



Lutte biologique par introduction contre *Sonchus oleraceus* (Asteraceae)

Une approche intégrative pour questionner le processus d'invasion et contribuer à la sélection des agents de lutte via l'analyse des réseaux écologiques

Présenté par Mélodie Ollivier

Sous la direction de Marie Stéphane Tixier et Jean François Martin



Les invasions biologiques

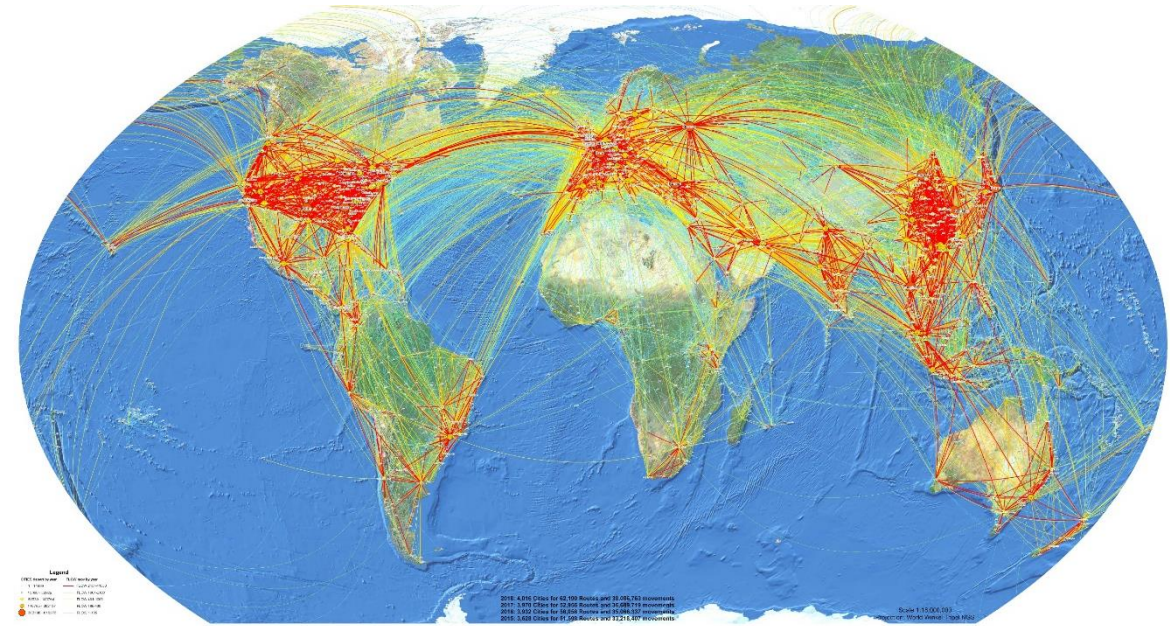
- ◆ Déplacements d'espèces au-delà de leur aire de répartition naturelle.
- ◆ **Espèce invasive** : organisme introduit, durablement établi et dont la prolifération des populations a des impacts écologiques, économiques et humains.



STICS – Stirling Conservation Science (Stirling University)

Les invasions biologiques

- ◆ Déplacements d'espèces au-delà de leur aire de répartition naturelle.
- ◆ **Espèce invasive** : organisme introduit, durablement établi et dont la prolifération des populations a des impacts écologiques, économiques et humains.



Air traffic flow chart 2018
International Civil Aviation Organization

- ◆ Favorisées par l'intensification des échanges commerciaux mondiaux.

Banks *et al.*, 2015

- ◆ Facteur majeur d'érosion de la biodiversité.

Bellard *et al.*, 2016

Les invasions biologiques

Ex. : En Australie,
Cactus du genre *Opuntia*

Prickly pear

Chinchilla district, Queensland (~1930)



National Archives of Australia

Les invasions biologiques

*'A silent terror that has captured
29 000 000 acres of our inheritance'*

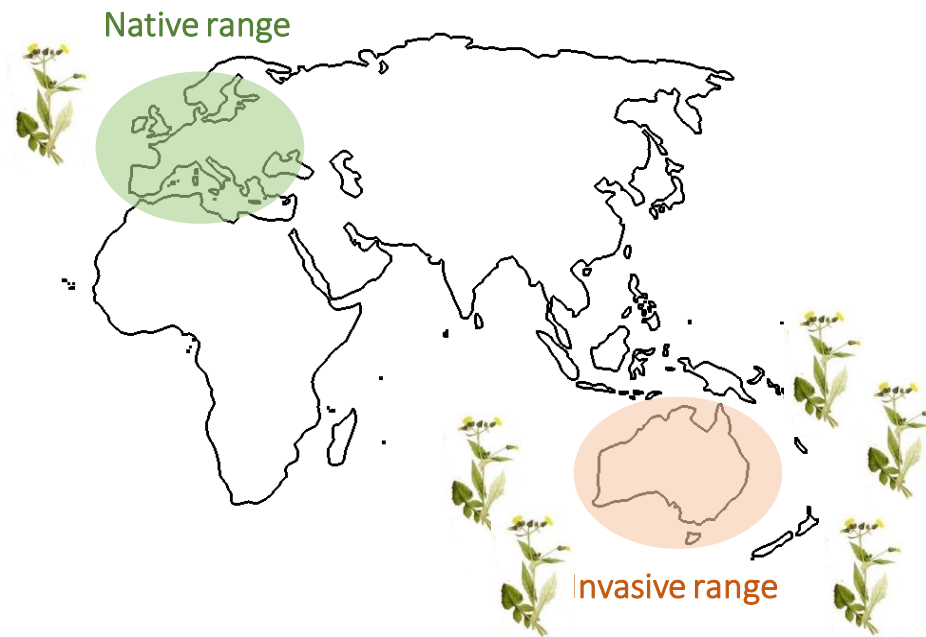


The Invasion of Australia cartoon published
in *The Sydney Mail*, 28 February 1923



National Archives of Australia

Les invasions biologiques

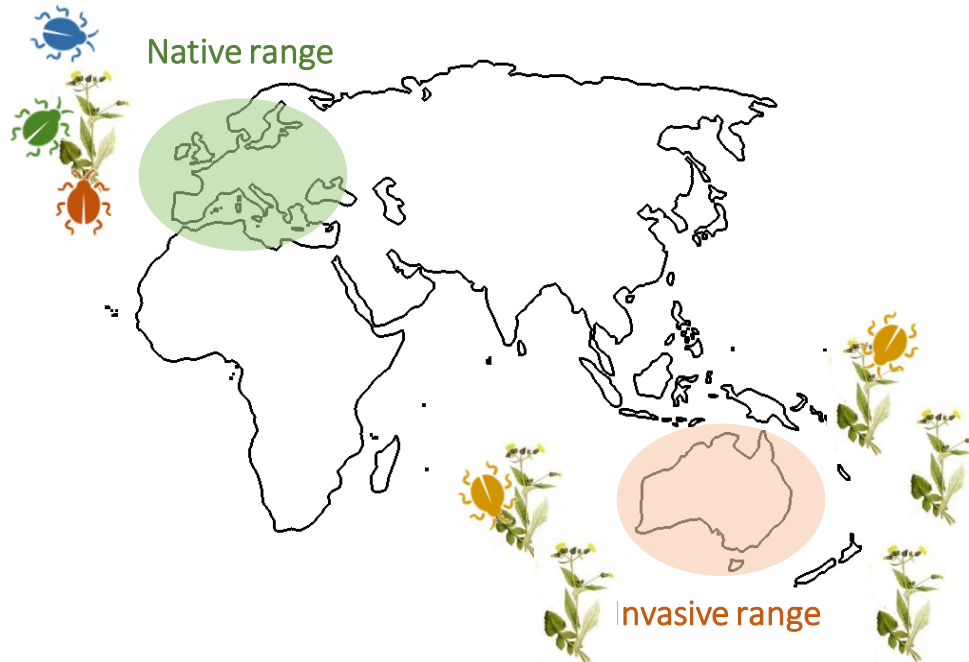


Les invasions biologiques

Hypothèse sous-jacente : succès invasif lié au relâchement de la pression d'herbivorie

Enemy Release Hypothesis

Keane and Crawley 2002

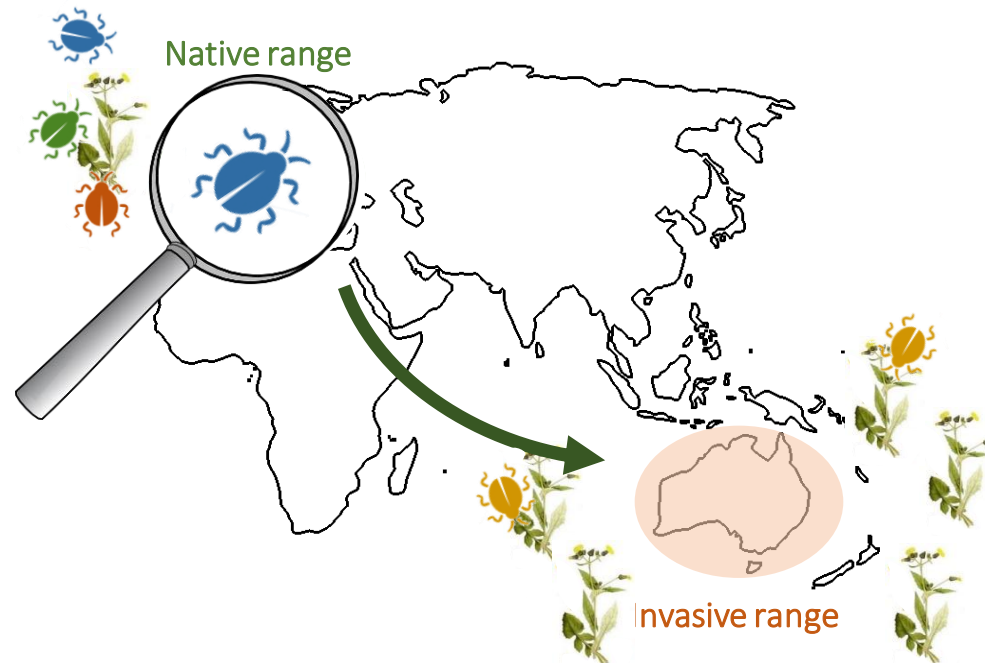


La lutte biologique par introduction

Hypothèse sous-jacente : succès invasif lié au relâchement de la pression d'herbivorie

Enemy Release Hypothesis

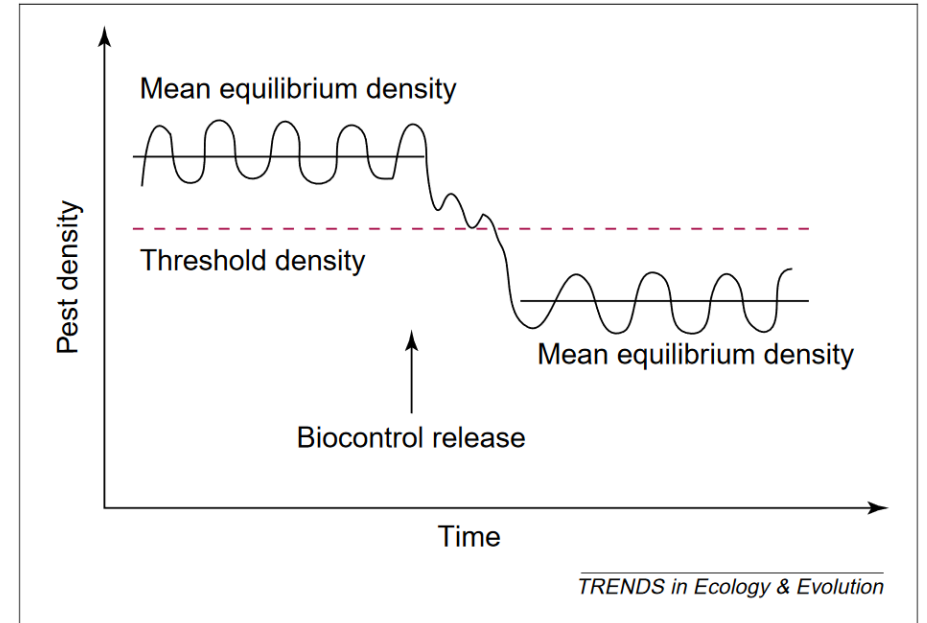
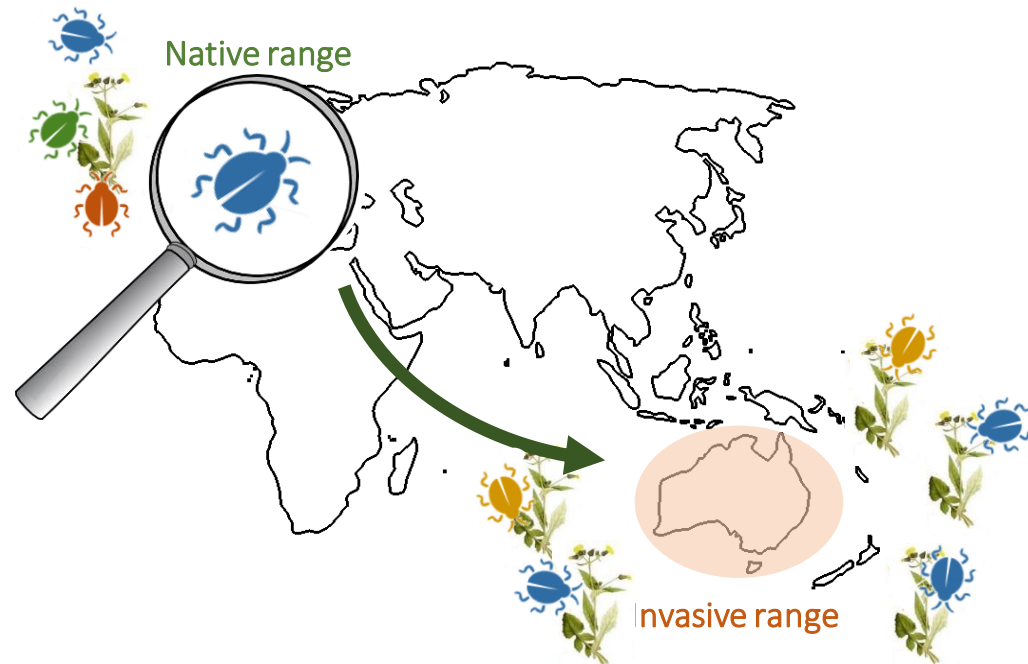
Keane and Crawley 2002



Démarche : sélectionner les ennemis naturels spécialistes depuis l'aire d'origine pour les introduire dans l'aire d'invasion, en vue de réduire la densité des populations de plantes invasives sous un seuil de nuisibilité acceptable.

