

Entre insectes et plantes : étude des relations trophiques le long de l'altitude



Camille Pitteloud

*Conférence de la Société botanique de Genève
En collaboration avec la Société zoologique de Genève
Lundi 20 septembre 2021*

Quels sont les descripteurs biologiques de la complexité des écosystèmes ?



Quels sont les descripteurs biologiques de la complexité des écosystèmes ?

Diversité en espèces



Quels sont les descripteurs biologiques de la complexité des écosystèmes ?

Diversité en espèces

Traits fonctionnels



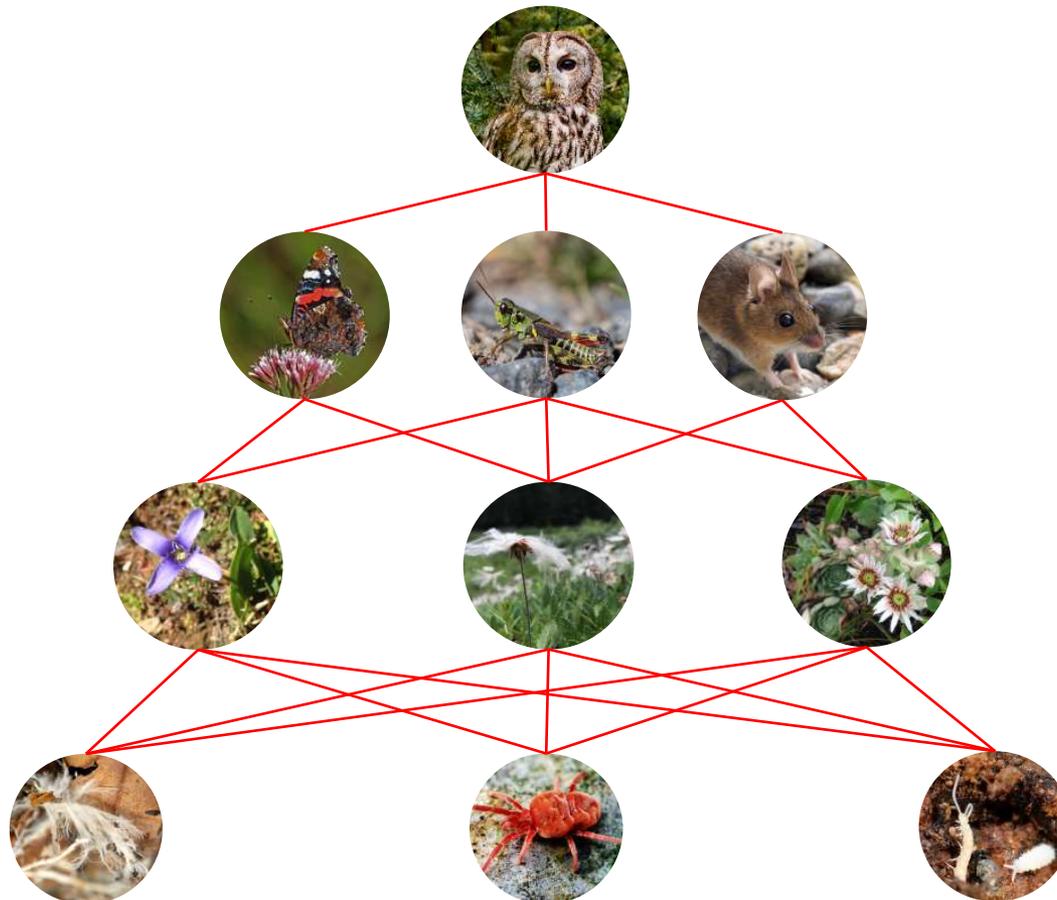
Quels sont les descripteurs biologiques de la complexité des écosystèmes ?



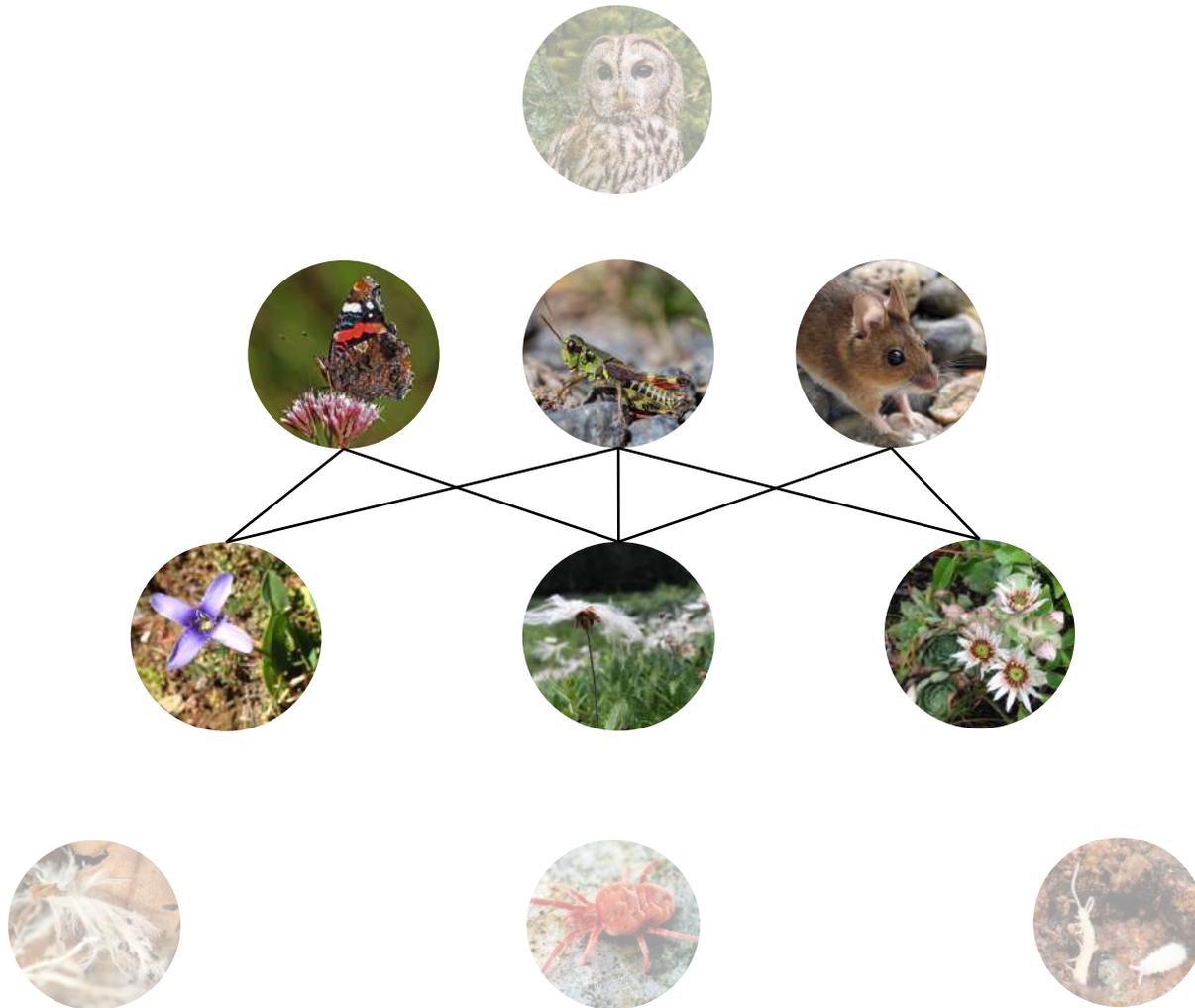
Diversité en espèces

Traits fonctionnels

Interactions entre espèces



Les relations plantes–herbivores sont centrales au fonctionnement des écosystèmes



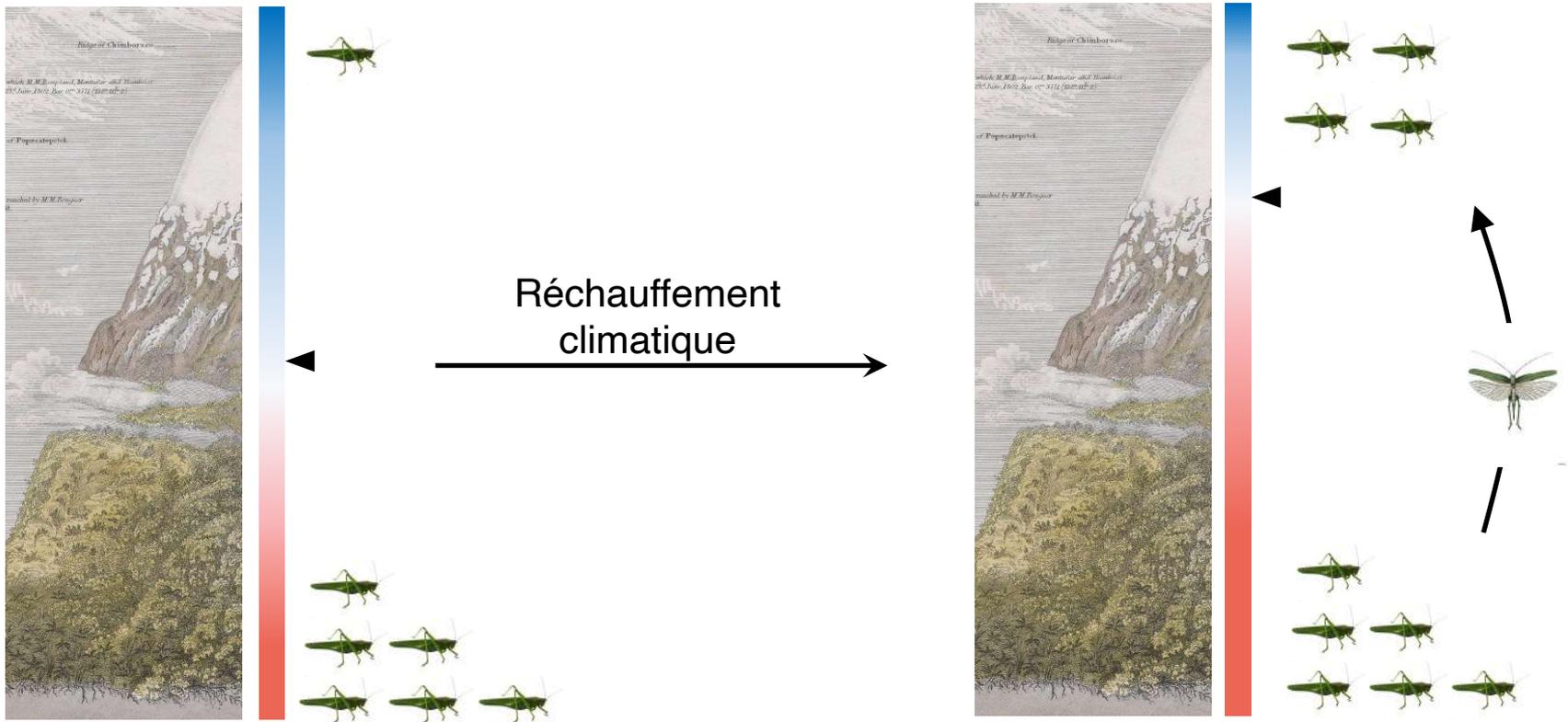
Pourquoi le système plante–orthoptère ?

Les Orthoptères
peuvent prélever
jusqu' à 30% de la
biomasse d'une
prairie

Blumer and Diemer 1996



Pourquoi le système plante–orthoptère ?



**Prédiction du déplacement
+ 490m en 2080**

Conséquences sur la flore alpine

- Création de nouvelles interactions plantes–orthoptères
- Les communautés végétales vont être modifiées.

Le système d'étude plante–orthoptère



Criquets
végétariens stricts



Sauterelles
se nourrissent aussi de petits insectes

Le système d'étude plante–orthoptère



Criquets
végétariens stricts



Sauterelles
se nourrissent aussi de petits insectes



Habitats
Prairies sèches ou alpines

Le système d'étude plante–orthoptère



Monocotylédones

Défenses physiques	+++
Défenses chimiques	-



Dicotylédones

Défenses physiques	-
Défenses chimiques	+++



Habitats

Prairies sèches ou alpines

Que sait-on des interactions plantes–orthoptères?

- Les orthoptères mangent beaucoup d'herbes.
- Ils sont généralistes mais ont des préférences alimentaires.
- Ces préférences dépendent de:
 - leur besoins nutritifs
 - leur capacité à faire face aux défenses des plantes contre les herbivores



Que ne sait-on pas des interactions plantes–orthoptères?

DECRIRE



COMPRENDRE



Que ne sait-on pas des interactions plantes–orthoptères?

Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?

DECRIRE



COMPRENDRE



Que ne sait-on pas des interactions plantes–orthoptères?

Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?

Question 2.

Comment les interactions changent le long de l'altitude?

DECRIRE



COMPRENDRE



Que ne sait-on pas des interactions plantes–orthoptères?

Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?

Question 2.

Comment les interactions changent le long de l'altitude?

Question 3.

Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

DECRIRE



COMPRENDRE



Comment documenter les interactions plantes–orthoptères?

- Observations sur le terrain



long

non-exhaustif

Comment documenter les interactions plantes–orthoptères?

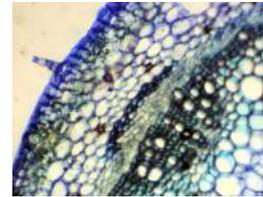
- Observations sur le terrain



long

non-exhaustif

- Identification visuelle des plantes présentes dans l'intestin ou les crottes



long

possibilité d'erreurs

Comment documenter les interactions plantes–orthoptères?

