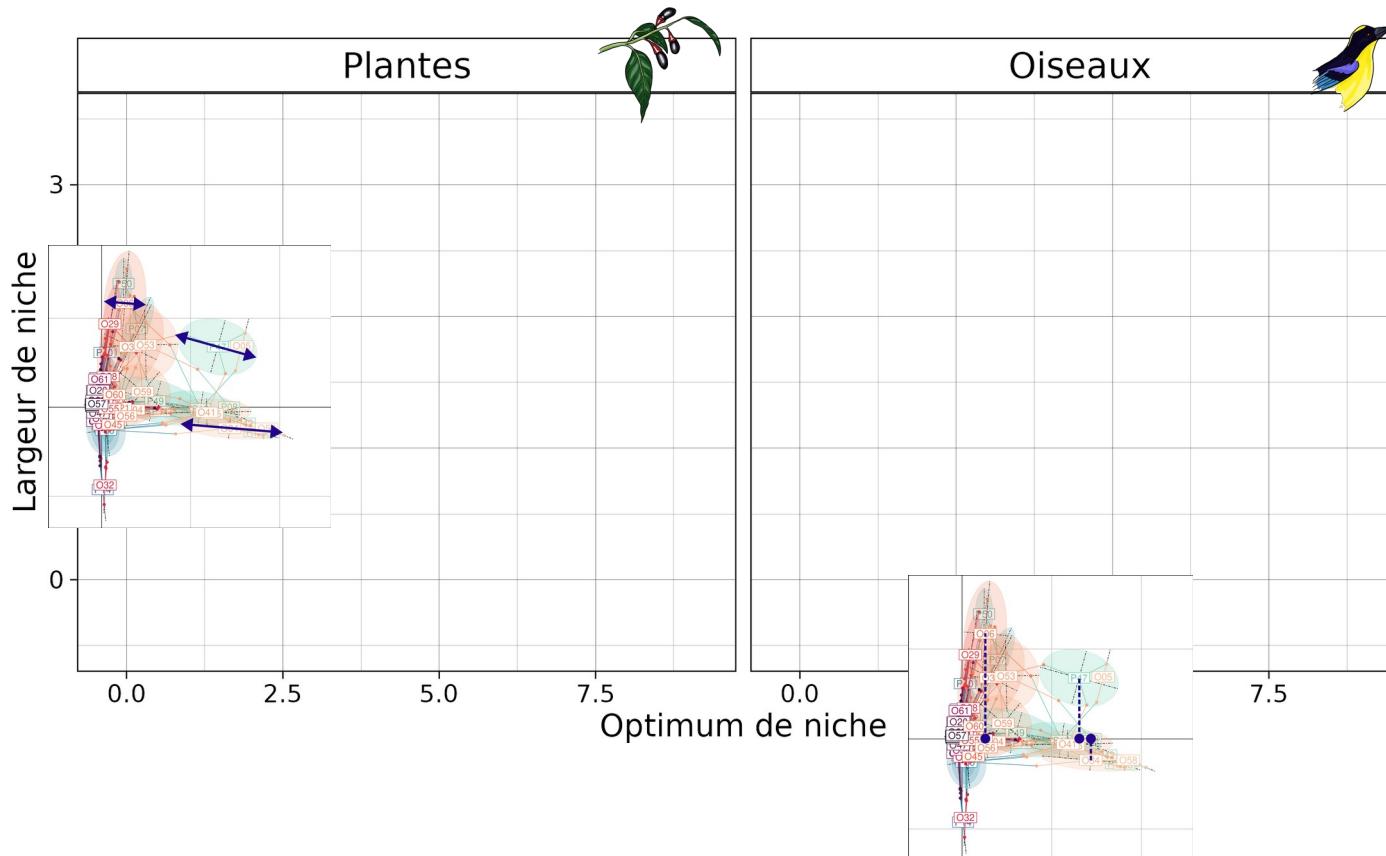
Oiseaux



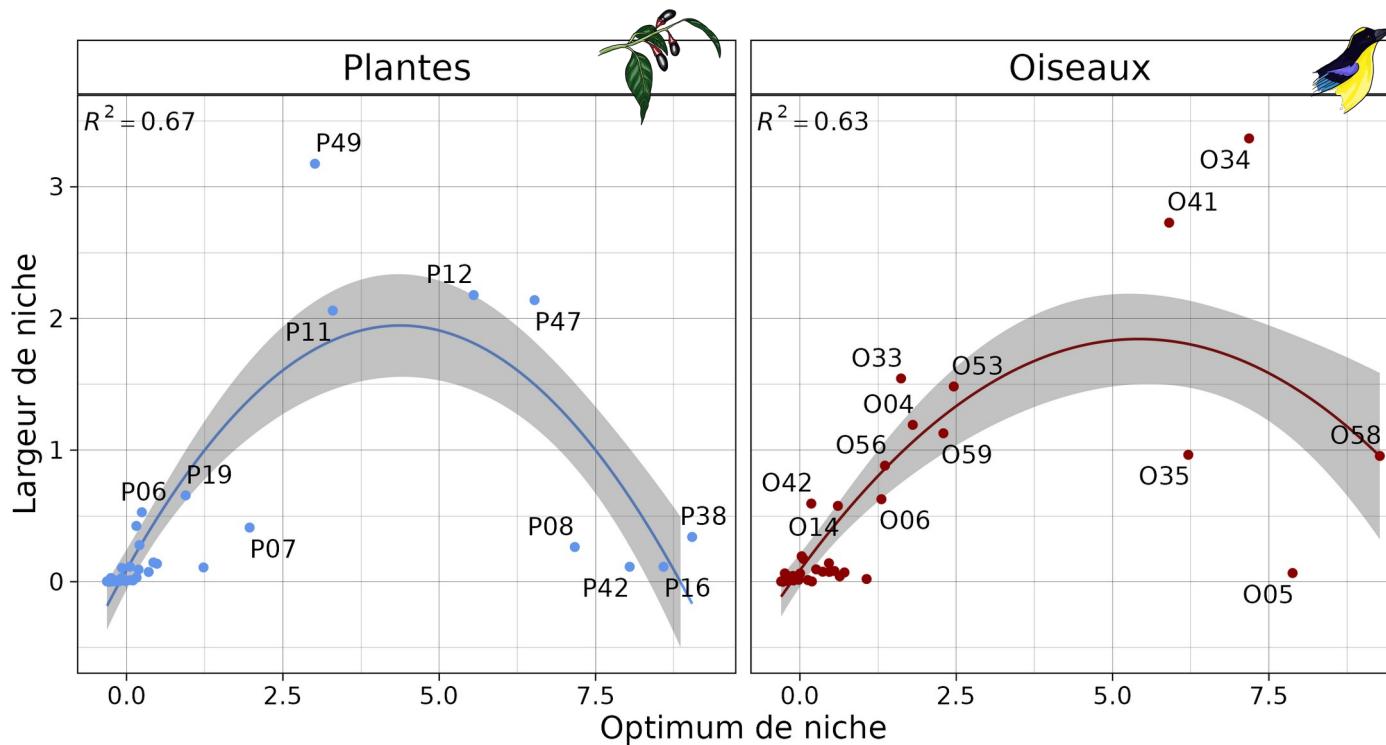
Corrélation entre les traits latents

Lien entre optimum et largeur de niche ?

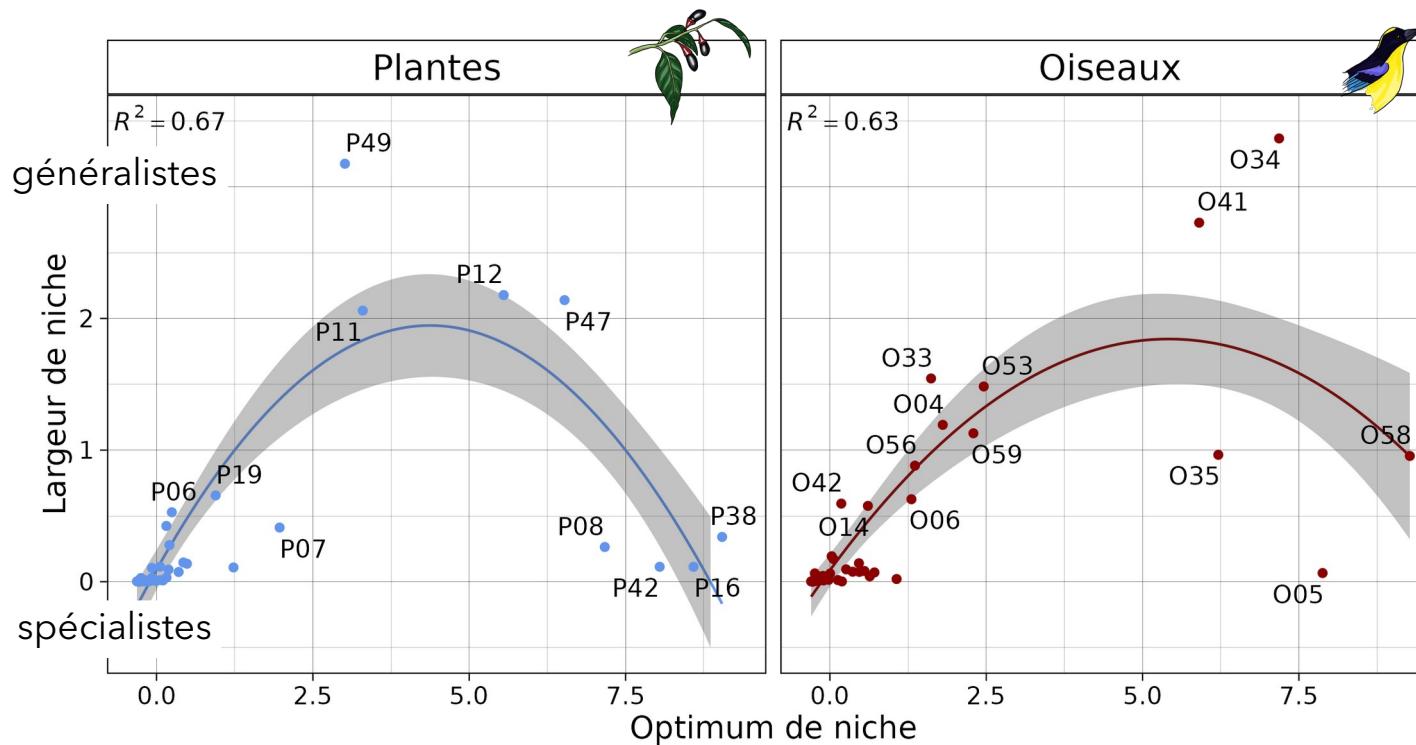
Relation entre optimum et largeur de niche



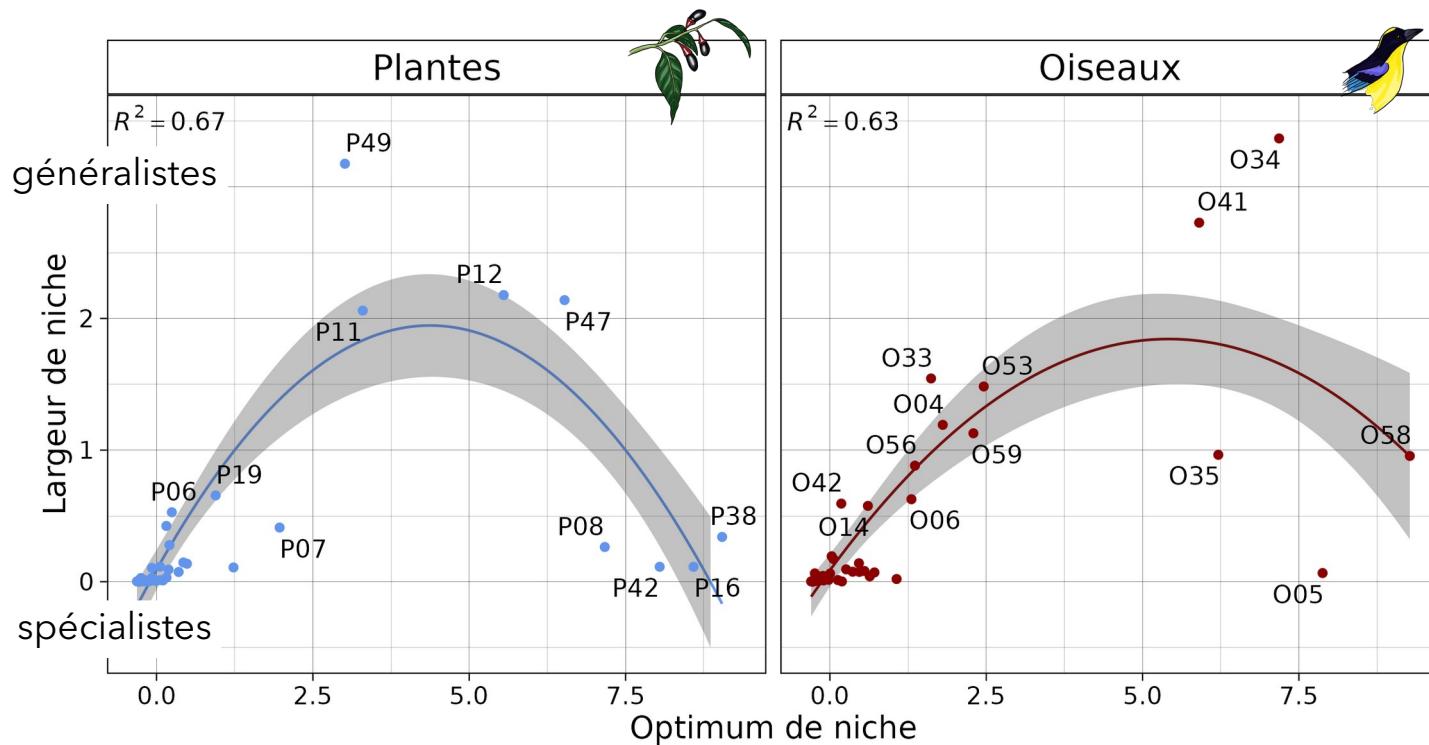
Relation entre optimum et largeur de niche



Relation entre optimum et largeur de niche

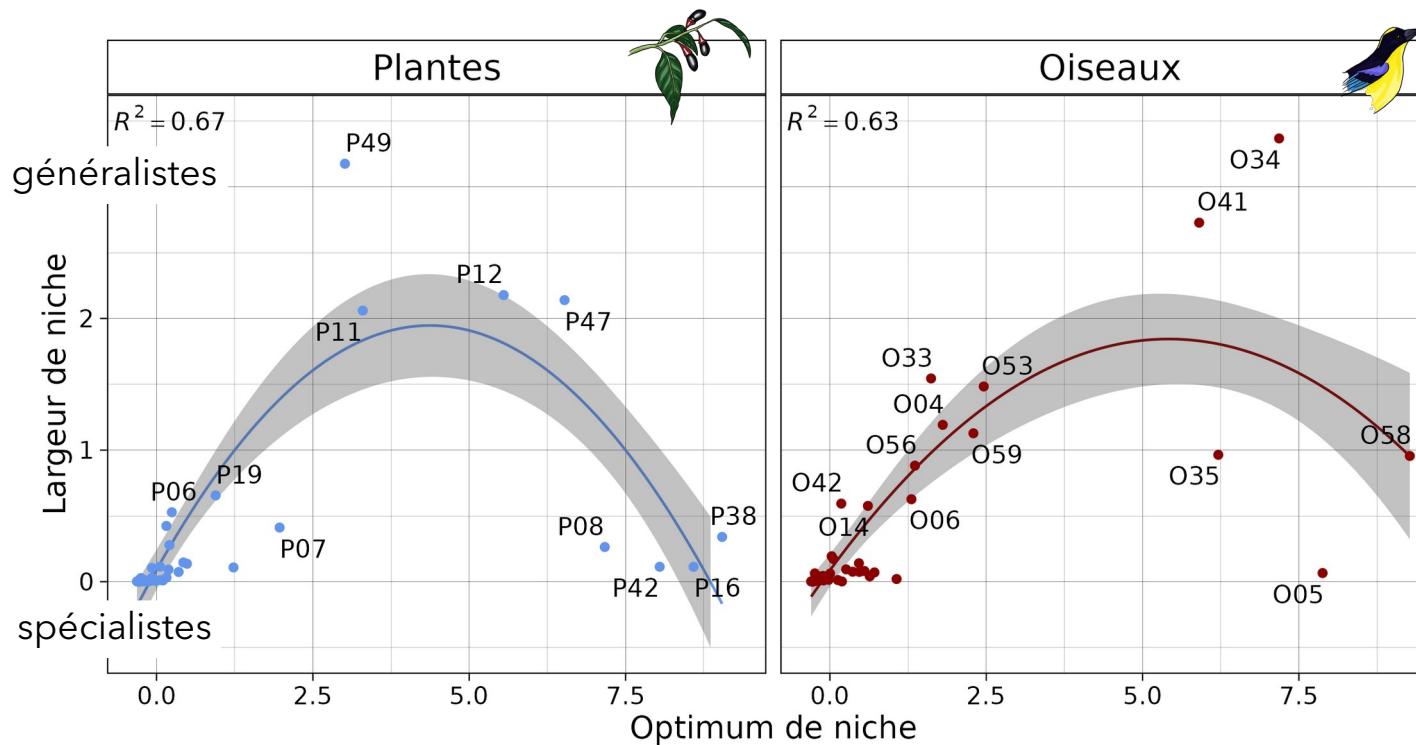


Relation entre optimum et largeur de niche



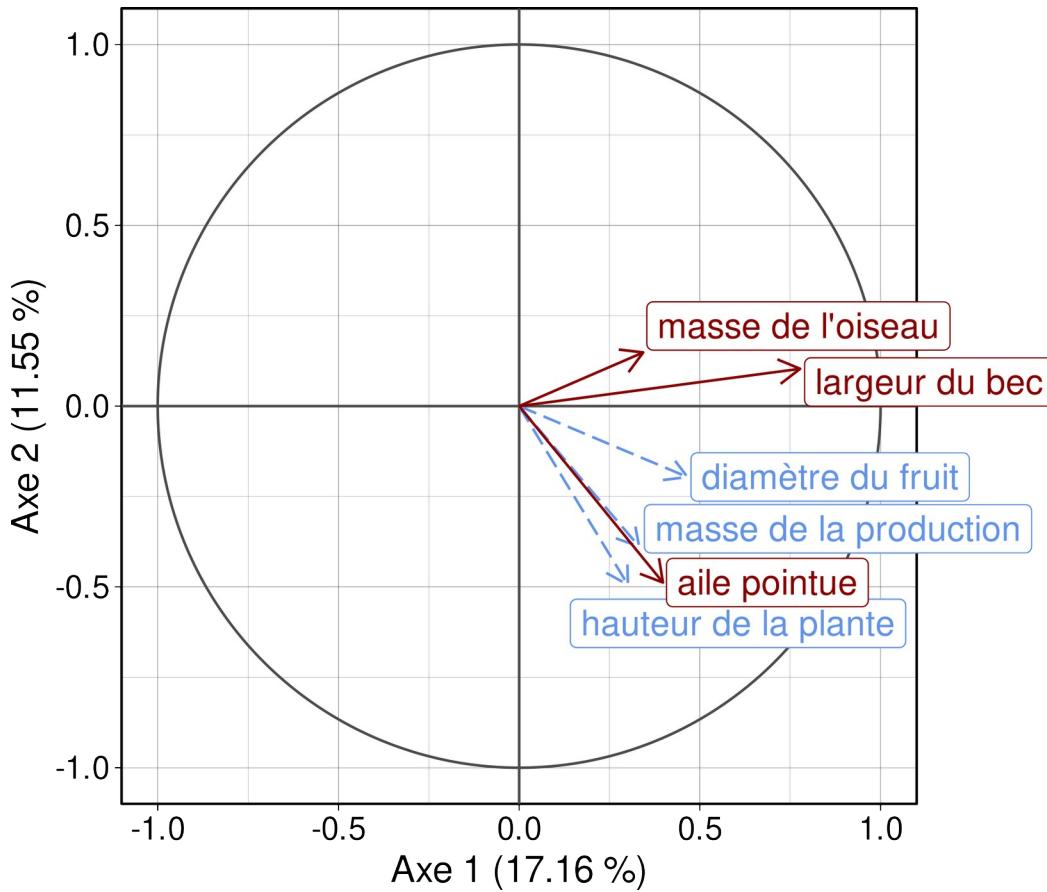
Oiseaux et plantes **généralistes** pour les optima moyens