La lutte biologique par introduction

Evolution théorique de la dynamique des populations de l'espèce invasive au cours d'un programme de lutte biologique classique



Pearson and Callaway 2003

La lutte biologique par introduction



October 1926

National Museum of Australia. Photo: W. Mann

La lutte biologique par introduction

Cactoblastis cactorum
(Lepidoptère : Pyralidae)

Relâché en 1926
Importé d'Argentine
Richardson 2008



October 1926

National Museum of Australia. Photo: W. Mann



National Museum of Australia

La lutte biologique par introduction



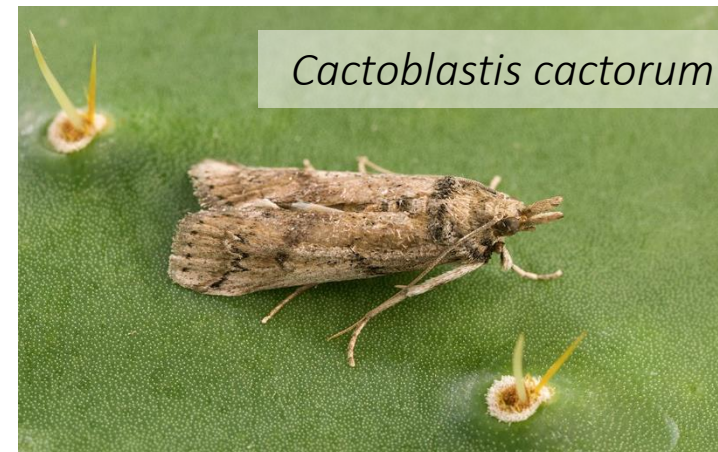
October 1929

National Museum of Australia. Photo: W. Mann



October 1926

National Museum of Australia. Photo: W. Mann



Cactoblastis cactorum

National Museum of Australia

La lutte biologique par introduction

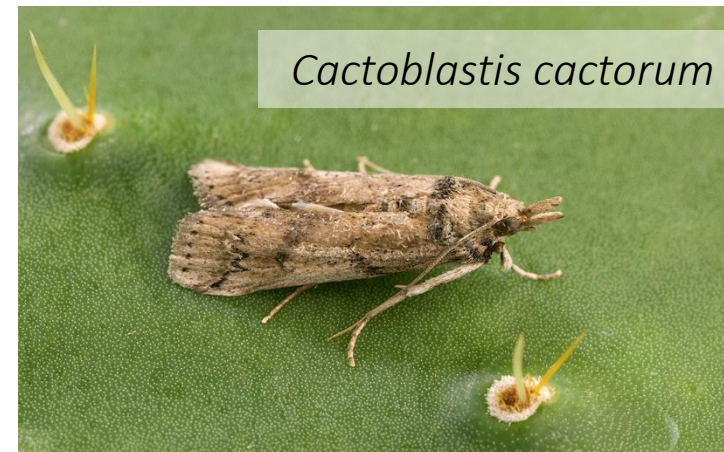


Chinchilla, Queensland, Février 2018



October 1926

National Museum of Australia. Photo: W. Mann



Cactoblastis cactorum

National Museum of Australia

La lutte biologique par introduction



La lutte biologique par introduction

Durabilité de la méthode

Seastedt 2014

Contrôle observé 65,7% des programmes

Schwarzländer *et al.* 2018

Retour sur investissement 23:1

Palmer *et al.* 2010, Schaffner *et al.*, 2020



La lutte biologique par introduction

Durabilité de la méthode

Seastedt 2014

Contrôle observé 65,7% des programmes

Schwarzländer *et al.* 2018

Retour sur investissement 23:1

Palmer *et al.* 2010, Schaffner *et al.*, 2020



Australie, depuis 1900 :
200 agents sur >80 plantes

Raghu and Klinken 2006



La lutte biologique par introduction

Durabilité de la méthode

Seastedt 2014

Contrôle observé 65,7% des programmes

Schwarzländer *et al.* 2018

Retour sur investissement 23:1

Palmer *et al.* 2010, Schaffner *et al.*, 2020

Impacts directs :
attaques non-cibles

Hinz *et al.*, 2019

Impacts indirects : interactions
dans les réseaux écologiques

López-Núñez *et al.* 2017



Australie, depuis 1900 :
200 agents sur >80 plantes

Raghu and Klinken 2006



La lutte biologique contre *Sonchus oleraceus*

Sonchus oleraceus L. (Asteraceae)

le laiteron maraîcher

Common Sowthistle



La lutte biologique contre *Sonchus oleraceus*

Sonchus oleraceus L. (Asteraceae)

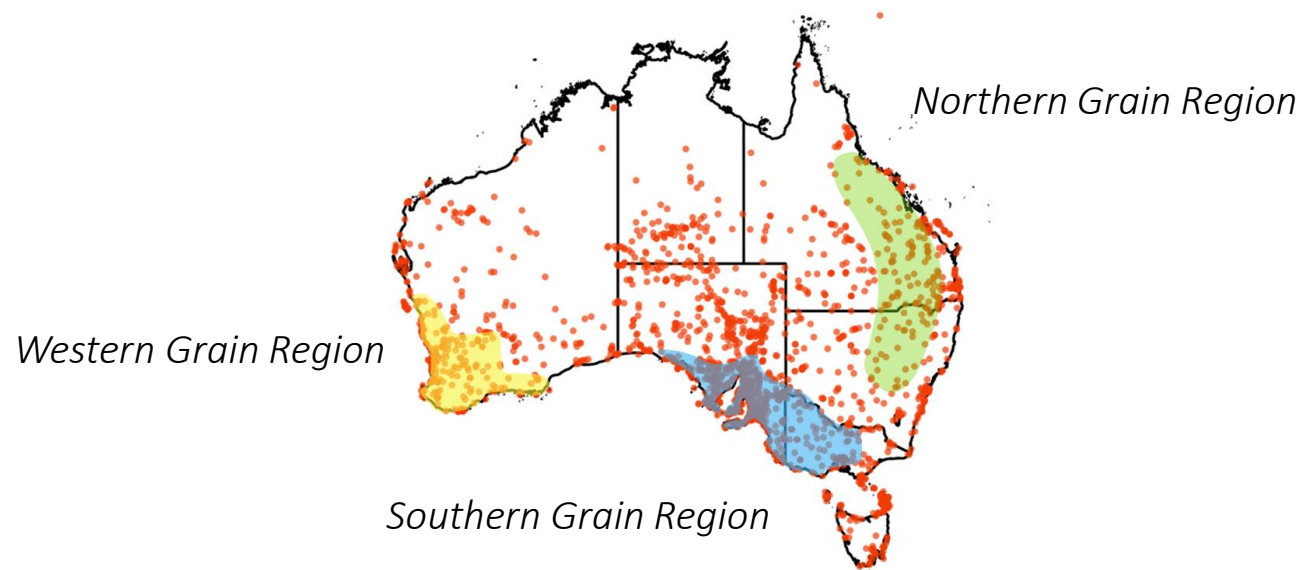
le laiteron maraîcher

Common Sowthistle

Aire d'origine : Région ouest paléarctique

Naturalisation : 48% des territoires mondiaux Pyšek et al. 2017

Aire d'invasion : Australie



La lutte biologique contre *Sonchus oleraceus*

Sonchus oleraceus L. (Asteraceae)

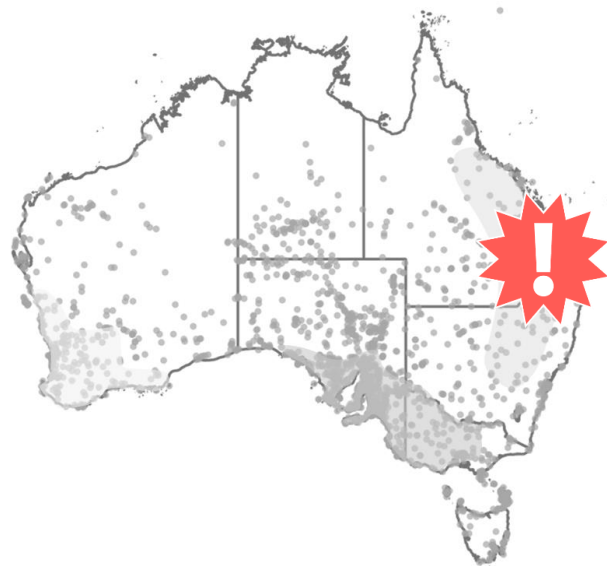
le laiteron maraîcher

Common Sowthistle

Aire d'origine : Région ouest paléarctique

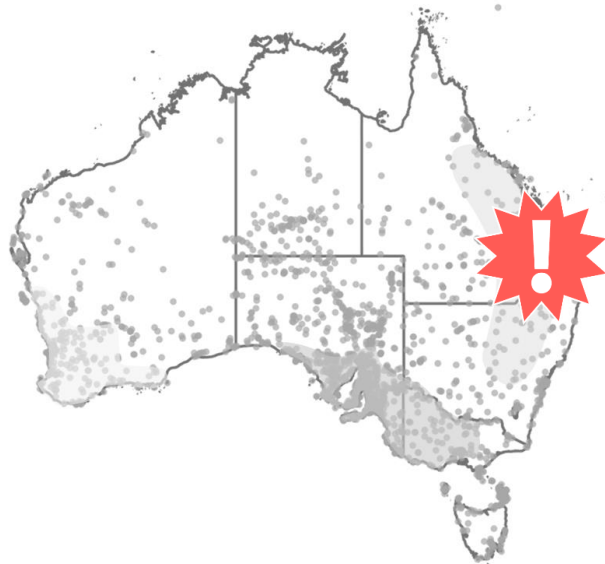
Naturalisation : 48% des territoires Pyšek *et al.* 2017

Aire d'invasion : Australie

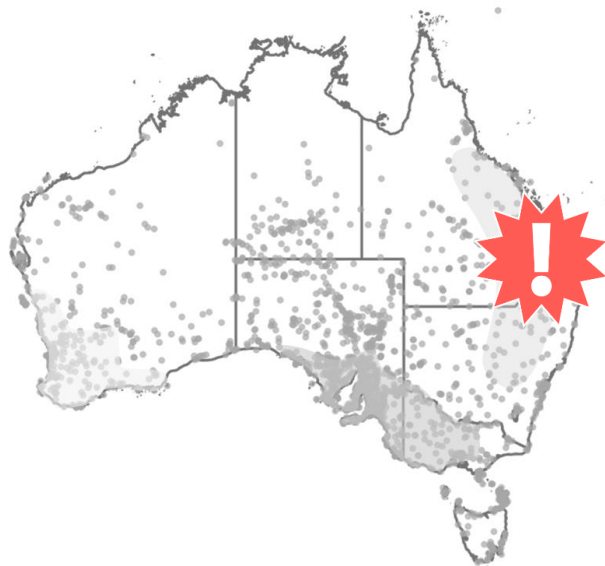


1997 : Résistances
aux herbicides

La lutte biologique contre *Sonchus oleraceus*



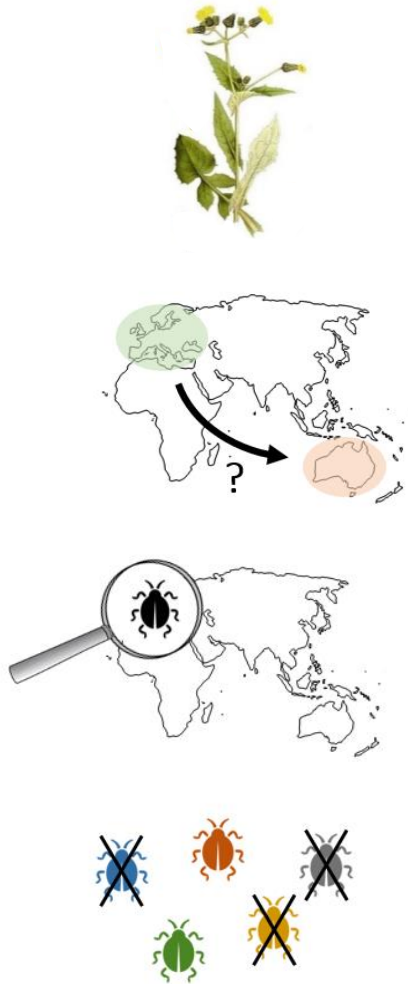
La lutte biologique contre *Sonchus oleraceus*



La lutte biologique contre *Sonchus oleraceus*



Etapes critiques d'un programme de lutte biologique



Identification de la plante

Compréhension du processus
d'invasion

Détermination des facteurs
d'invasion

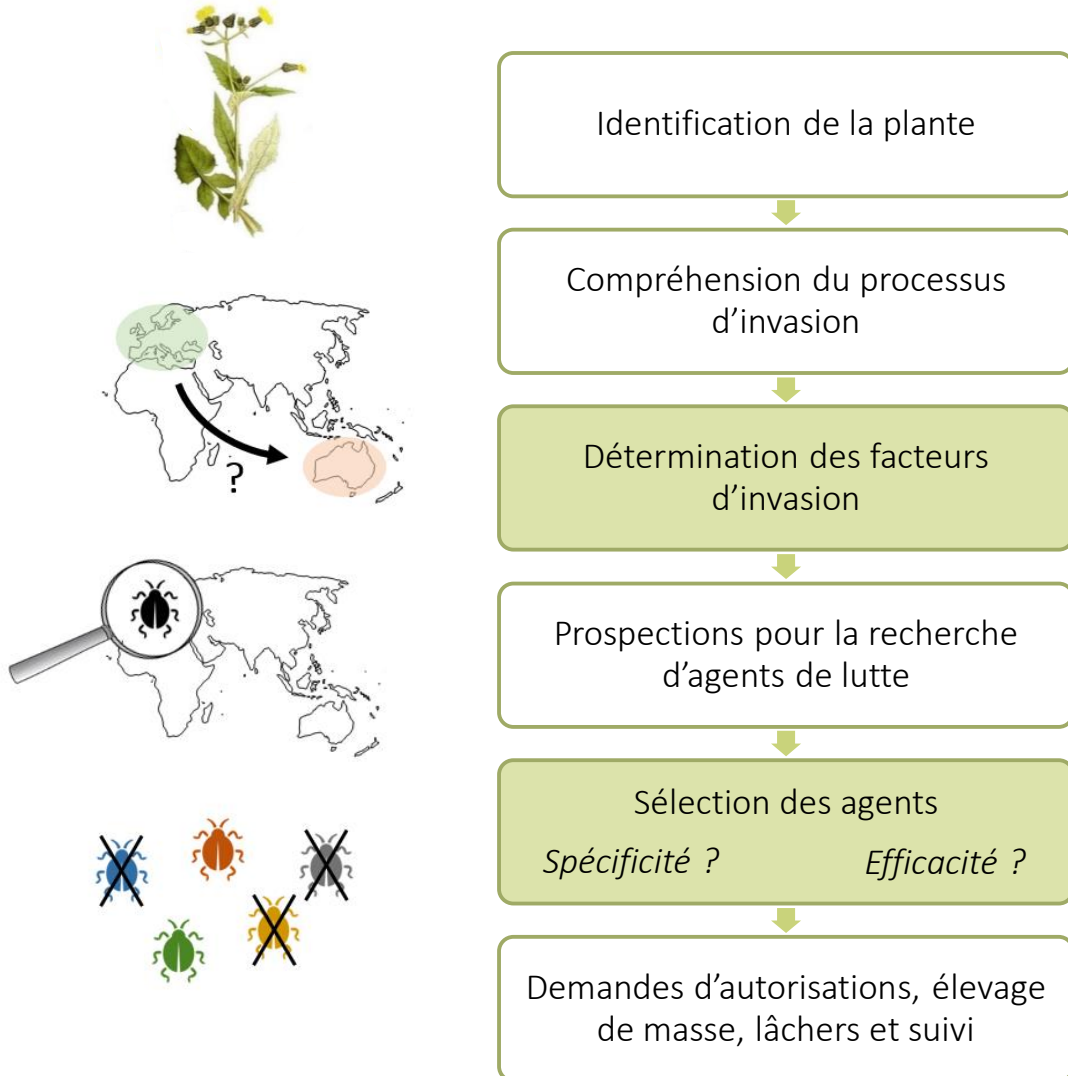
Prospections pour la recherche
d'agents de lutte