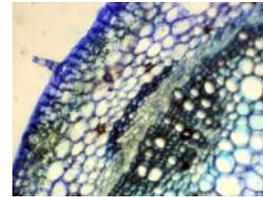
- Observations sur le terrain



long

non-exhaustif

- Identification visuelle des plantes présentes dans l'intestin ou les crottes



long

possibilité d'erreurs

- Utilisation de l'ADN des plantes présents dans les crottes



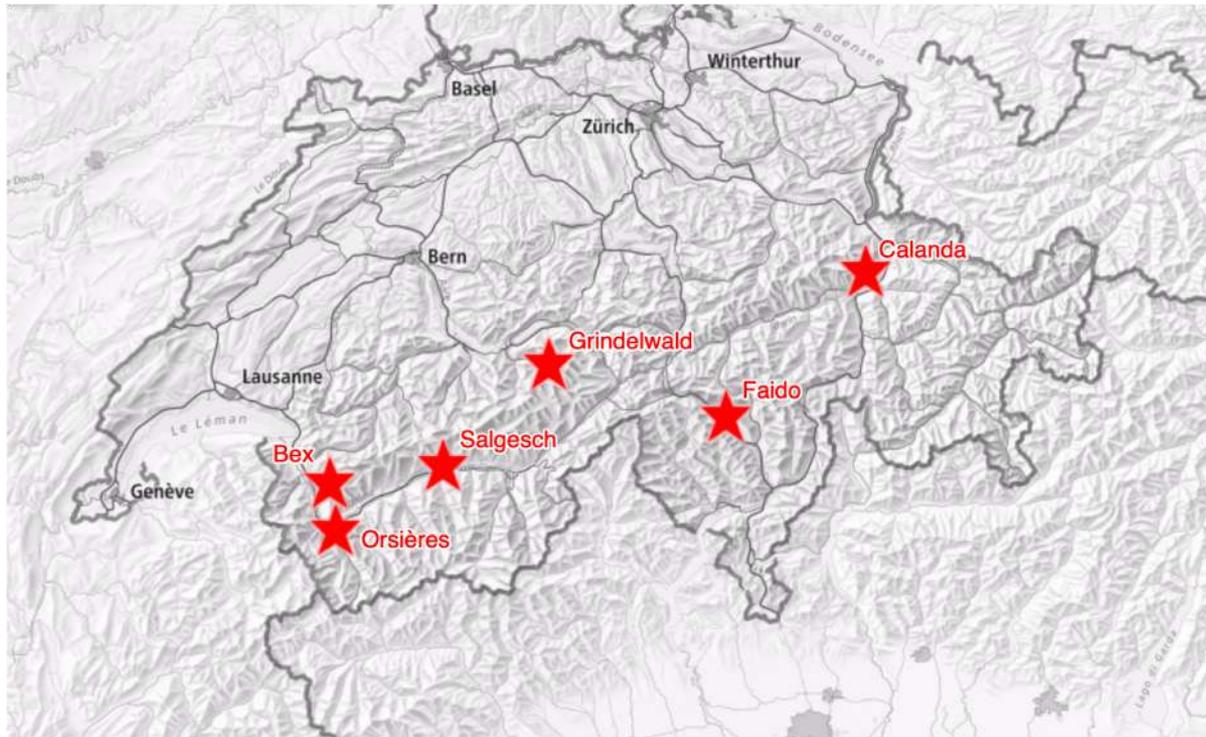
rapide

exhaustif

Les sites d'études

48 sites dans les Alpes suisses

1 site = 100m²



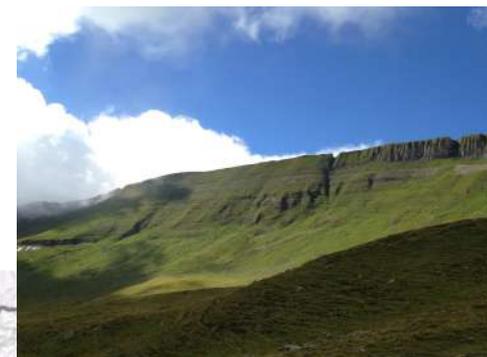
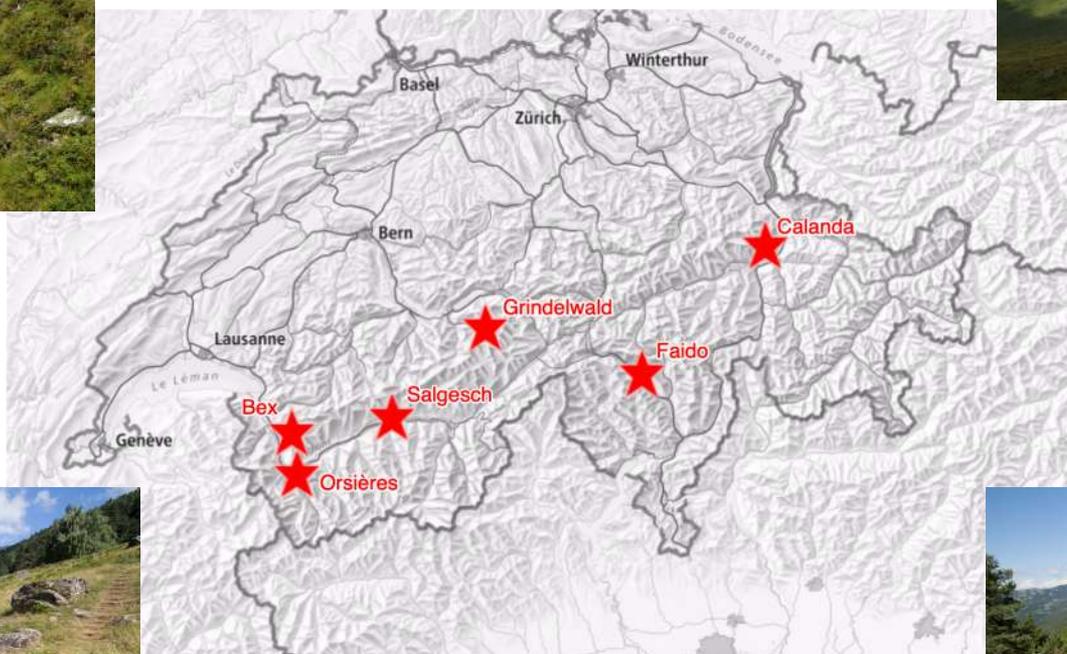
6 gradients d'altitude * 8 sites

Les sites d'études



Orsières (VS)
2300m

48 sites dans les Alpes suisses
1 site = 100m²



Calanda (GR)
2300m



Faido (TI)
1200

6 gradients d'altitude * 8 sites



Salgesch (VS)
1300m

Le travail sur le terrain

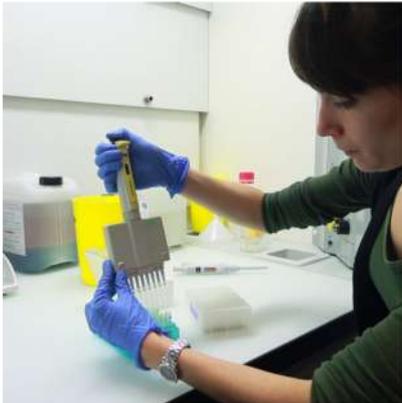


Le travail en laboratoire

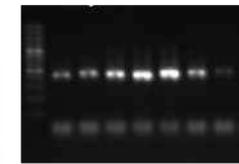


Extraction de l'ADN total

Le travail en laboratoire



Extraction de l'ADN total



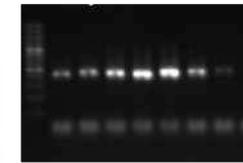
Isolation du fragment d'ADN qui permet d'identifier les espèces de plantes



Le travail en laboratoire



Extraction de l'ADN total



Isolation du fragment d'ADN qui permet d'identifier les espèces de plantes



Lecture de l'ADN

Le travail en laboratoire



Extraction de l'ADN total



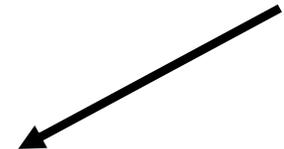
Isolation du fragment d'ADN qui permet d'identifier les espèces de plantes



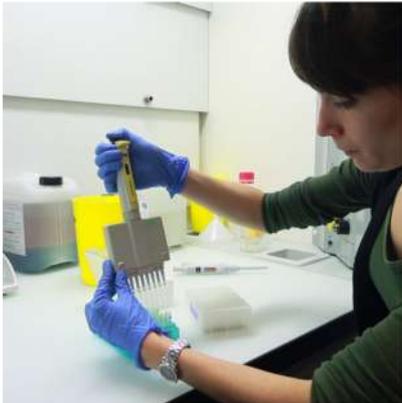
Lecture de l'ADN

plante 1	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
plante 2	T	G	A	A	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A	
plante ...	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	C	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A

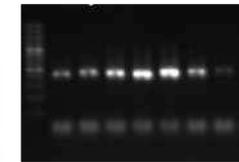
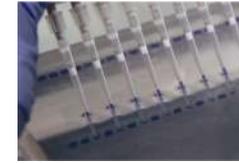
Nettoyage des données d'ADN séquencé (bio-informatique)



Le travail en laboratoire



Extraction de l'ADN total



Isolation du fragment d'ADN qui permet d'identifier les espèces de plantes



Identification des espèces de plantes

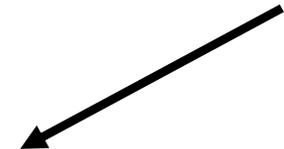


plante 1	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
plante 2	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
plante ...	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	C	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A

Nettoyage des données d'ADN séquencé (bio-informatique)



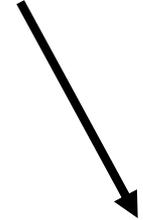
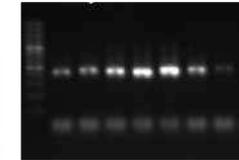
Lecture de l'ADN



Le travail en laboratoire



Extraction de l'ADN total



Isolation du fragment d'ADN qui permet d'identifier les espèces de plantes



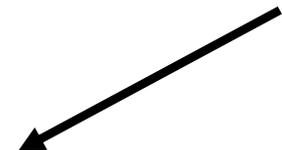
Identification des espèces de plantes



plante 1	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
plante 2	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
plante ...	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	C	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	T	T	T	T	G	A
	T	G	A	A	C	C	A	T	C	G	A	G	T	C	T	T	T	G	A



Lecture de l'ADN



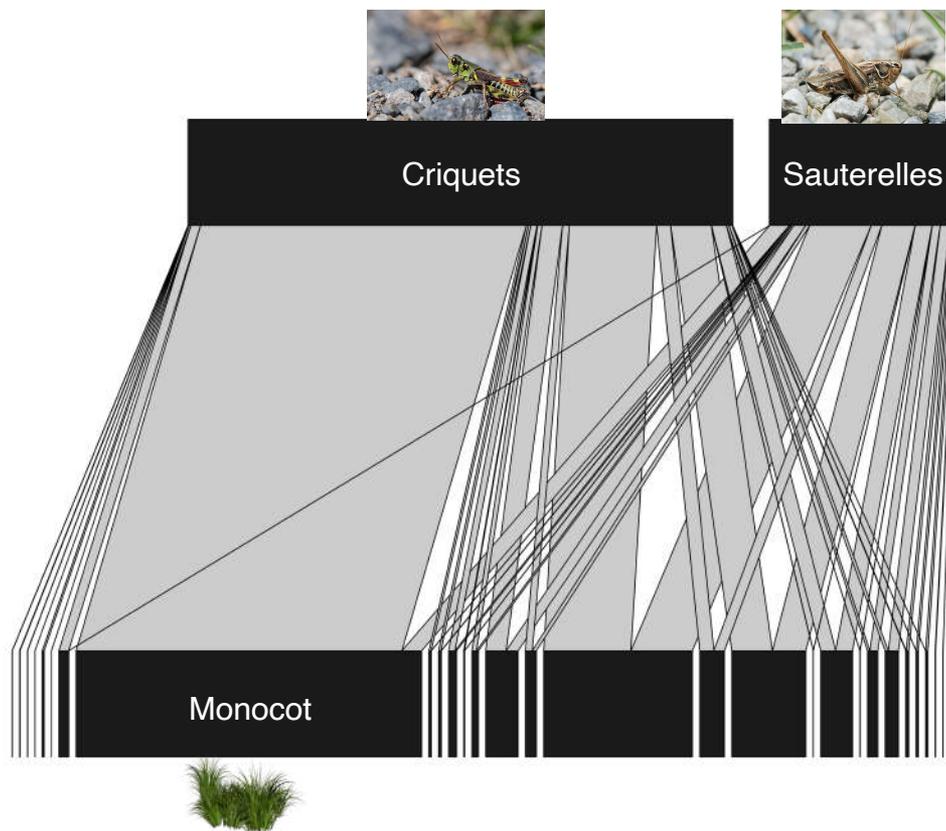
Reconstruction des réseaux trophiques



Nettoyage des données d'ADN séquencé (bio-informatique)

Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?



Quelques chiffres

Espèces

Interactions

600 plantes

27'000 possibles

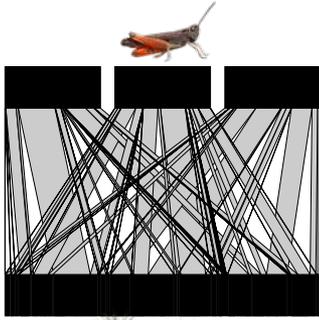
45 orthoptères

10'615 réalisées

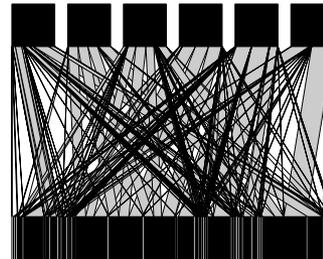
Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?