Relation entre optimum et largeur de niche

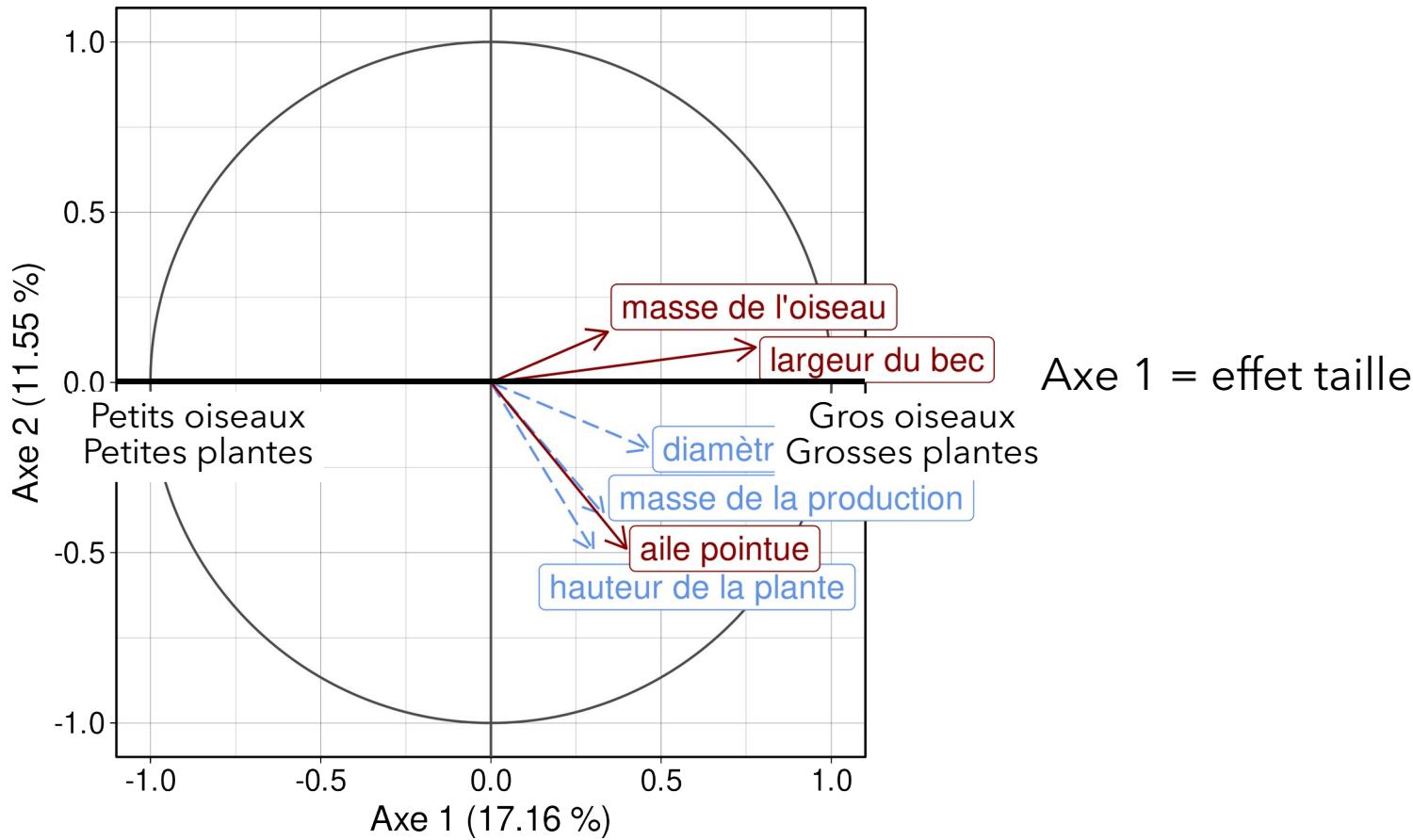


Oiseaux et plantes **généralistes** pour les optima moyens
 → Qu'est-ce qui caractérise ces traits latents ?

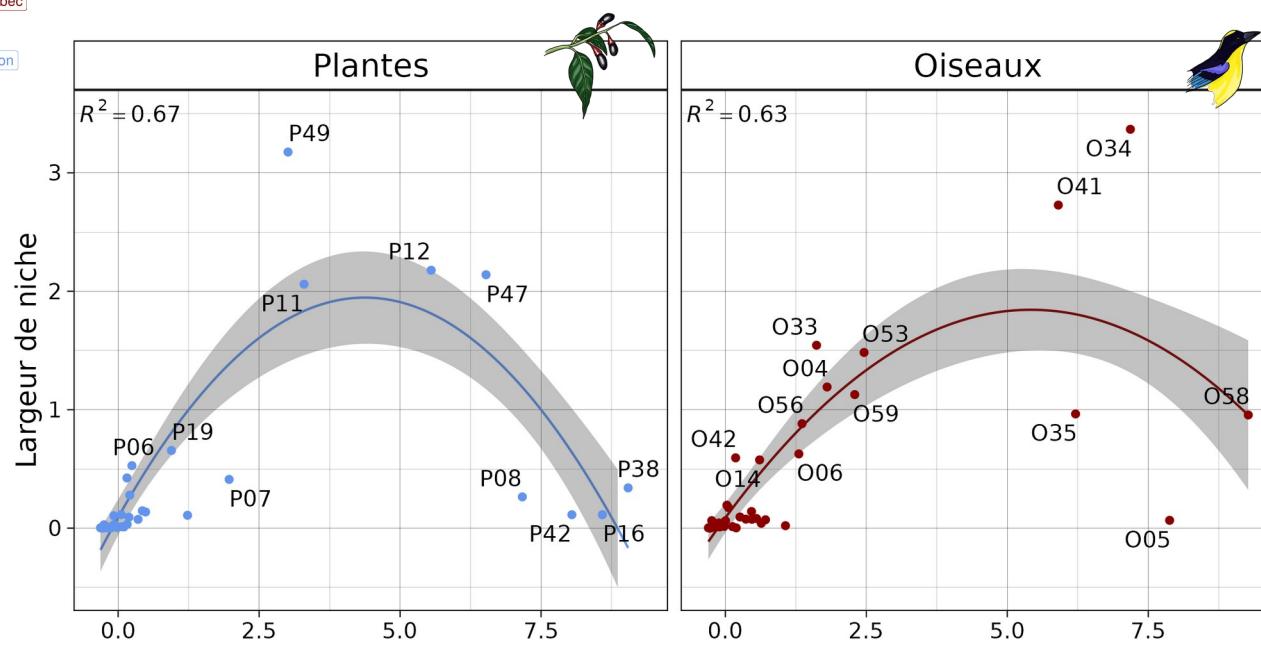
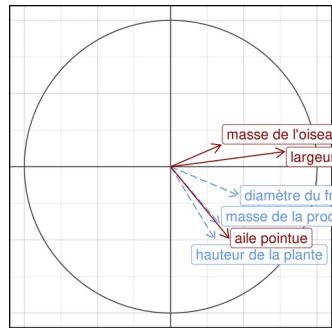
Relation entre optimum et largeur de niche



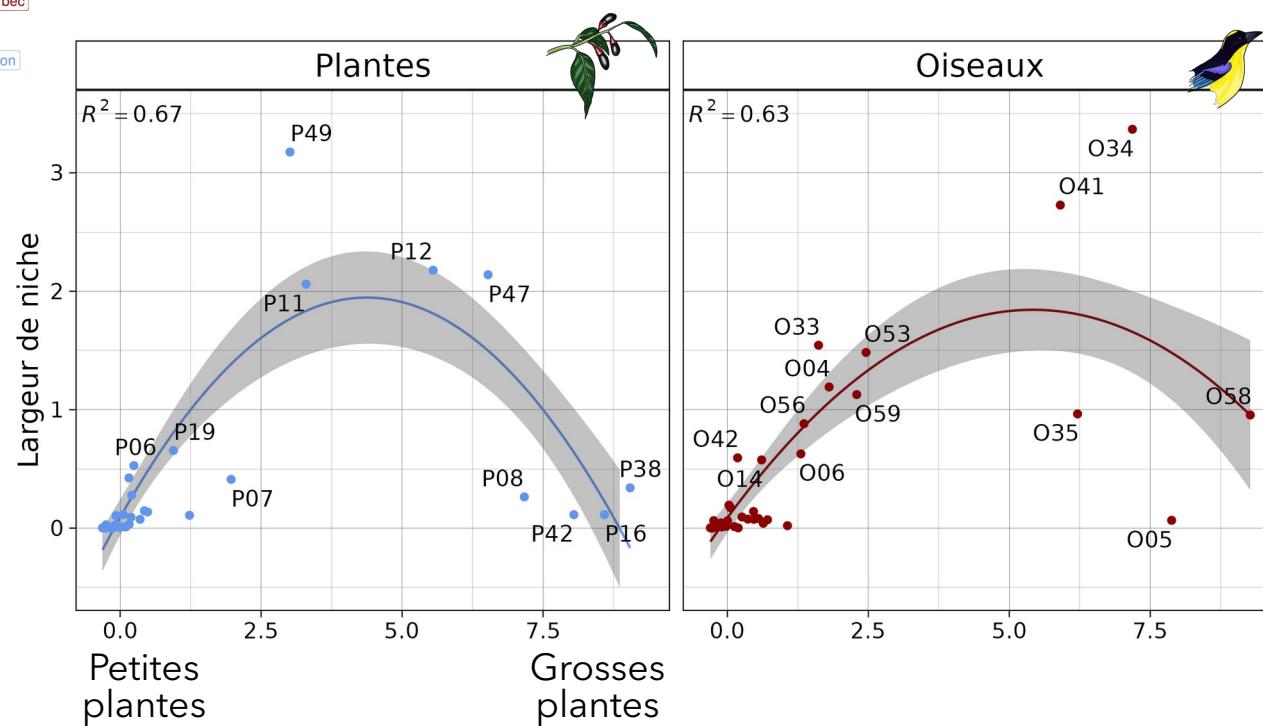
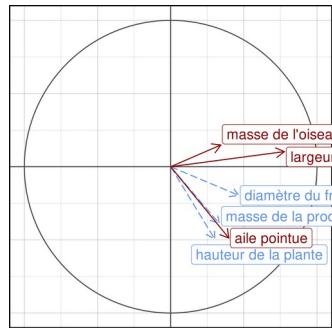
Relation entre optimum et largeur de niche



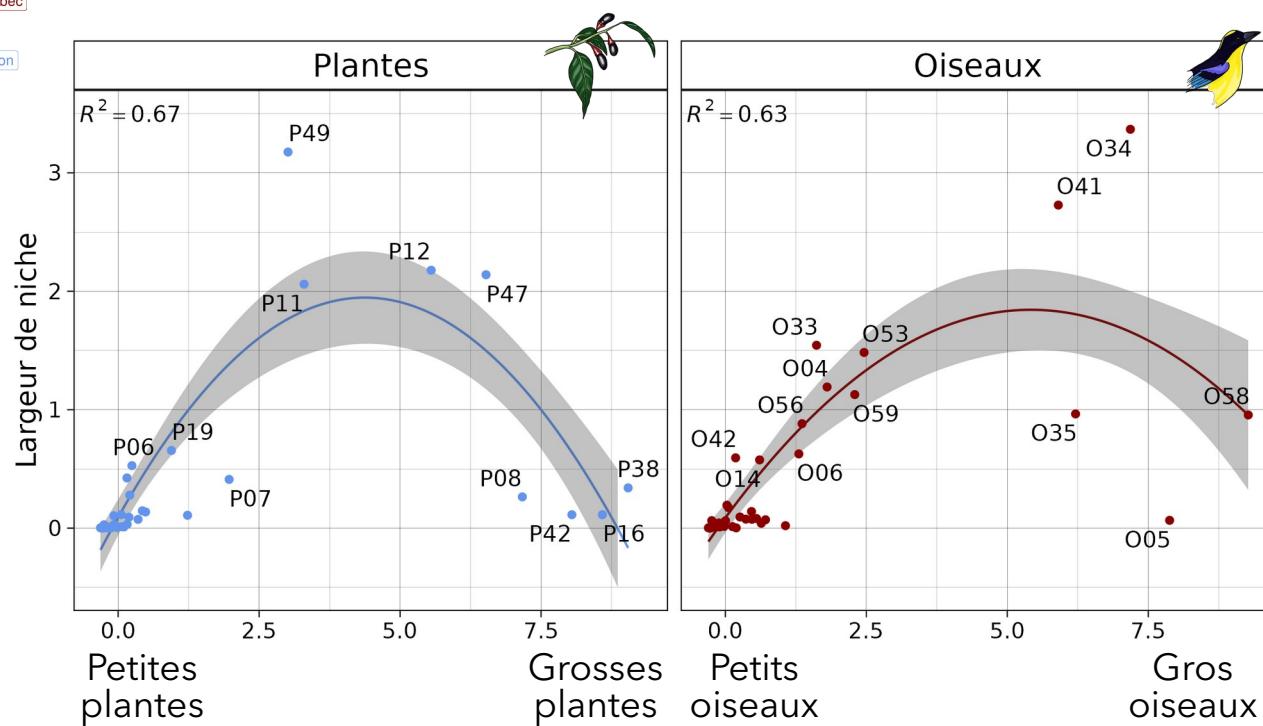
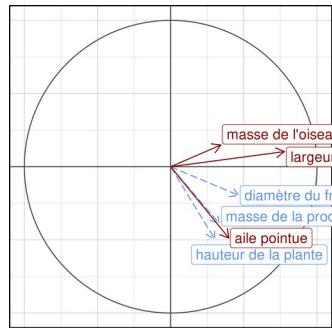
Relation entre optimum et largeur de niche



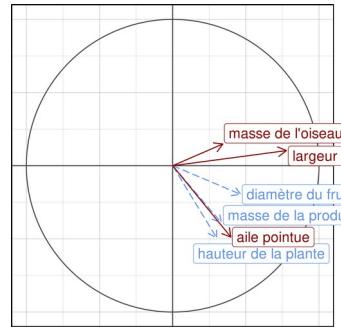
Relation entre optimum et largeur de niche



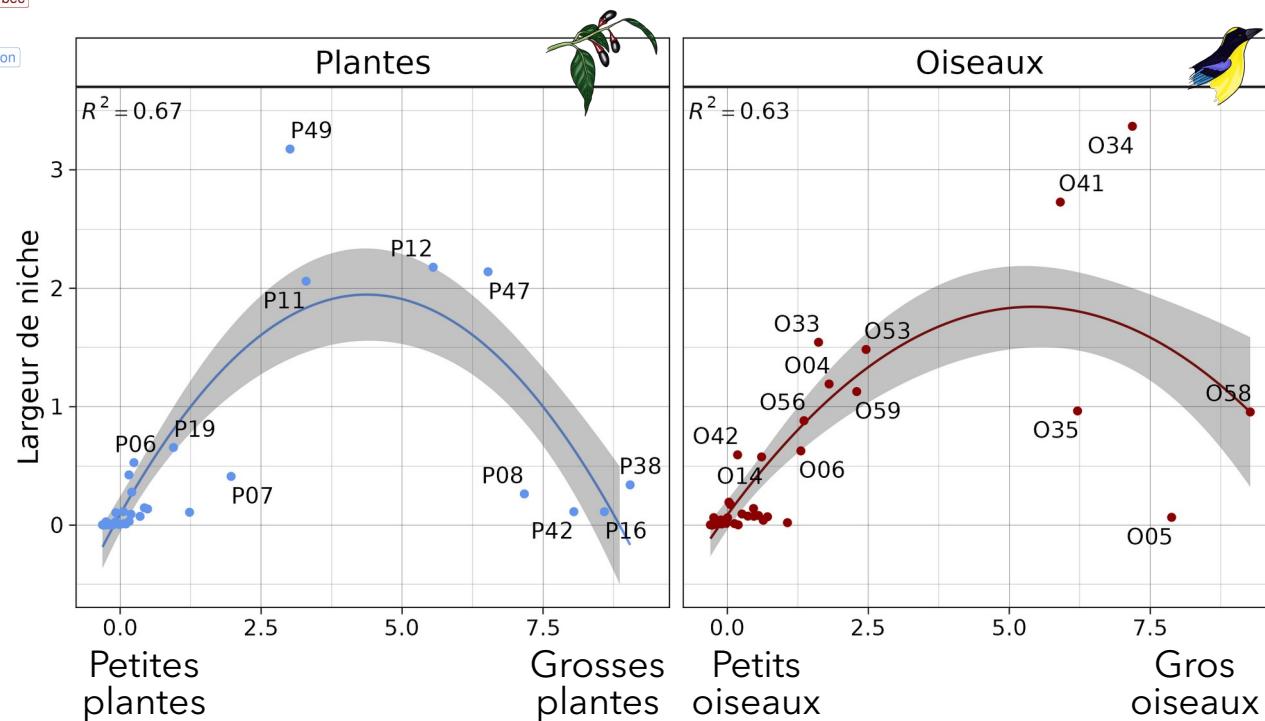
Relation entre optimum et largeur de niche



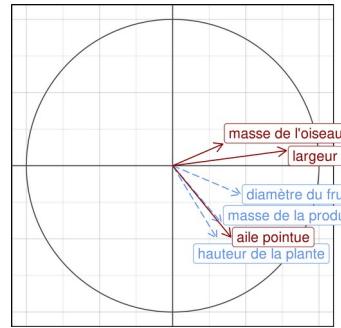
Relation entre optimum et largeur de niche



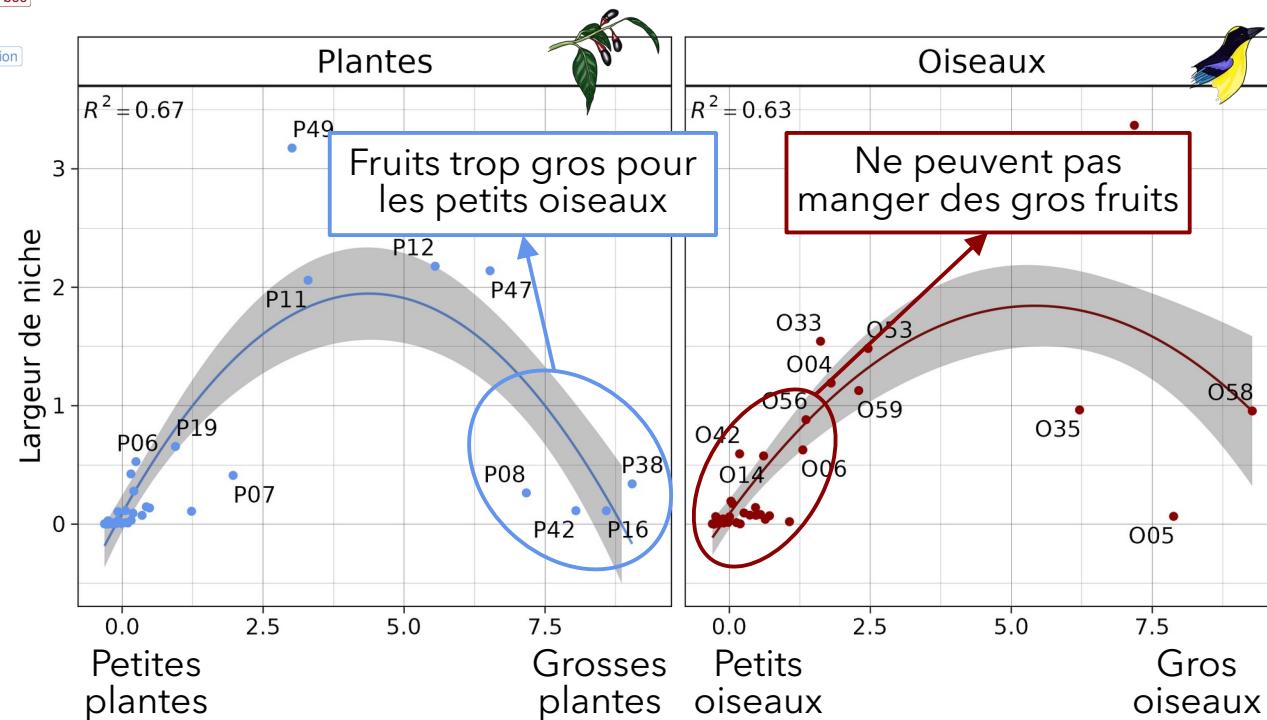
→ contraintes morphologiques



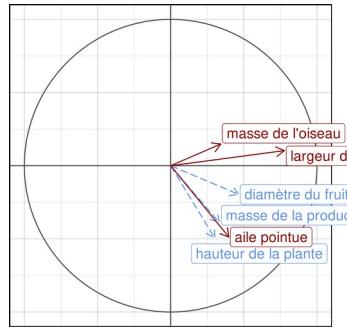
Relation entre optimum et largeur de niche