Sélection des agents
Spécificité ? *Efficacité ?*

Demandes d'autorisations, élevage
de masse, lâchers et suivi

Ollivier *et al.* 2020, *BioRxiv*

Etapes critiques d'un programme de lutte biologique



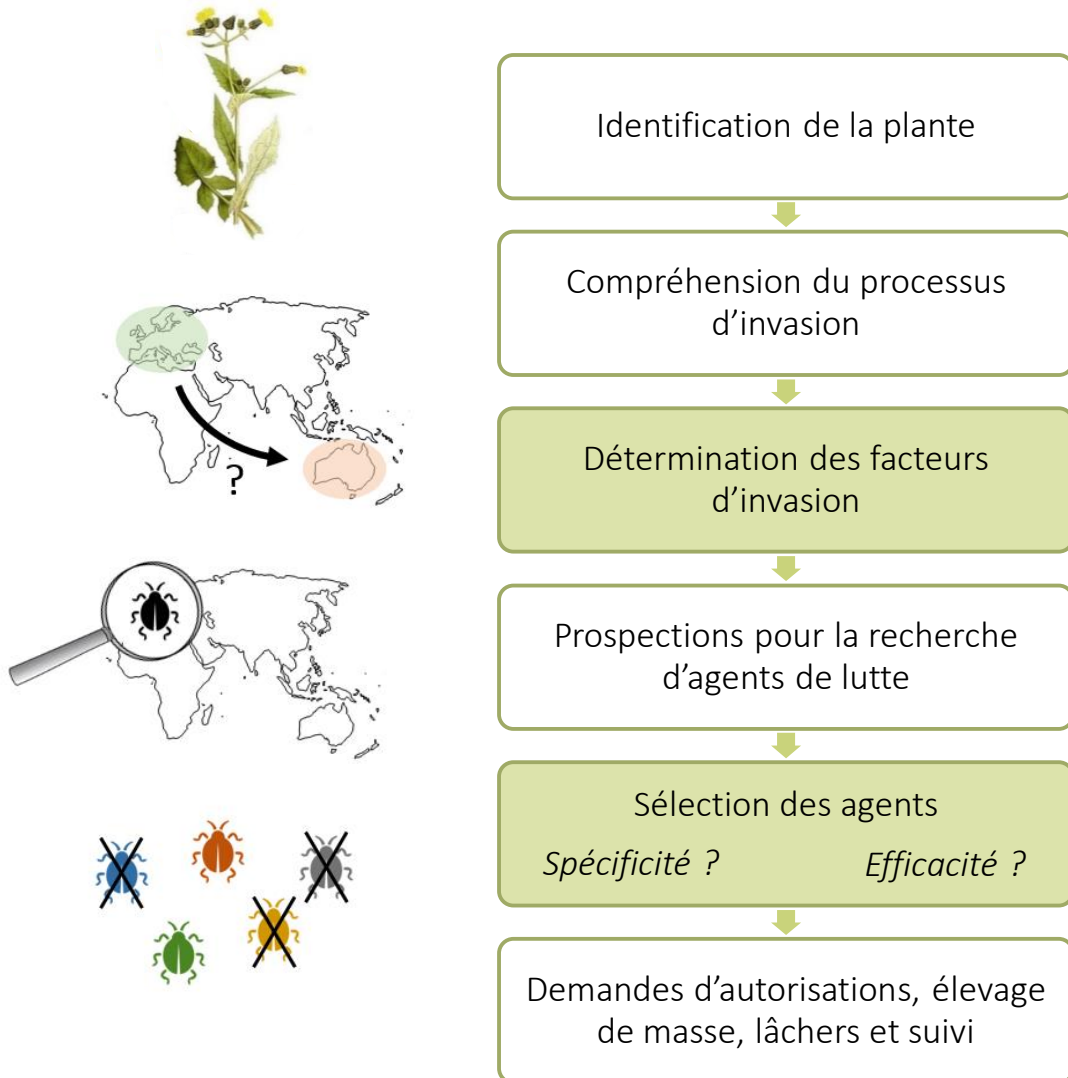
1 – Quels sont les facteurs du succès d'invasion chez *S. oleraceus* ?

Ollivier *et al.* 2020, *NeoBiota*

Ollivier *et al.* In prep., *Austral Entomology*

- ▶ Evolution rapide des traits d'histoire de vie ?
- ▶ Relâchement de la pression d'herbivorie ?

Etapes critiques d'un programme de lutte biologique



1 – Quels sont les facteurs du succès d'invasion chez *S. oleraceus* ?

Ollivier *et al.* 2020, *NeoBiota*

Ollivier *et al.* In prep., *Austral Entomology*

- ▶ Evolution rapide des traits d'histoire de vie ?
- ▶ Relâchement de la pression d'herbivorie ?

2 – Une approche par l'analyse des réseaux d'interactions écologiques peut-elle soutenir la sélection des agents de lutte ?

Ollivier *et al.* Submitted, *Journal of Applied Ecology*

Ollivier *et al.* 2020, *Current Opinion in Insect Science*

- ▶ Caractériser la gamme d'hôte écologique
- ▶ Minimiser les risques indirects

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

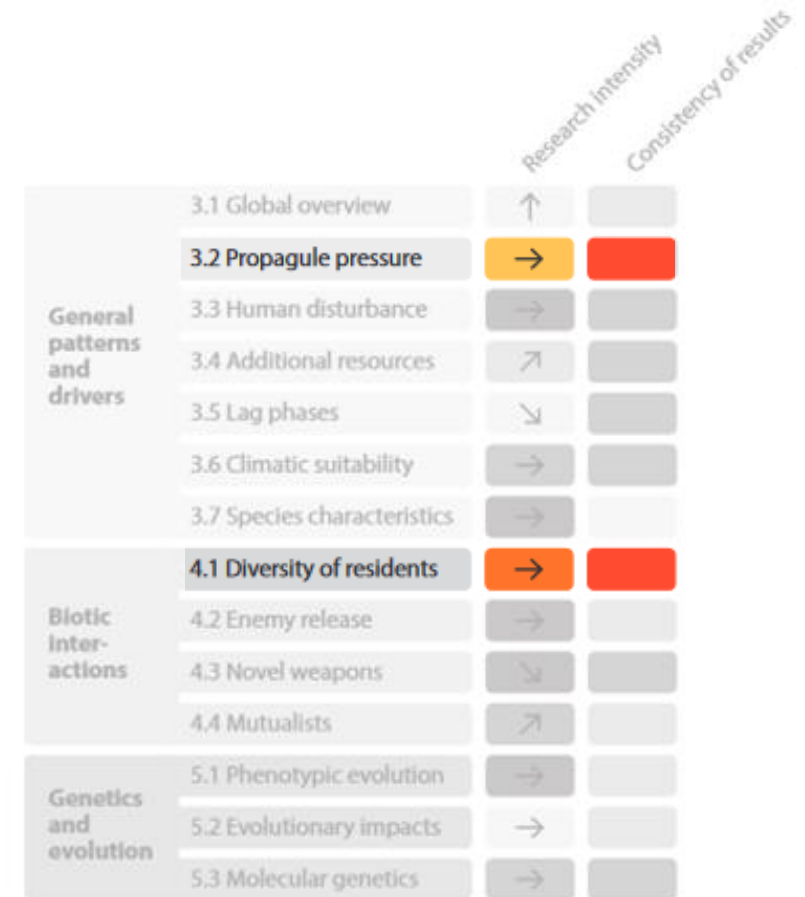
Nombreuses hypothèses au succès d'invasion...



?

?

?



Intensity, consistency

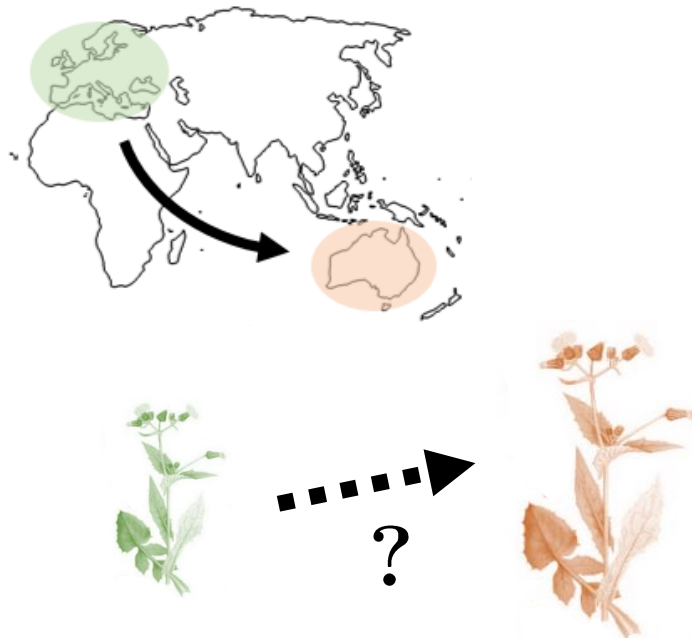
- Low/few
- Moderate
- High/many
- Very high/many

Rate of research intensity

- ↘ Decreasing
- Continuing
- ↗ Increasing
- ↑ Rapidly increasing

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

Conditions biotiques et abiotiques nouvelles
= nouvelles pressions de sélection



Changements évolutifs possibles

		Research intensity	Consistency of results
General patterns and drivers	3.1 Global overview	↑	□
	3.2 Propagule pressure	→	□
	3.3 Human disturbance	→	□
	3.4 Additional resources	↗	□
	3.5 Lag phases	↘	□
	3.6 Climatic suitability	→	□
	3.7 Species characteristics	→	□
Biotic interactions	4.1 Diversity of residents	→	□
	4.2 Enemy release	→	□
	4.3 Novel weapons	↘	□
	4.4 Mutualists	↗	□
Genetics and evolution	5.1 Phenotypic evolution	→	■
	5.2 Evolutionary impacts	→	□
	5.3 Molecular genetics	→	□