Haute altitude



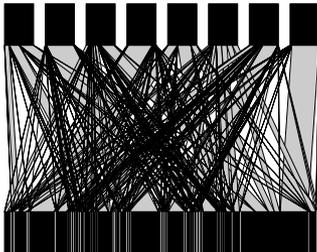
Calanda (GR)
2300m



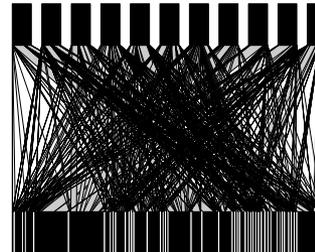
Orsières (VS)
2300m



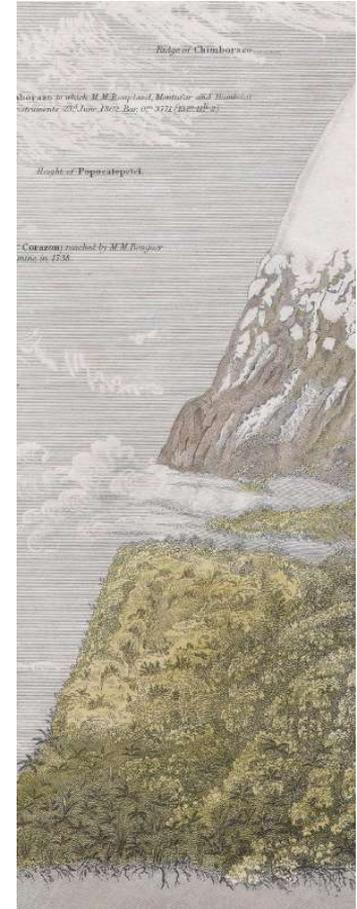
Basse altitude



Faido (TI)
1200

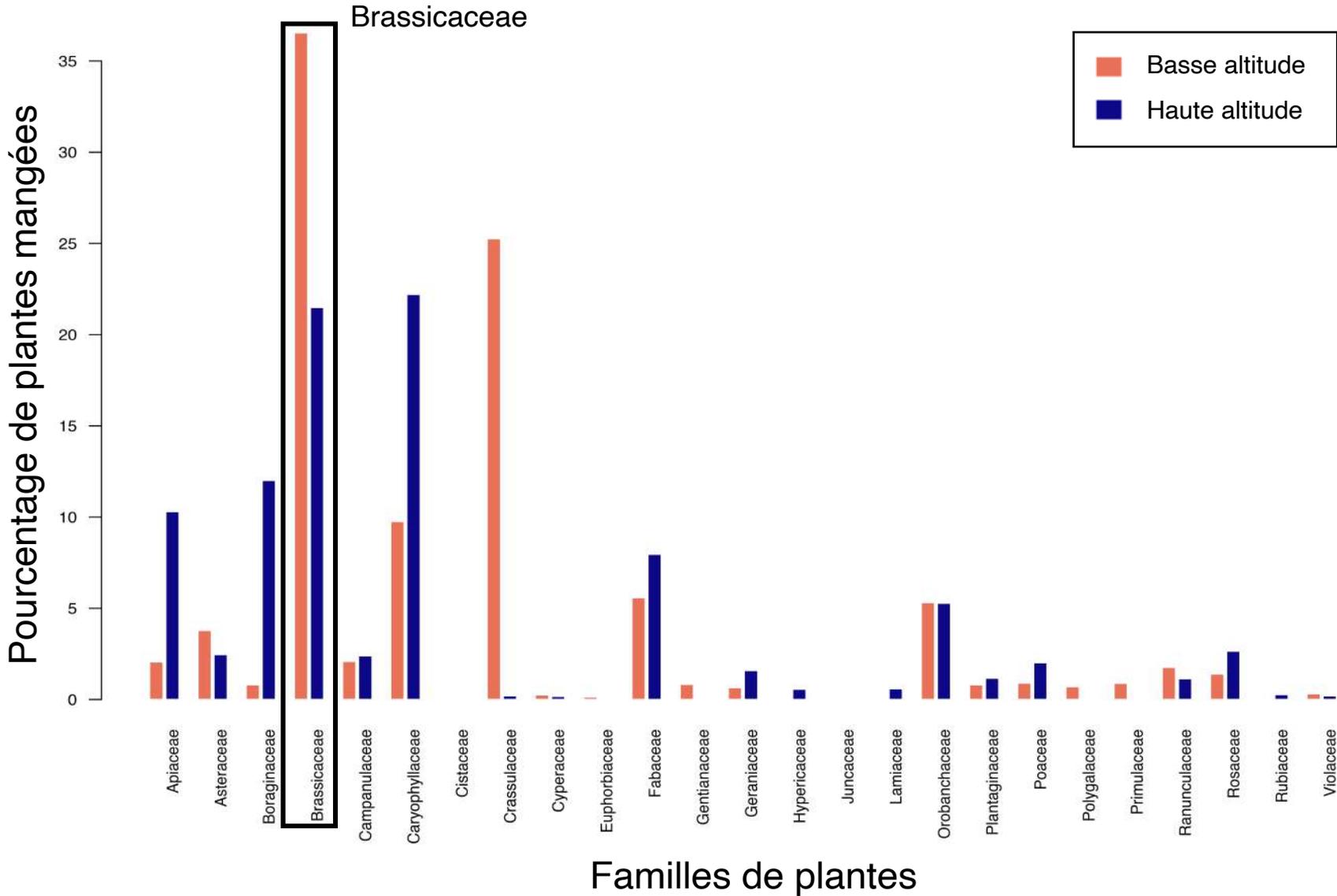


Salgesch (VS)
1300m



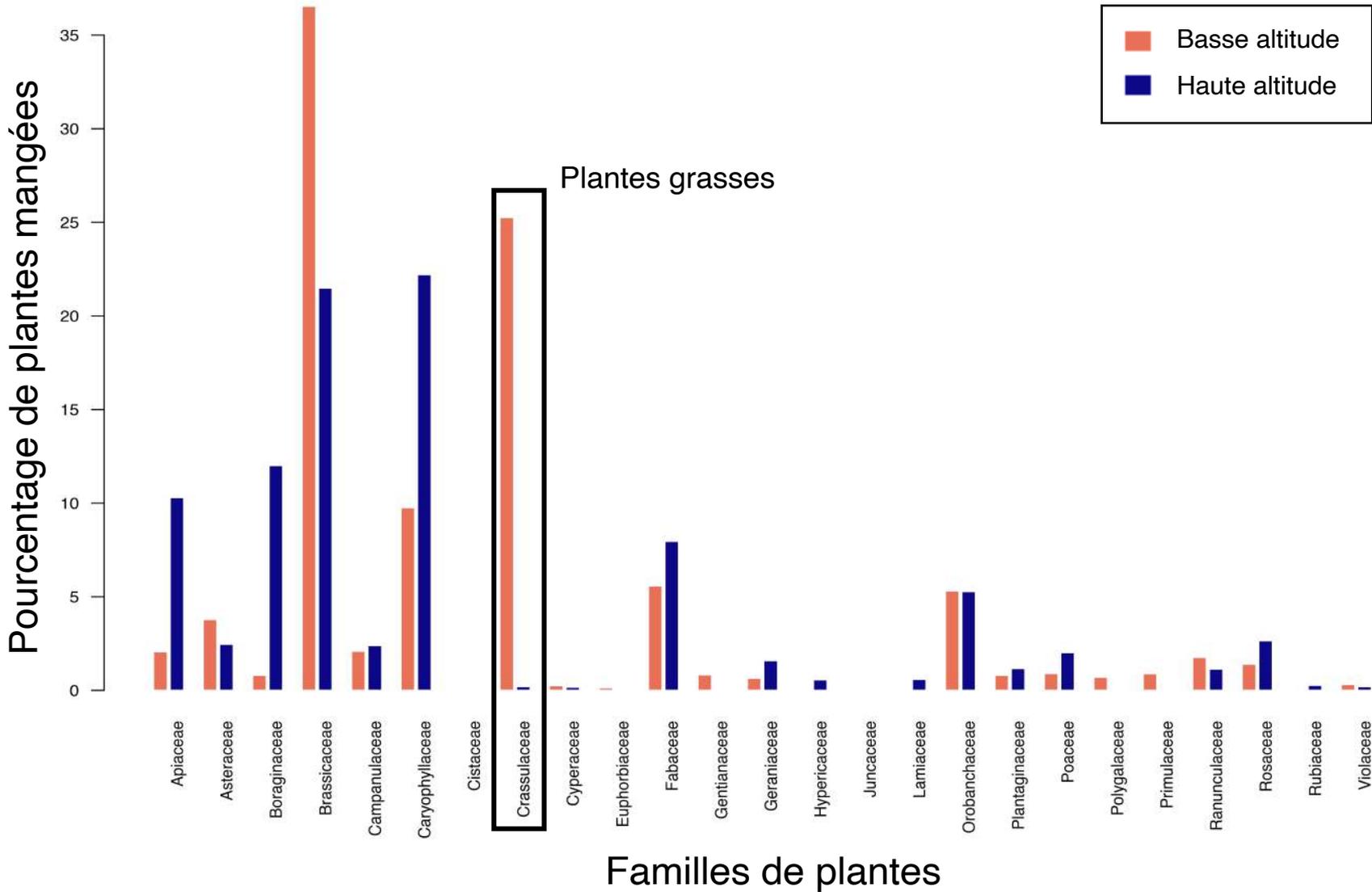
Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?



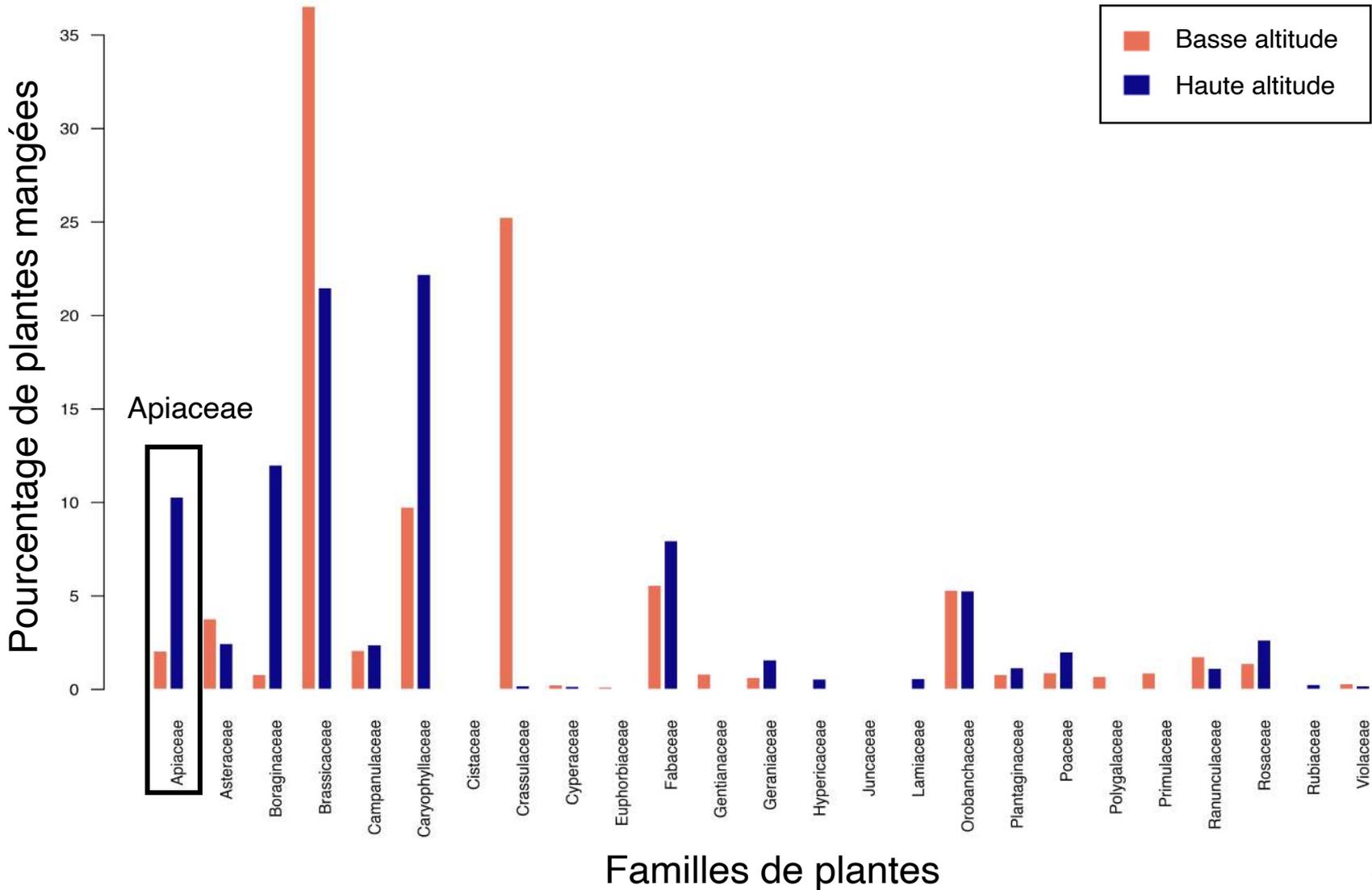
Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?



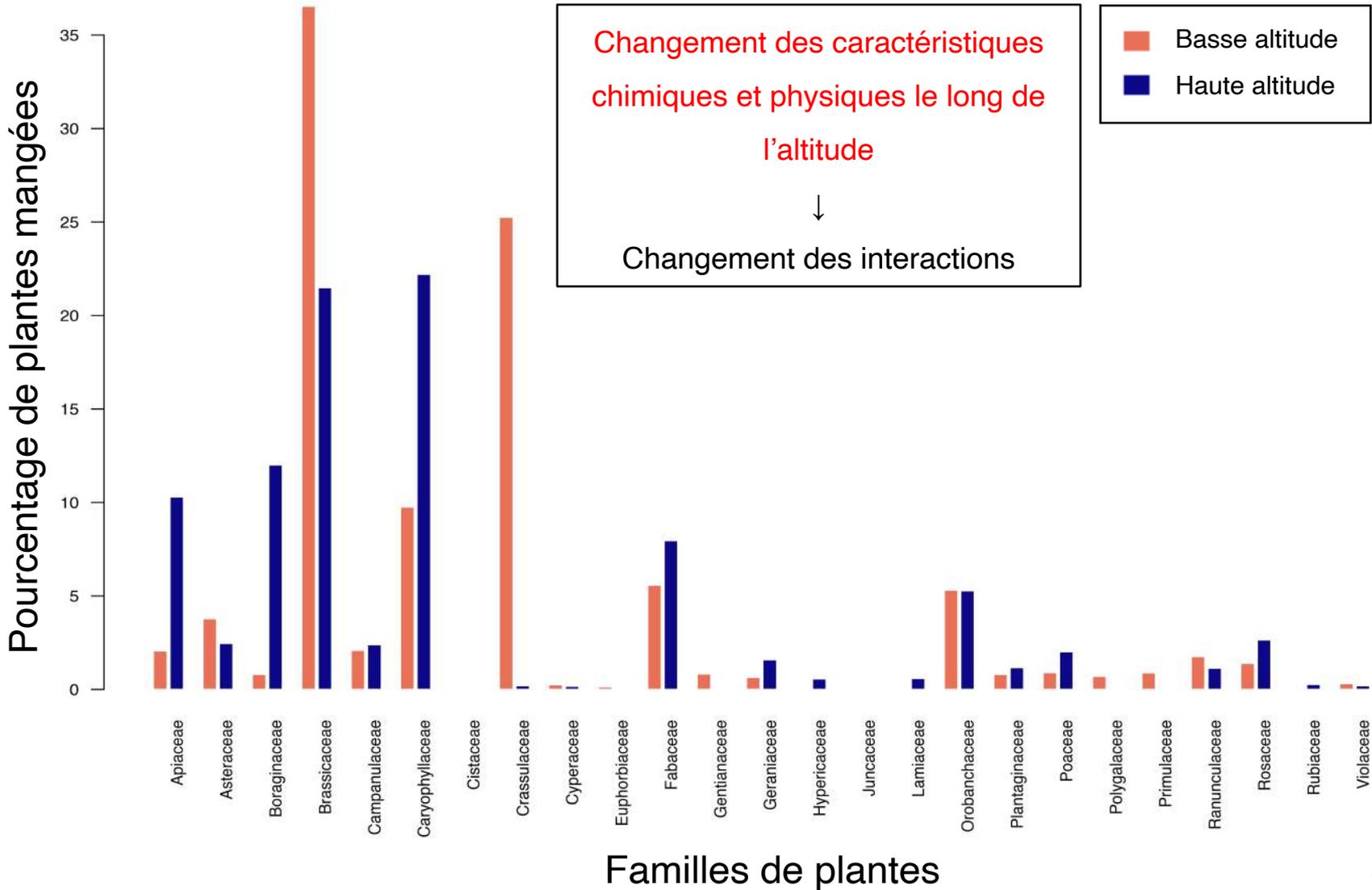
Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?



Question 1.

Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?



Question 2.

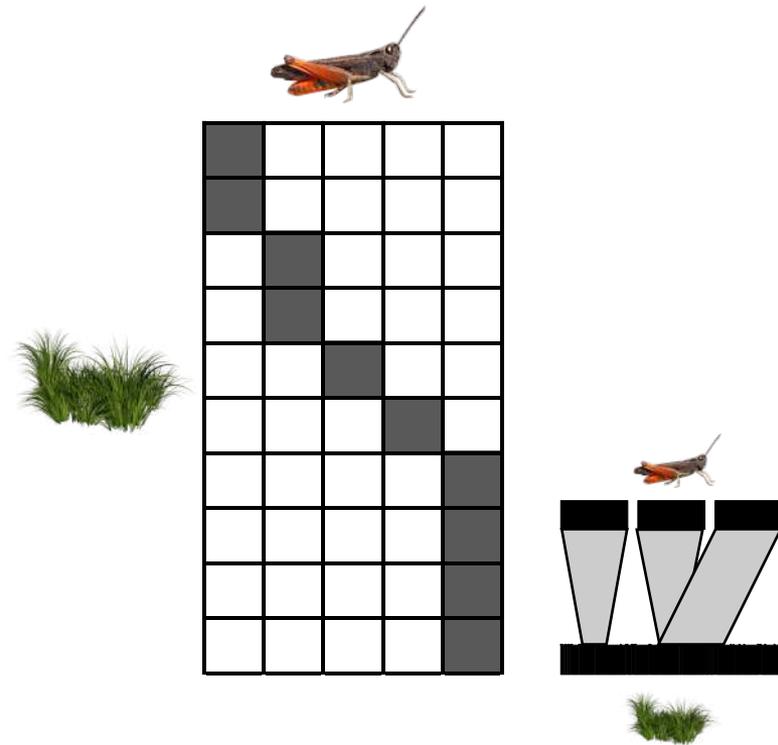
Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

Quantifier les changements de structure des réseaux

Question 2.

Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

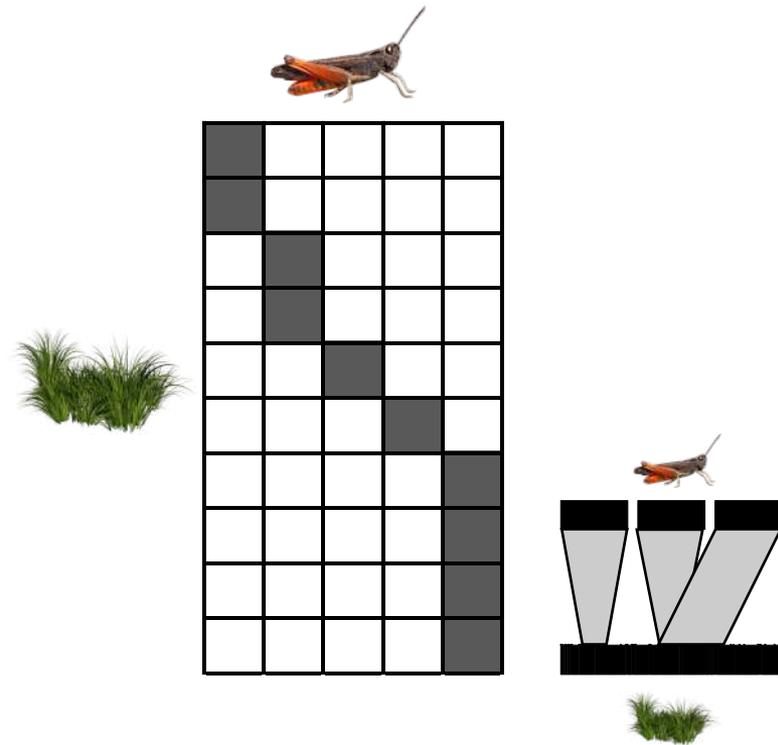
Quantifier les changements de structure des réseaux



Question 2.

Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

Quantifier les changements de structure des réseaux

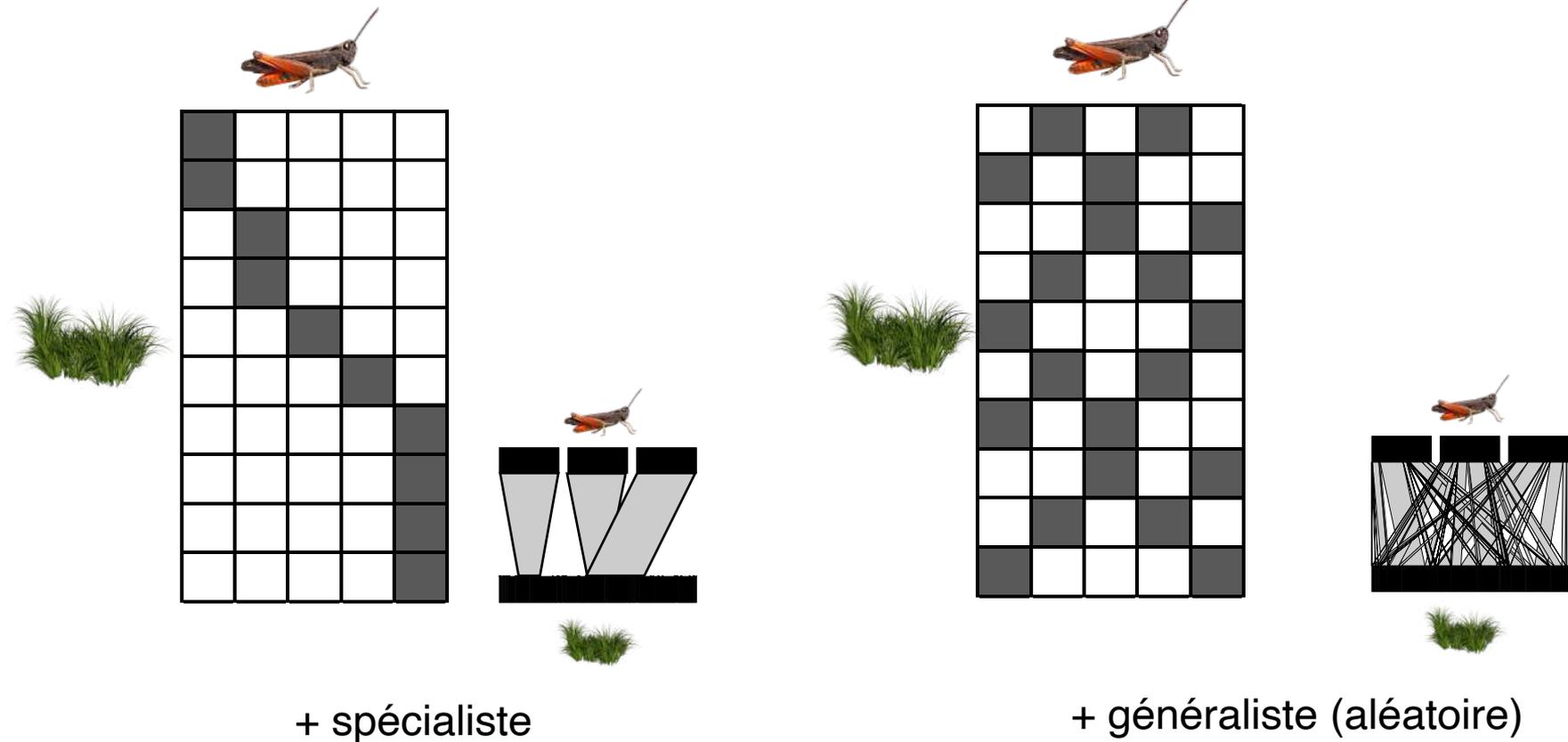


+ spécialiste

Question 2.

Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

Quantifier les changements de structure des réseaux



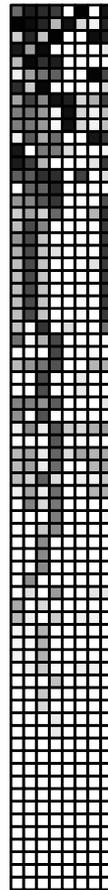
Question 2.

Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

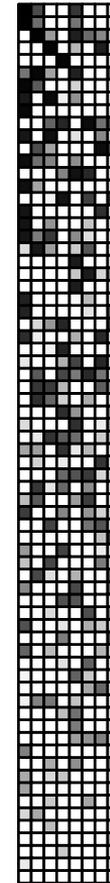


Grindelwald (BE)
1800m

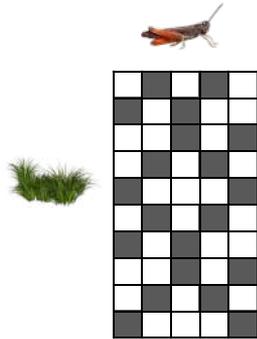
Réseau observé



Réseau aléatoire

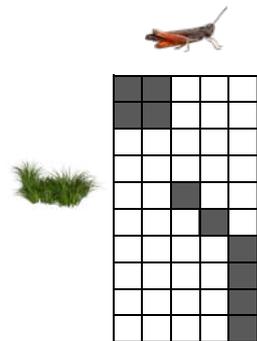


Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

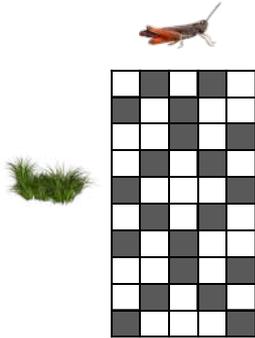
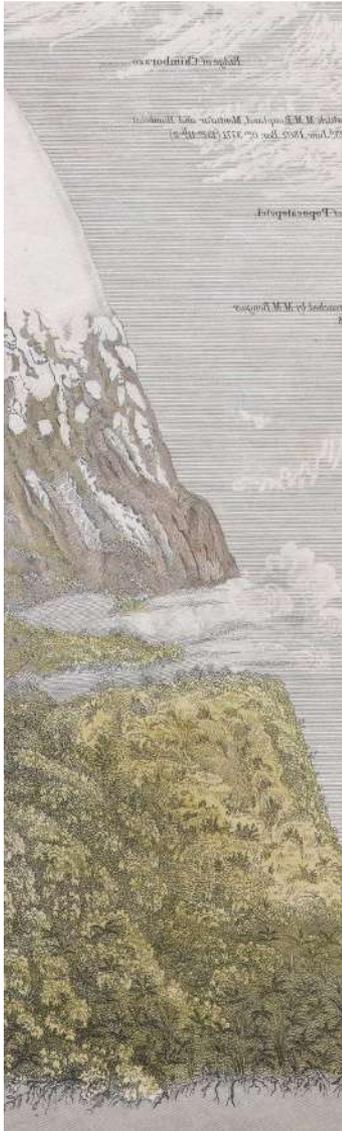


Hypothèse 1.

Il y a plus de généralisme en haute altitude



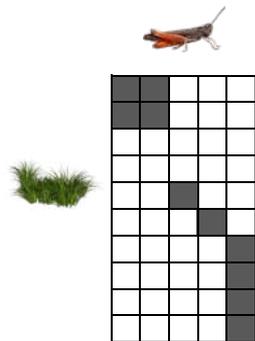
Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?



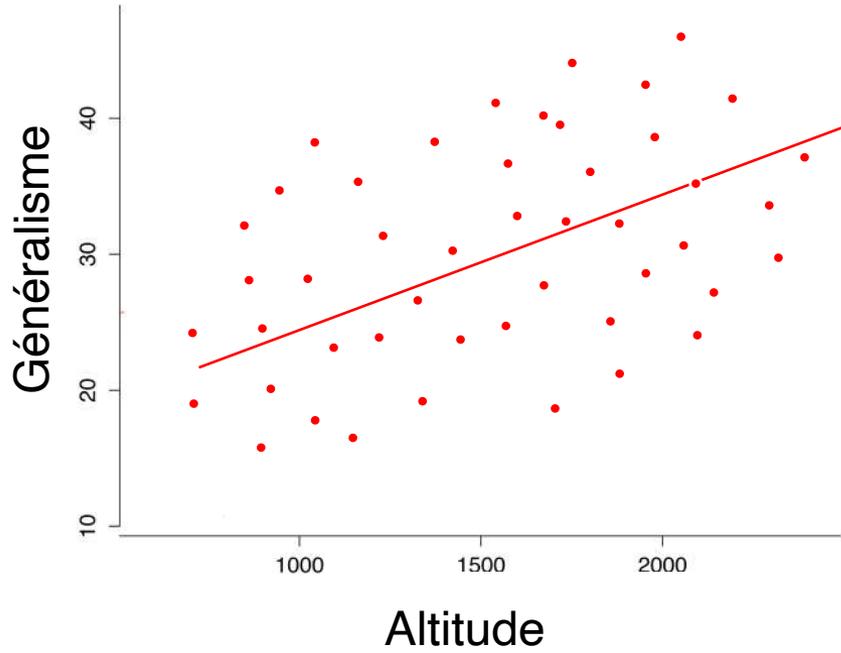
Hypothèse 1.

Il y a plus de généralisme en haute altitude

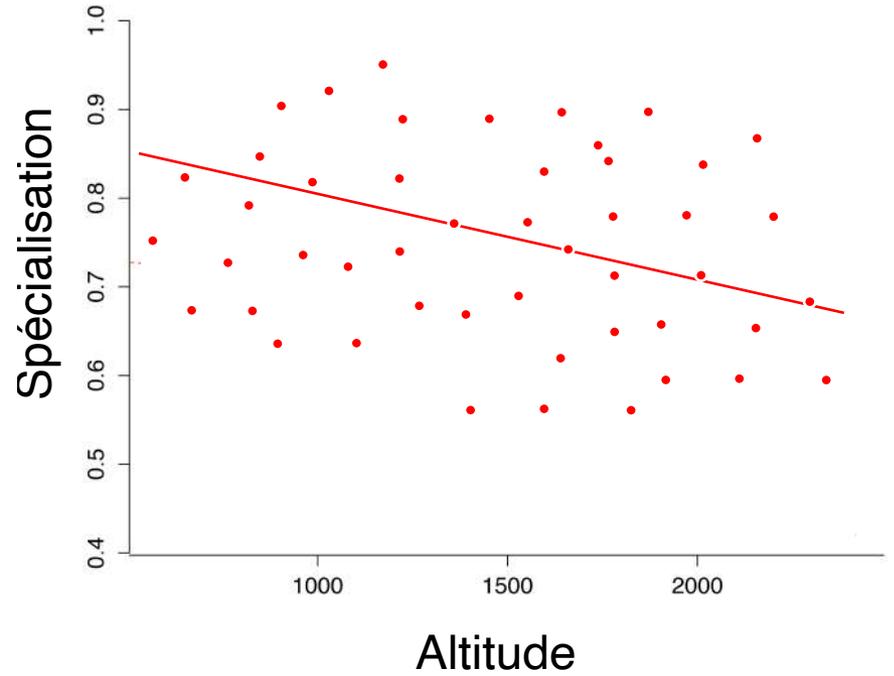
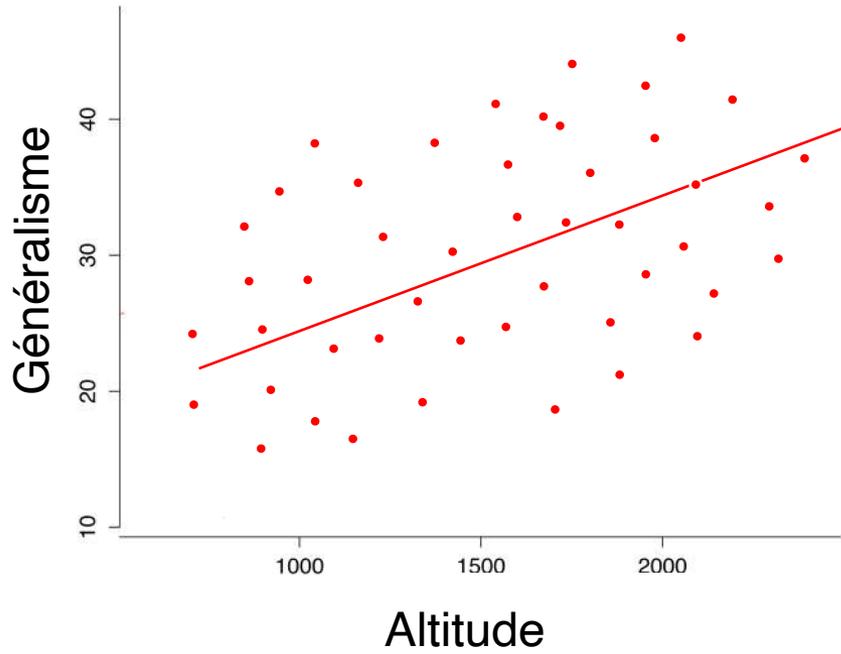
- Moins de défenses chimiques
- Plus de stochasticité
- Diminution de l'efficacité de recherche
- Métabolisme plus lent



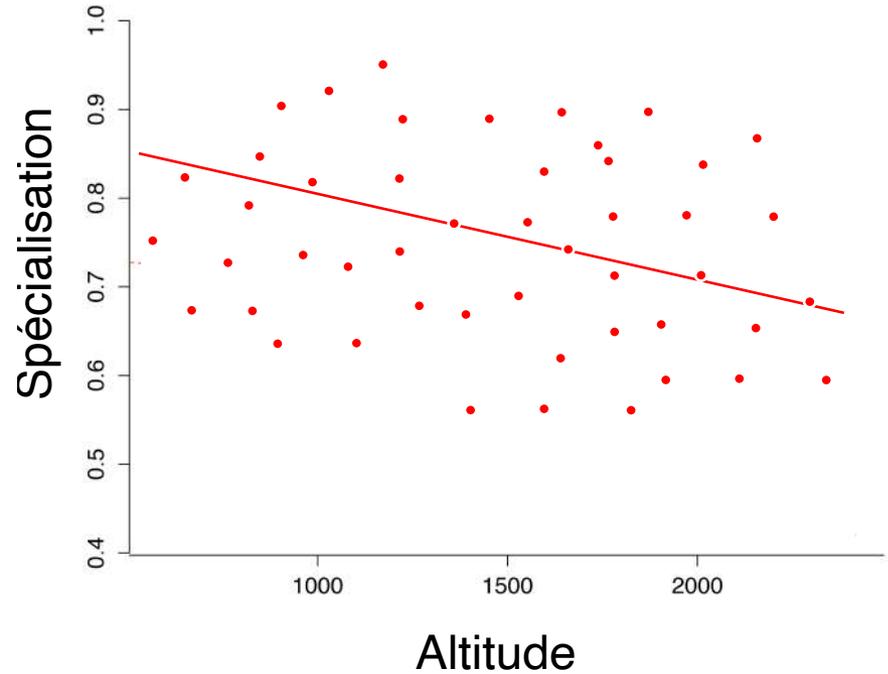
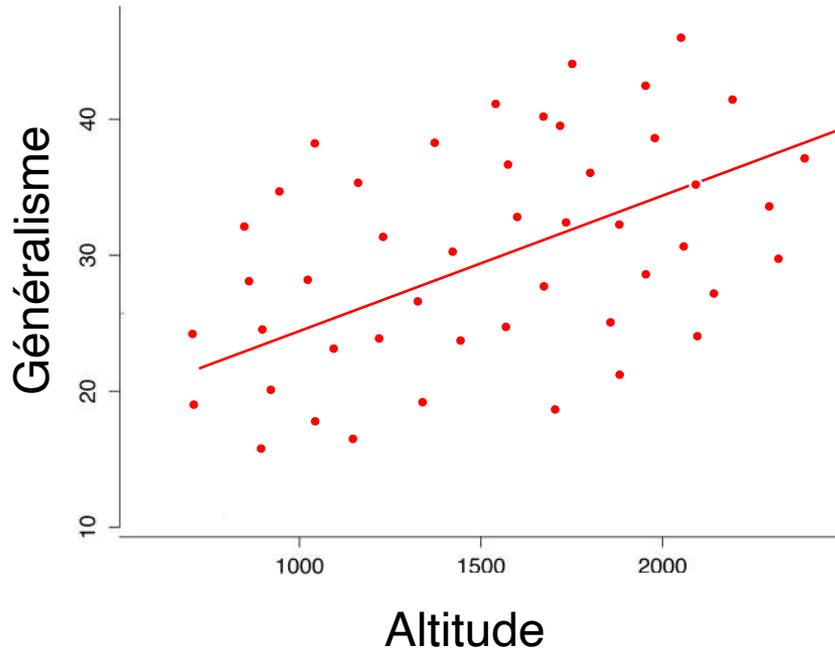
Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?



Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

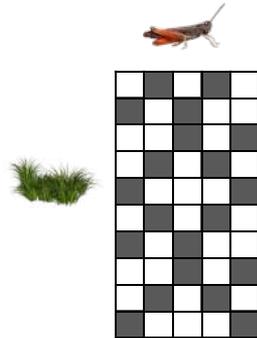
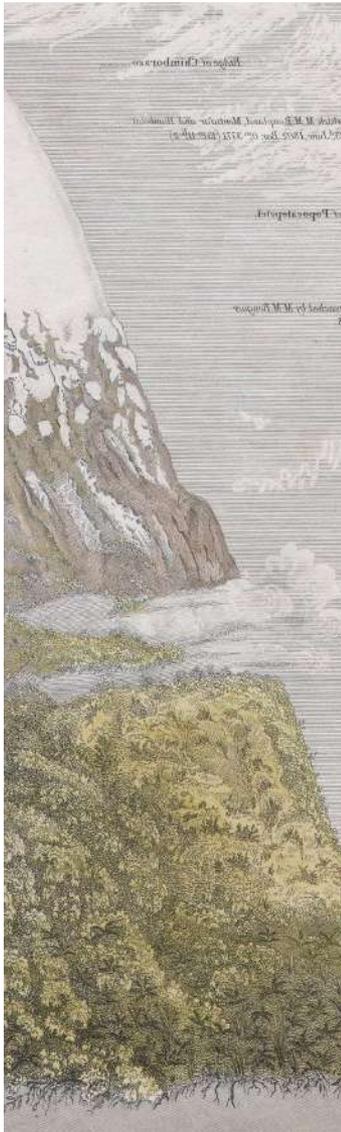


Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?



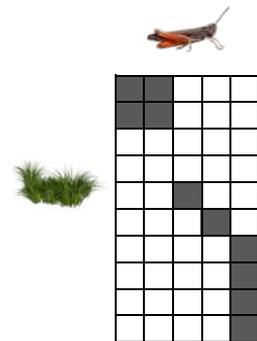
En haute altitude, les insectes se nourrissent de plus de plantes différentes.

Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

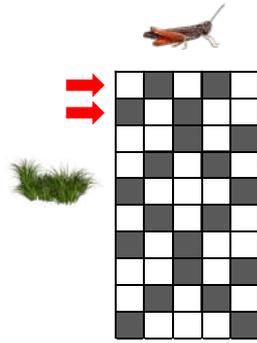
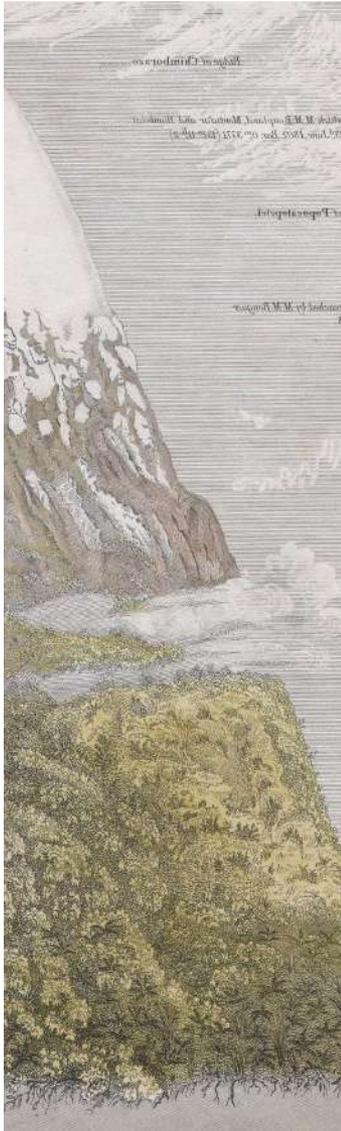


Hypothèse 2.

Est-ce que la résilience du système change le long du gradient?

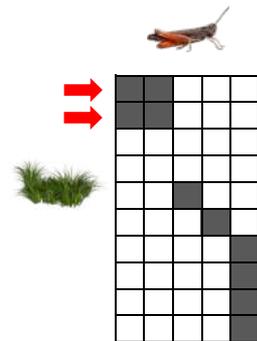


Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

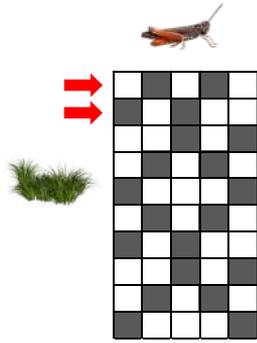
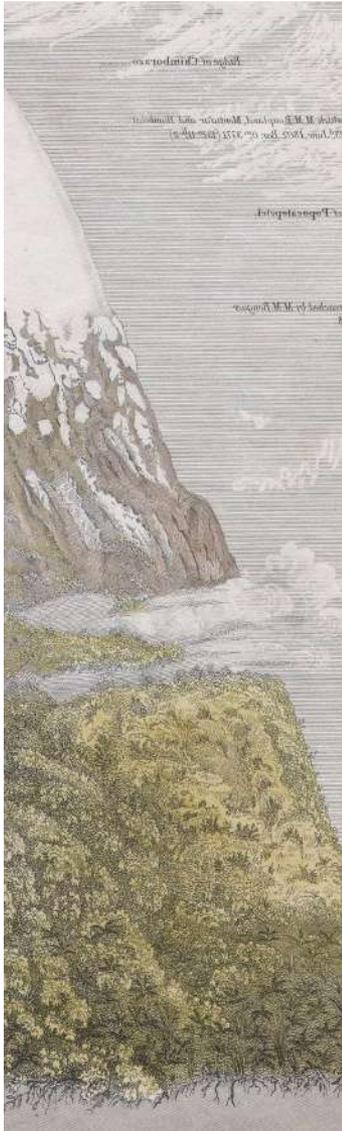


Hypothèse 2.

Est-ce que la résilience du système change le long du gradient?

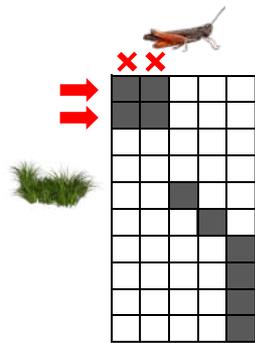


Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?

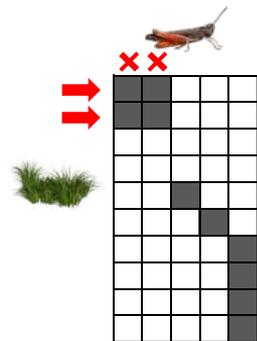
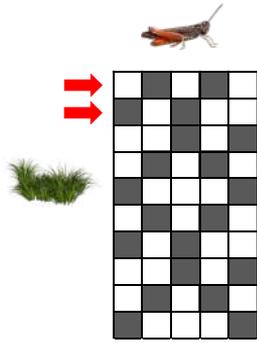
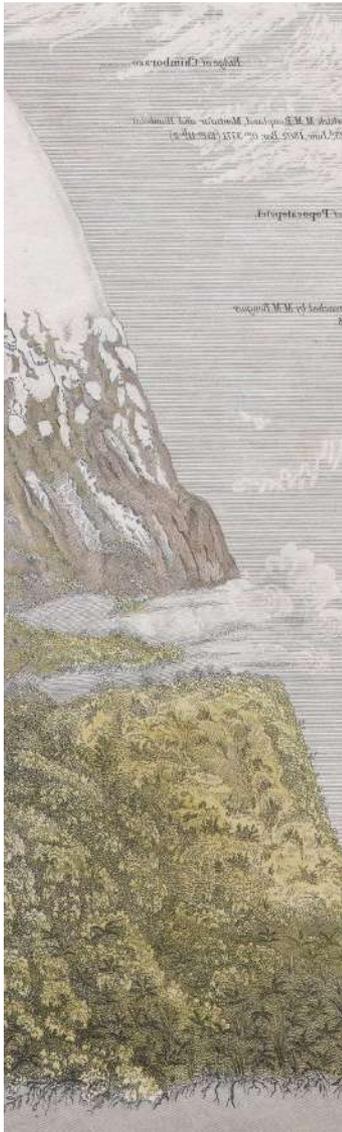


Hypothèse 2.

Est-ce que la résilience du système change le long du gradient?

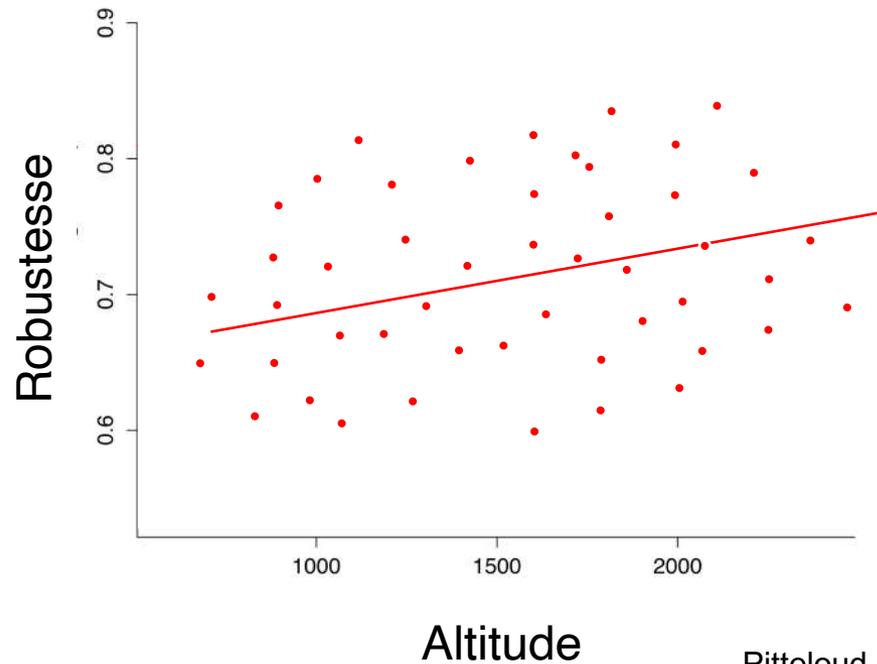


Question 2. Comment les interactions changent-elles le long de l'altitude?



Hypothèse 2.

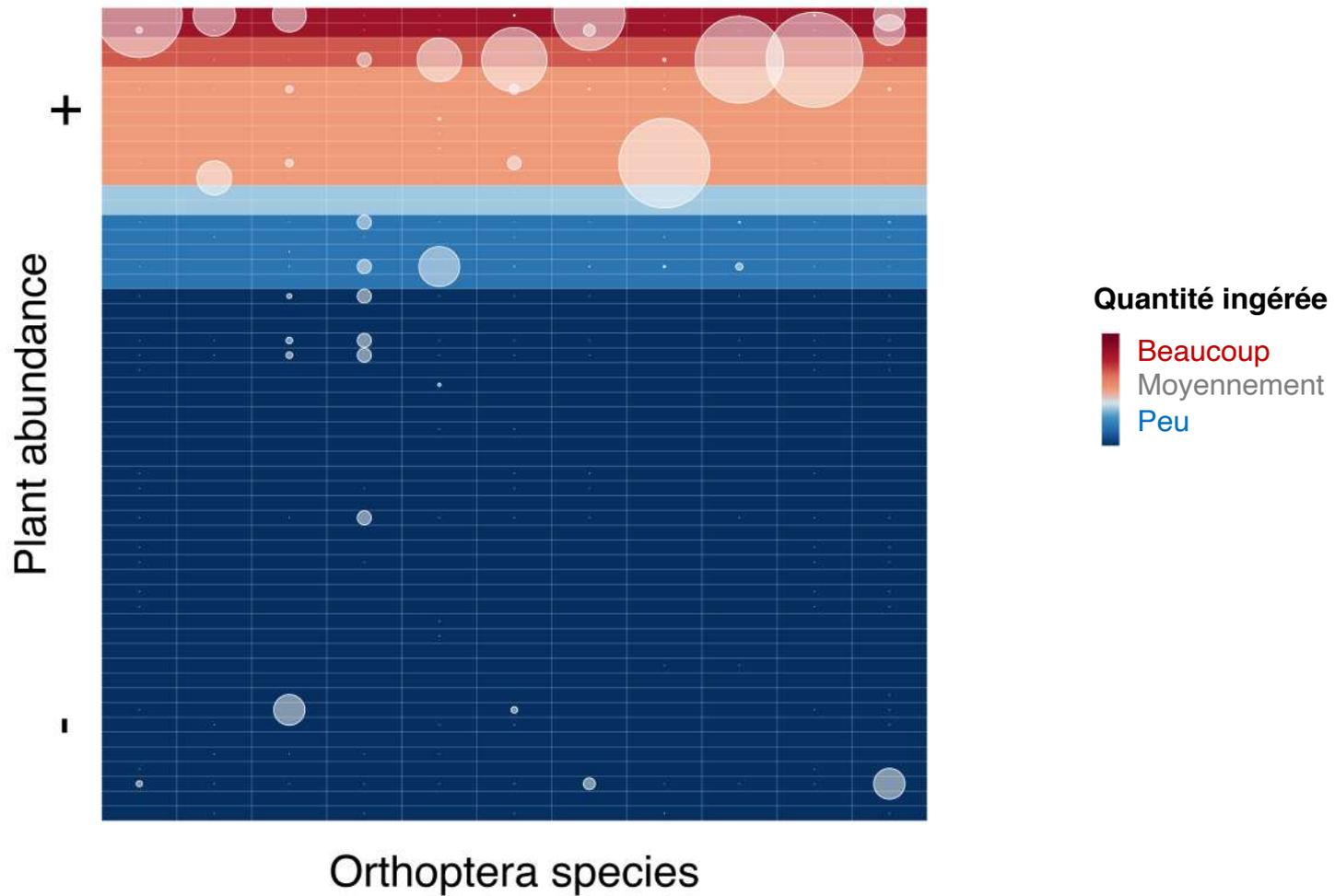
Est-ce que la résilience du système change le long du gradient?



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

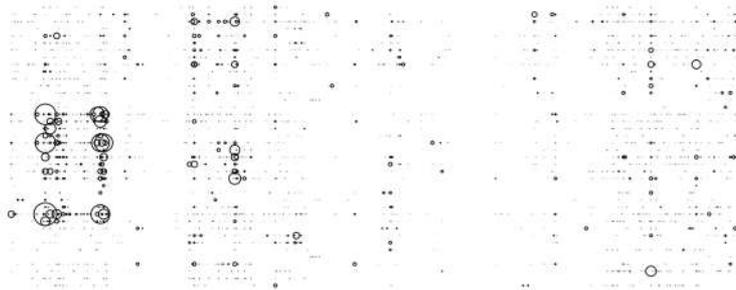
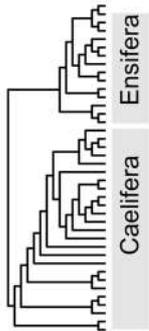
Comparaison des réseaux artificiels avec les réseaux observés



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 1. La phylogénie

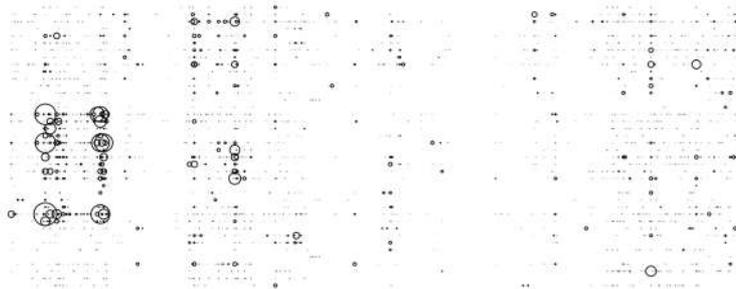
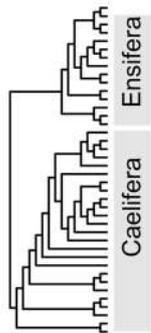
Les criquets mangent plus de monocotylédones, les sauterelles sont moins sélectives.



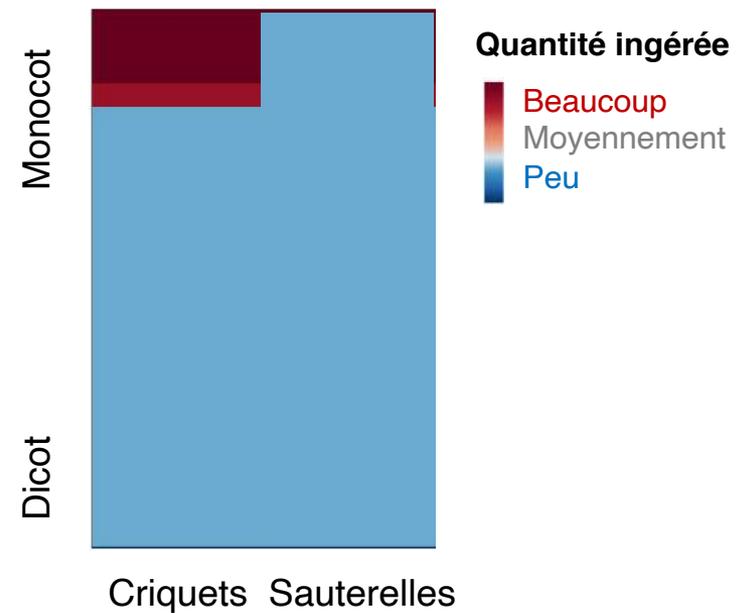
Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 1. La phylogénie

Les criquets mangent plus de monocotylédones, les sauterelles sont moins sélectives.



Hypothèse projetée sur le réseau



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 2. L'abondance des plantes

Plus la plante est abondante plus elle sera mangée.

Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 2. L'abondance des plantes

Plus la plante est abondante plus elle sera mangée.

Collecte de données

estimation de la surface
occupée par chaque espèce de
plante (en %)



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 2. L'abondance des plantes

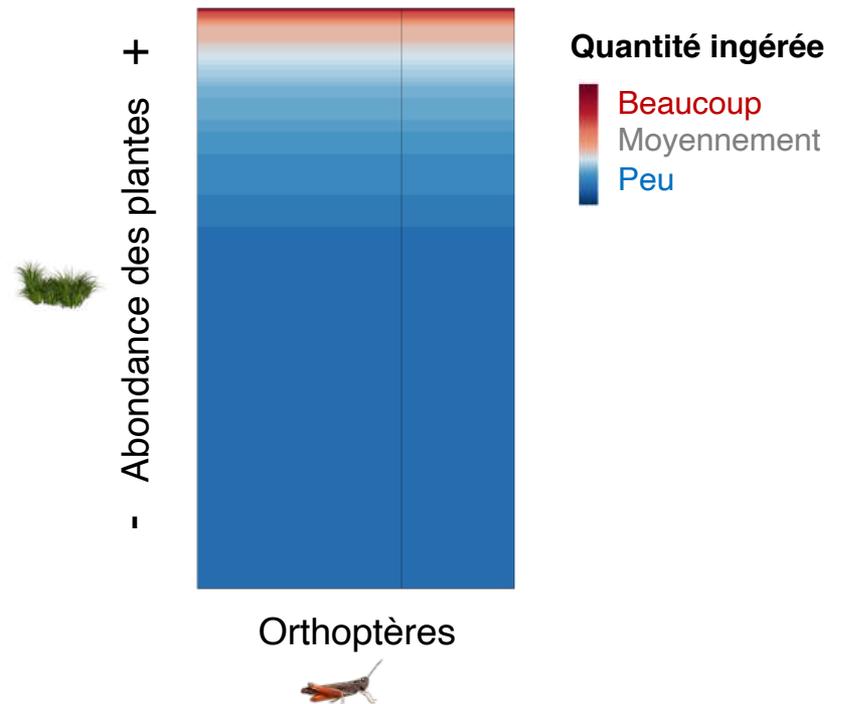
Plus la plante est abondante plus elle sera mangée.