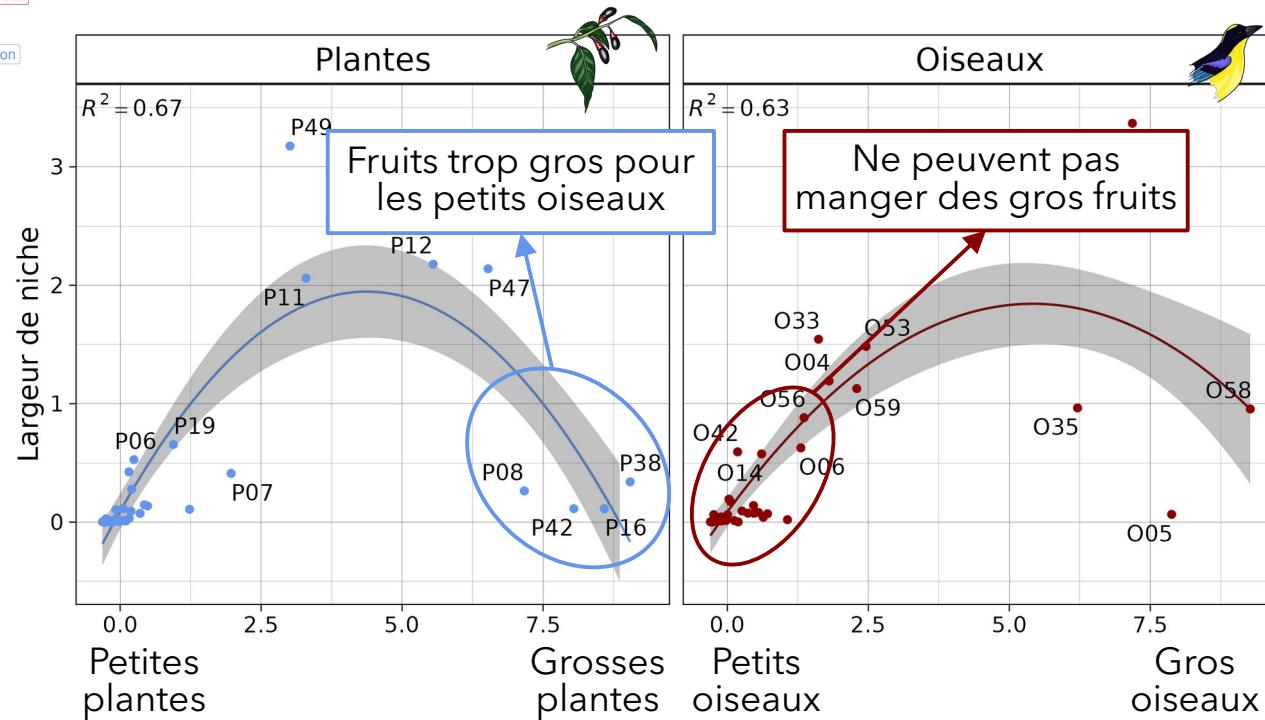
→ contraintes morphologiques



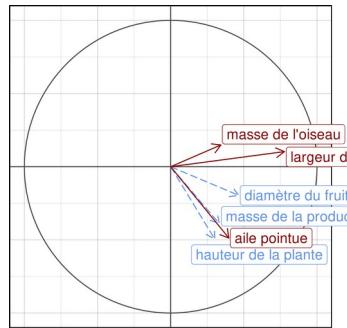
Relation entre optimum et largeur de niche



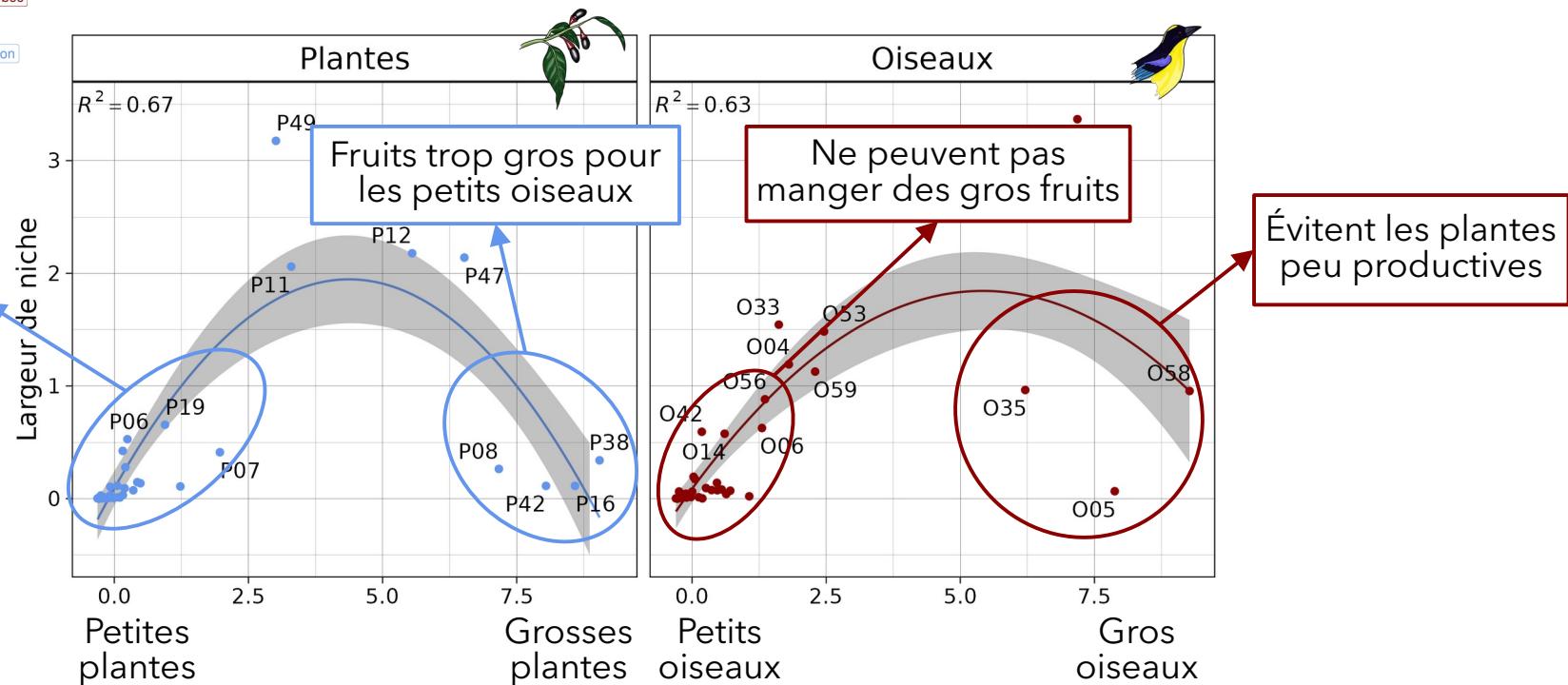
- contraintes morphologiques
- contraintes énergétiques



Relation entre optimum et largeur de niche



- contraintes morphologiques
- contraintes énergétiques



Évitées par les gros oiseaux

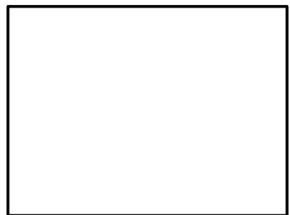
Ne peuvent pas manger des gros fruits

Évitent les plantes peu productives

Importance des traits connus

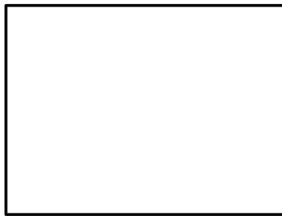
Importance des traits connus

AFC

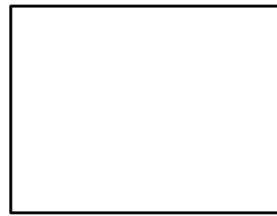


Importance des traits connus

AFC



AFC contrainte



AFC doublement
contrainte

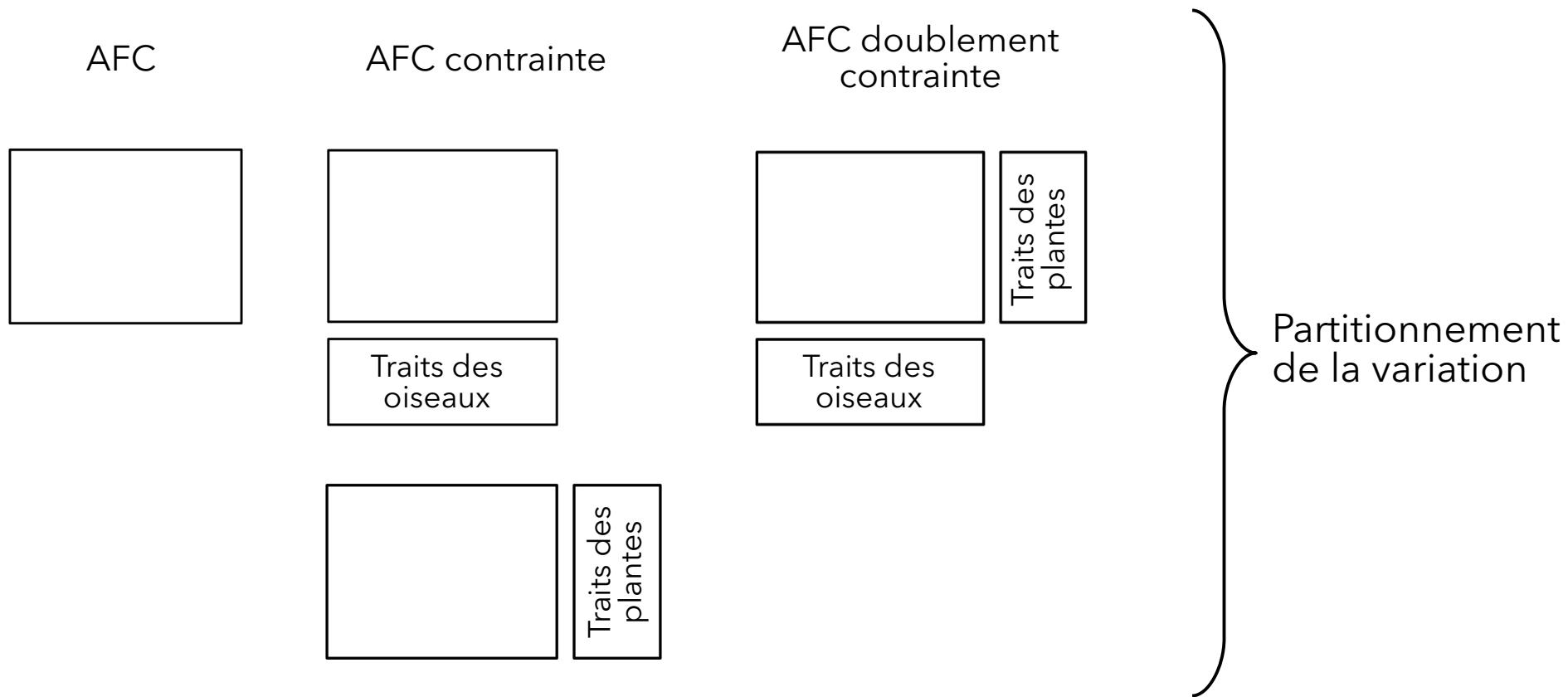


Traits des plantes

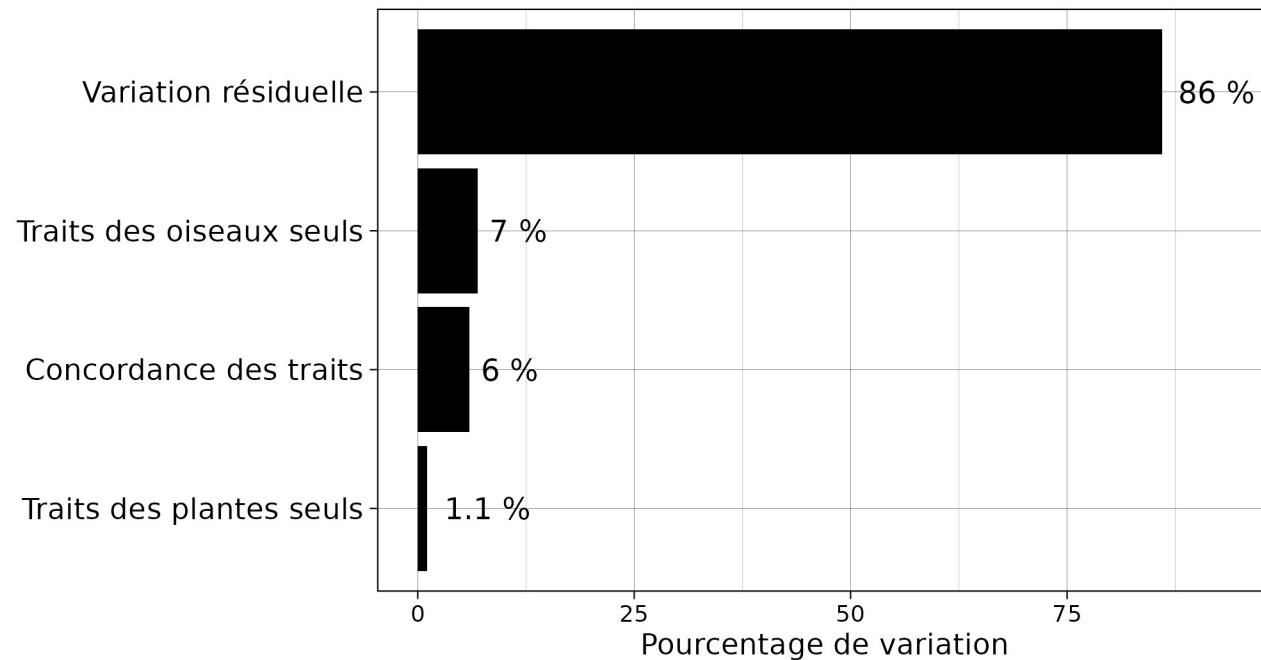
Traits des
oiseaux



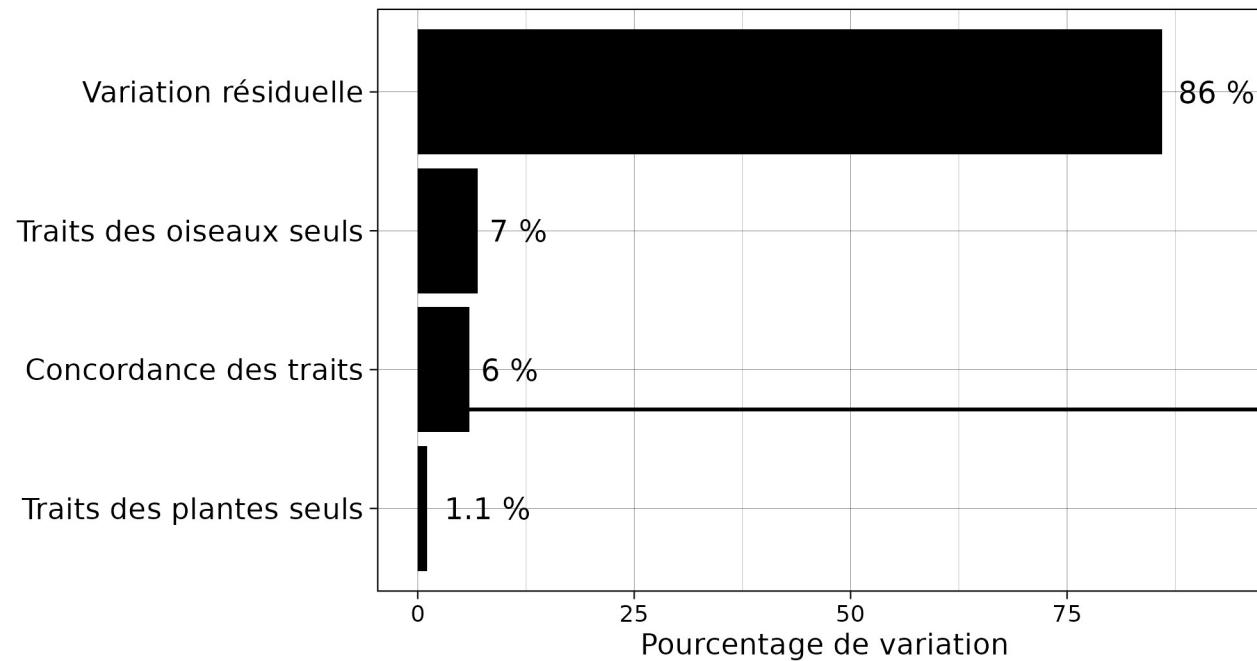
Importance des traits connus



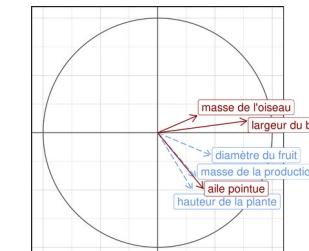
Partitionnement de la variation



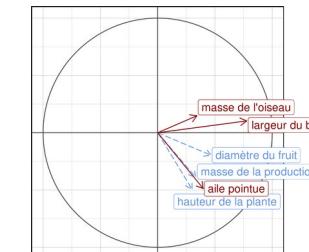
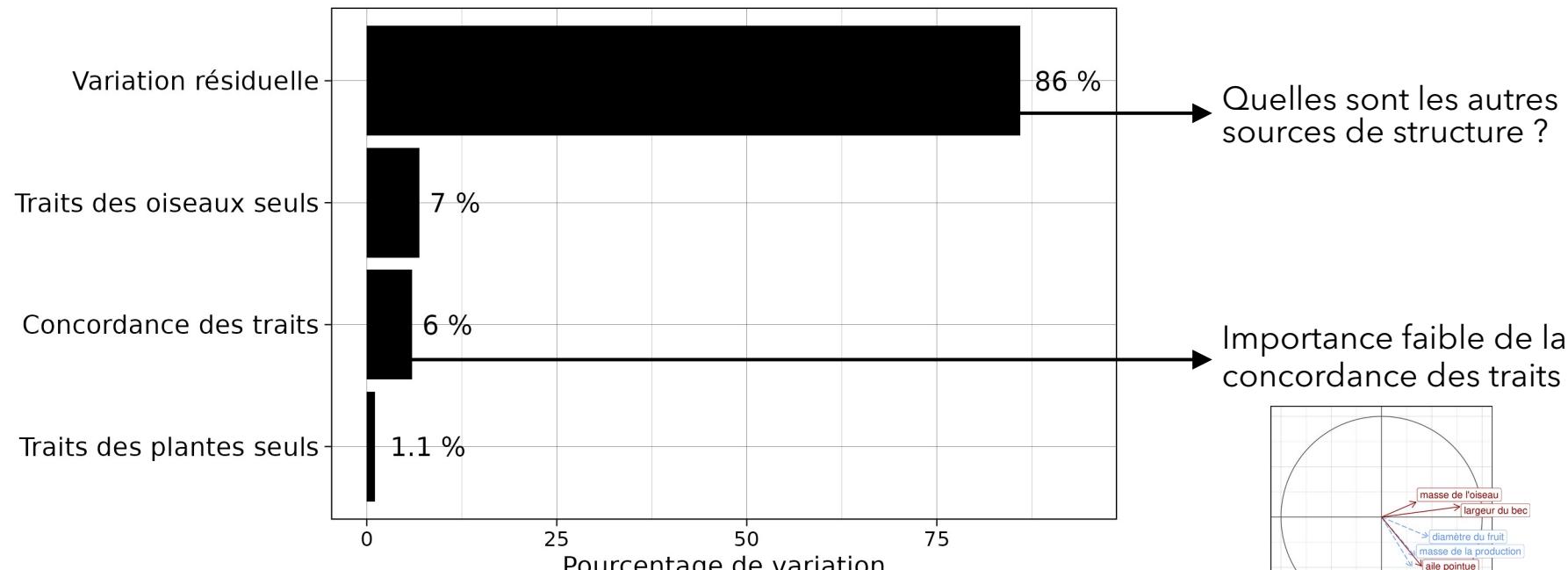
Partitionnement de la variation



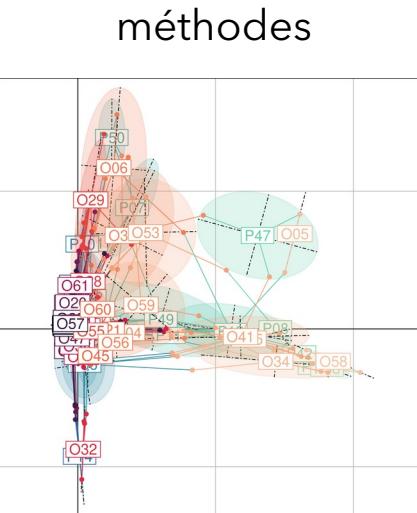
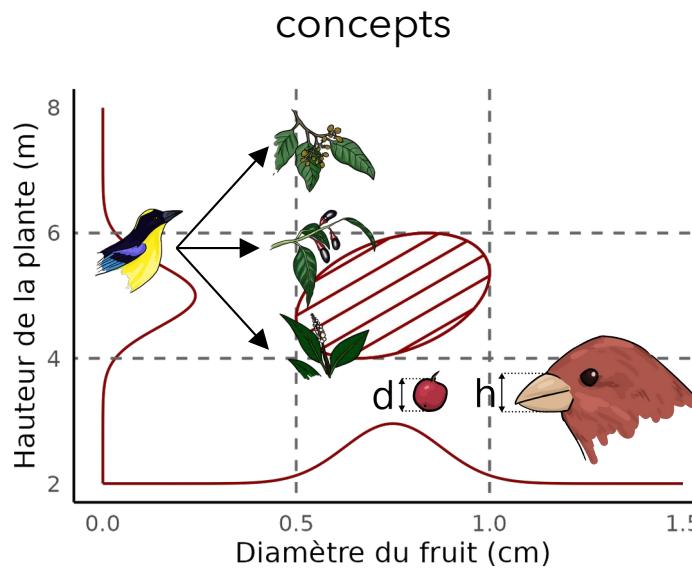
Importance faible de la concordance des traits