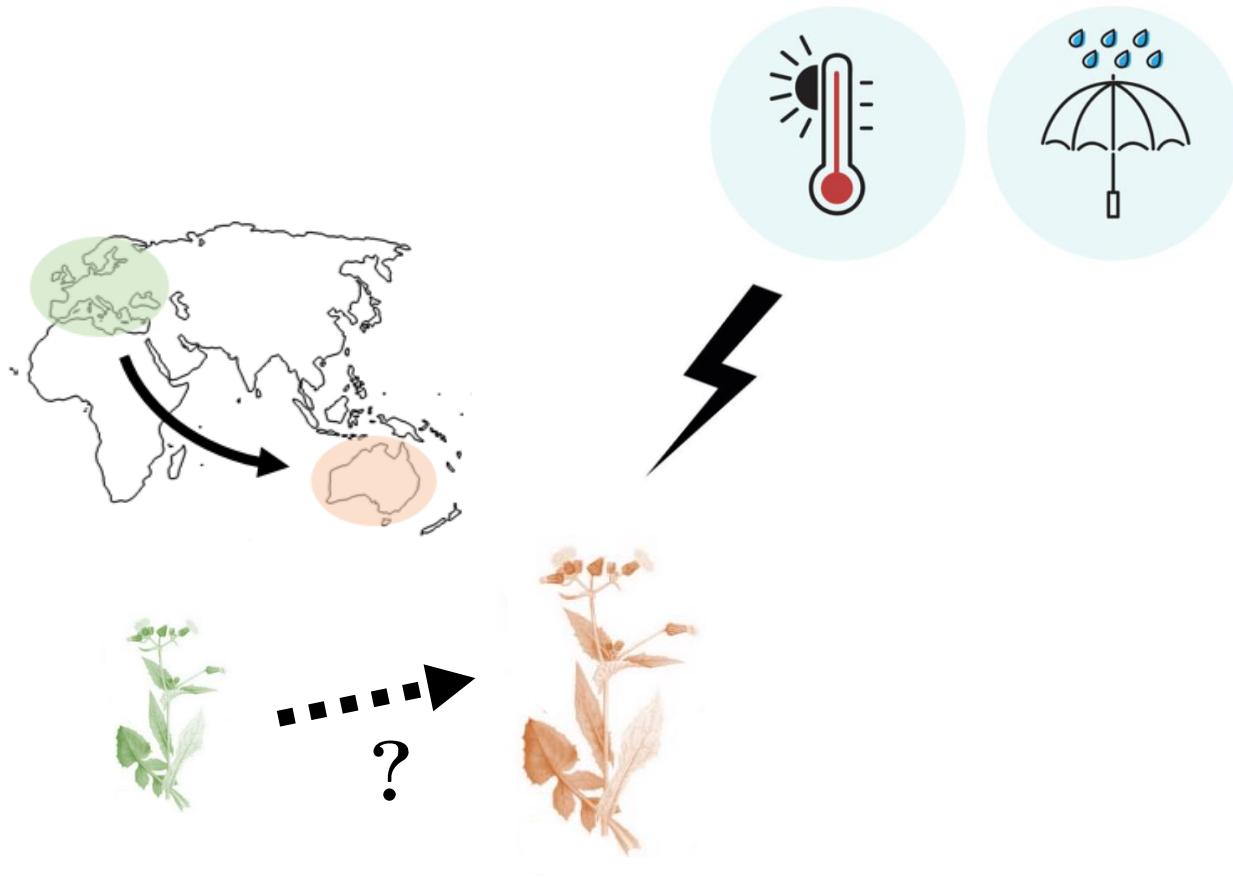
Intensity, consistency

- Low/few
- Moderate
- High/many
- Very high/many

Rate of research intensity

- ↘ Decreasing
- Continuing
- ↗ Increasing
- ↑ Rapidly increasing

Evolution rapide des traits d'histoire de vie



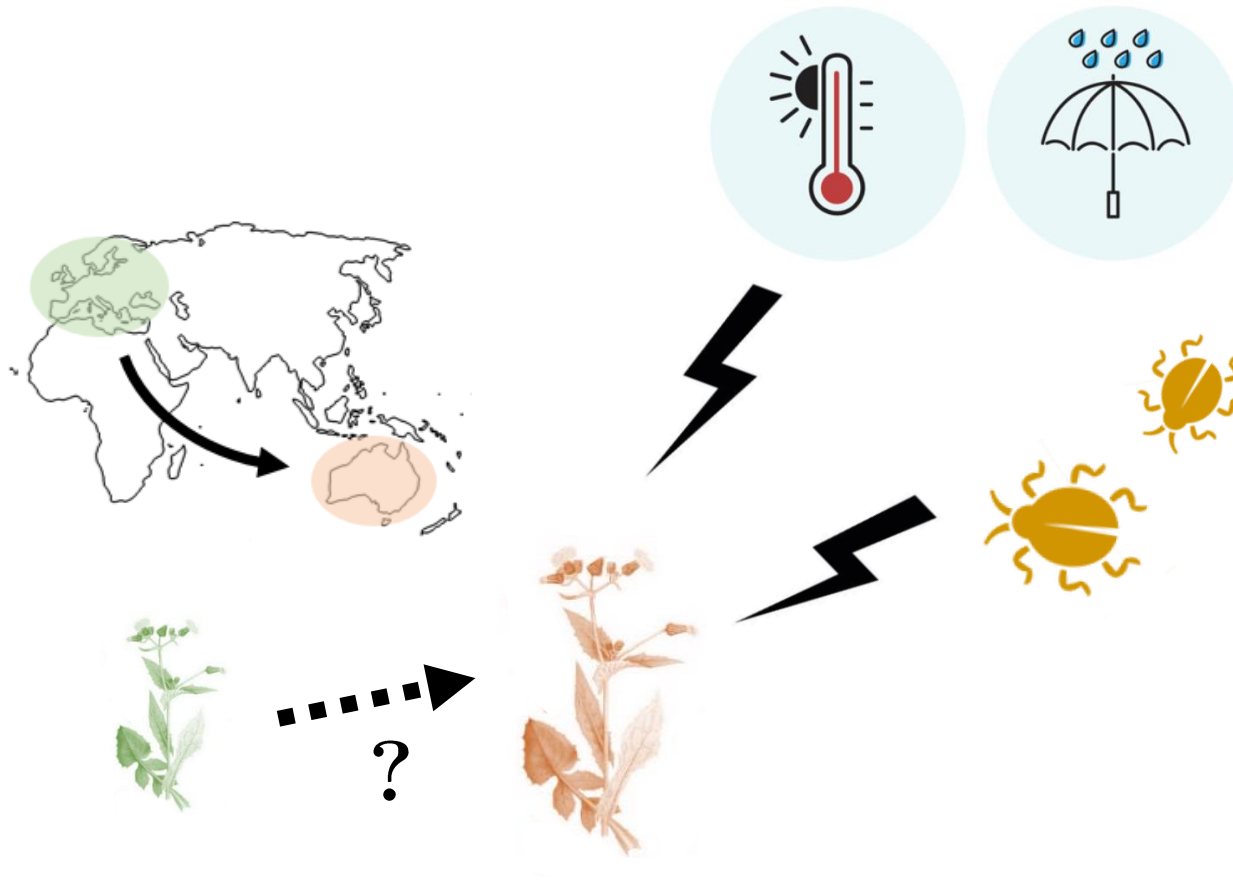
Facteurs de sélection

Abiotiques : climat

e.g. SLA ↗ avec la latitude

Frenne et al., 2013

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

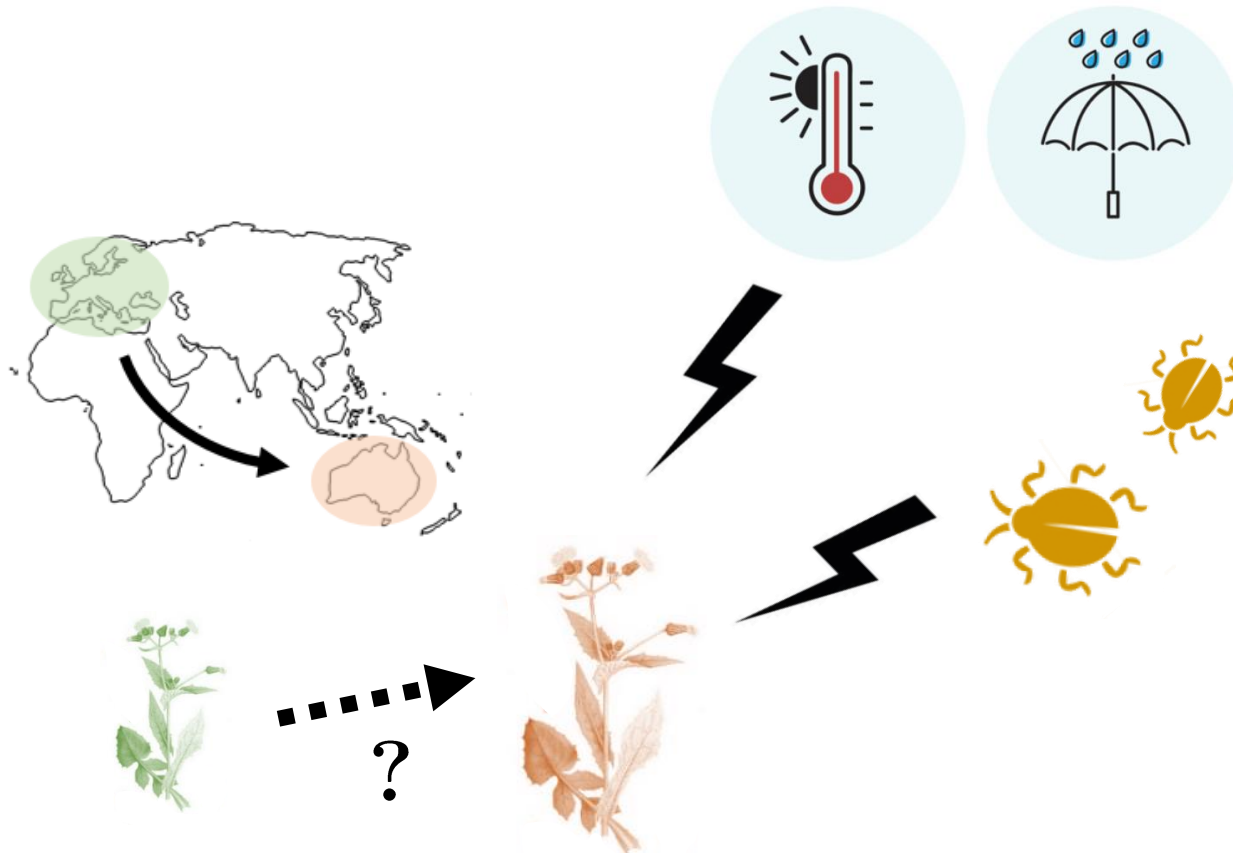


Facteurs de sélection

Abiotiques : climat

Biotiques : interactions écologiques

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

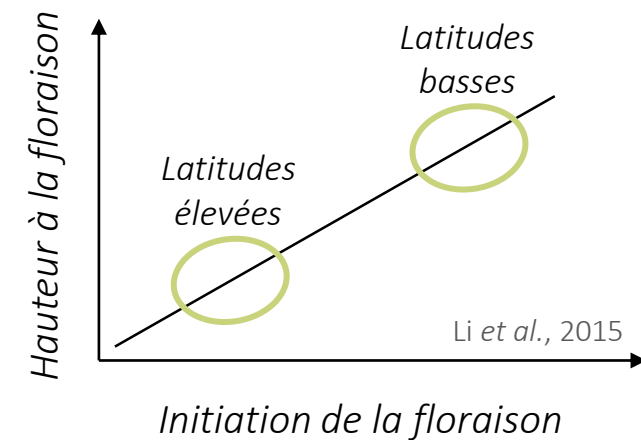


Evolution des traits impliqués dans des compromis évolutifs (*trade-offs*)

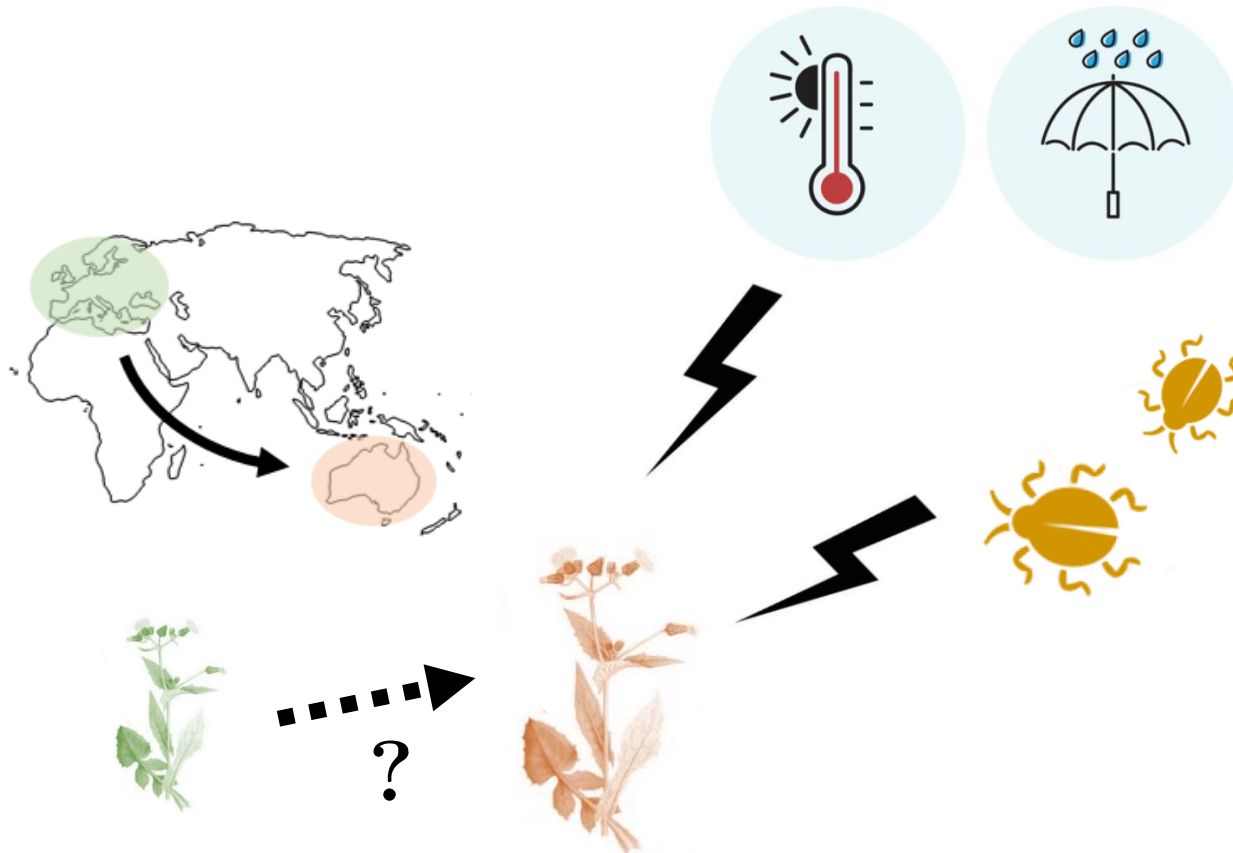
Facteurs de sélection

Abiotiques : climat

Biotiques : interactions écologiques



Evolution rapide des traits d'histoire de vie

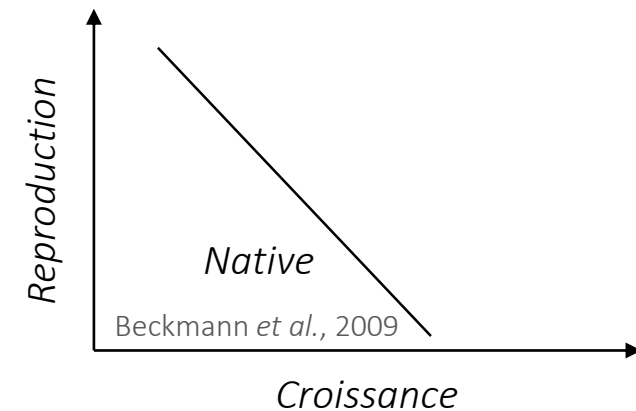


Evolution de la relation entre traits

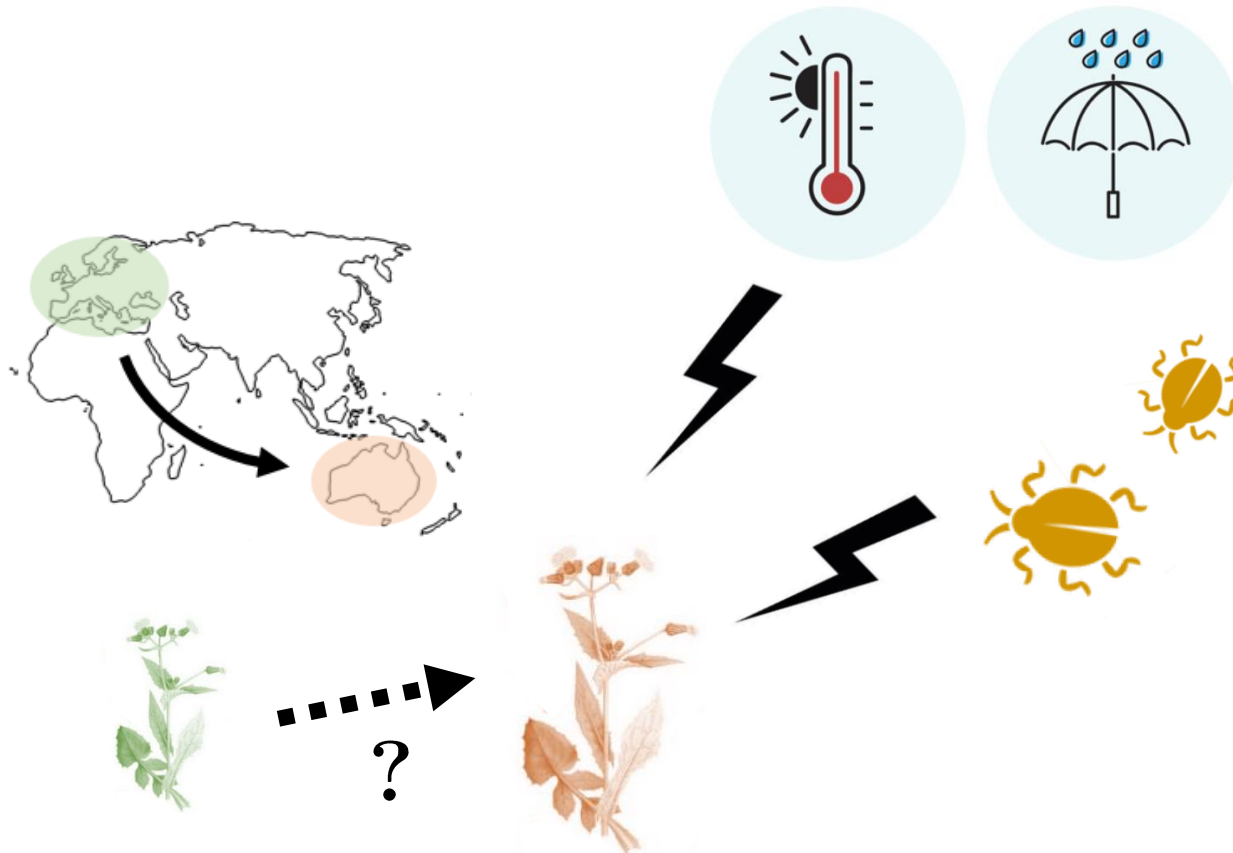
Facteurs de sélection

Abiotiques : climat

Biotiques : interactions écologiques



Evolution rapide des traits d'histoire de vie

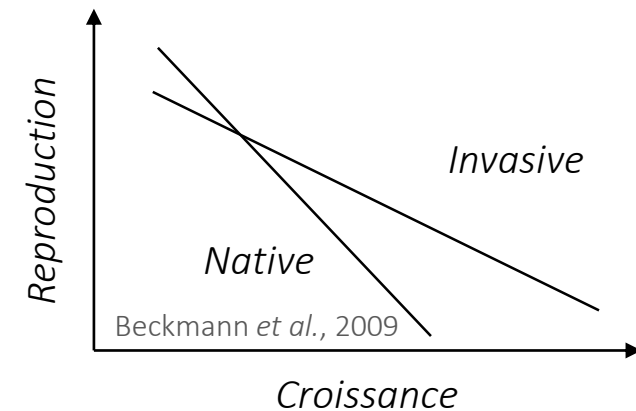


Evolution de la relation entre traits
(*Trade-off shift*)