Collecte de données

estimation de la surface occupée par chaque espèce de plante (en %)



Hypothèse projetée sur le réseau



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 3. Contenu nutritif

Plus la plante est riche en azote plus elle sera mangée

Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 3. Contenu nutritif (azote)

Plus la plante est riche en azote plus elle sera mangée

Collecte de données

mesure de la quantité d'azote
pour chaque espèce de plante



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 3. Contenu nutritif (azote)

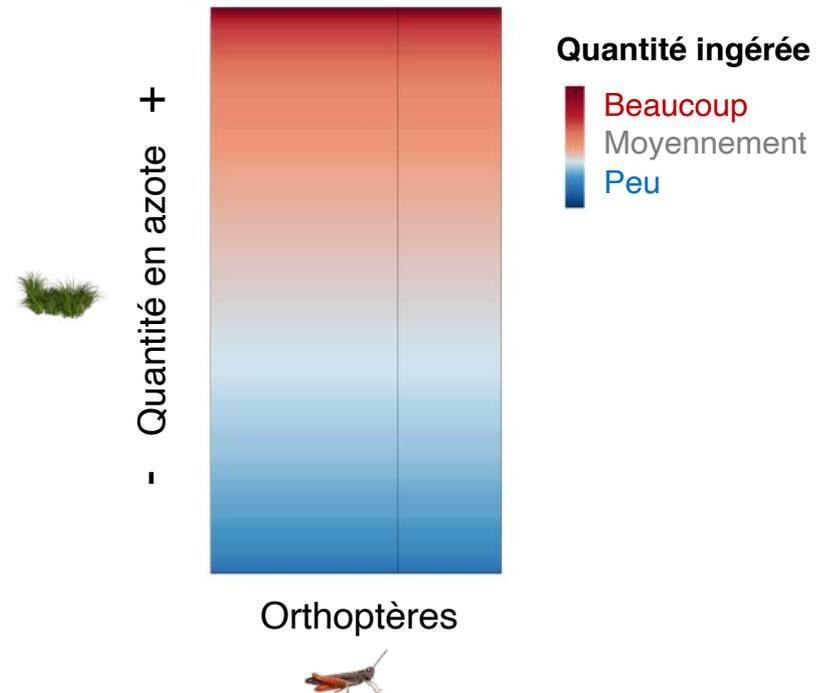
Plus la plante est riche en azote plus elle sera mangée

Collecte de données

mesure de la quantité d'azote
pour chaque espèce de plante



Hypothèse projetée sur le réseau



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 4. Correspondance mécanique

Les insectes mangent plus les plantes qui ont dureté foliaire correspondant à leur force mandibulaire

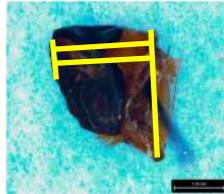
Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 4. Correspondance mécanique

Les insectes mangent plus les plantes qui ont dureté foliaire correspondant à leur force mandibulaire

Collecte de données

Force mandibulaire



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 4. Correspondance mécanique

Les insectes mangent plus les plantes qui ont dureté foliaire correspondant à leur force mandibulaire

Collecte de données

Force mandibulaire



Dureté de la feuille

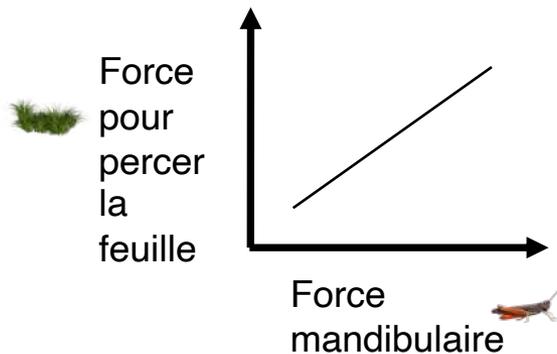


Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 4. Correspondance mécanique

Les insectes mangent plus les plantes qui ont dureté foliaire correspondant à leur force mandibulaire

Collecte de données

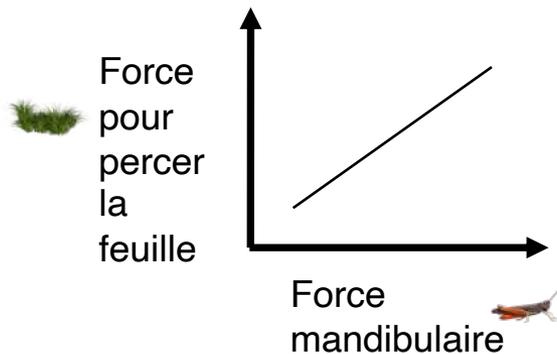


Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

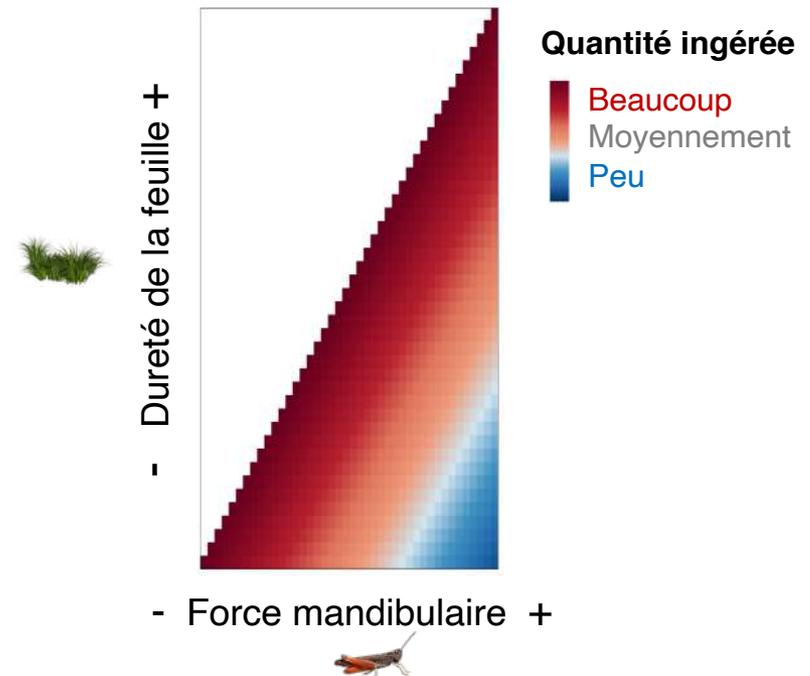
Hypothèse 4. Correspondance mécanique

Les insectes mangent plus les plantes qui ont dureté foliaire correspondant à leur force mandibulaire

Collecte de données



Hypothèse projetée sur le réseau



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 5. Diversité chimique des plantes

Les insectes évitent les plantes qui ont de fortes défenses chimiques

Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 5. Diversité chimique des plantes

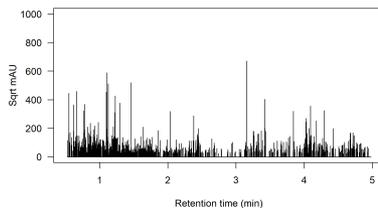
Les insectes évitent les plantes qui ont de fortes défenses chimiques

Collecte de donnée

'Métabolomique'



Tannins
Phénols
Alcaloïdes
Terpénoides
Flavonoids



Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

Hypothèse 5. Défenses chimiques des plantes

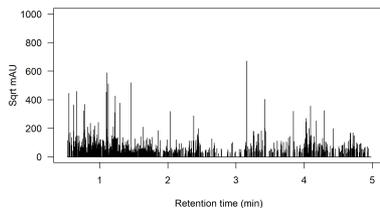
Les insectes évitent les plantes qui ont de fortes défenses chimiques

Collecte de donnée

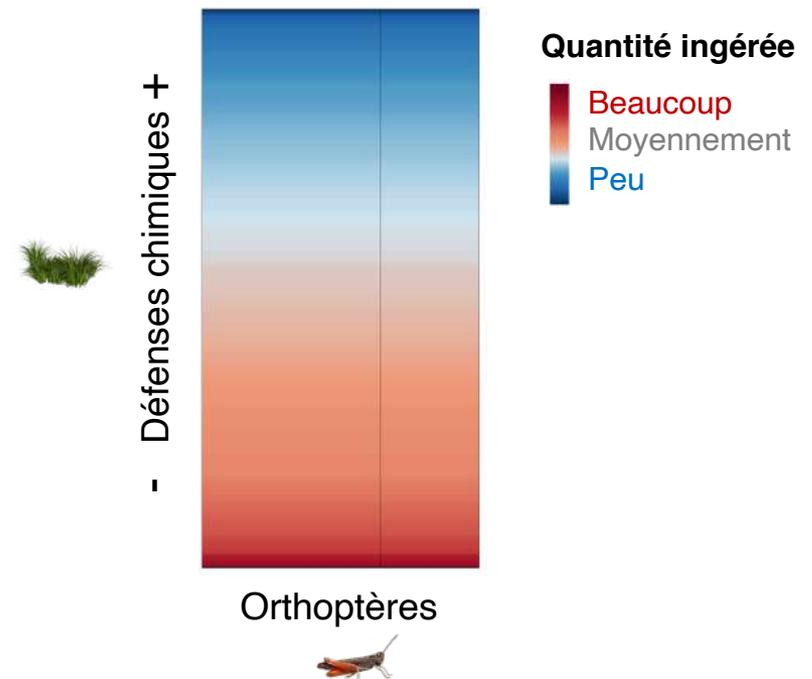
'Métabolomique'



Tannins
Phénols
Alkaloïdes
Terpénoides
Flavonoids

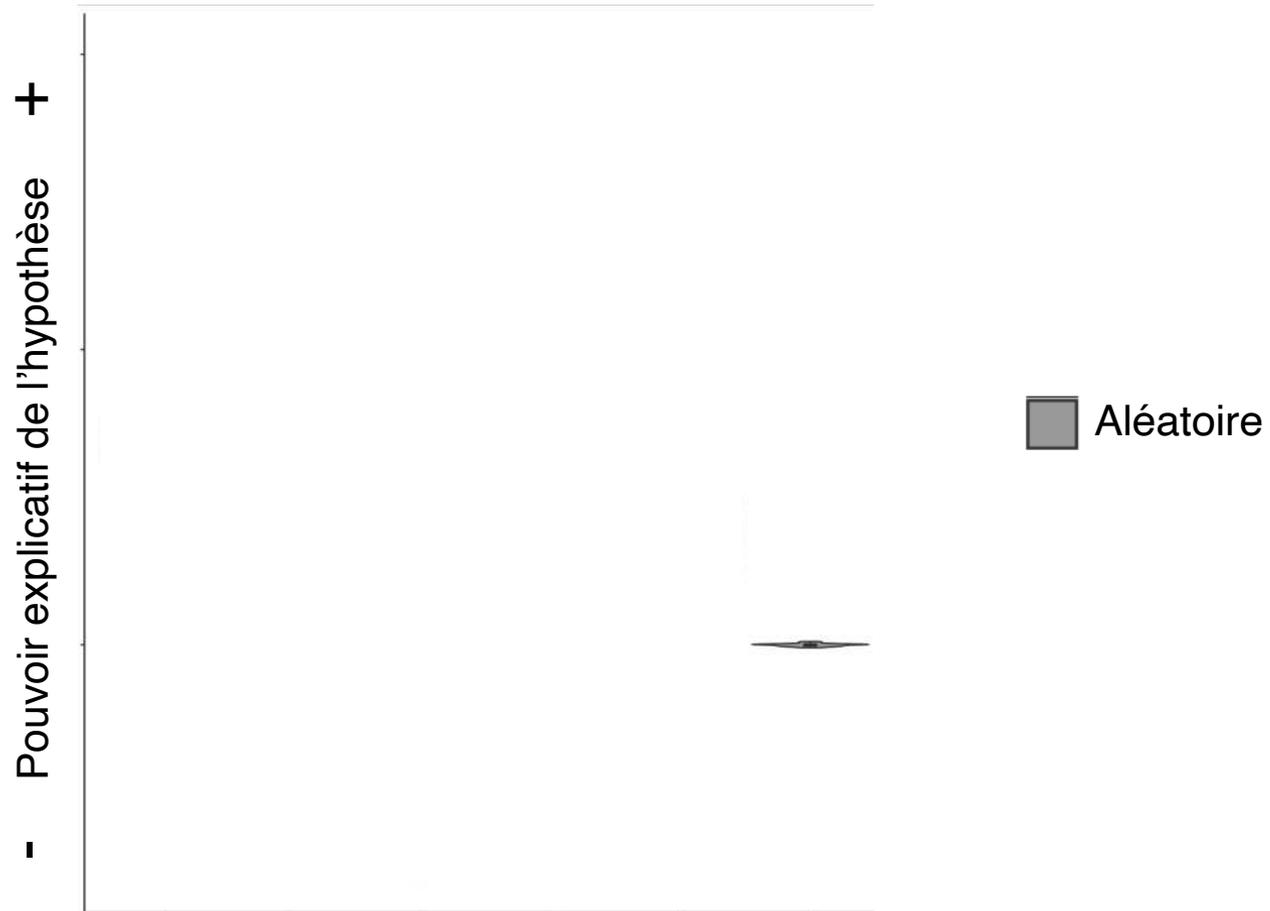


Hypothèse projetée sur le réseau



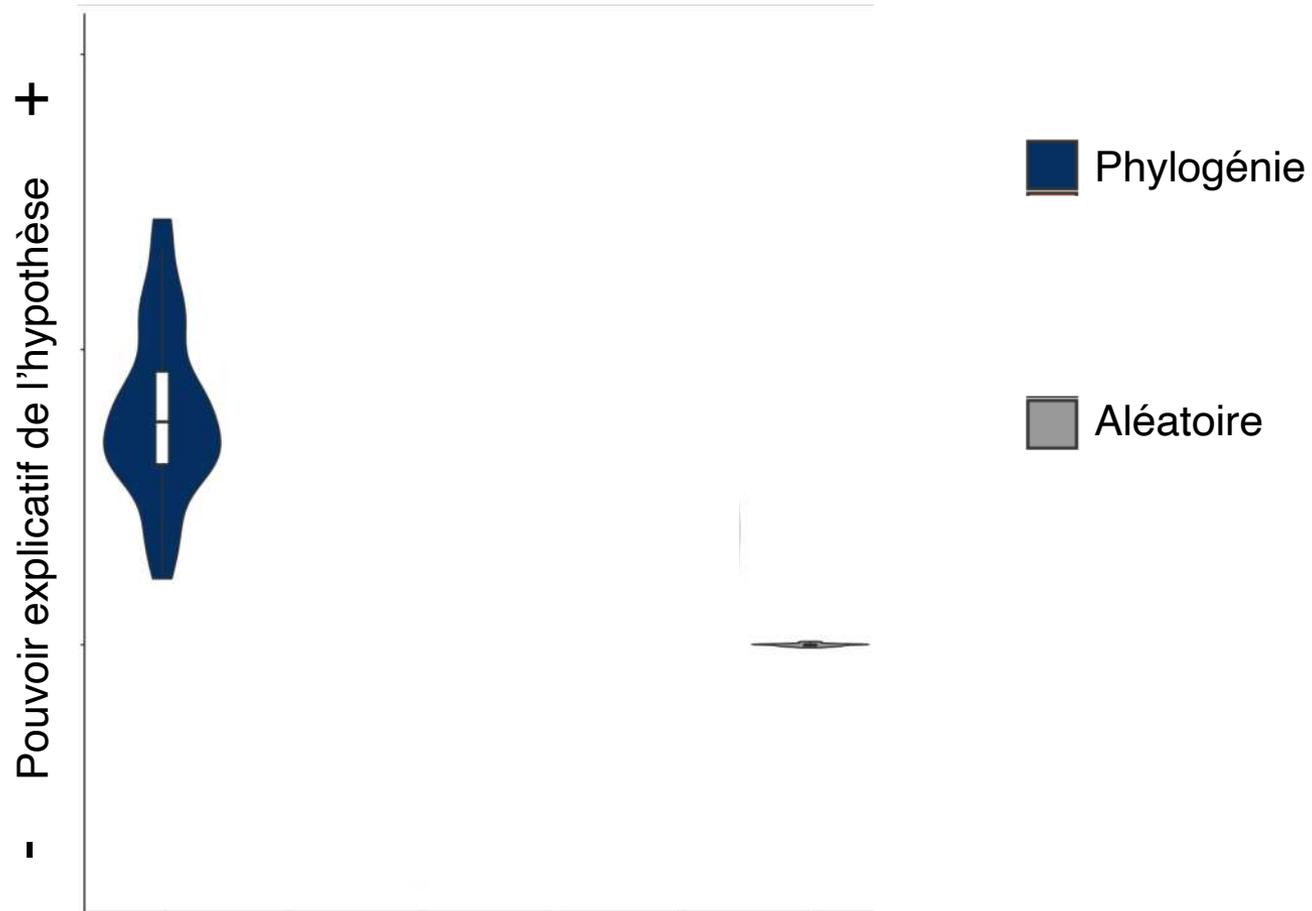
Question 3.

Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?



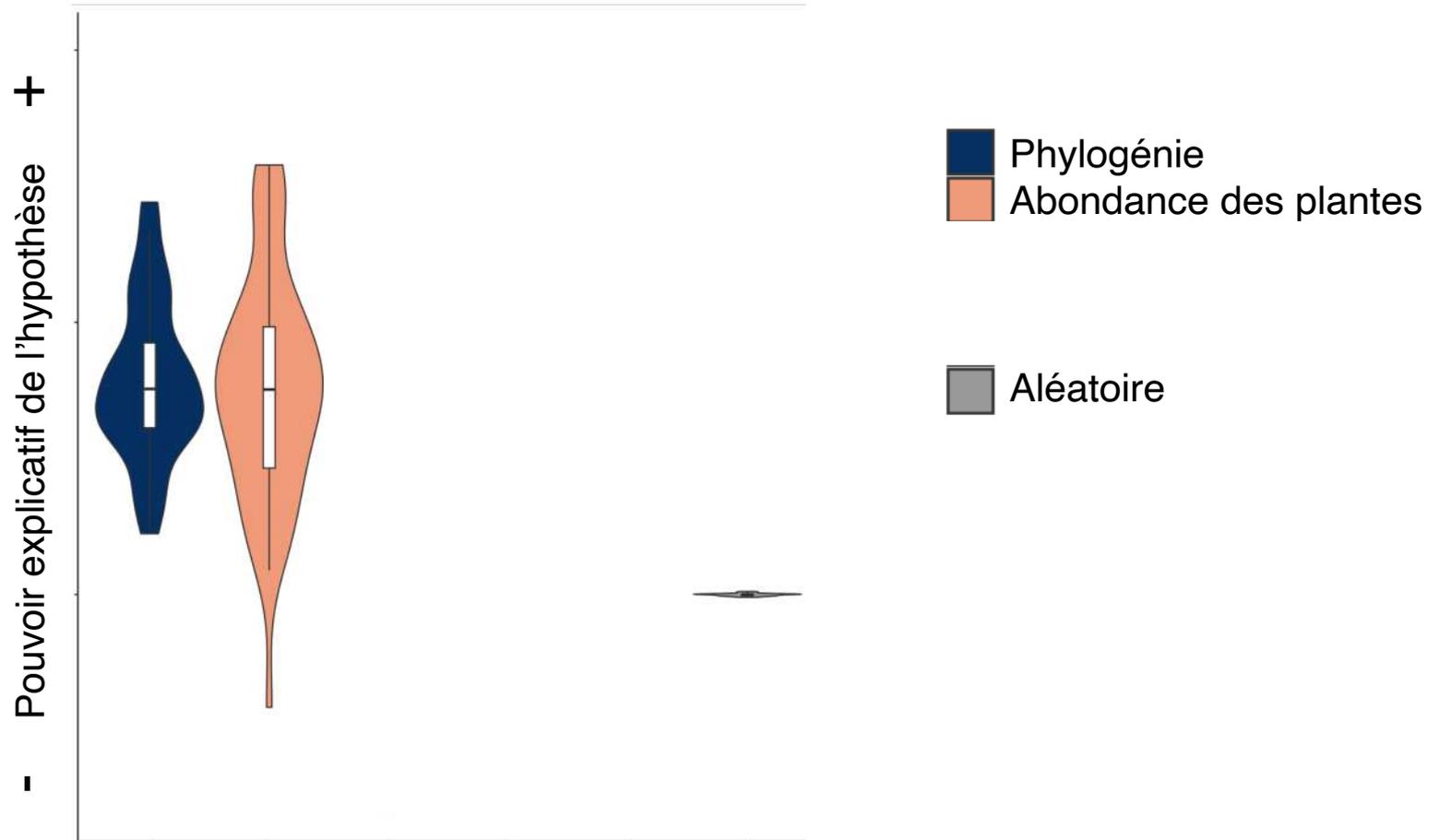
Question 3.

Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?



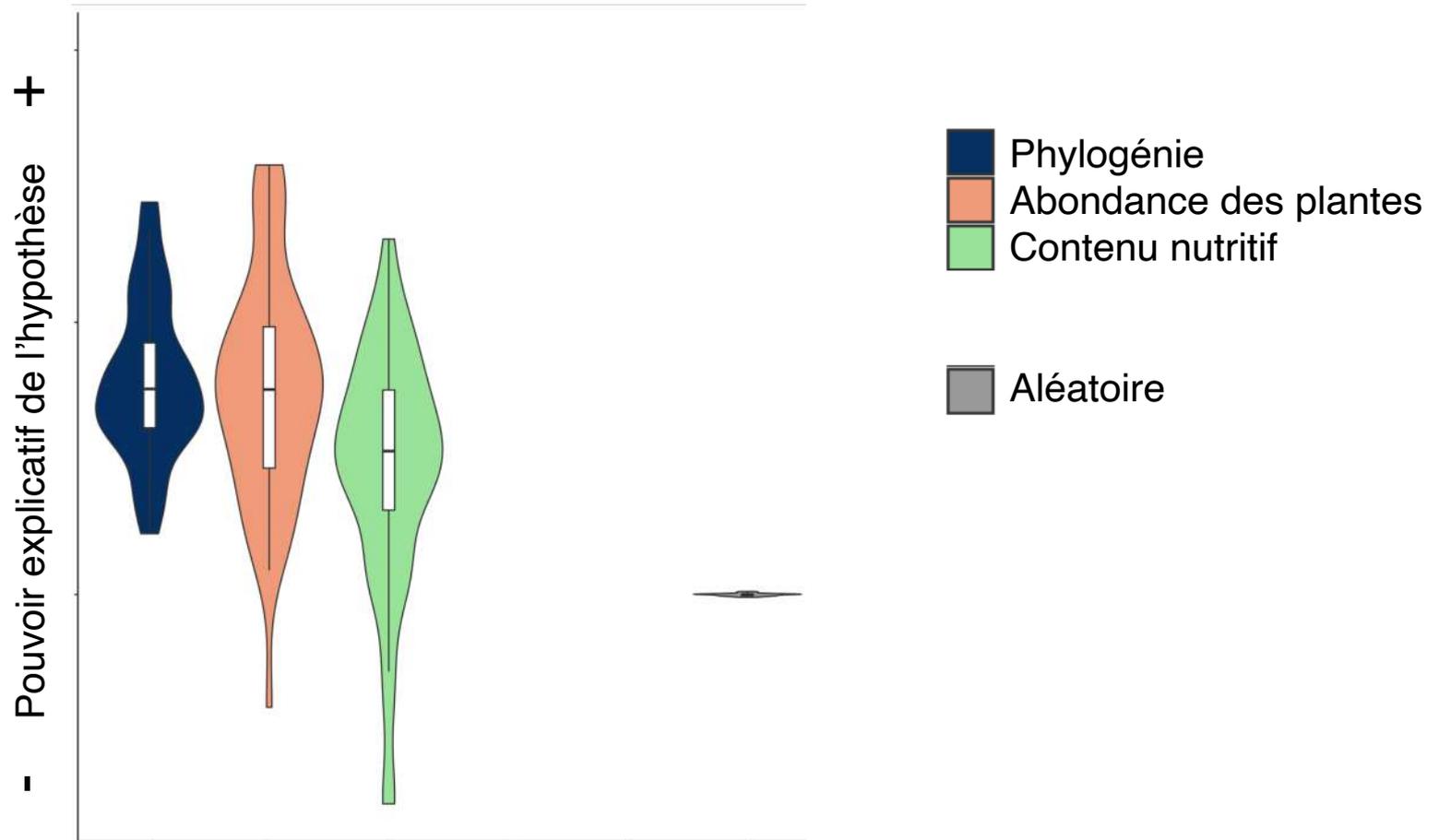
Question 3.

Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?



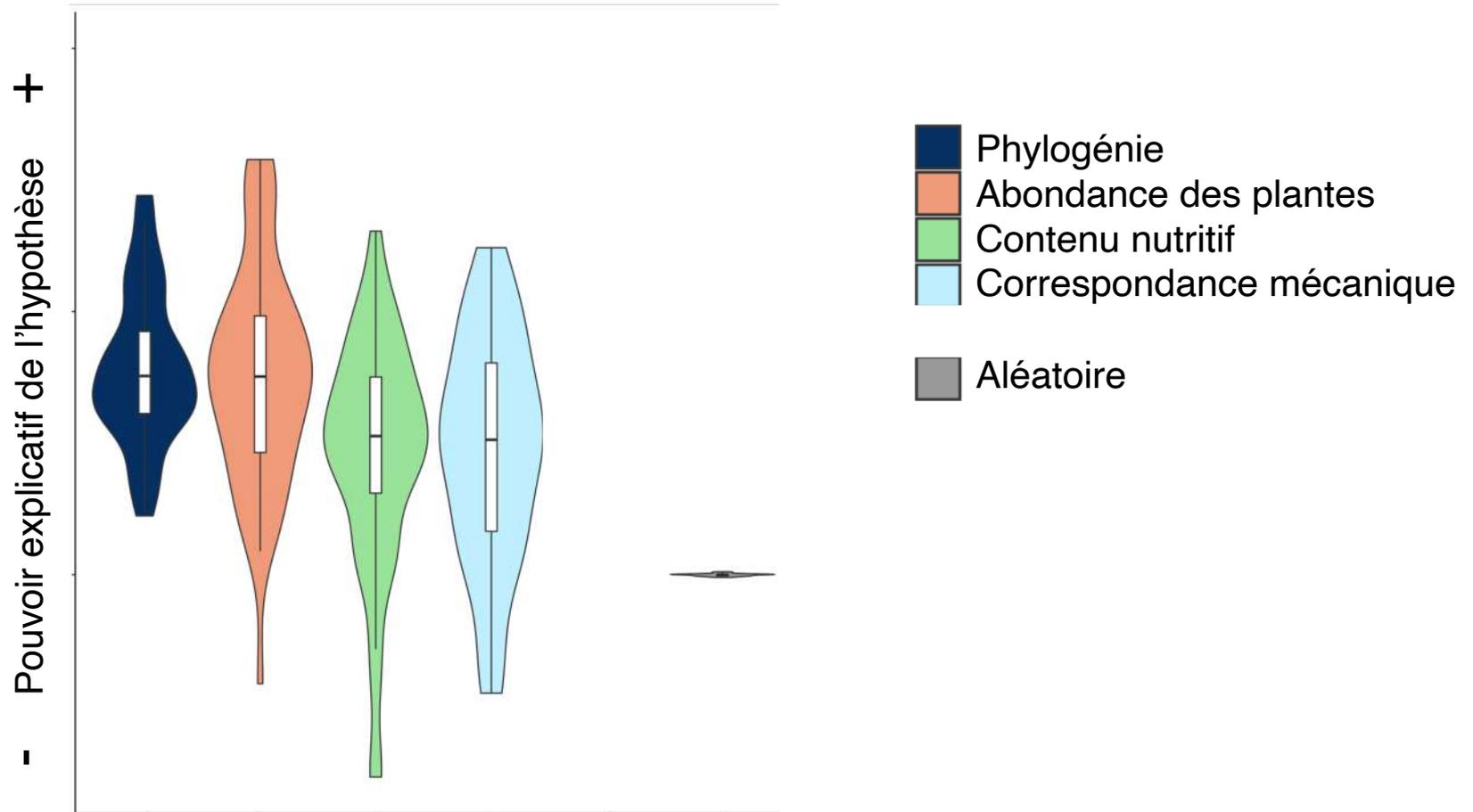
Question 3.

Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?



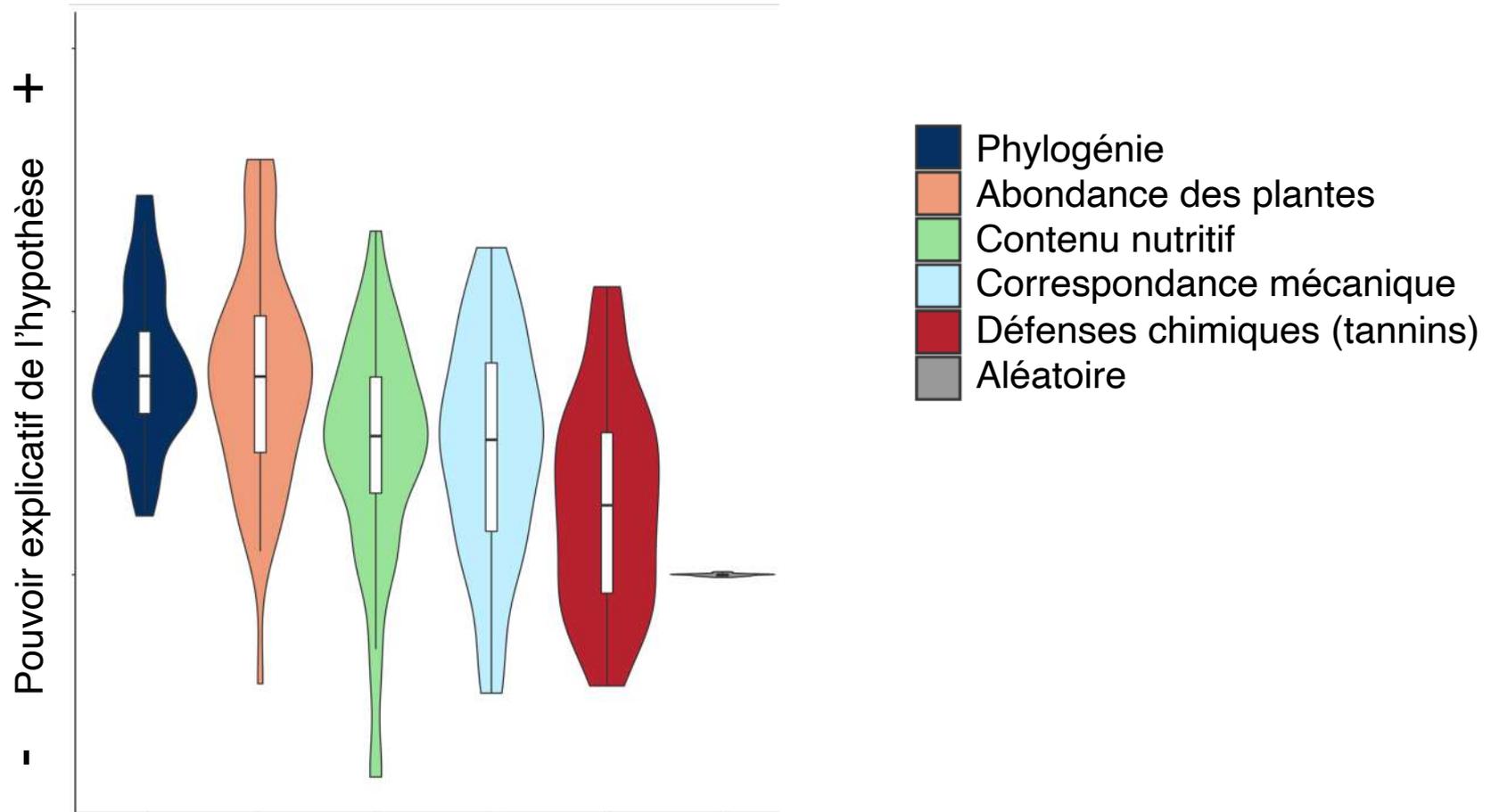
Question 3.

Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?



Question 3.