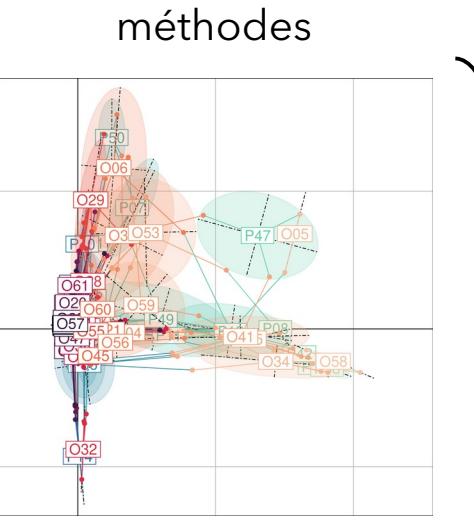
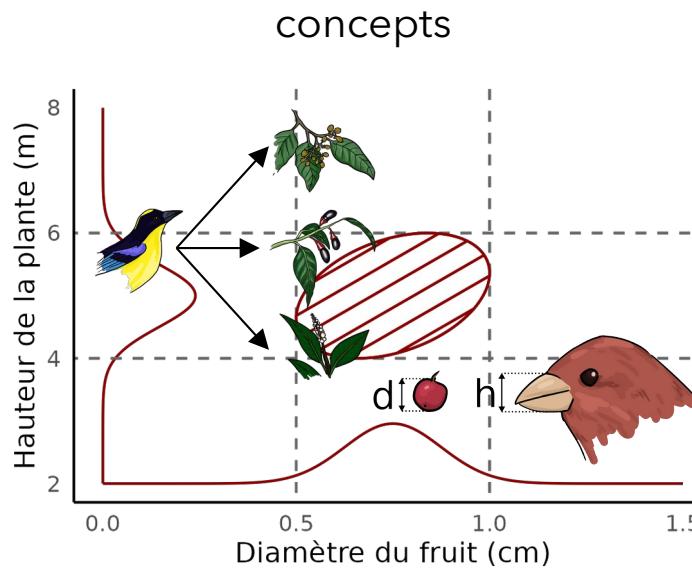
Partitionnement de la variation



Conclusion & perspectives

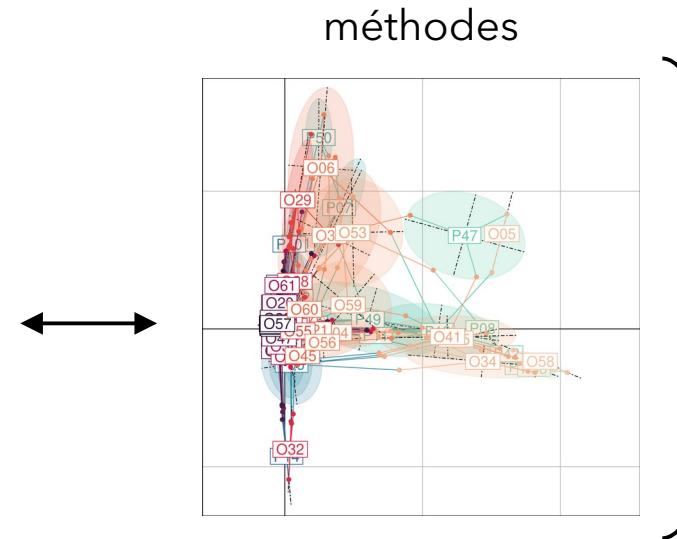
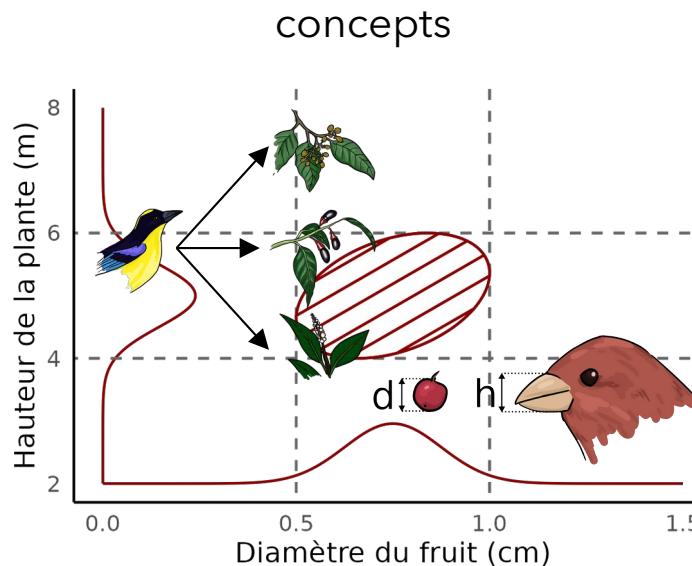


Conclusion & perspectives



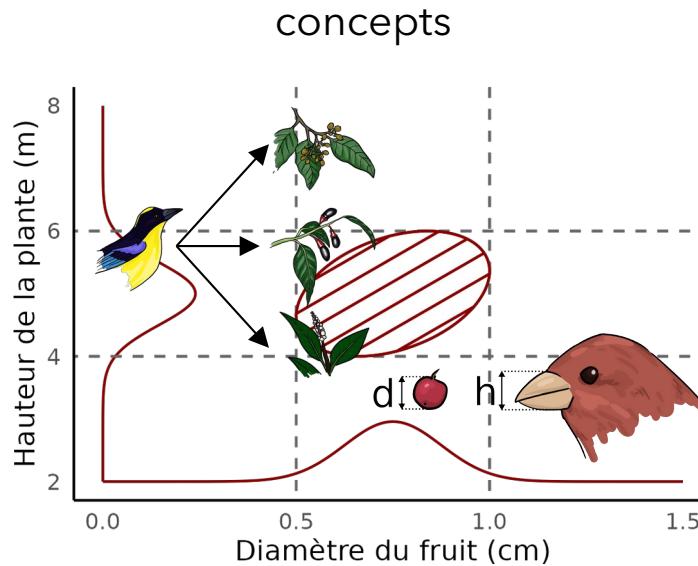
- Liens entre structure et traits latents

Conclusion & perspectives

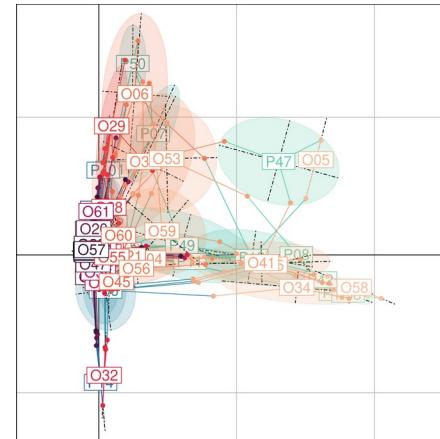


- Liens entre structure et traits latents
- Faible importance des traits mesurés

Conclusion & perspectives



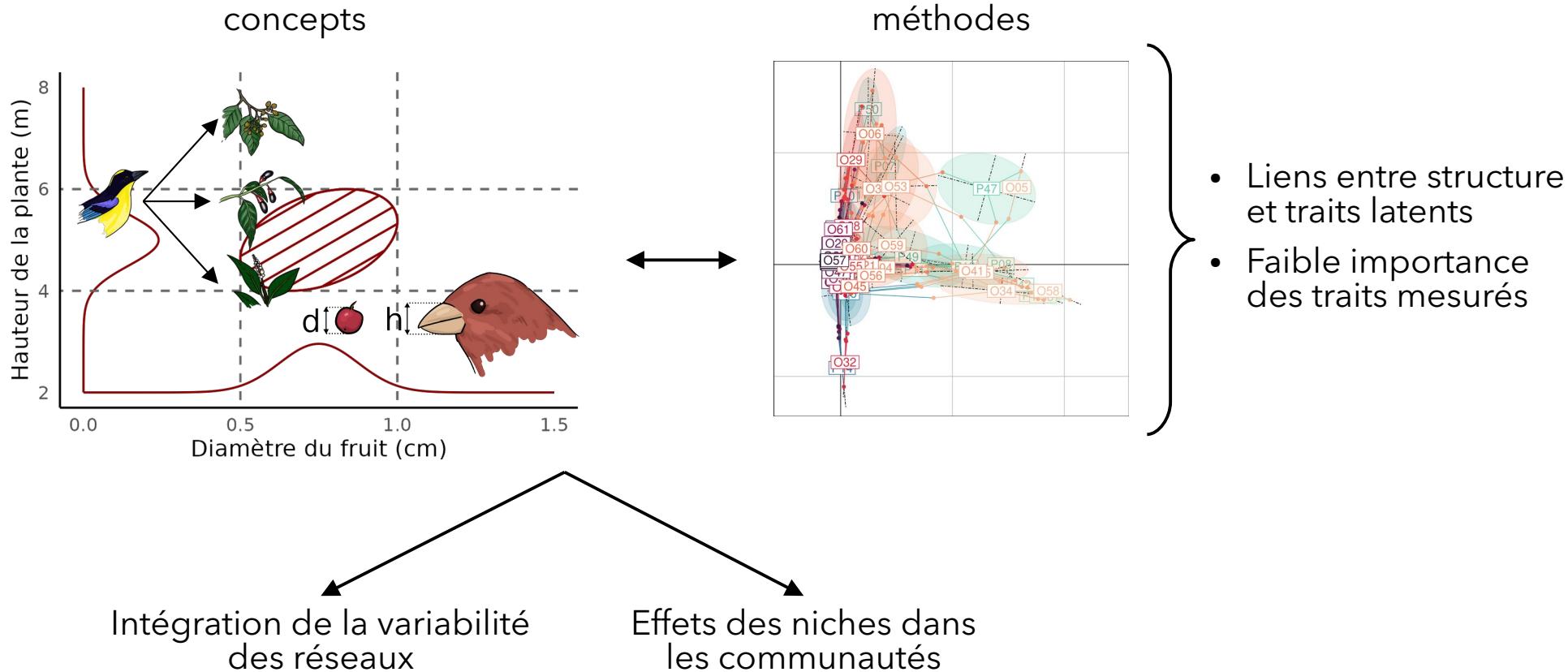
méthodes



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

Intégration de la variabilité des réseaux

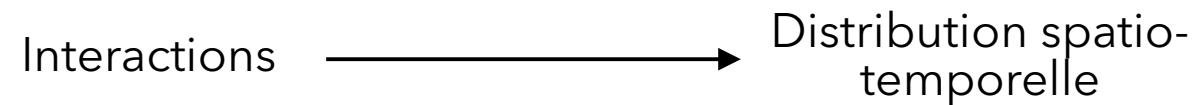
Conclusion & perspectives



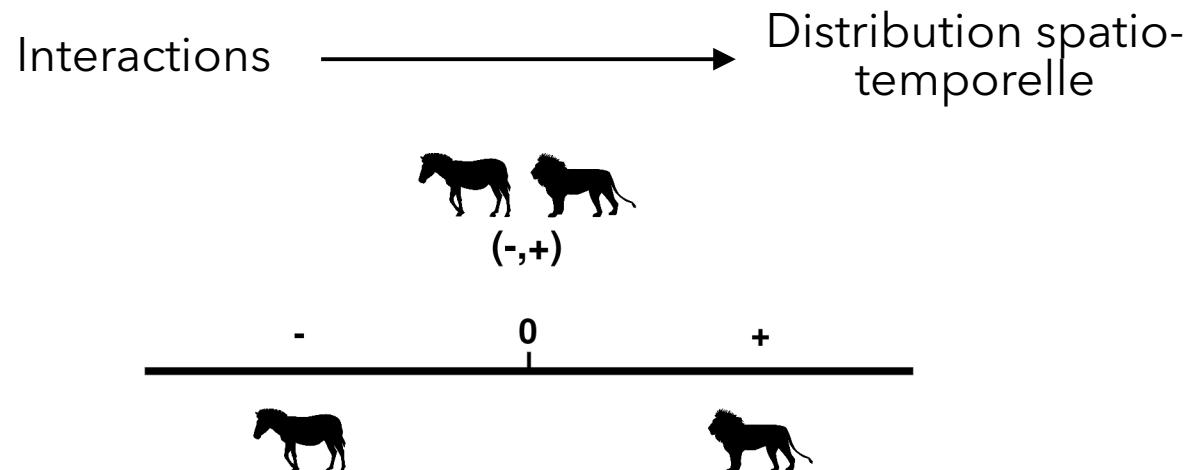


2. Quelles sont les conséquences des interactions ?

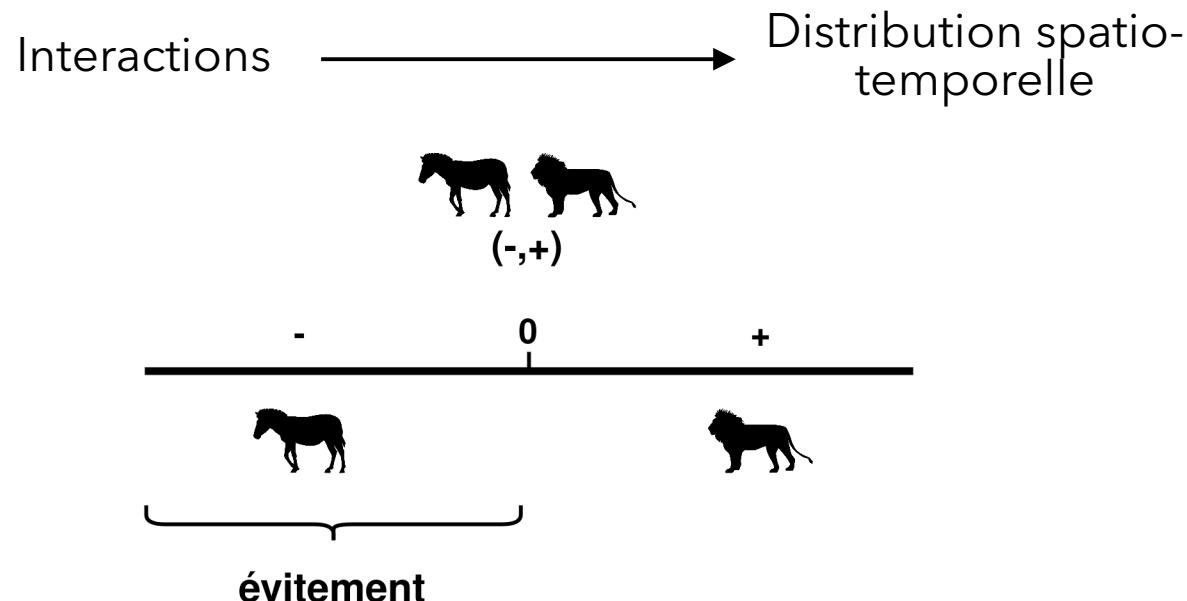
Interactions et distribution des espèces



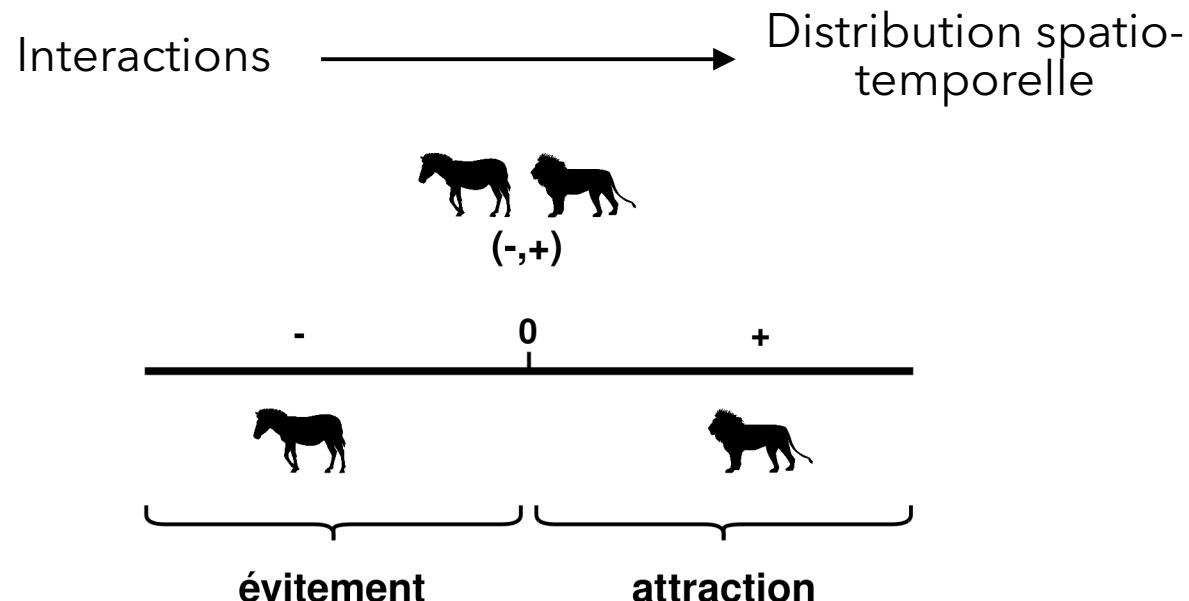
Interactions et distribution des espèces



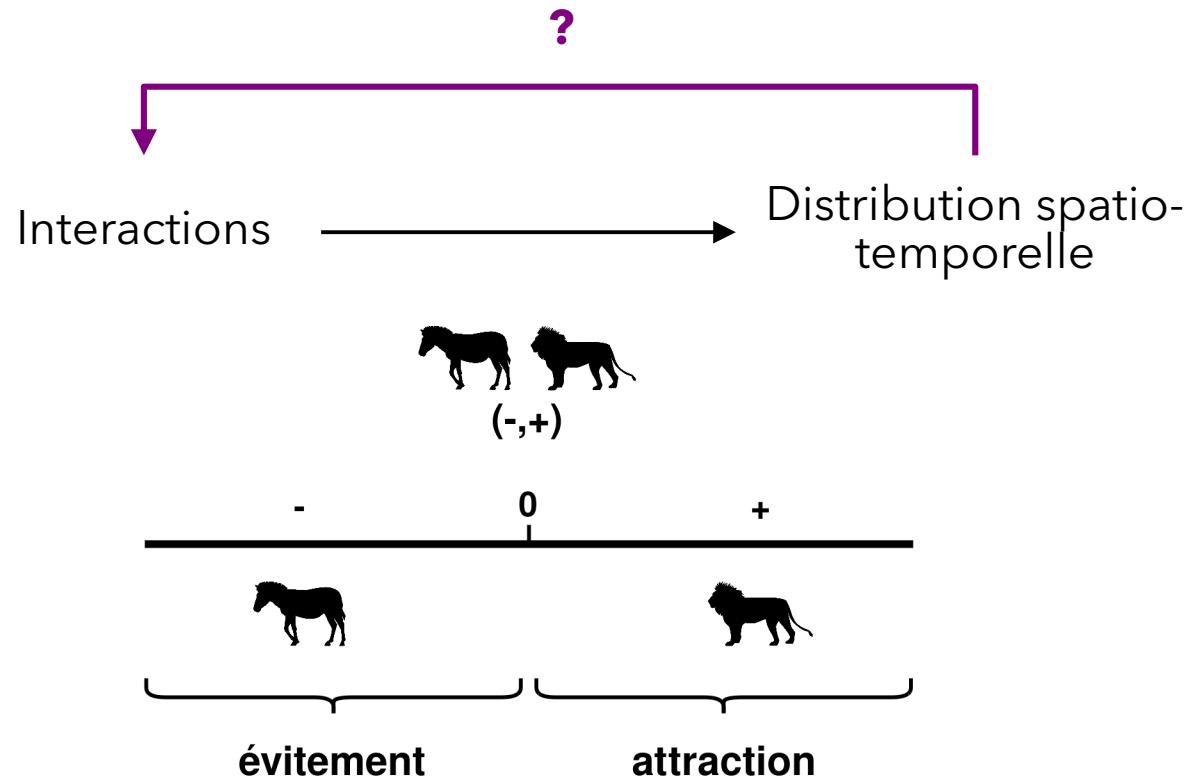
Interactions et distribution des espèces