Facteurs de sélection

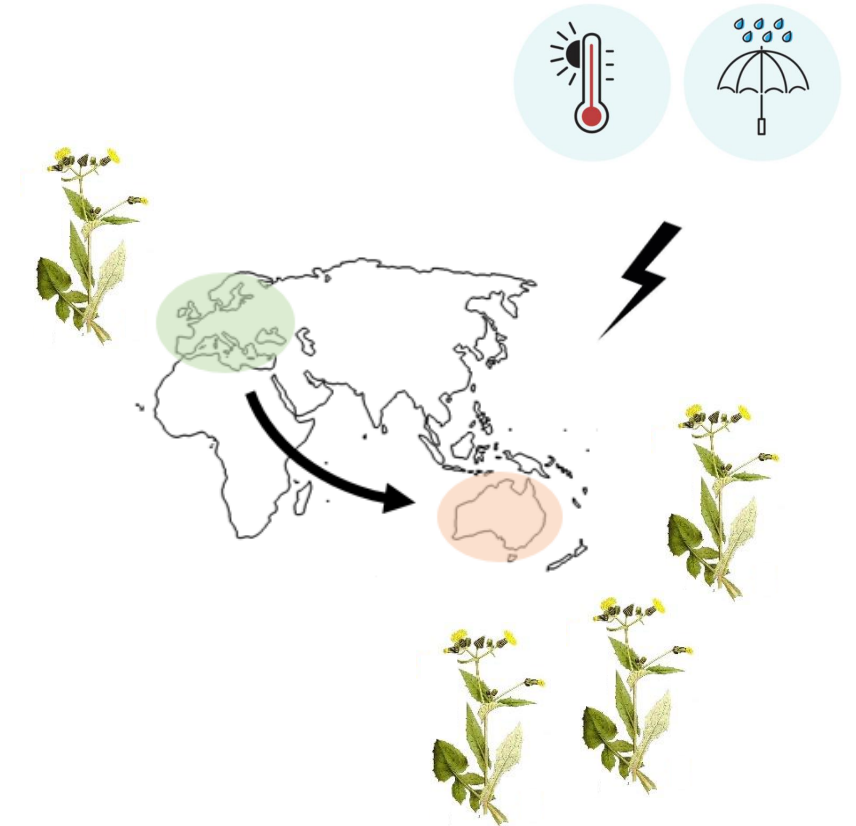
Abiotiques : climat

Biotiques : interactions écologiques



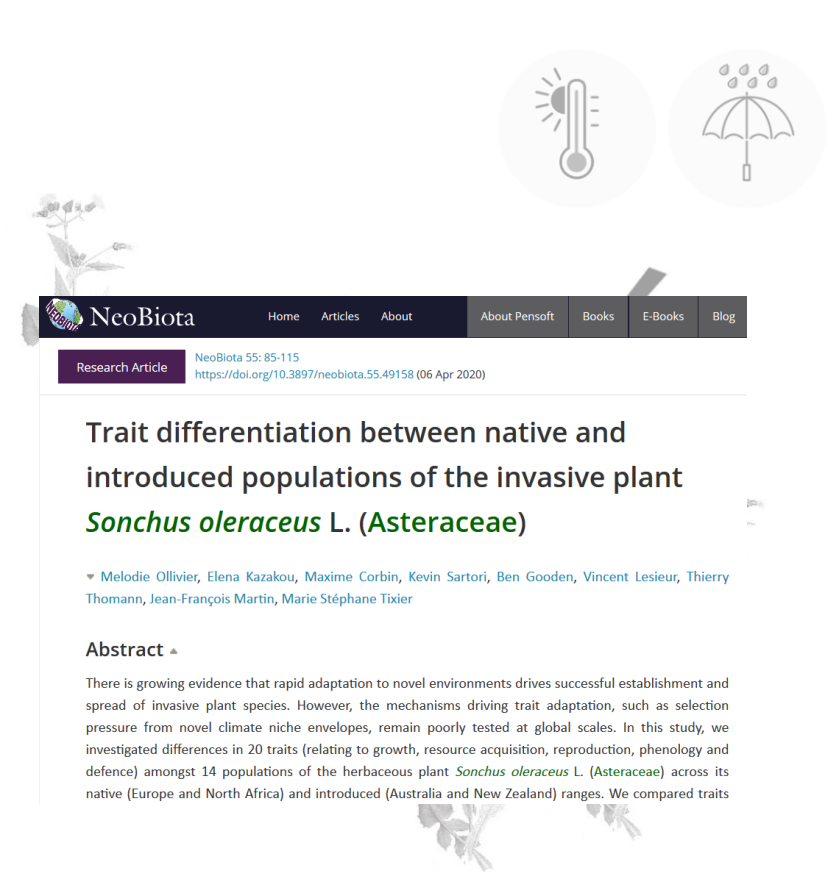
Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a t-il une **différenciation phénotypique** entre les populations, suggérant une adaptation contemporaine aux conditions locales ?
2. Le **climat est-il un facteur** majeur de différenciation phénotypique ?
3. L'**évolution de la balance du compromis croissance-reproduction** peut-elle être impliquée dans le succès d'invasion ?



Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a t-il une **différenciation phénotypique** entre les populations, suggérant une adaptation contemporaine aux conditions locales ?
2. Le **climat est-il un facteur** majeur de différenciation phénotypique ?
3. L'**évolution de la balance du compromis croissance-reproduction** peut-elle être impliquée dans le succès d'invasion ?



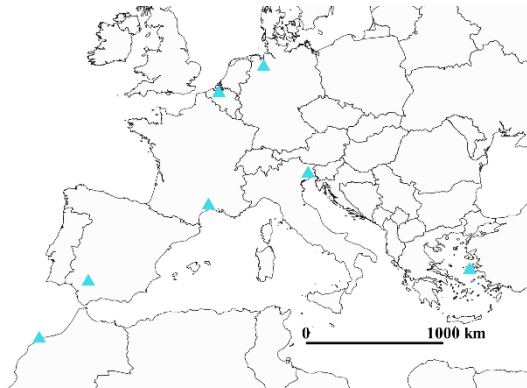
Evolution rapide des traits d'histoire de vie

Common garden : cultiver différentes populations dans un environnement commun pour évaluer les bases génétiques des différenciations phénotypiques



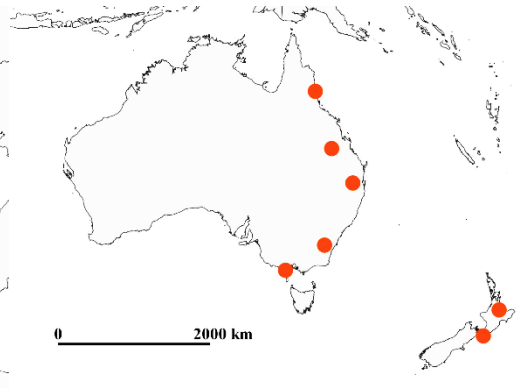
Evolution rapide des traits d'histoire de vie

Common garden : cultiver différentes populations dans un environnement commun pour évaluer les bases génétiques des différenciations phénotypiques



7 populations

Aire native : Ouest Paléarctique



7 populations

Aire d'introduction : Océanie



14 populations x 14 individus, 196 plantes randomisés en carré latin

M. Corbin

Différenciations entre populations ?
Corrélations entre traits et variables climatiques ?

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

Croissance

Hauteur végétative au 1^{er} capitule
Hauteur de la partie aérienne
Biomasse sèche de la partie aérienne

Acquisition de ressources

Surface spécifique foliaire (SLA)
Teneur en matière sèche feuille (LDMC)
Épaisseur feuille basale
Nombre de feuilles
Teneur en matière sèche tige (SDMC)
Rapport C:N feuilles
Rapport C:N graines



Sonchus oleraceus
Planche botanique de Lindman

Reproduction

Taux de germination à 3 et 6 j.
Nombre de capitules
Nombres de graines/capitule
Biomasse sèche graine
Fenêtre de dispersion graines

Phénologie

Nb de j. formation capitule
Nb de j. floraison

Défense

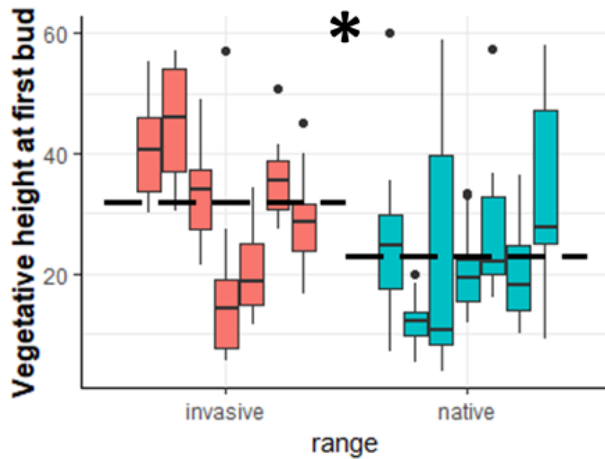
Densité de trichomes feuille

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a-t-il une différenciation phénotypique entre les populations ?

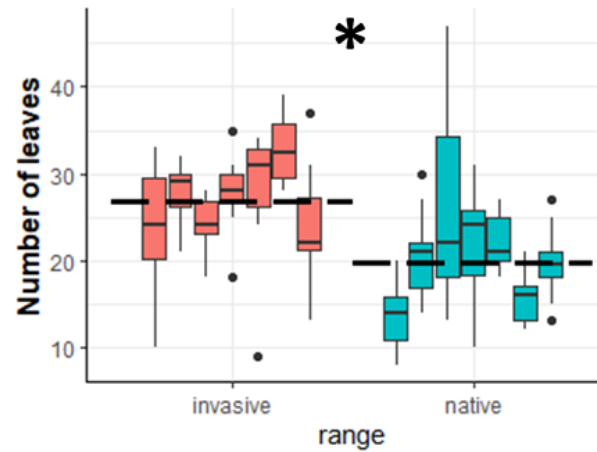
Modérée, 7 traits sur 20

Croissance



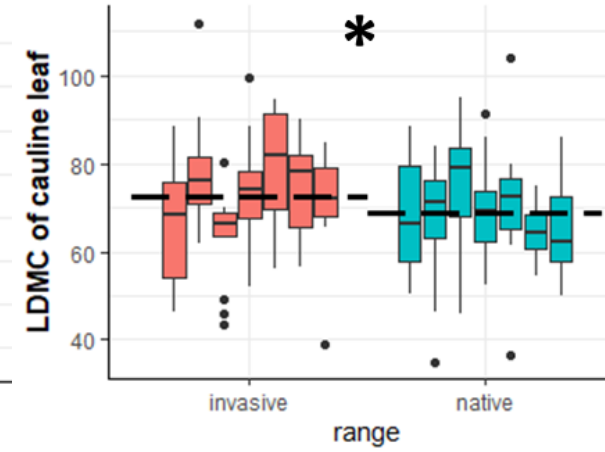
LMM, $LRT\chi^2 = 4.04$, $p = 0.04$

Acquisition de ressources



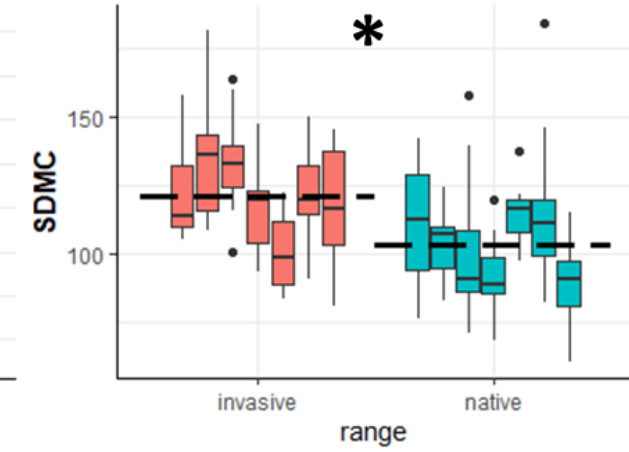
GLMM, $LRT\chi^2 = 8.99$, $p < 0.01$

Acquisition de ressources



LMM, $LRT\chi^2 = 6.14$, $p = 0.01$

Acquisition de ressources



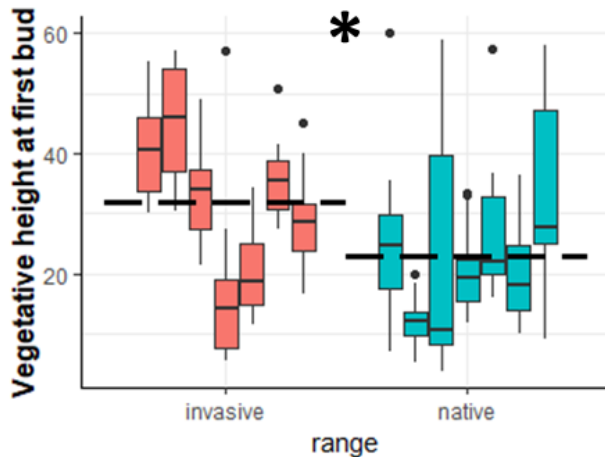
LMM, $LRT\chi^2 = 4.34$, $p = 0.04$

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a t-il une différenciation phénotypique entre les populations ?

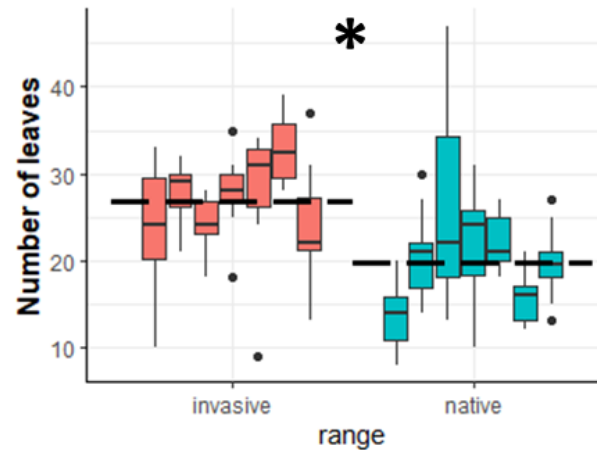
Modérée, 7 traits sur 20

Croissance



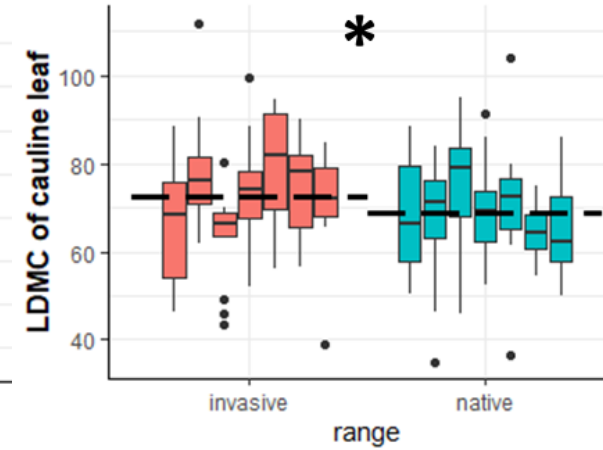
LMM, $LRT\chi^2 = 4.04$, $p = 0.04$

Acquisition de ressources



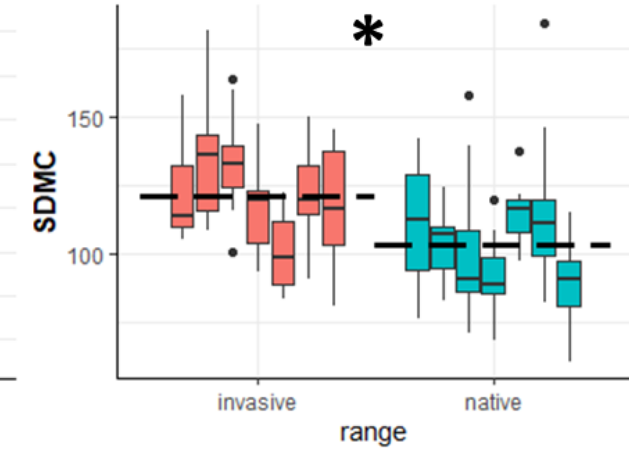
GLMM, $LRT\chi^2 = 8.99$, $p < 0.01$

Acquisition de ressources



LMM, $LRT\chi^2 = 6.14$, $p = 0.01$

Acquisition de ressources



LMM, $LRT\chi^2 = 4.34$, $p = 0.04$

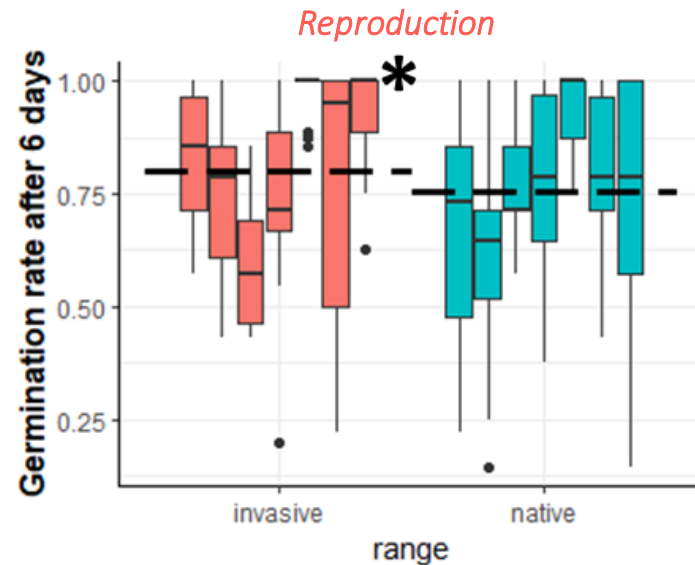
Meilleures performances, traits croissance et acquisition de ressources

- ▶ interception lumière et photosynthèse, établissement sur le long terme
- ▶ comparable à *Centaurea stoebe* (Henery *et al.* 2010), *Centaurea maculosa* (Ridenour *et al.* 2008), *Silena latifolia* (Blair and Wolfe 2004) et conforme à la meta-analyse de Felker-Quinn *et al.* 2013

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a t-il une différenciation phénotypique entre les populations ?