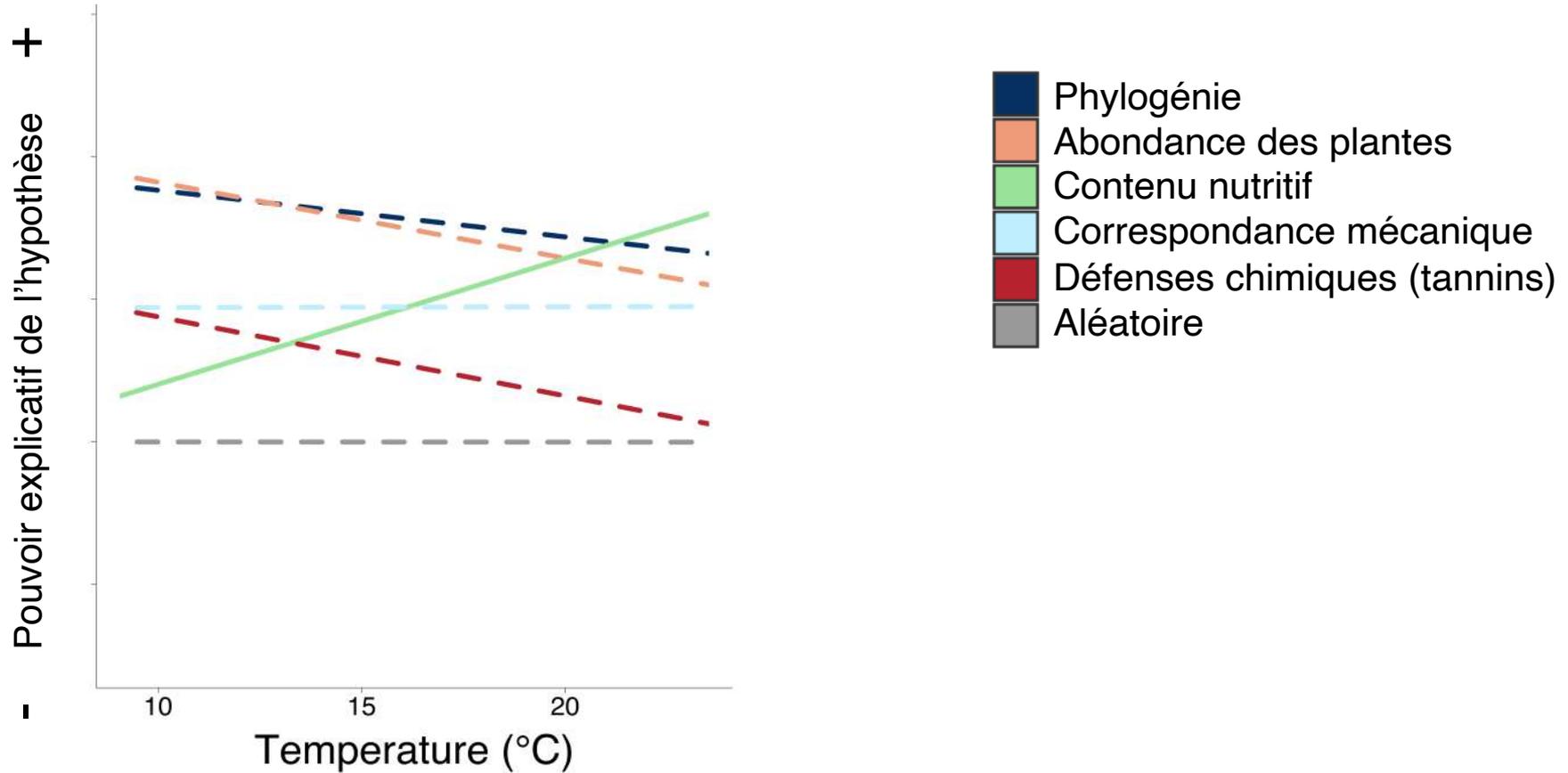
Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?



La phylogénie, l'abondance des plantes et les traits fonctionnels expliquent ensemble, mais à des degrés différents, les choix alimentaires des orthoptères.

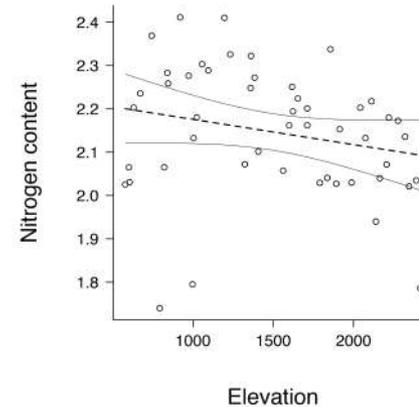
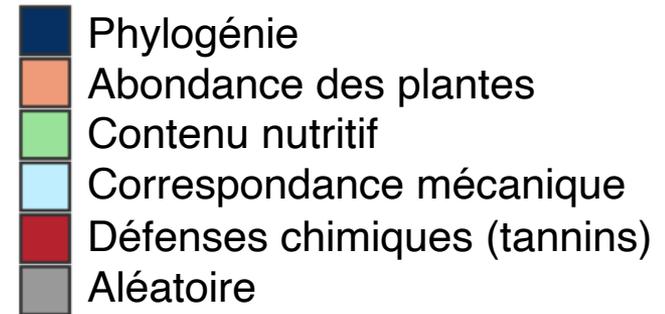
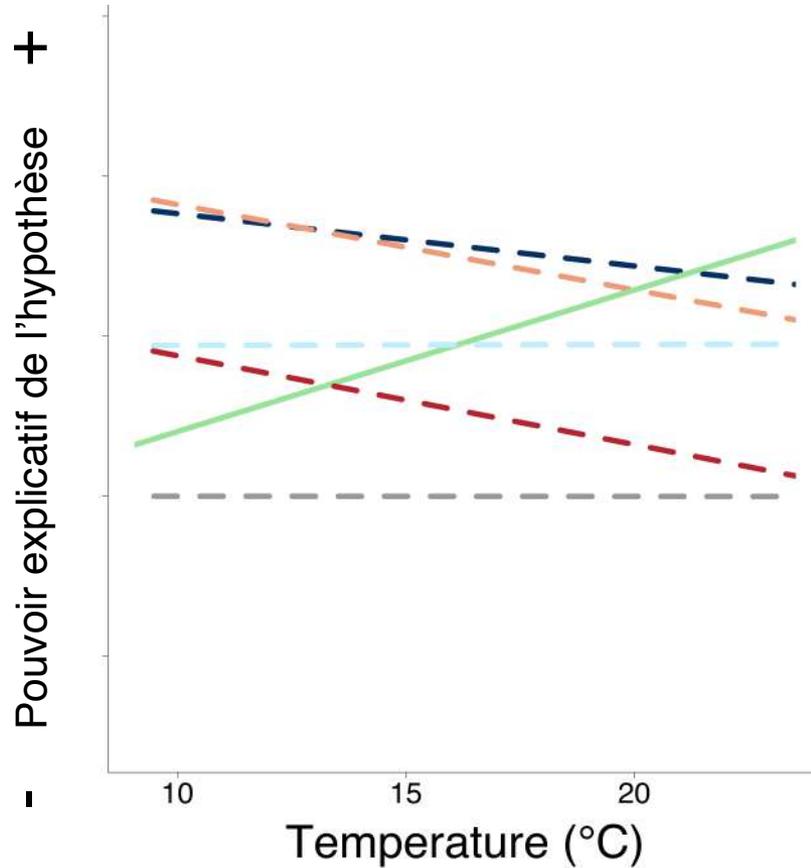
Question 3.

Est-ce ces mécanismes sont constants le long de l'altitude?



Question 3.

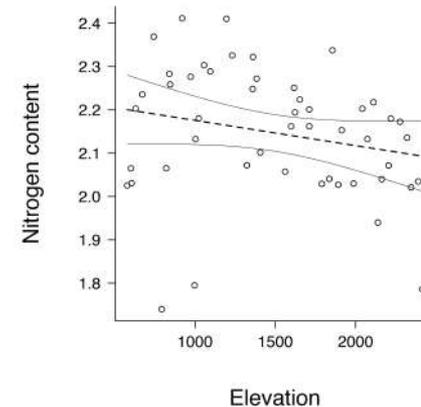
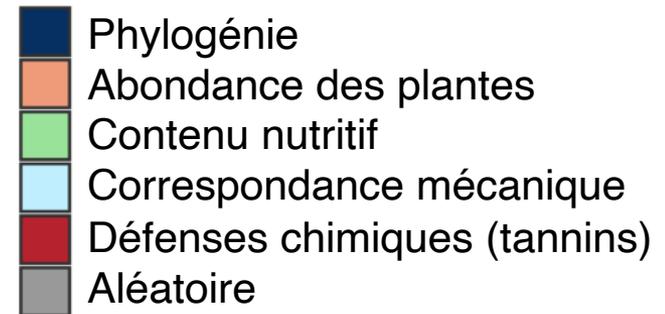
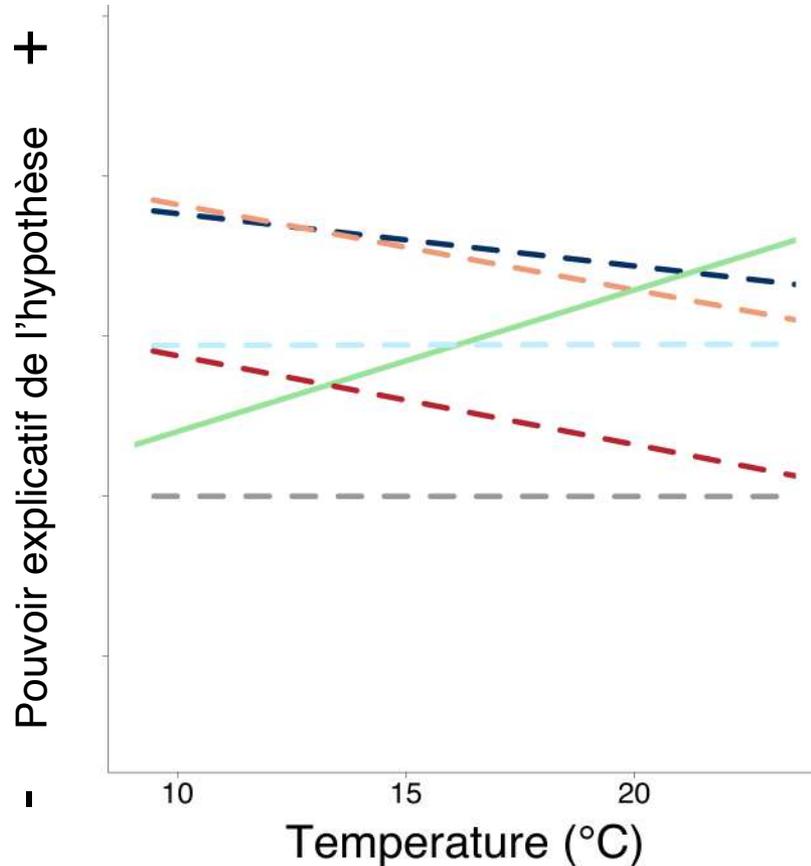
Est-ce ces mécanismes sont constants le long de l'altitude?



Le contenu nutritif est plus important sous des températures plus hautes.

Question 3.

Est-ce ces mécanismes sont constants le long de l'altitude?

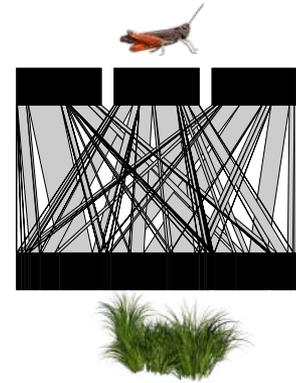


Le contenu nutritif est plus important sous des températures plus hautes.

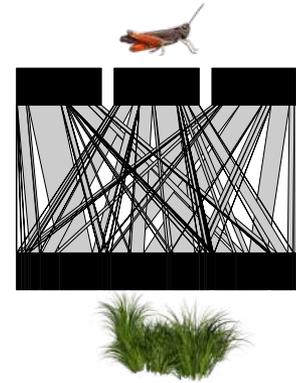
=> les règles qui structurent les réseaux ne sont pas systématiquement conservées spatialement.

Take-home messages

Question 1. Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?



Take-home messages

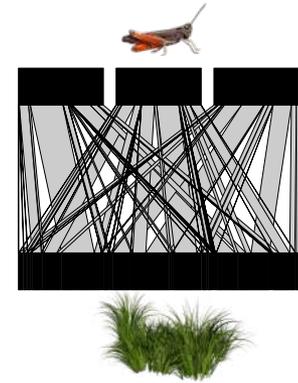


Question 1. Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?

Question 2. Comment les interactions changent le long de l'altitude?

En basse altitude: + spécialiste, moins robuste aux extinctions de plantes

Take-home messages



Question 1. Quelle est la composition exacte du régime alimentaire des orthoptères?

Question 2. Comment les interactions changent le long de l'altitude?

En basse altitude: + spécialiste, moins robuste aux extinctions de plantes

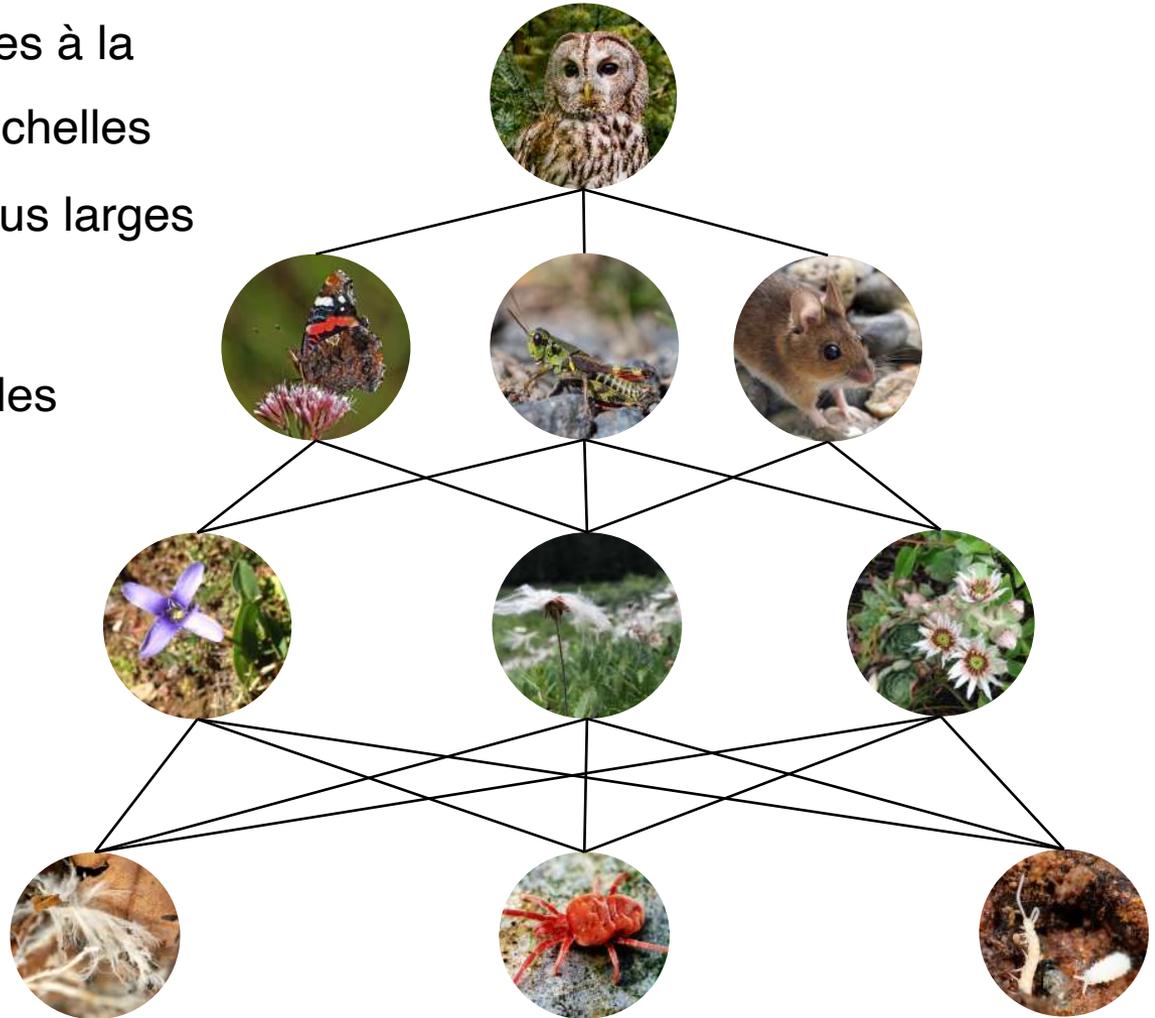
Question 3. Quels sont les mécanismes qui structurent les interactions?

La phylogénie, l'abondance des plantes et les traits fonctionnels expliquent ensemble mais à des degrés différents, les choix alimentaires des orthoptères.

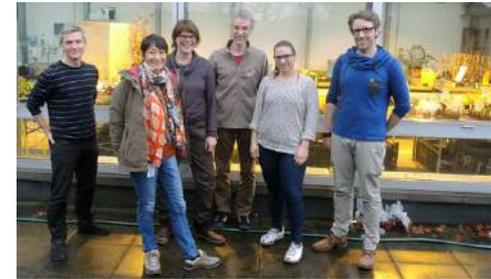
Ces mécanismes changent spatialement.

Perspectives

- Plus d'efforts sont nécessaires à la collecte des réseaux à des échelles taxonomiques et spatiales plus larges
- Mesurer les conséquences des perturbations à travers des réseaux complets
- Prédire les interactions entre espèces au cours de la crise climatique.



REMERCIEMENTS



GDC
Genetic
Diversity
Centre
Zurich



Loïc Pellissier
(ETHZ)



Sergio Rasmann
(UNINE)



Sébastien Ibanez
(Université Savoie Mt-Blanc)



Patrice Descombes
(ETHZ)



Christian Roesti
(orthoptera.ch)



Maude Poirier
(ETHZ)



Alan Kergunteuil
(UNINE)



Emmanuel Defossez
(UNINE)