Interactions et distribution des espèces



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



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



Pièges photos = appareils photos à déclenchement automatique



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



Steenbok © Snapshot Safari

2/12/2019 10:51 AM



Steenbok (aussi) © Snapshot Safari

10/23/2017 3:06 AM ID:44

Pièges photos = appareils photos à déclenchement automatique



Données en continu

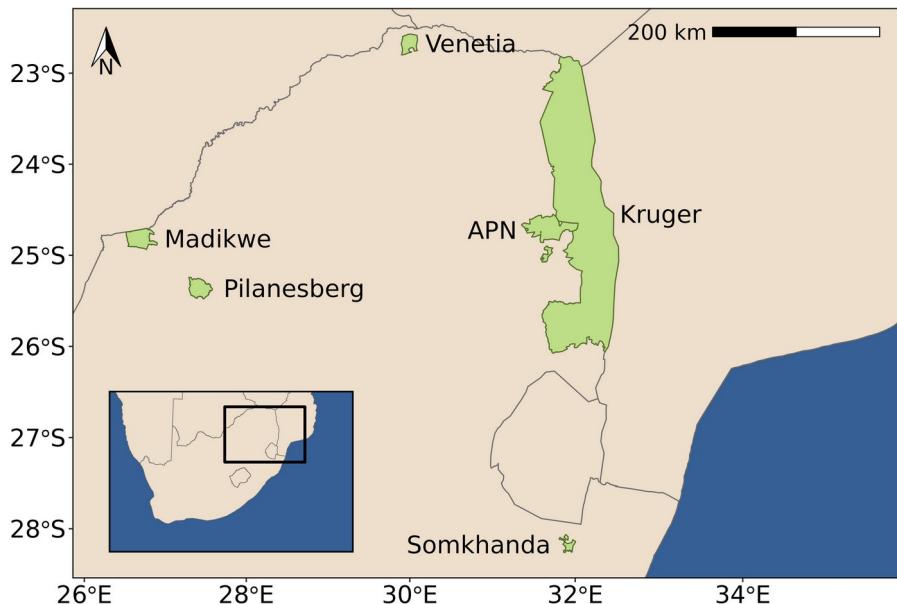
Données de pièges photos

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

Données de pièges photos

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

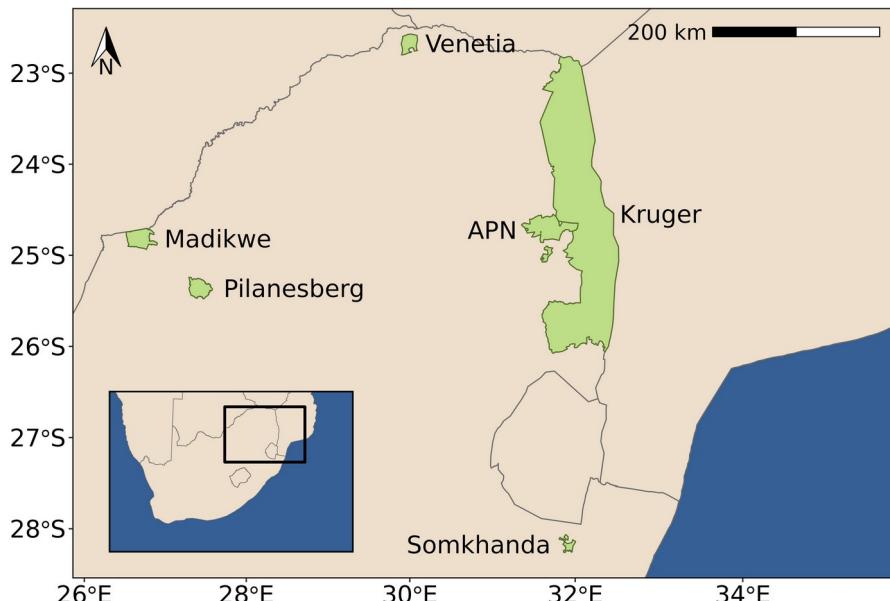
> 150 pièges photos en Afrique du Sud



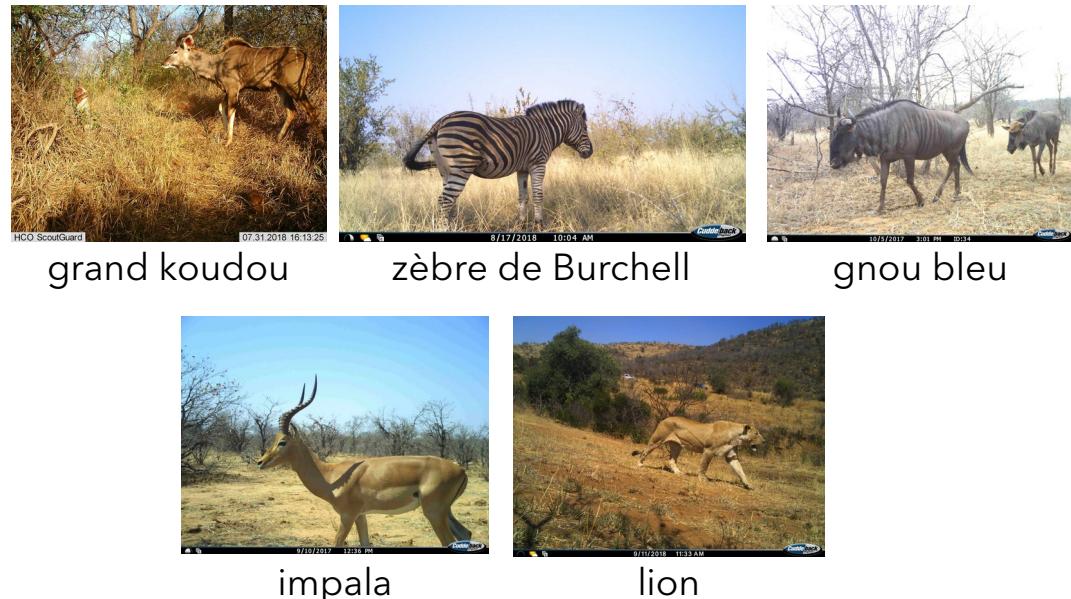
Données de pièges photos

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

> 150 pièges photos en Afrique du Sud



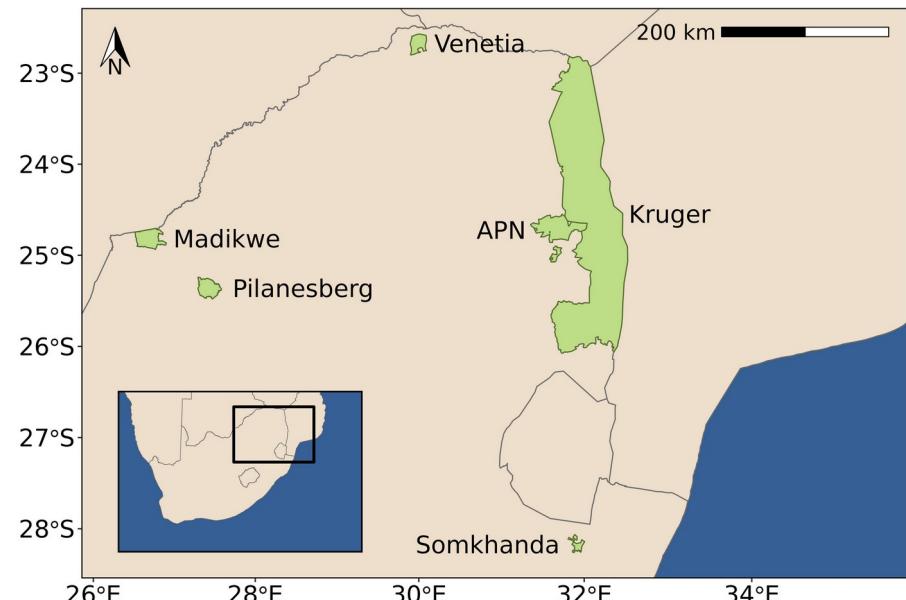
5 espèces



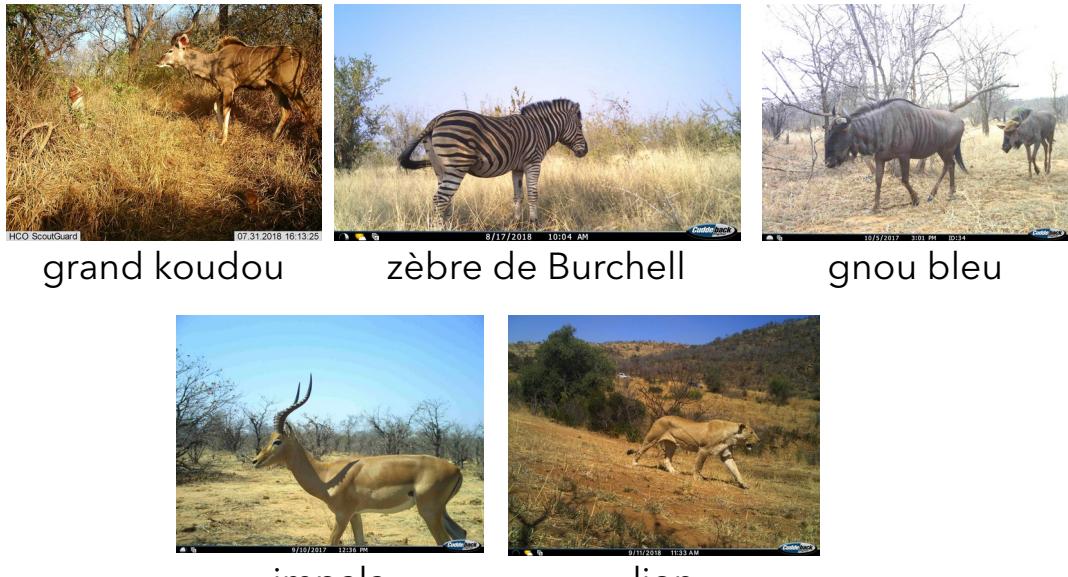
Données de pièges photos

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

> 150 pièges photos en Afrique du Sud

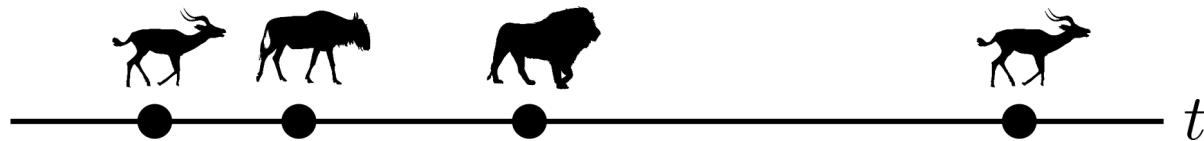


5 espèces

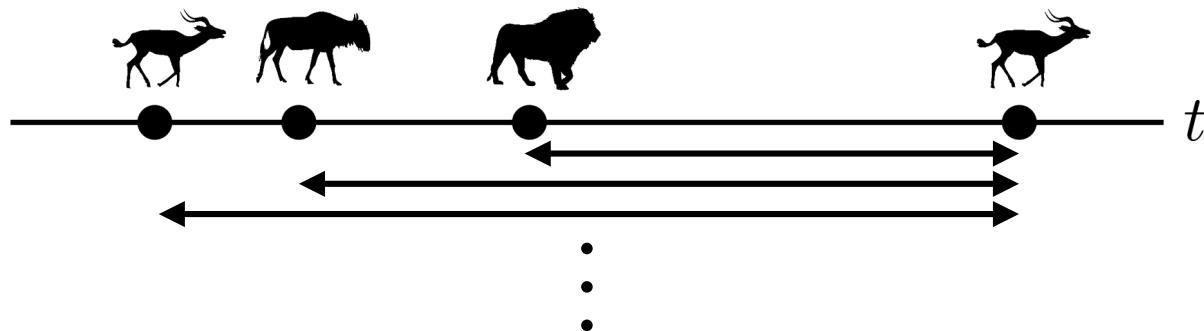


> 2 ans de données et > 70 000 photos

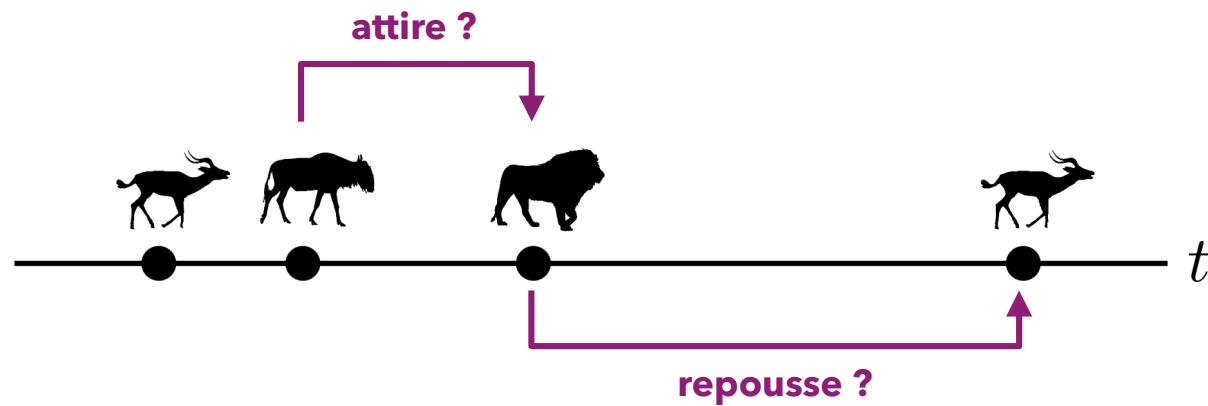
Inférence d'interactions



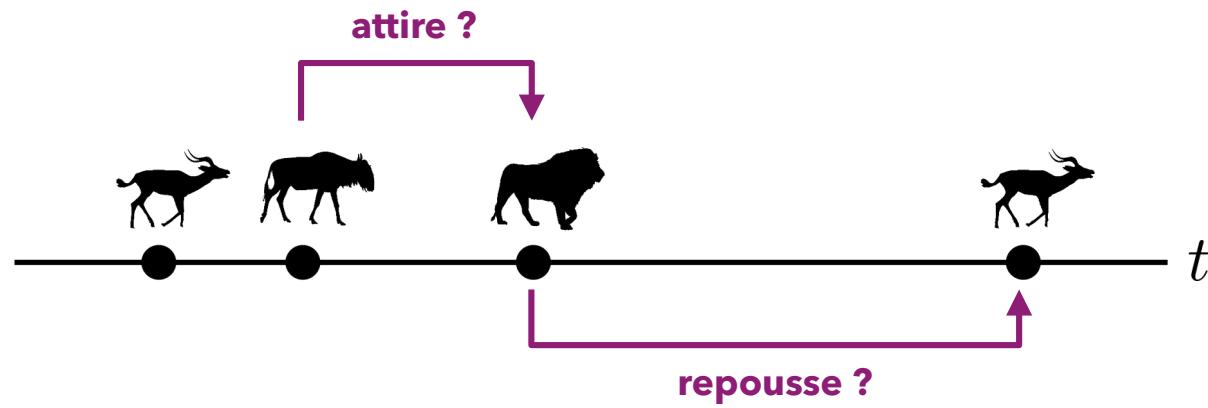
Inférence d'interactions



Inférence d'interactions



Inférence d'interactions



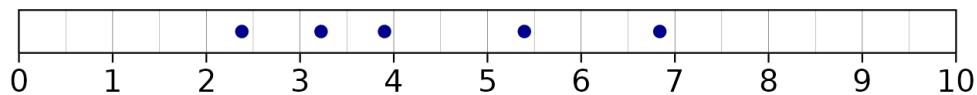
Processus de Hawkes multivarié

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

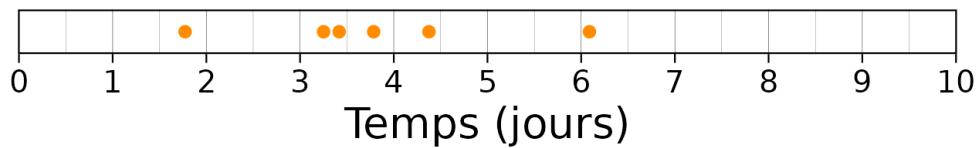
Processus de Hawkes multivarié

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

s_1

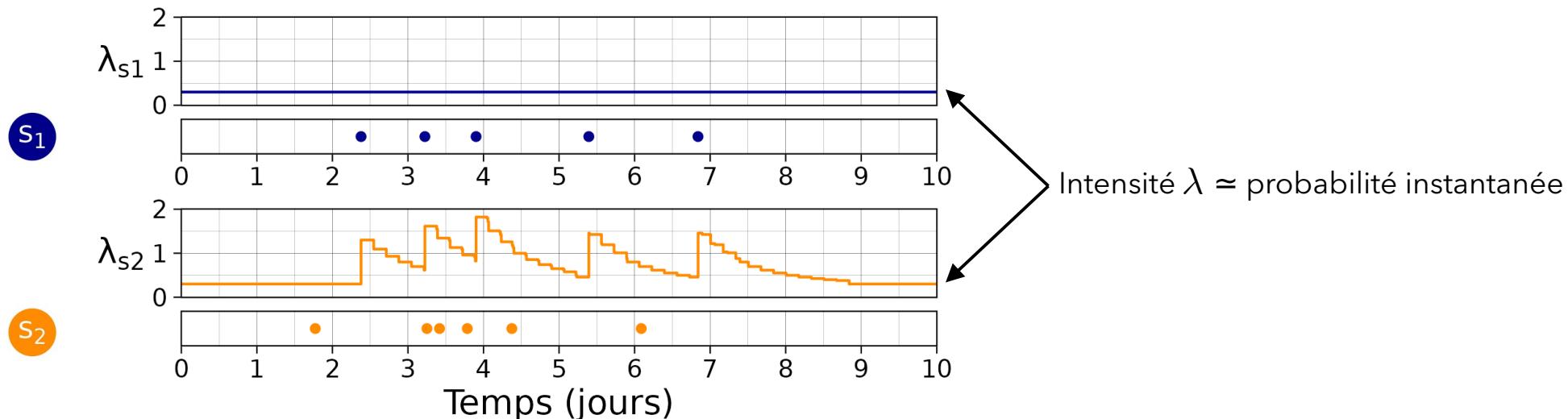


s_2



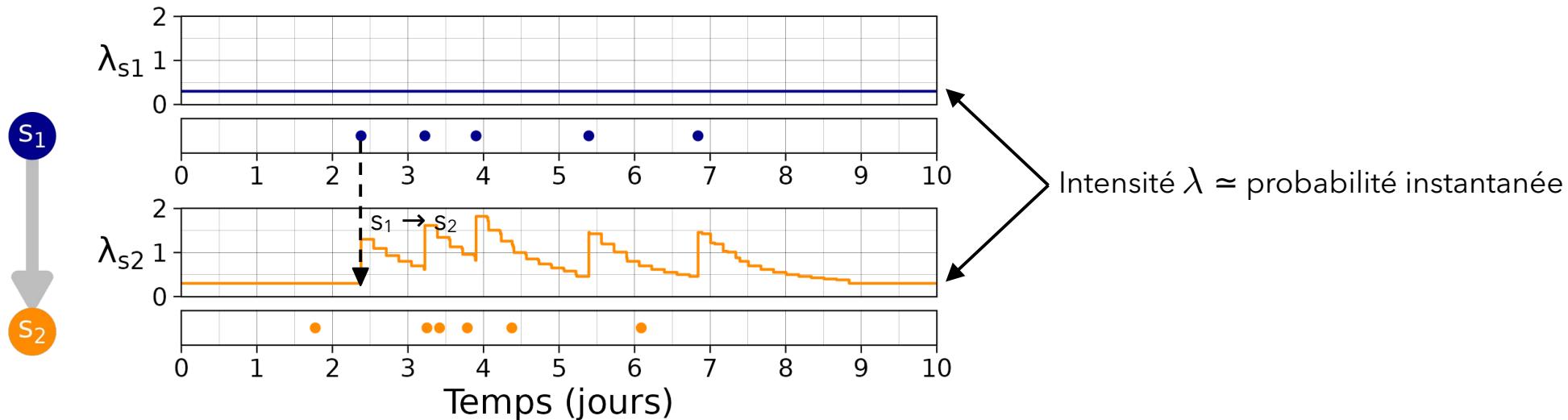
Processus de Hawkes multivarié

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

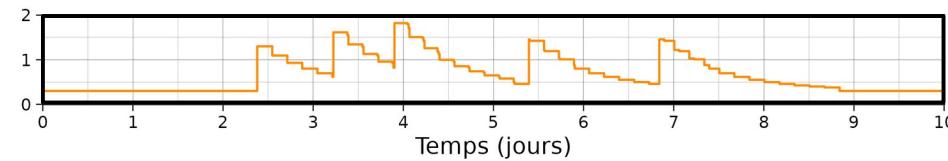
Modèle proposé par *Lambert et al. (2018)*, implémenté dans le package R `UnitEvents`
Albert et al. 2021

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

Processus de Hawkes multivarié

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

Albert et al. 2021



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

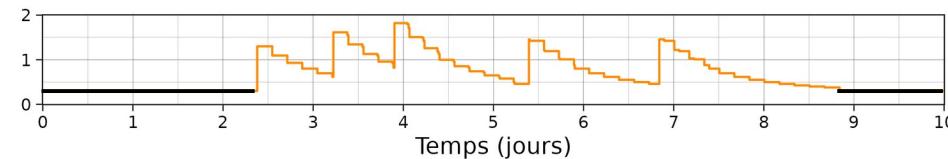
Intensité pour l'espèce i
au piège photo l