Modérée, 7 traits sur 20



GLMM, $LRT\chi^2 = 11.30$, $p < 0.001$

Meilleure germination : caractère essentiel au succès invasif, accès nutriments, eau, espace, en début de développement

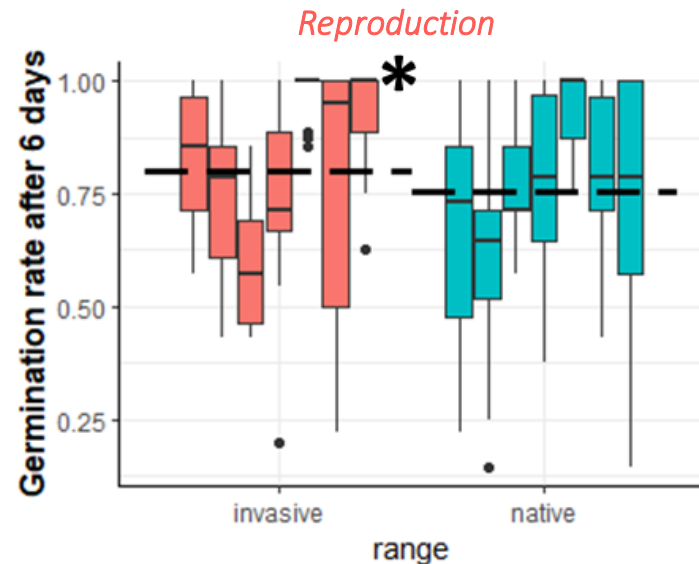
▶ déjà observé chez *Plantago virginica*

Xu et al. 2019

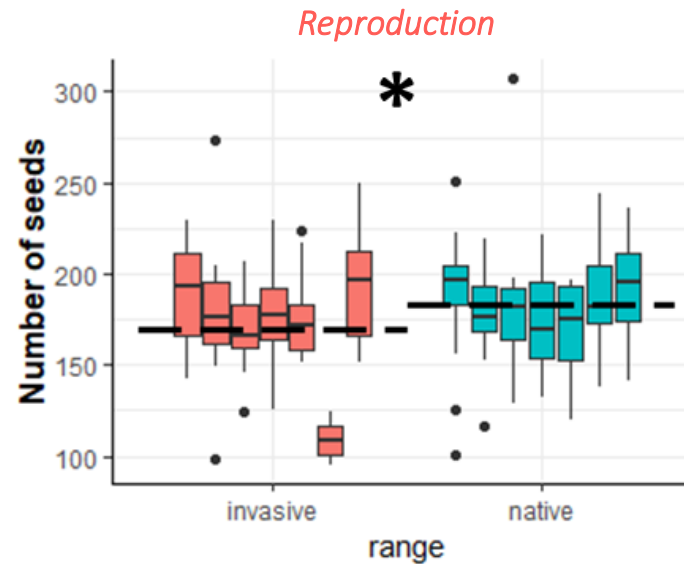
Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a t-il une différenciation phénotypique entre les populations ?

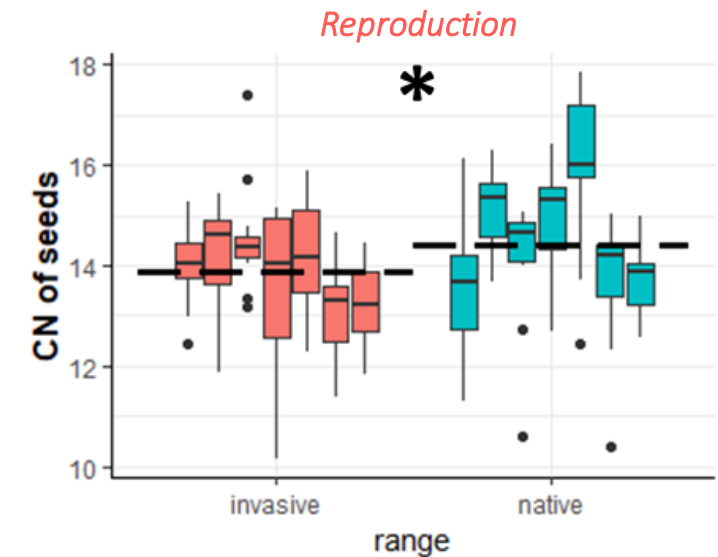
Modérée, 7 traits sur 20



GLMM, $LRT\chi^2 = 11.30$, $p < 0.001$



GLMM, $LRT\chi^2 = 5.21$, $p = 0.02$



GLMM, $LRT\chi^2 = 4.84$, $p = 0.03$

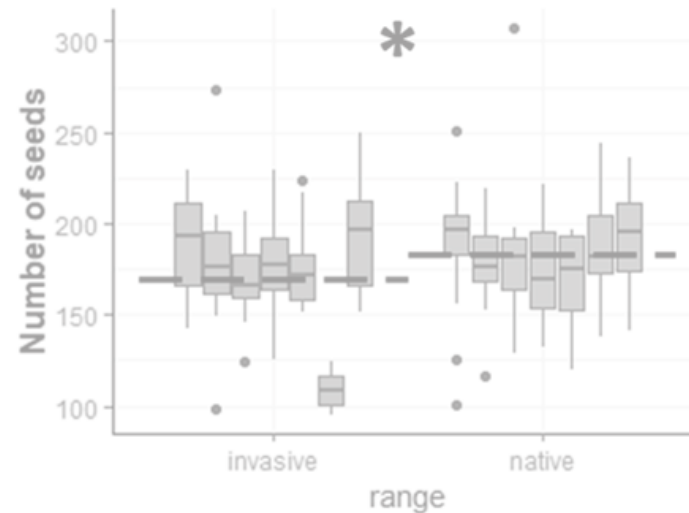
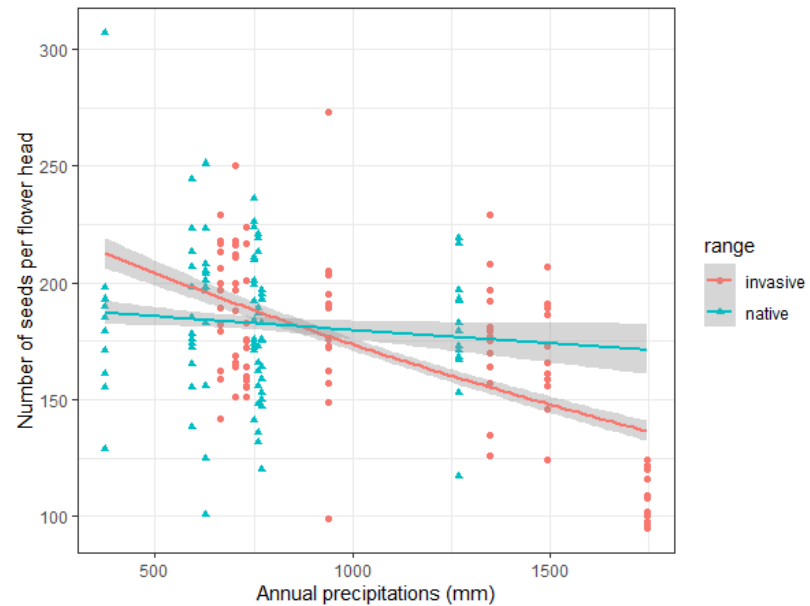
Meilleure germination : caractère essentiel au succès invasif, accès nutriments, eau, espace, en début de développement

- ▶ déjà observé chez *Plantago virginica*

Xu et al. 2019

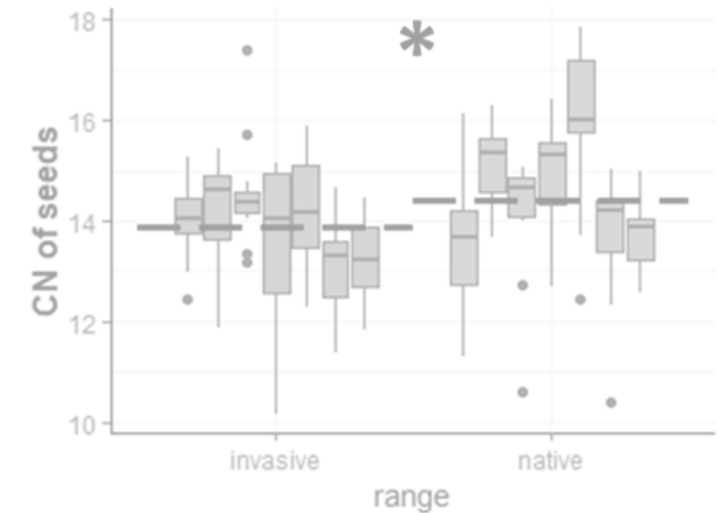
Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a t-il une différenciation phénotypique entre les populations ?



GLMM, $LRT\chi^2 = 5.21$, $p = 0.02$

Modérée, 7 traits sur 20



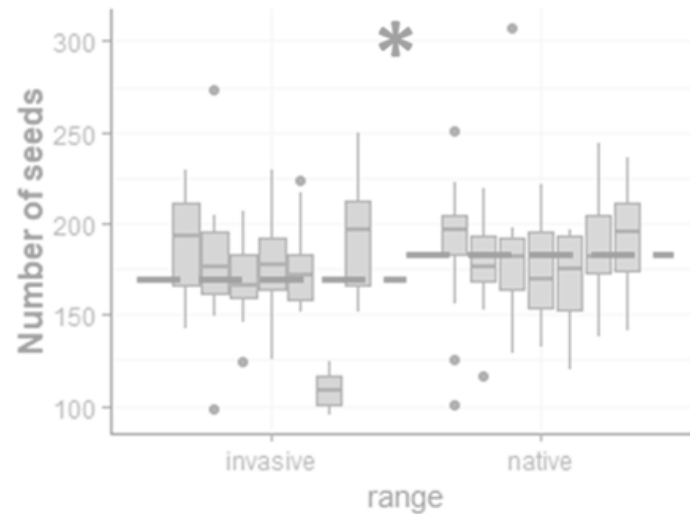
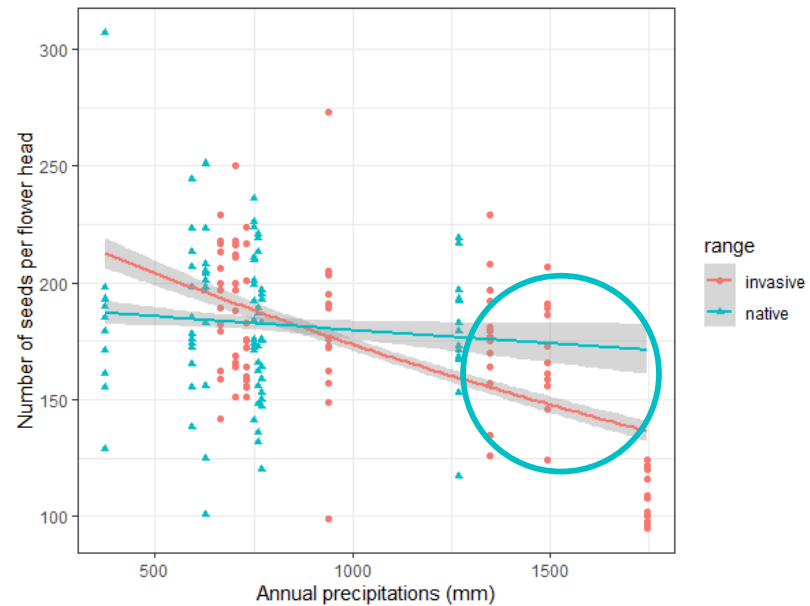
GLMM, $LRT\chi^2 = 4.84$, $p = 0.03$

Interaction significative ?

Pas de différenciation pour les autres traits de reproduction

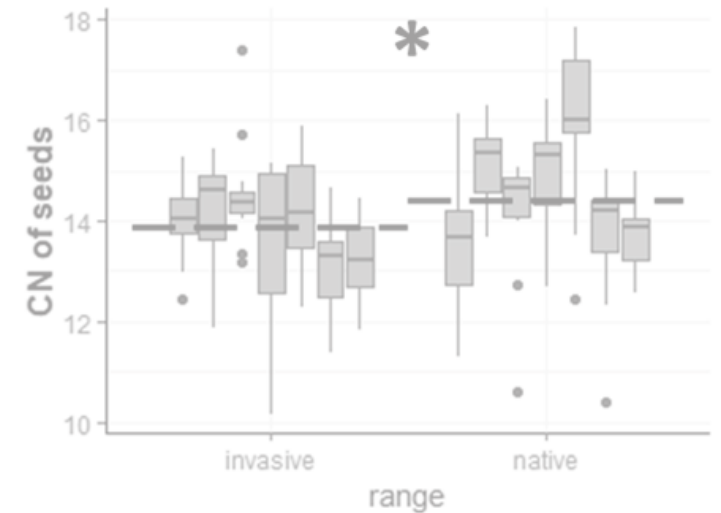
Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a t-il une différenciation phénotypique entre les populations ?