Processus de Hawkes multivarié

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

Albert et al. 2021



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

Intensité pour l'espèce i
au piège photo l



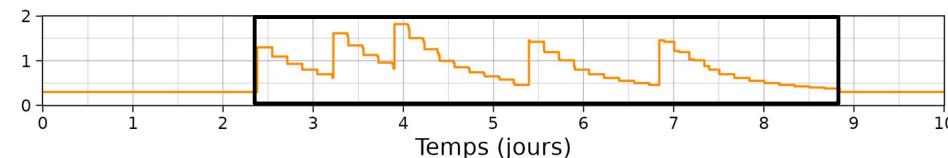
Taux basal pour
l'espèce i



Processus de Hawkes multivarié

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

Albert et al. 2021



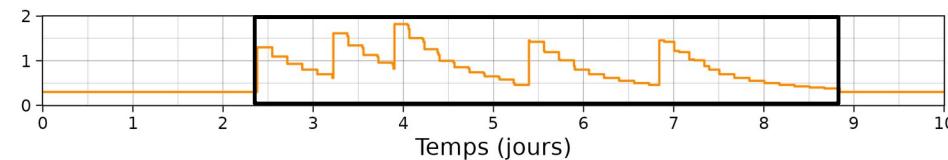
$$\lambda_i^l(t) = \underbrace{\nu_i}_{\text{Intensité pour l'espèce } i \text{ au piège photo } l} + \left(\underbrace{\sum_{j=1}^S \sum_{m \mid T_m^{lj} < t} f_{j \rightarrow i}(t - T_m^{lj})}_{\text{Taux basal pour l'espèce } i} \right) +$$



Processus de Hawkes multivarié

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

Albert et al. 2021



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

Intensité pour l'espèce i
au piège photo l



Taux basal pour
l'espèce i



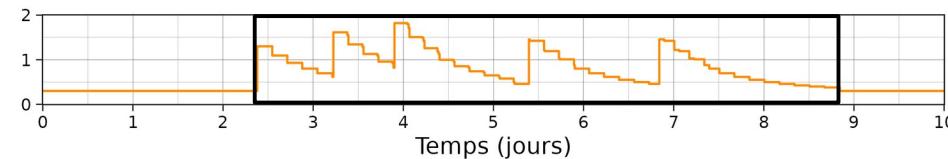
Fonction d'interaction de
l'espèce j vers l'espèce i



Processus de Hawkes multivarié

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

Albert et al. 2021



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

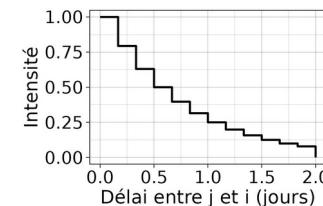
Intensité pour l'espèce i
au piège photo l



Taux basal pour
l'espèce i



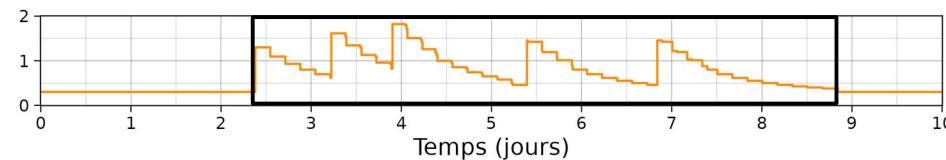
Fonction d'interaction de
l'espèce j vers l'espèce i



Processus de Hawkes multivarié

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

Albert et al. 2021



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

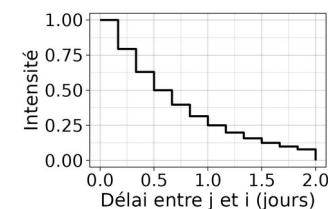
Intensité pour l'espèce i
au piège photo l



Taux basal pour
l'espèce i



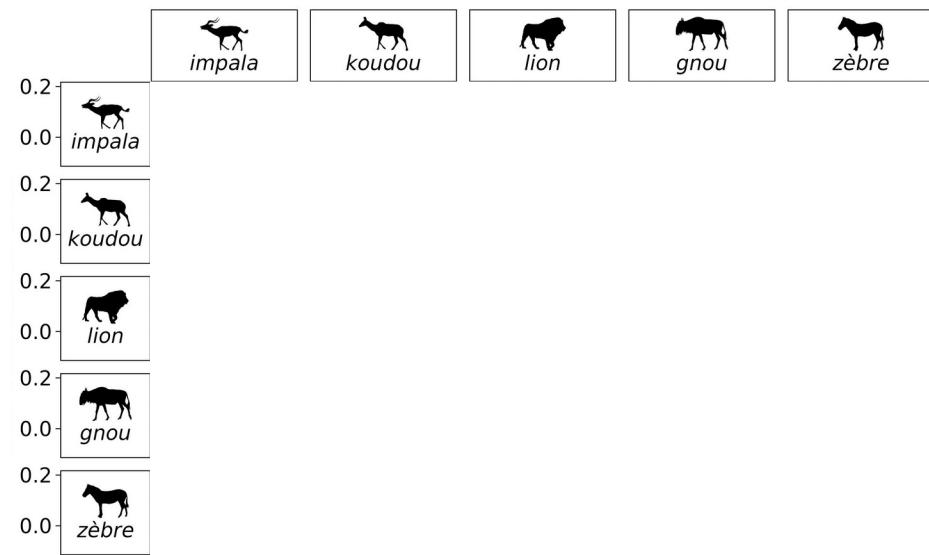
Fonction d'interaction de
l'espèce j vers l'espèce i



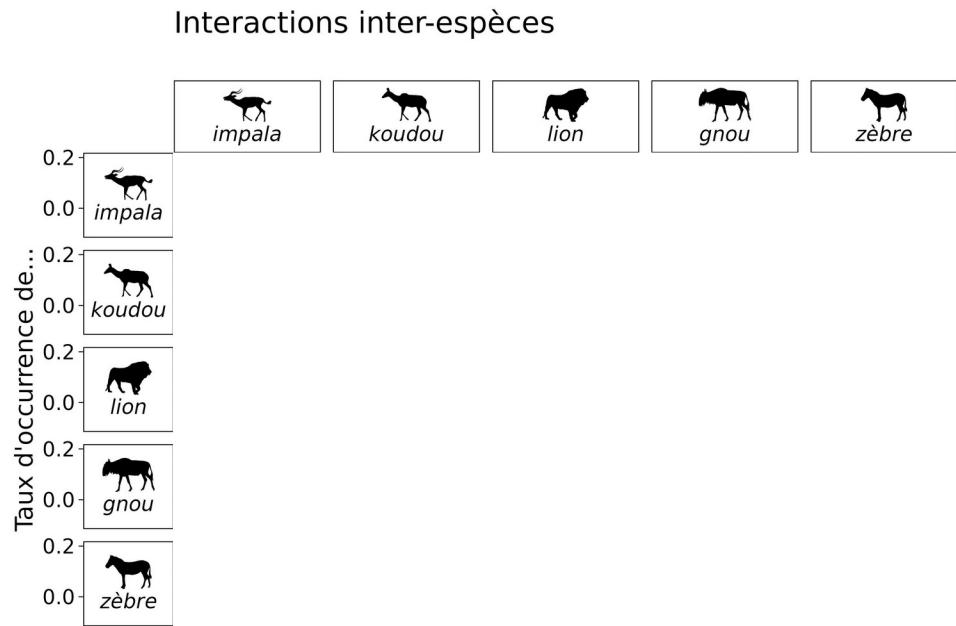
> 0 : attraction
= 0 : pas d'effet
< 0 : répulsion

Inférence d'interactions

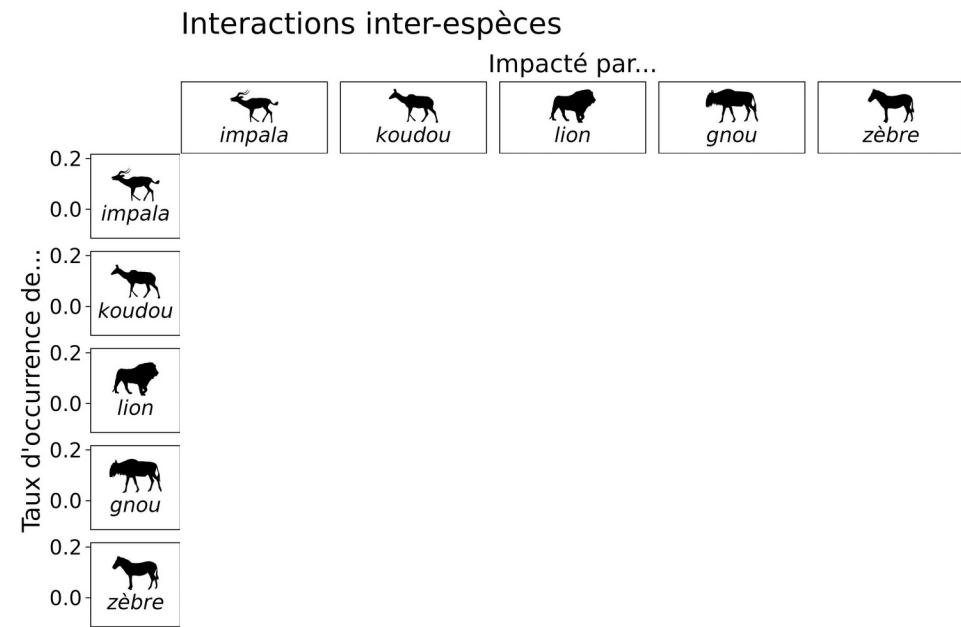
Interactions inter-espèces



Inférence d'interactions



Inférence d'interactions

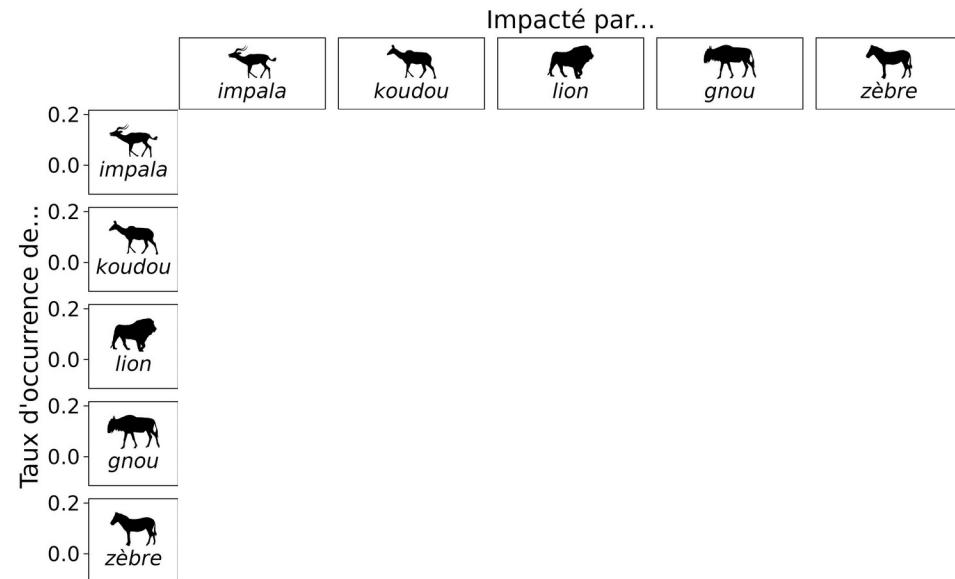


Inférence d'interactions

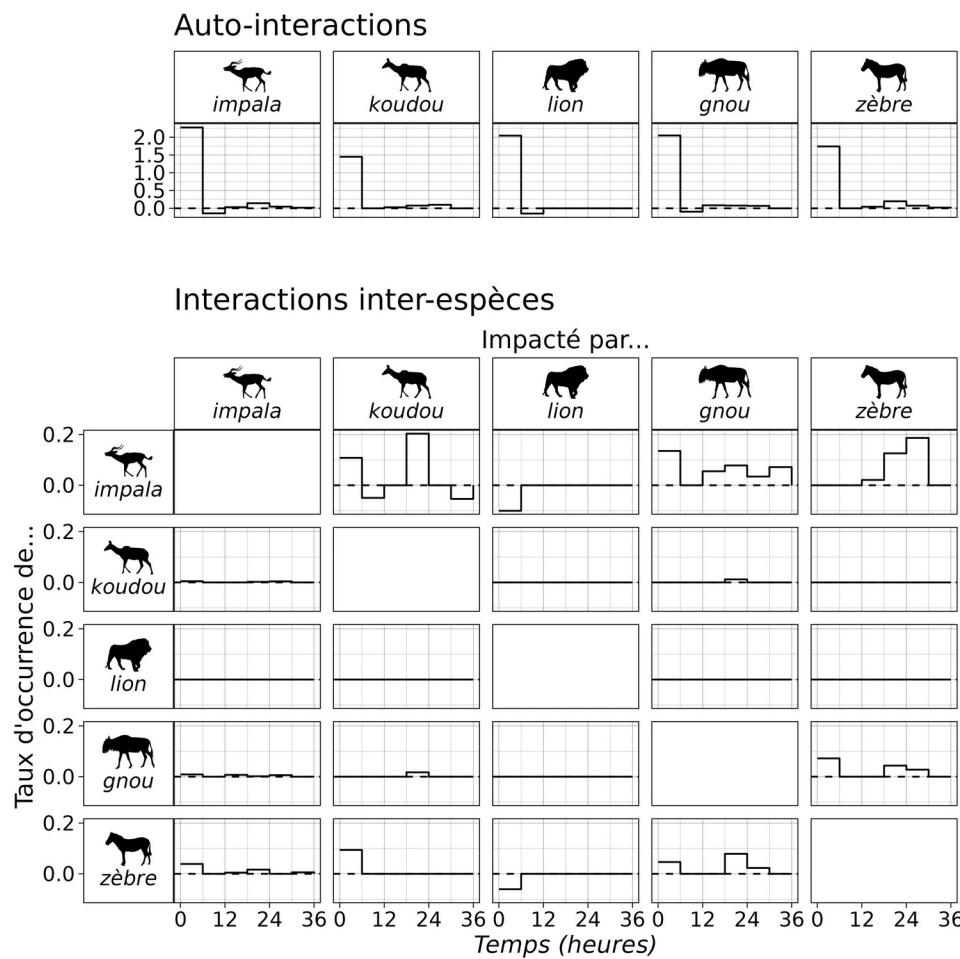
Auto-interactions



Interactions inter-espèces



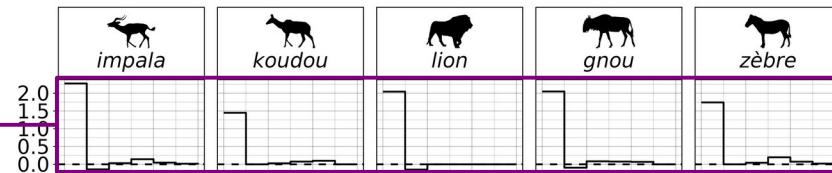
Inférence d'interactions



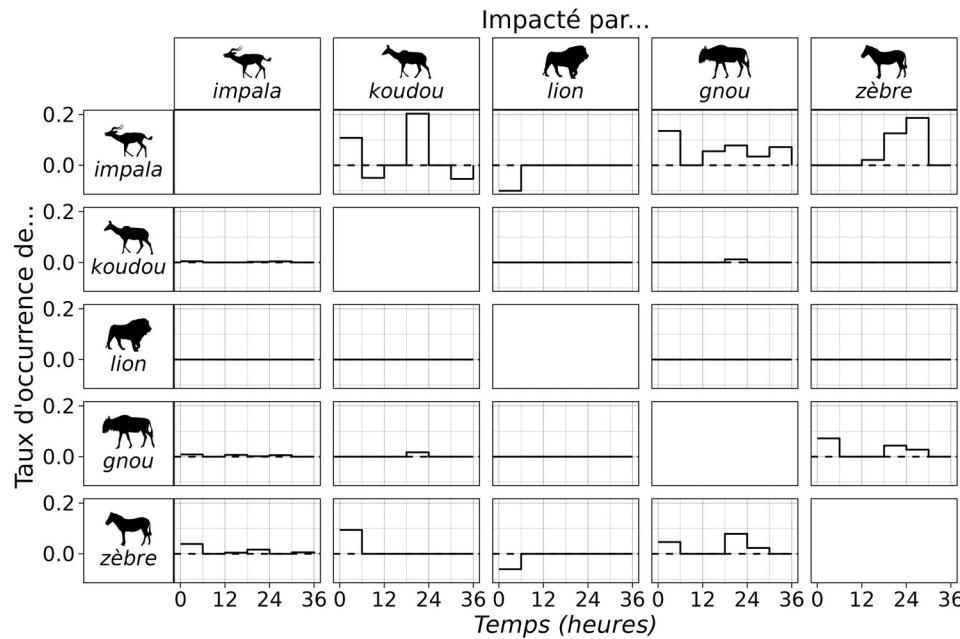
Inférence d'interactions

Fortes auto-atTRACTIONS

Auto-interactions



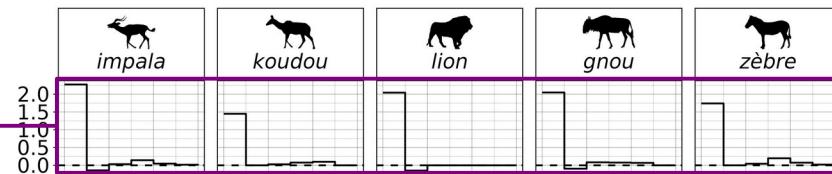
Interactions inter-espèces



Inférence d'interactions

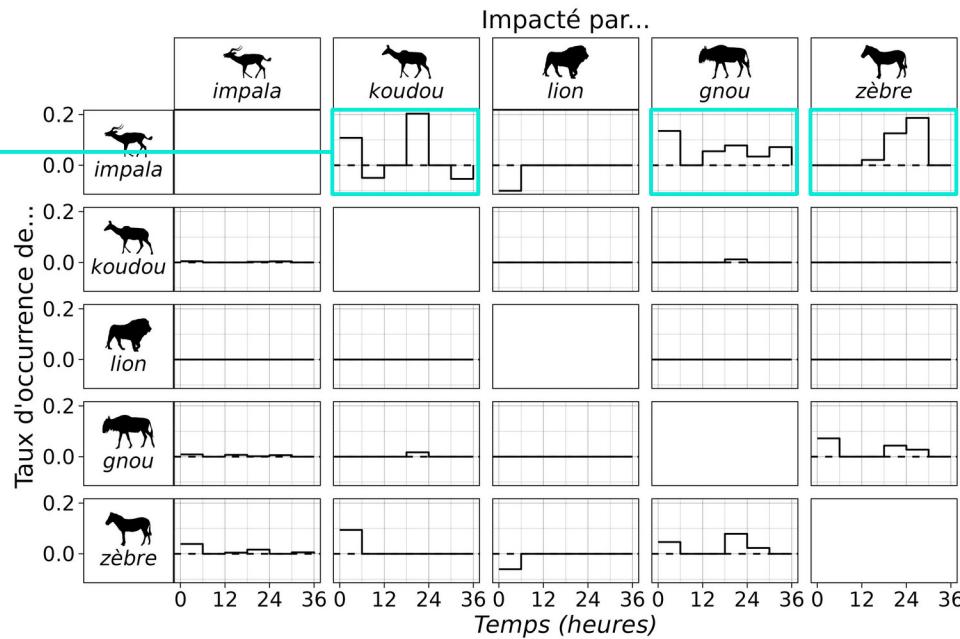
Fortes auto-atTRACTIONS

Auto-interactions



Impala attiré par les autres herbivores

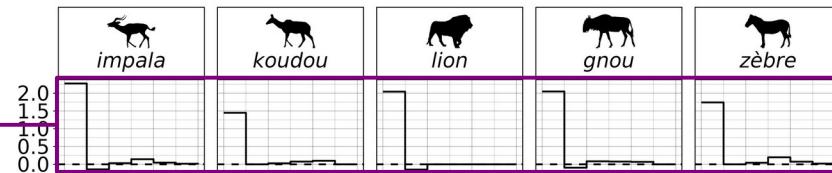
Interactions inter-espèces



Inférence d'interactions

Fortes auto-atTRACTIONS

Auto-interactions

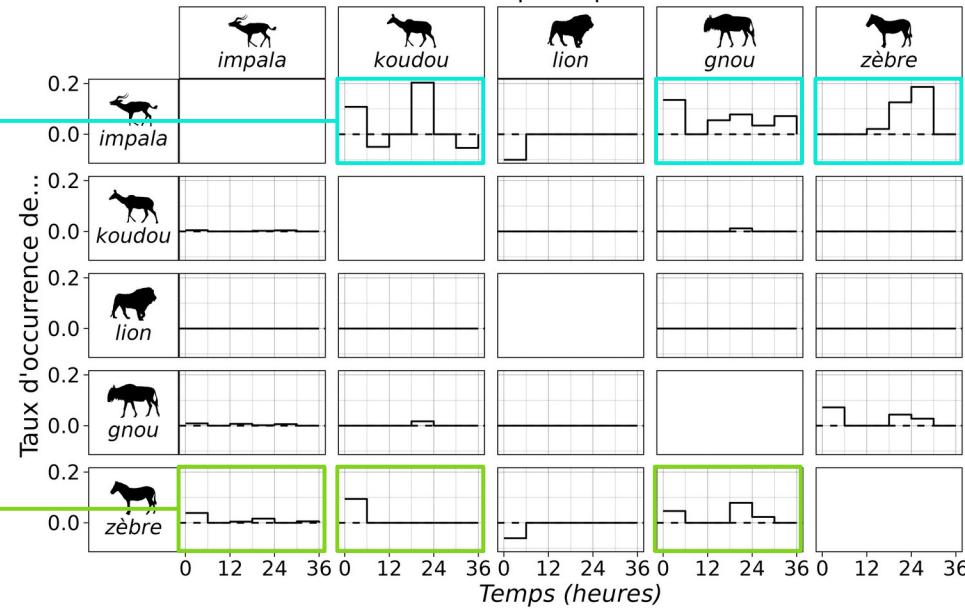


Impala attiré par les autres herbivores

Interactions inter-espèces

Zèbre attiré par les autres herbivores

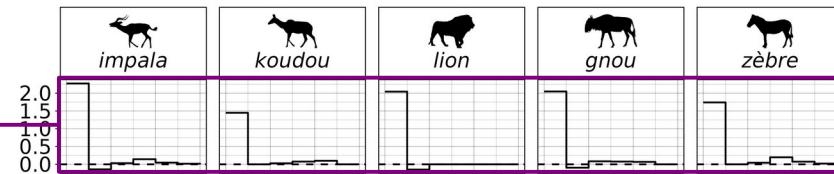
Impacté par...



Inférence d'interactions

Fortes auto-atTRACTIONS

Auto-interactions

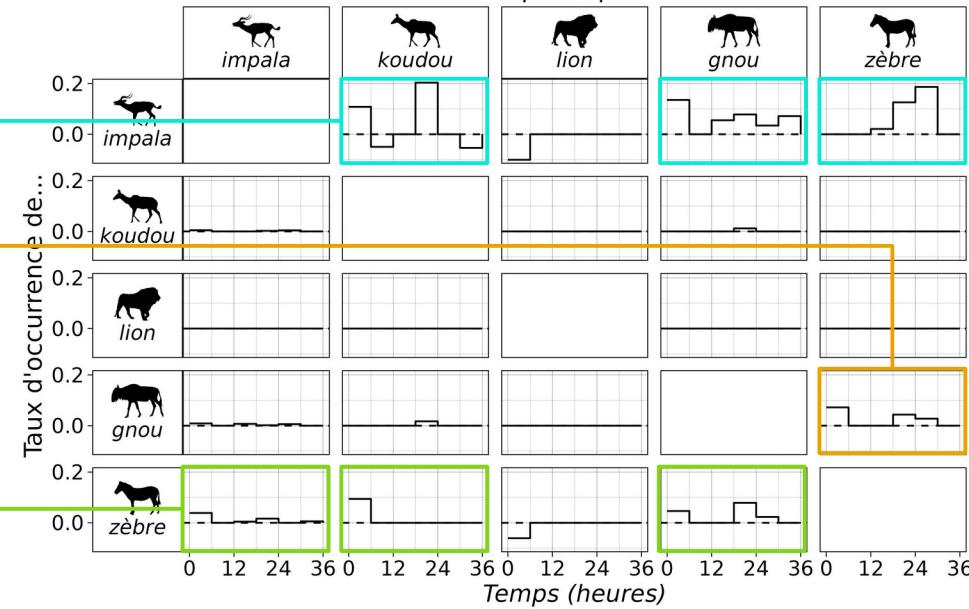


Impala attiré par les autres herbivores

Interactions inter-espèces

Zèbre attiré par les autres herbivores

Impacté par...

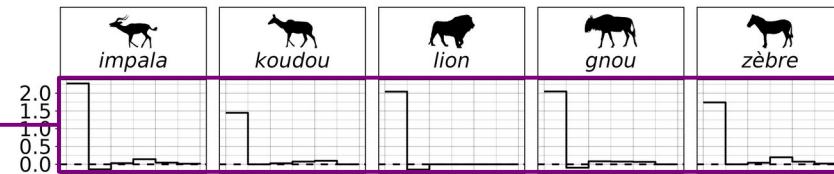


Gnou attiré par le zèbre

Inférence d'interactions

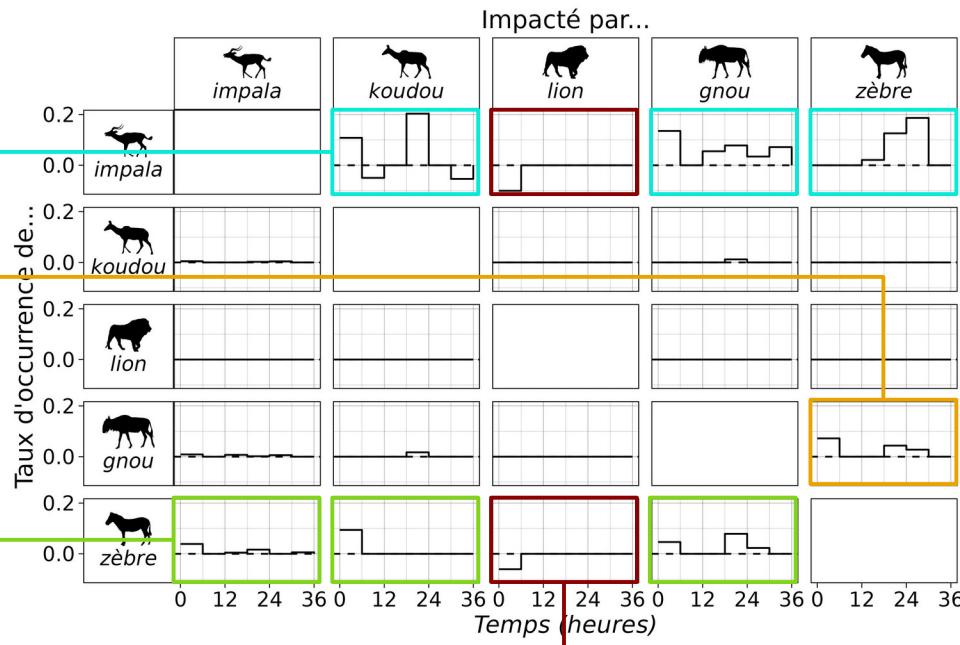
Fortes auto-atTRACTIONS

Auto-interactions



Impala attiré par les autres herbivores

Interactions inter-espèces



Zèbre attiré par les autres herbivores

Gnou attiré par le zèbre

Impala et zèbre évitent le lion

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

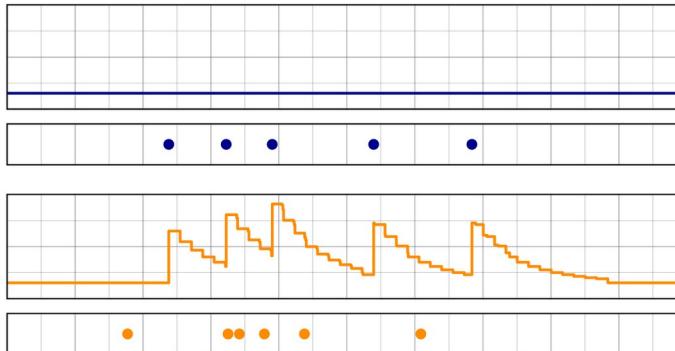
Évitement du lion → Stratégie anti-prédation
Valeix et al. 2009

Effets confondants :

- Variables spatiales 
- Rythmes temporels 

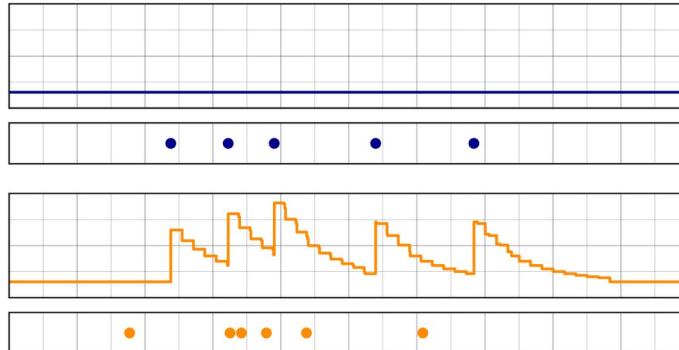
Conclusions & perspectives

Processus ponctuel & données de pièges photos



Conclusions & perspectives

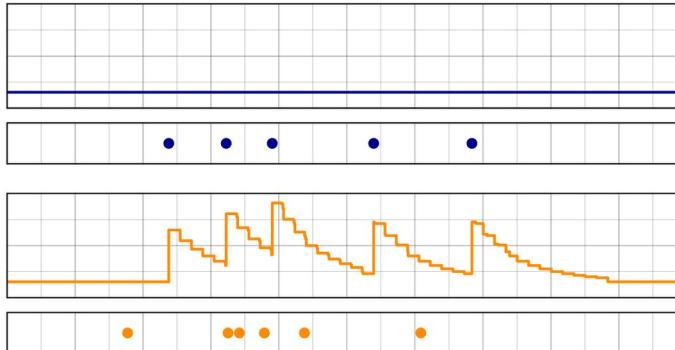
Processus ponctuel & données de pièges photos



- interaction dirigée

Conclusions & perspectives

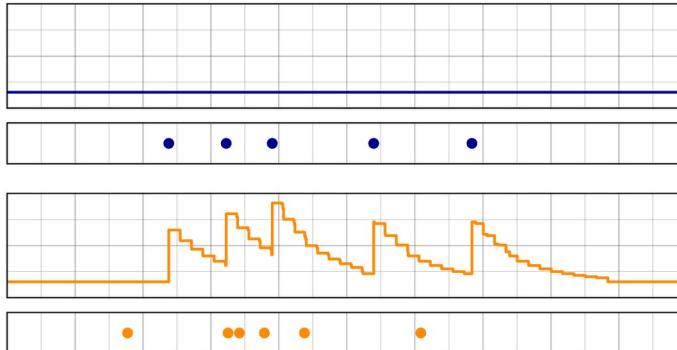
Processus ponctuel & données de pièges photos



- interaction dirigée
- évolution dans le temps

Conclusions & perspectives

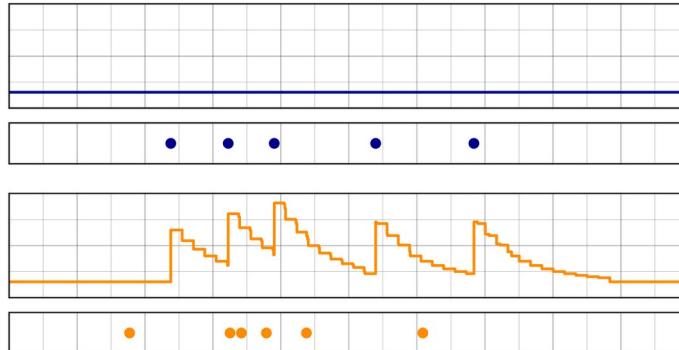
Processus ponctuel & données de pièges photos



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

Conclusions & perspectives

Processus ponctuel & données de pièges photos

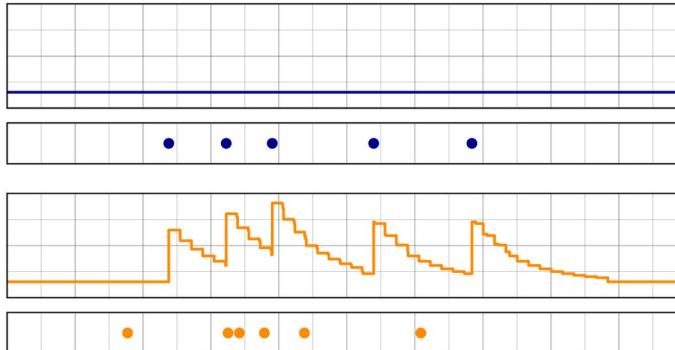


- interaction dirigée
- évolution dans le temps
- approche multi-espèces

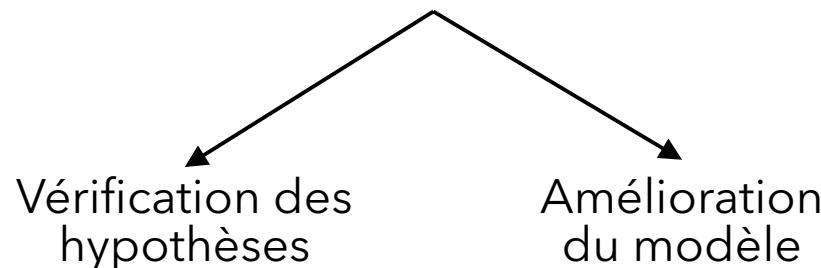
Vérification des hypothèses

Conclusions & perspectives

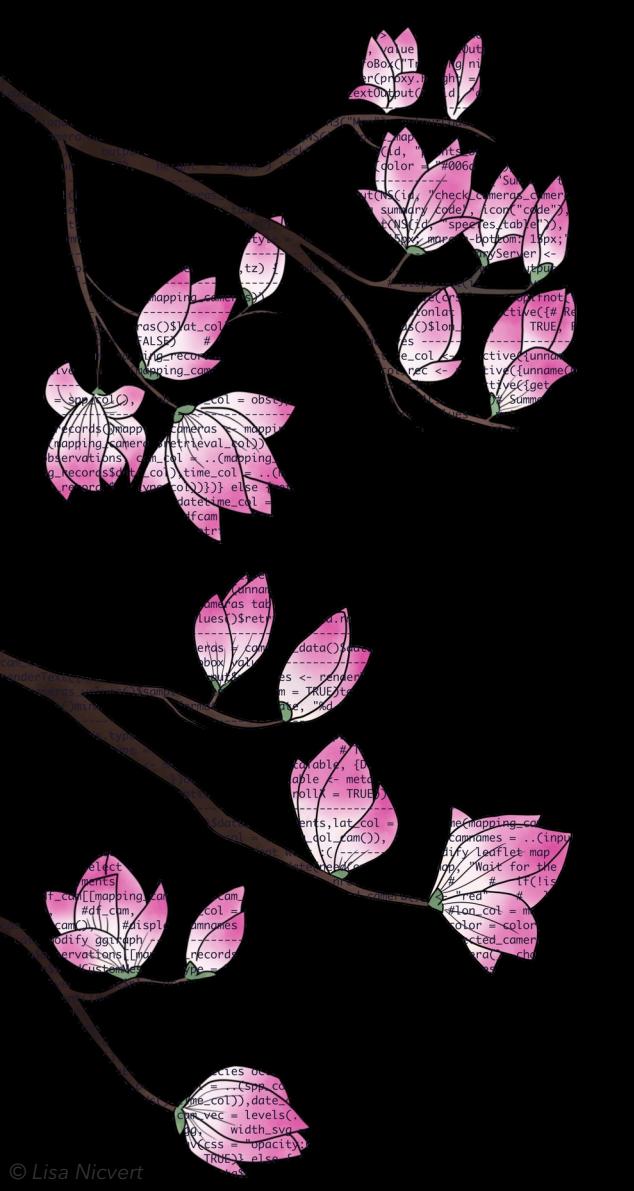
Processus ponctuel & données de pièges photos



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



3. Comment manipuler des données complexes ?



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.