GLMM, $LRT\chi^2 = 5.21$, $p = 0.02$

Modérée, 7 traits sur 20



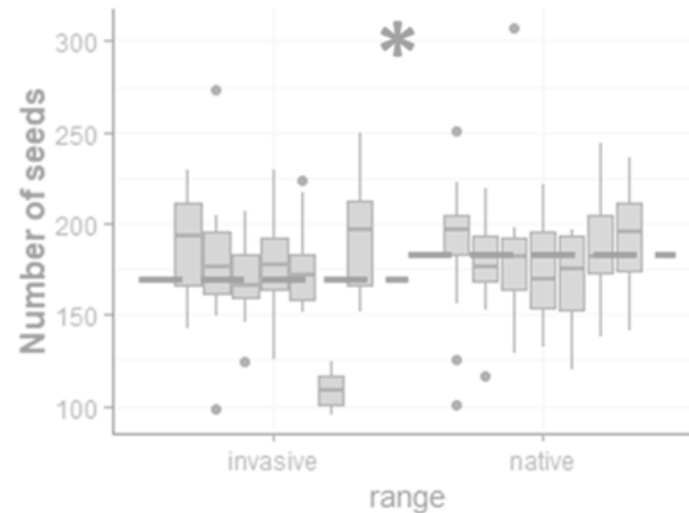
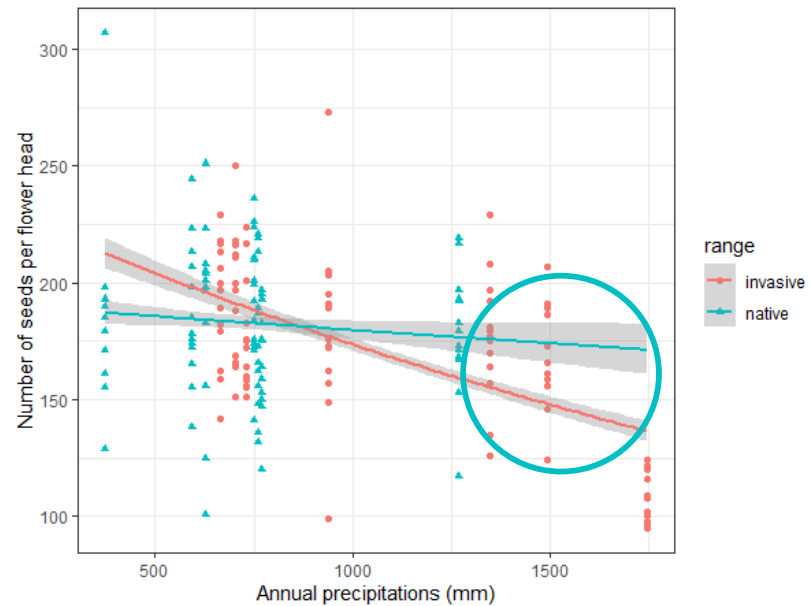
GLMM, $LRT\chi^2 = 4.84$, $p = 0.03$

Interaction significative ?

Pas de différenciation pour les autres traits de reproduction

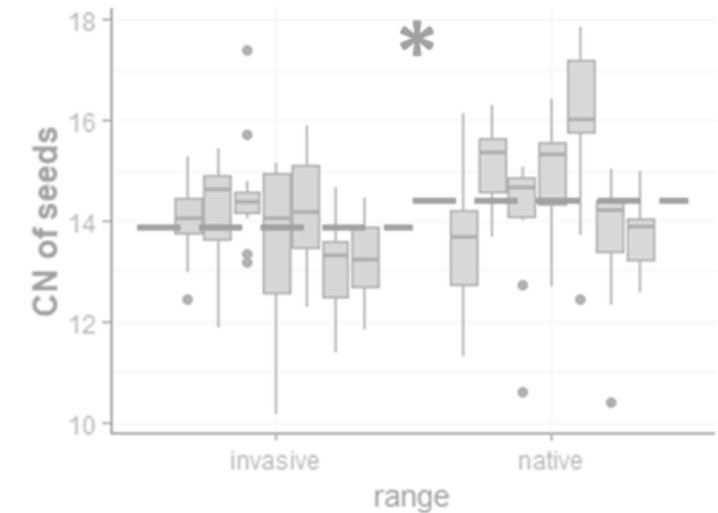
Evolution rapide des traits d'histoire de vie

1. Y a t-il une différenciation phénotypique entre les populations ?



GLMM, $LRT\chi^2 = 5.21$, $p = 0.02$

Modérée, 7 traits sur 20



GLMM, $LRT\chi^2 = 4.84$, $p = 0.03$

- ▶ Peu de différenciation pour les caractères de reproduction, en accord avec meta-analyse
- ▶ Pas de différenciation phénologie et défense

Felker-Quinn *et al.* 2013

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

2. Le climat est-il un facteur majeur de différenciation phénotypique ?

Oui, 9 traits sur 20

$p < 0,05$
GLMM
& LMM

Hauteur végétative au 1^{er} capitule



Hauteur de la partie aérienne



Biomasse sèche de la partie aérienne



Teneur en matière sèche feuille (LDMC)



Teneur en matière sèche tige (SDMC)



Germination après 3 j.



Germination après 6 j.



Rapport C:N graines



Nombre de graines



Evolution rapide des traits d'histoire de vie

2. Le climat est-il un facteur majeur de différenciation phénotypique ?

Oui, 9 traits sur 20

$p < 0,05$
GLMM
& LMM

Hauteur végétative au 1^{er} capitule



Hauteur de la partie aérienne



Biomasse sèche de la partie aérienne



Teneur en matière sèche feuille (LDMC)



Teneur en matière sèche tige (SDMC)



Germination après 3 j.



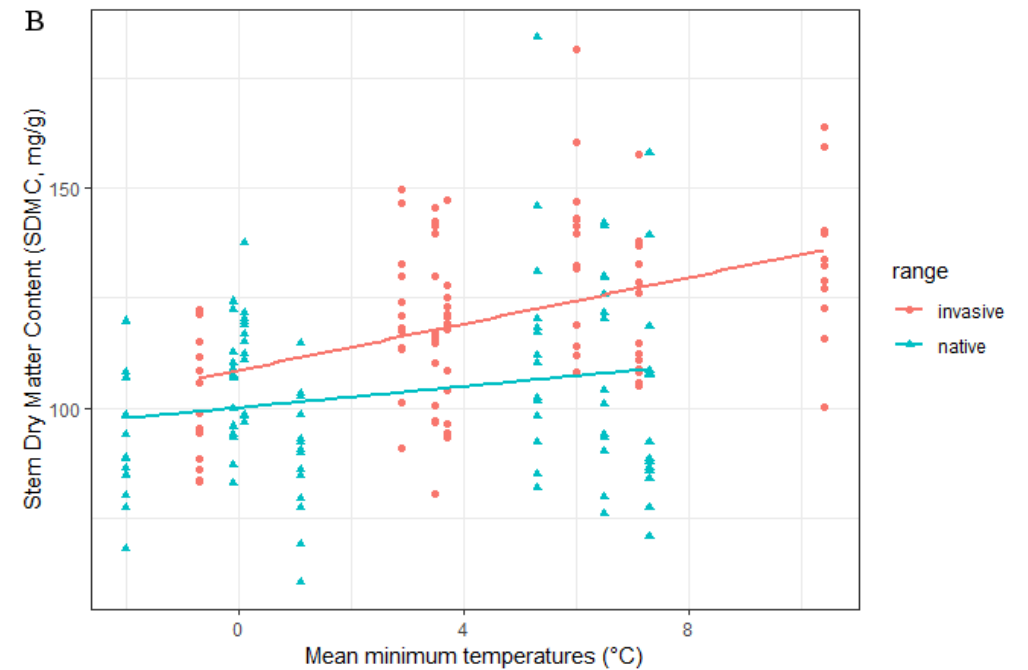
Germination après 6 j.



Rapport C:N graines



Nombre de graines



Evolution rapide des traits d'histoire de vie

2. Le climat est-il un facteur majeur de différenciation phénotypique ?

Oui, 9 traits sur 20

$p < 0,05$
GLMM
& LMM

Hauteur végétative au 1^{er} capitule

Hauteur de la partie aérienne

Biomasse sèche de la partie aérienne

Teneur en matière sèche feuille (LDMC)

Teneur en matière sèche tige (SDMC)

Germination après 3 j.

Germination après 6 j.

Rapport C:N graines

Nombre de graines



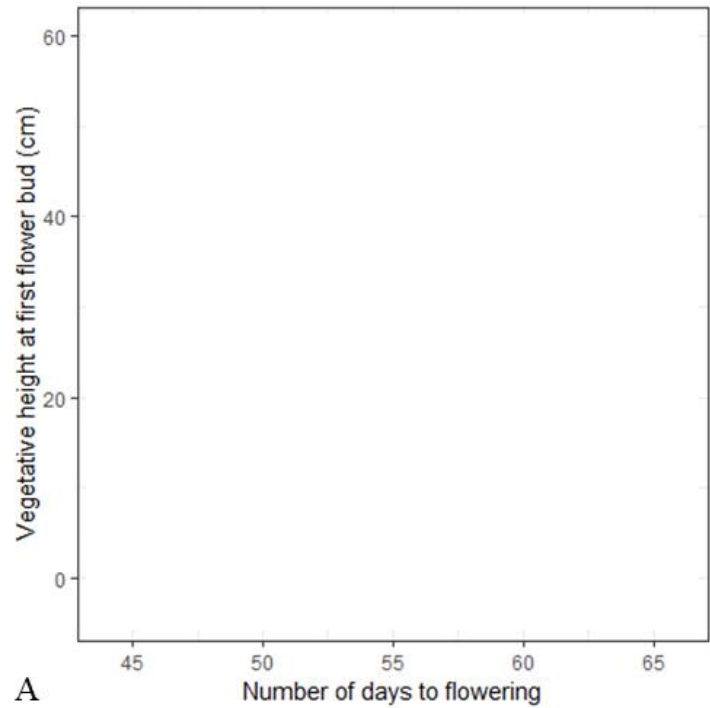
► *Ambrosia artemisiifolia* : biomasse et hauteur plante influencée par latitude
van Boheemen *et al.* 2019

► Variation de la germination le long de gradients climatiques fréquemment observés
Gillard *et al.* 2017; Molina-Montenegro *et al.* 2018; Yuan and Wen 2018

► Climat = facteur d'évolution rapide

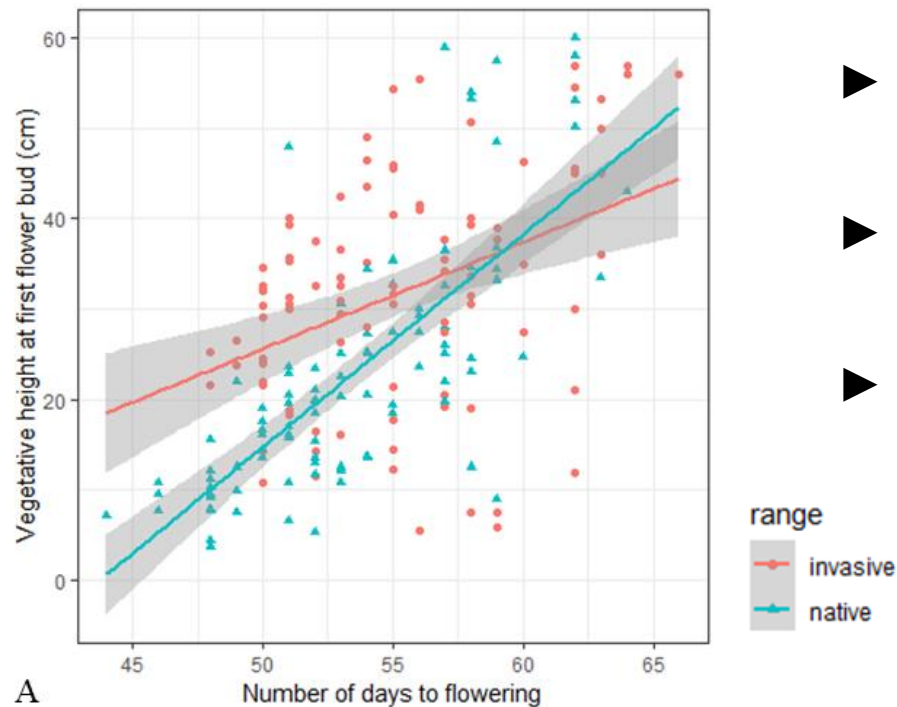
Evolution rapide des traits d'histoire de vie

3. Evolution de la balance du compromis croissance-reproduction ?



Evolution rapide des traits d'histoire de vie

3. Evolution de la balance du compromis croissance-reproduction ?



A

LMM, $LRT\chi^2 = 12.35$, $p < 0.001$

- ▶ Corrélation commune chez plantes herbacées
Garnier et al. 2016
- ▶ Evolution du compromis chez les populations invasives
- ▶ Avantage compétitif
 - accès à la lumière
 - pollinisation
 - dissémination des graines

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

Conclusion

- ▶ Divergence phénotypique chez *S. oleraceus* : croissance et acquisition de ressource
Le climat est un facteur majeur d'évolution MAIS d'autres facteurs en jeu

Evolution rapide des traits d'histoire de vie

Conclusion

- ▶ Divergence phénotypique chez *S. oleraceus* : croissance et acquisition de ressource
Le climat est un facteur majeur d'évolution MAIS d'autres facteurs en jeu
- ▶ Rôle prépondérant de la démographie ?
effet fondateur, *admixture* entre populations
structure des populations ?