Select data

Analyze data

```
graph LR; Import[Import  
example or own file] --> Filter[Filter  
species, cameras or date range]; Filter --> Overview[Overview  
synthetic information on the data]; Overview --> AllSpecies[All species  
abundance and diversity]; AllSpecies --> OneSpecies[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

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.

Select data

Import example or own file → Filter species, cameras or date range → Overview synthetic information on the data

Analyze 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

Application web interactive (Shiny)

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.

Select data

Import example or own file → Filter species, cameras or date range → Overview synthetic information on the data

Analyze 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

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

Analyze data

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

- package R
- export du code (ShinyMeta)

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 »)



© Lisa M. Hart

Science ouverte et code ouvert

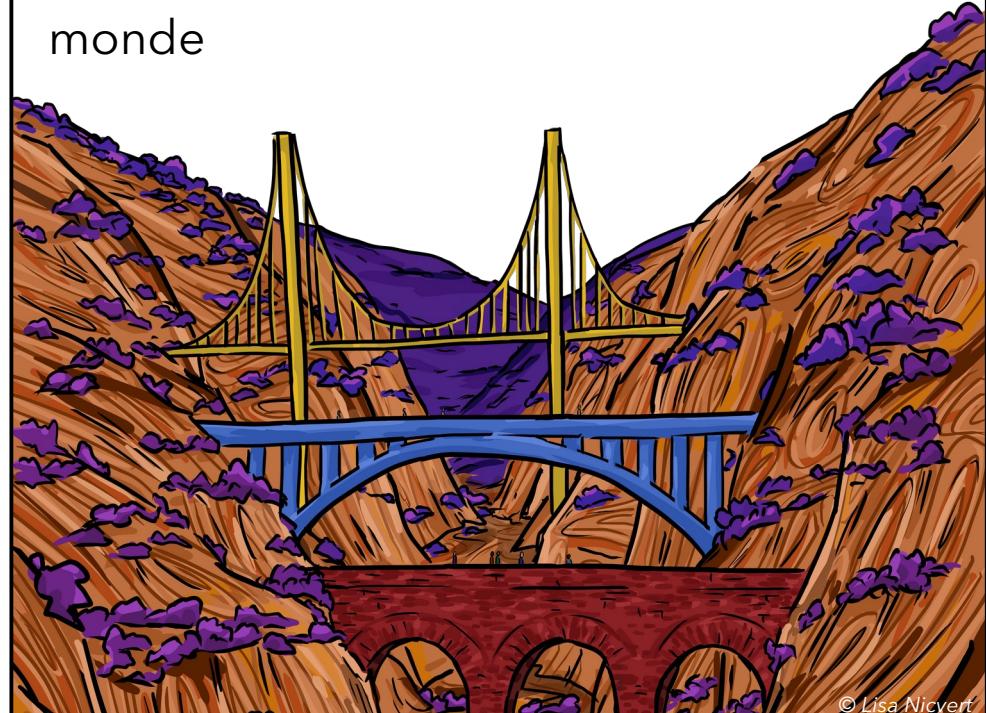
Enjeu scientifique

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

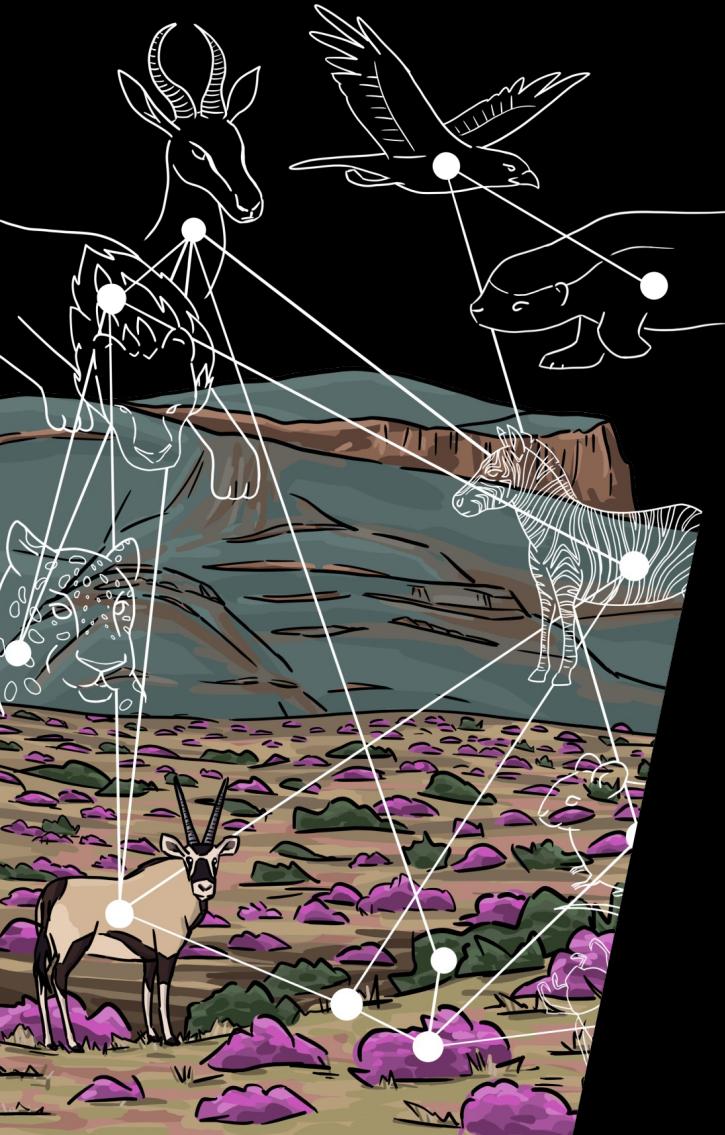


Transparence

Rendre la science accessible à tout le monde



© Lisa Niceret

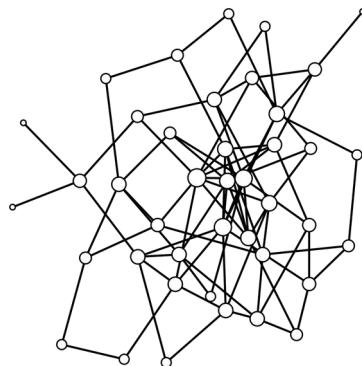


Discussion

Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

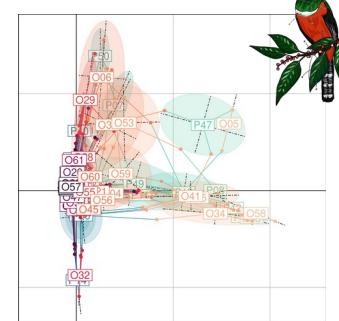
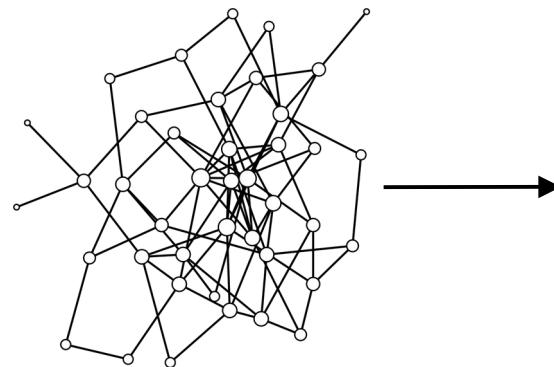
Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

objet d'étude

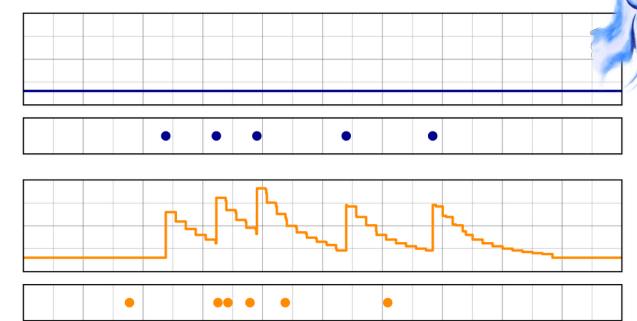


Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

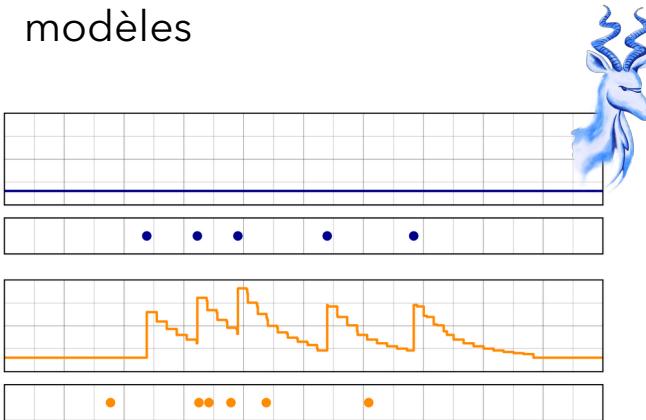
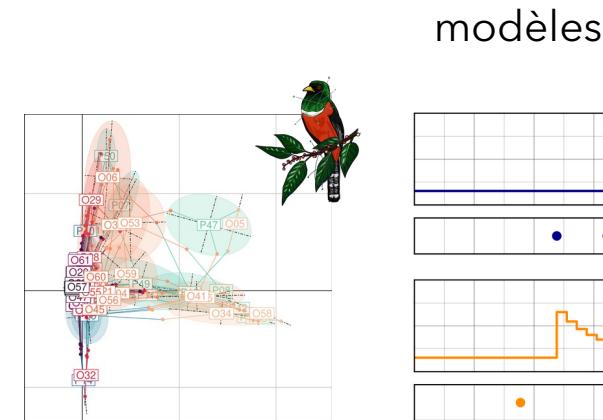
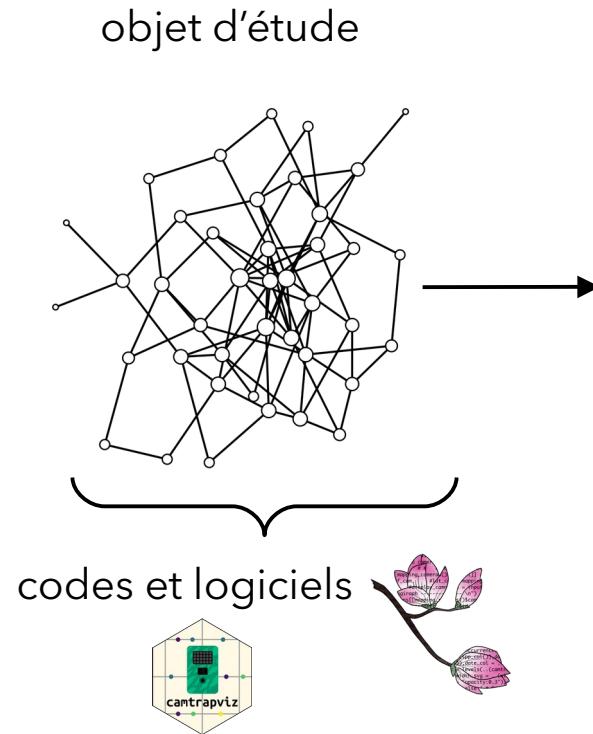
objet d'étude



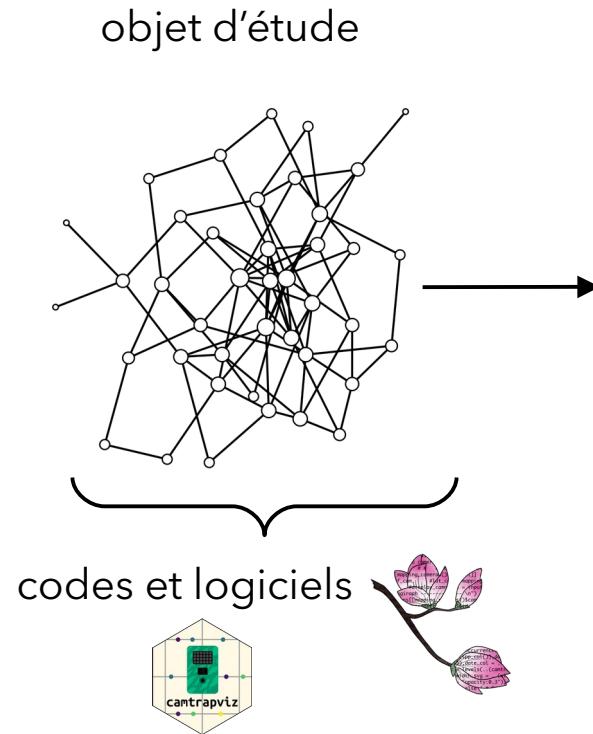
modèles



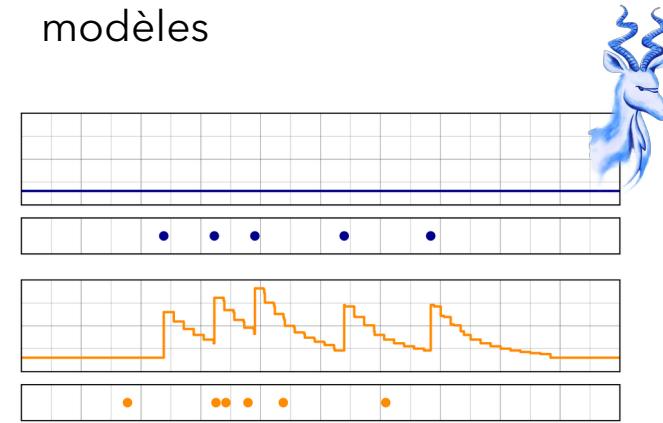
Une approche méthodologique de l'écologie des communautés



Une approche méthodologique de l'écologie des communautés



modèles



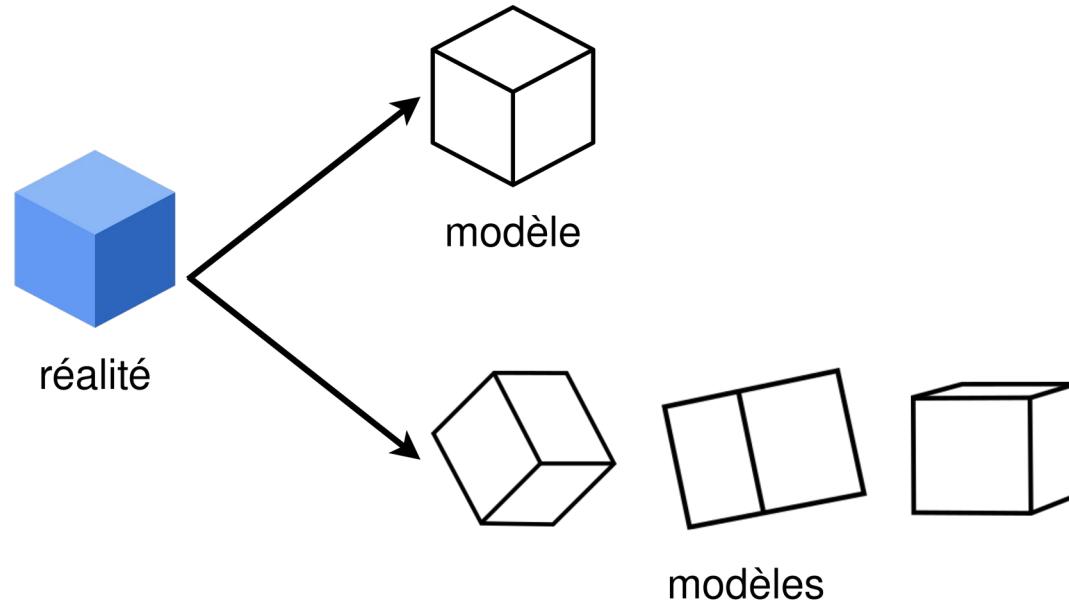
→ Lawton (1999) : « il est temps de passer à autre chose »

Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

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

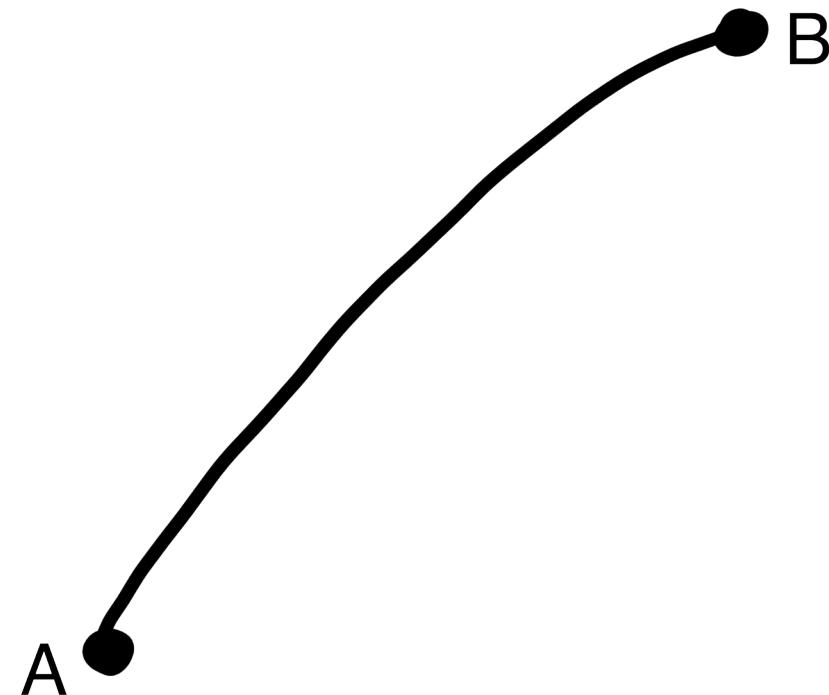
Une approche méthodologique de l'écologie des communautés

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

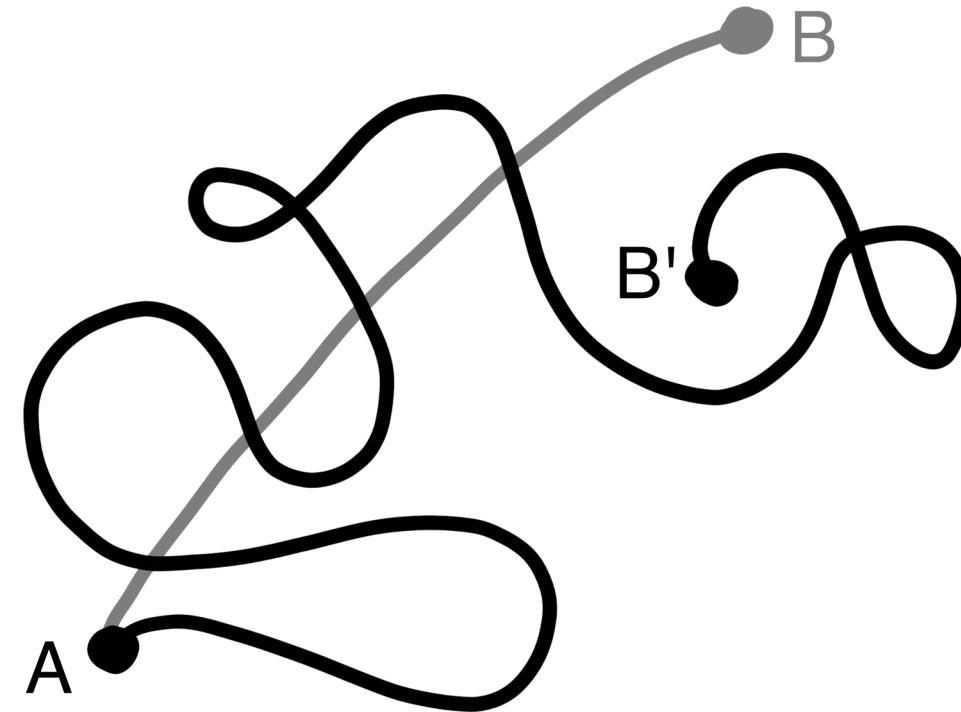


Pratiquer la recherche

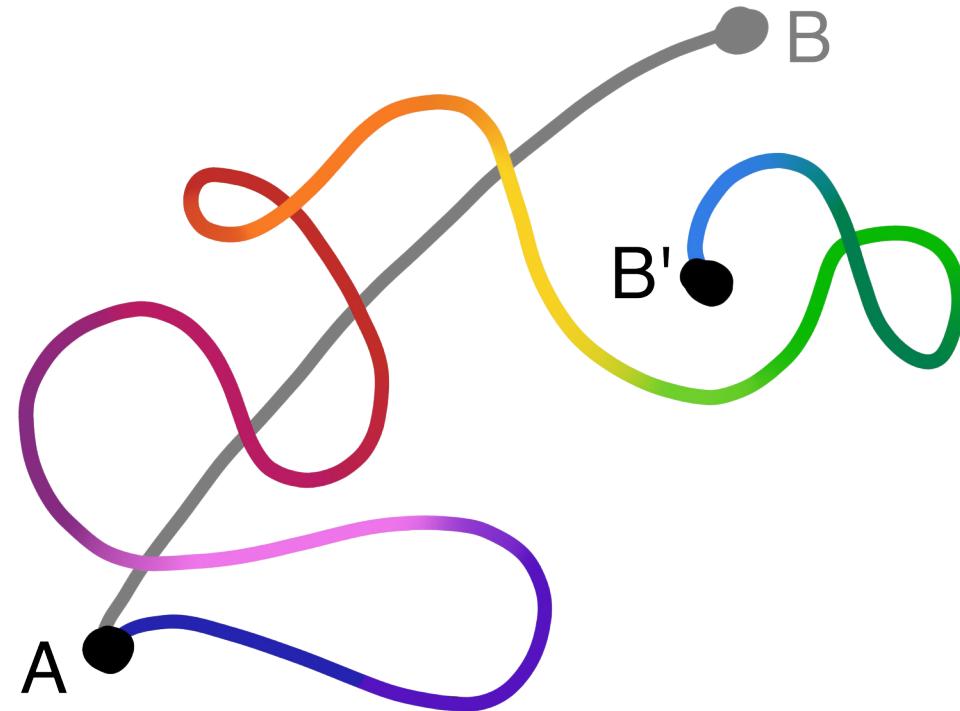
Pratiquer la recherche



Pratiquer la recherche



Pratiquer la recherche



Merci !

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Merci !

Directeurs

Stéphane



Hervé



Jury

Marie-Pierre
Etienne
Élisa Thébaud
Simon Chamaillé

Anne-Béatrice
Dufour

Merci !

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Comité

Mahendra Mariadassou

Sara Puigalon

Stéphane Robin

Vincent Miele

Jan Venter

Marie-Pierre Etienne

Dufour

Simon Chamaillé

Élisa Thébaud

Jury

Merci !

Directeurs

Stéphane 

Hervé 

Comité

Jan Venter

Mahendra Mariadassou

Sara Puigalon

Stéphane Robin

Vincent Miele

 ANR Econet

Jury

Marie-Pierre Etienne

Élisa Thébaud

Simon Chamaillé

Anne-Béatrice

Dufour

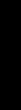
Merci !

Directeurs

Stéphane



Hervé



Comité

Jan Venter

Mahendra Mariadassou

Sara Pujalon

Stéphane Robin

Vincent Miele

ANR Econet

Merci !

Jury

Marie-Pierre
Etienne

Élisa Thébaud

Simon Chamaillé

Anne-Béatrice
Dufour

LBBE

Pôle admin

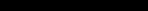


Collègues

Blandine



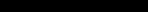
Léa



Emma



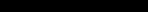
Rémi



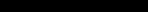
Alice G.



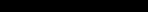
Mary



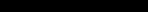
Barbara



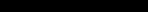
Aïda



Marie M.



Rémi-Vinh



Animation

Équipe

* * *

Pôle info

Aurélie, Adil,
Bruno, Stéphane

Barbara

Aïda

Marie M.

Directeurs

Stéphane



Jury

Marie-Pierre
Etienne
Élisa Thébaud
Simon Chamaillé

Anne-Béatrice
Dufour

Comité

Jan Venter
Mahendra Mariadassou
Sara Pujalon
Stéphane Robin
Vincent Miele

ANR Econet

Merci !

LBBE

Pôle admin

Blandine

Léa Emma

Rémi

Marine

Alice G.

Émilie

Alexia N.T.

Rémi-Vinh

Équipe



Pôle info

Aurélie, Adil,
Bruno, Stéphane

Barbara

Aïda

Marie M.

REHABS

Alice B.

PA

Virginie

Rob

Alexia L.F.

Élie

Markus

Franck

Sarah

Chloé

Elizabeth

Snapshot team

Lain

Directeurs

Stéphane



Hervé



Comité

Jan Venter

Mahendra Mariadassou

Sara Pujalon

Stéphane Robin

Vincent Miele

ANR Econet



Proches

Lucie

Cyprien



Ludivine

Val

Pierre

Zélie

Océane

Tiphaine

Morgane



Marion



Papa



Maman



Guillaume



Flo

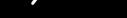
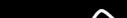
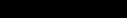
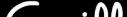
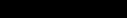
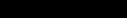
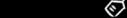
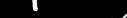
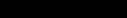
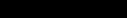
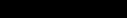
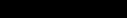
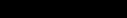
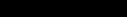
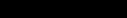
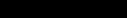
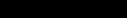
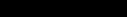
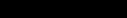
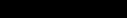
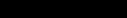
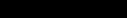


Jury

Marie-Pierre
Etienne

Élisa Thébaud
Simon Chamaillé

Anne-Béatrice
Dufour



Directeurs

Stéphane



Hervé



Comité

Jan Venter

Mahendra Mariadassou

Sara Pujalon

Stéphane Robin

Vincent Miele

ANR Econet



Lucie

Cyprien



Ludivine

Val

Pierre

Zélie

Océane

Marion



Papa

Maman



Tiphaine



Morgane



Flo

Guillaume



Merci !

Proches

Vous

REHABS

Jury

Marie-Pierre
Etienne

Élisa Thébaud
Simon Chamaillé

Anne-Béatrice
Dufour



LBBE

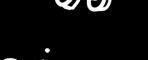
Pôle admin



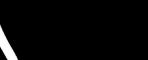
Collègues



Blandine



Rémi



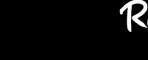
Marine



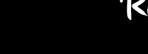
Émilie



Alice B.



PA



Virginie

Rob

Markus

Chloé

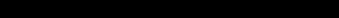
Alexia L.F.



Élie



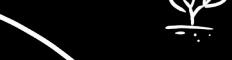
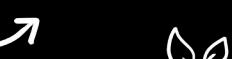
Franck



Sarah

Lain

Animation



Équipe



Pôle info

Aurélie, Adil,

Bruno, Stéphane

Barbara



Aïda



Marie M.

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 Clerk, 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., Mgqatsa, 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-Brito, 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>