Evolution rapide des traits d'histoire de vie

Conclusion

- ▶ Divergence phénotypique chez *S. oleraceus* : croissance et acquisition de ressource
Le climat est un facteur majeur d'évolution MAIS d'autres facteurs en jeu
- ▶ Rôle prépondérant de la démographie ?
effet fondateur, *admixture* entre populations
structure des populations ?
- ▶ Rôle des facteurs biotiques ?
relâchement de la pression d'herbivorie
et évolution des capacités compétitives (*EICA hypothesis*)

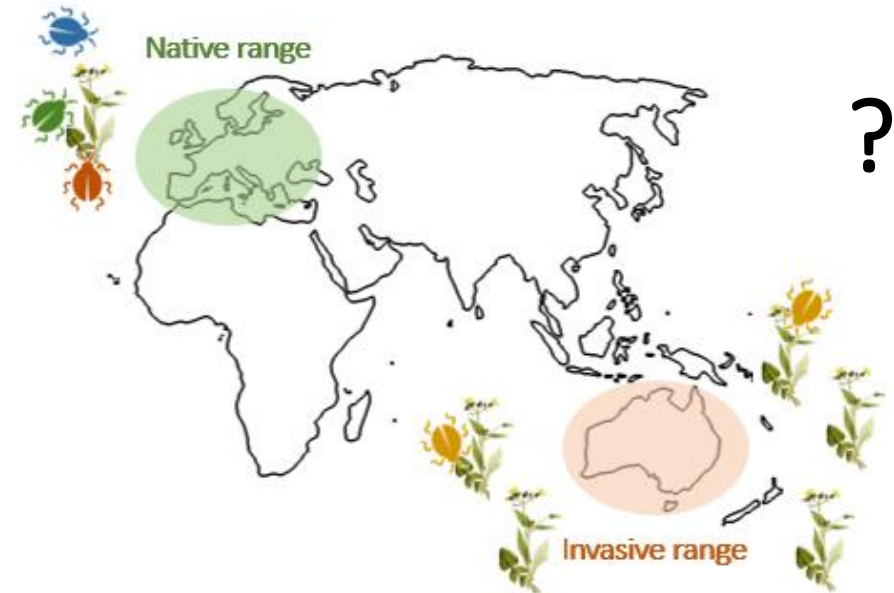
Blossey and Notzold 1995



Relâchement de la pression d'herbivorie

Description des communautés d'arthropodes présentes au printemps en Australie

1. Richesse de la communauté présente en Australie ?
2. Des **agents déjà présents** qui pourraient être favorisés ?



Relâchement de la pression d'herbivorie

Comparaison des communautés d'arthropodes présentes au printemps

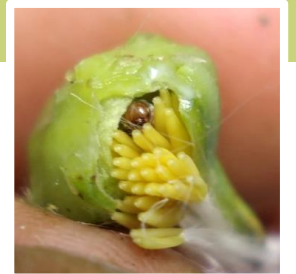
Organe de la plante attaqué	Guilde trophique	Nb. d'espèces en Australie
Feuilles	Piqueur/suceur (e.g. Cicadellidae)	0
	Mineur (e.g. Agromyzidae)	2
	Broyeur (e.g. Tenthredinidae)	2
Boutons floraux/ Graines	Gallicole (e.g. Tephritidae)	1
	Piqueur/suceur (e.g. Miridae)	4
	Broyeur (e.g. Noctuidae)	4
Pollen	Consommateur (e.g. Nitidulidae)	0
Tige	Foreur (e.g. Curculionidae)	0
Plante entière	Piqueur/suceur (e.g. Aphididae)	5
Somme	Richesse spécifique	18 (+9)
	Nombre de guildes trophiques	6



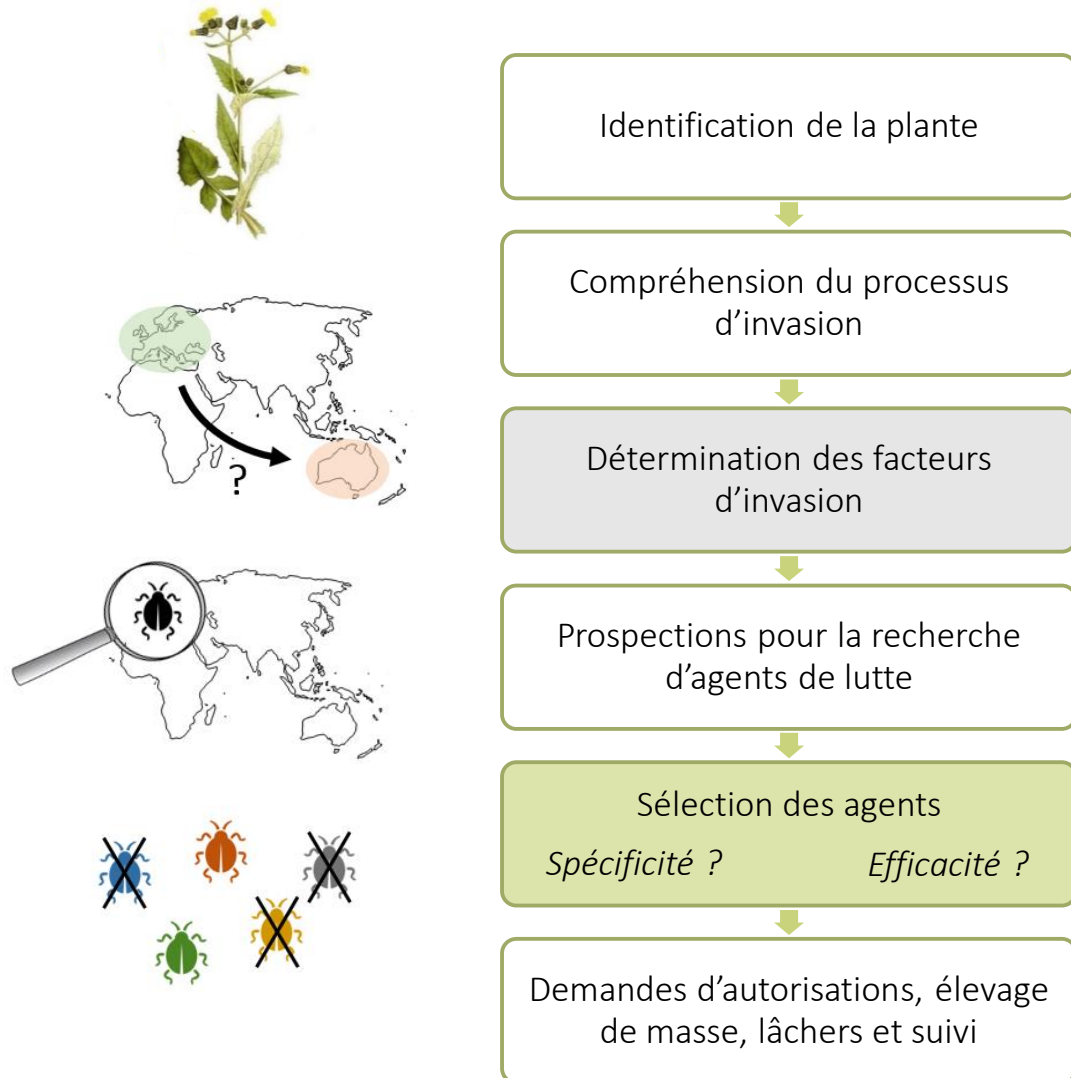
Relâchement de la pression d'herbivorie

Comparaison des communautés d'arthropodes présentes au printemps

Organe de la plante attaqué	Guilde trophique	Nb. d'espèces en Australie	Nb. d'espèces en France
Feuilles	Piqueur/suceur (e.g. Cicadellidae)	0	3
	Mineur (e.g. Agromyzidae)	2	5
	Broyeur (e.g. Tenthredinidae)	2	3
Boutons floraux/ Graines	Gallicole (e.g. Tephritidae)	1	7
	Piqueur/suceur (e.g. Miridae)	4	11
	Broyeur (e.g. Noctuidae)	4	1
Pollen	Consommateur (e.g. Nitidulidae)	0	5
Tige	Foreur (e.g. Curculionidae)	0	4
Plante entière	Piqueur/suceur (e.g. Aphididae)	5	7
Somme	Richesse spécifique	18 (+9)	43 (+4)
	Nombre de guildes trophiques	6	9



Etapas critiques d'un programme de lutte biologique



1 – Quels sont les facteurs du succès d'invasion chez *S. oleraceus* ?

Ollivier *et al.* 2020, *NeoBiota*

Ollivier *et al.* In prep., *Austral Entomology*

- ▶ Evolution rapide des traits d'histoire de vie ?
- ▶ Relâchement de la pression d'herbivorie ?

2 – Une approche par l'analyse des réseaux d'interactions écologiques peut-elle soutenir la sélection des agents de lutte ?

Ollivier *et al.* Submitted, *Journal of Applied Ecology*

Ollivier *et al.* 2020, *Current Opinion in Insect Science*

- ▶ Caractériser la gamme d'hôte écologique
- ▶ Minimiser les risques indirects

Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Tests de spécificité



tests de non-choix

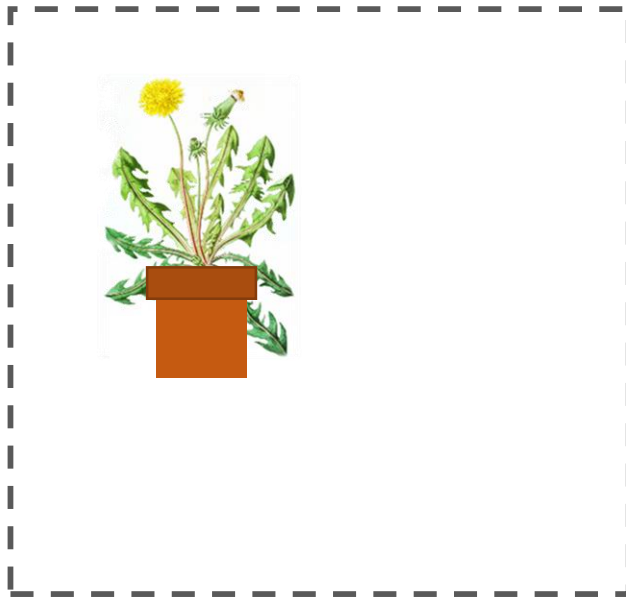


tests de choix

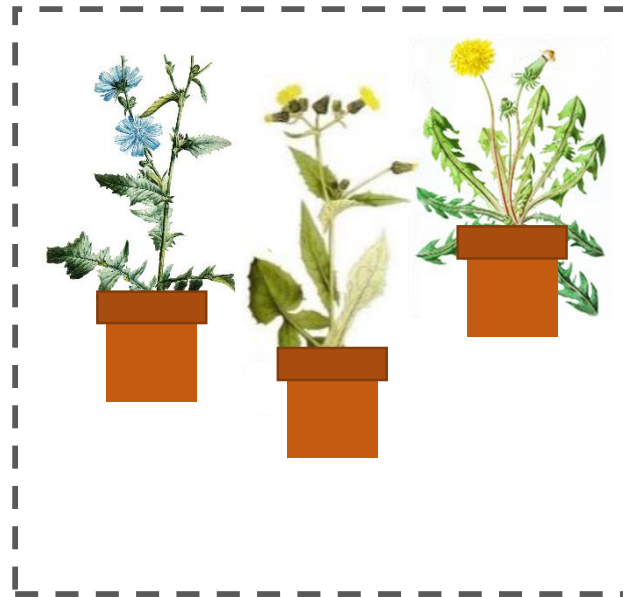
En quarantaine

Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Tests de spécificité



tests de non-choix

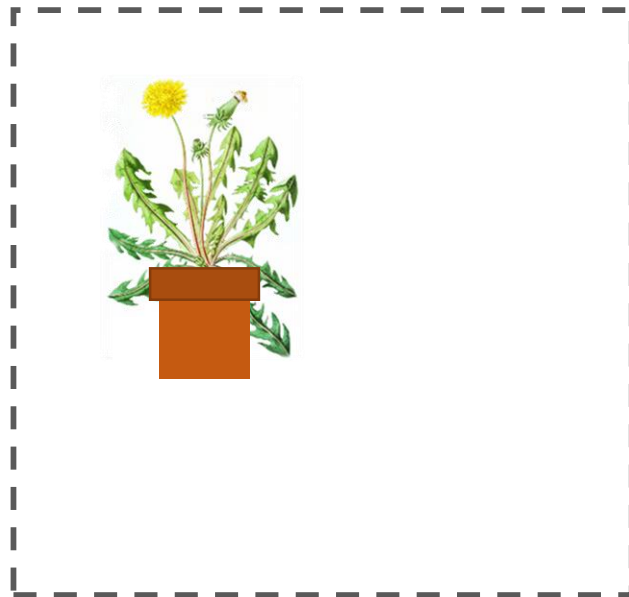


tests de choix

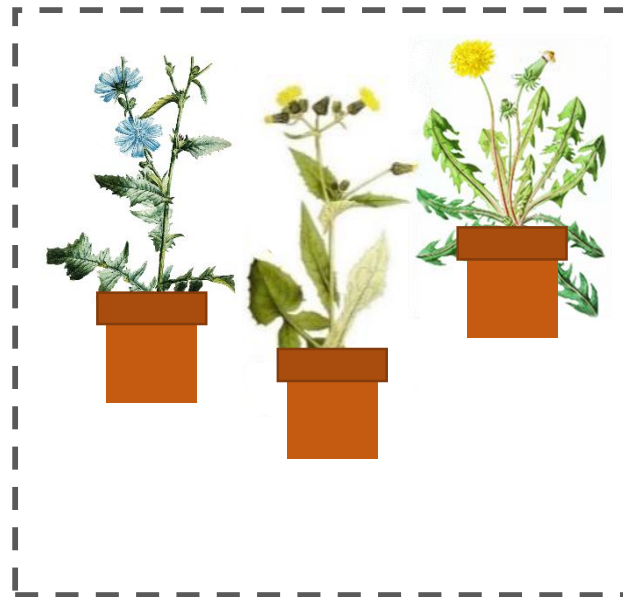
En quarantaine

Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Tests de spécificité



tests de non-choix



tests de choix

En quarantaine

Liste d'espèces à tester
définie par **phylogénie centrifuge**

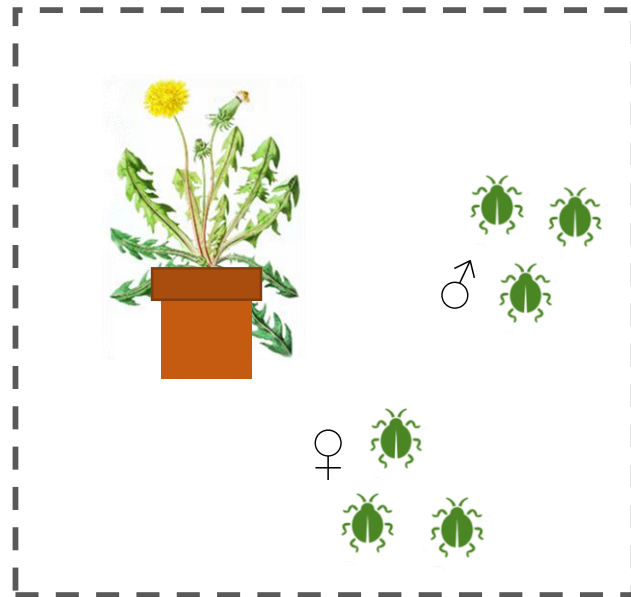
Wapshere *et al.* 1989



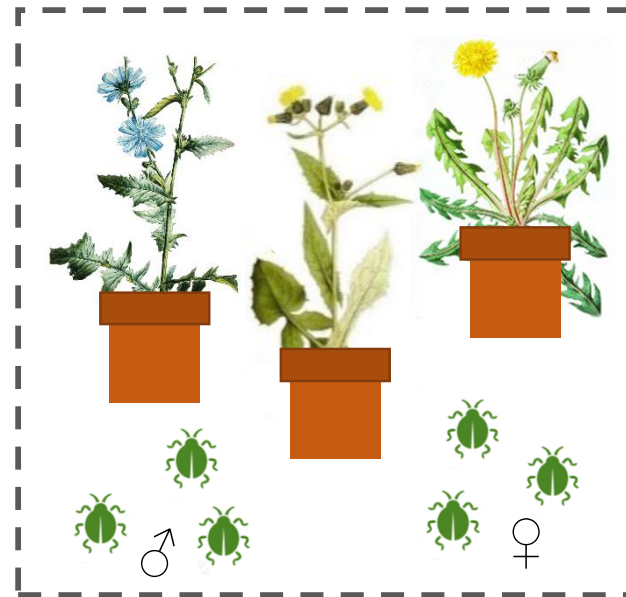
Genus species	Common name ¹	Status in Australia
<i>Sonchus oleraceus</i>	Sow thistle	Introduced and Naturalised
<i>Sonchus asper</i>	Prickly Sowthistle	Introduced and Naturalised
<i>Sonchus hydrophilus</i>	Native sowthistle	Native
<i>Actites megalocarpus</i>	Dune thistle	Native
<i>Reichardia tingitana</i>	False Sowthistle	Introduced and Naturalised
<i>Lamnaea sarmentosa</i>		Introduced and Naturalised
<i>Crepis capillaris</i>	Smooth Hawksbeard	Introduced and Naturalised
<i>Crepis foetida</i>	Stinking Hawksbeard	Introduced and Naturalised
<i>Lapsana communis</i>	Nipplewort	Introduced and Naturalised
<i>Taraxacum arustum</i>	Mountain Dandelion	Native
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Hamata</i>	Dandelion	Introduced and Naturalised
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Taraxacum</i>		Introduced and Naturalised
<i>Youngia japonica</i>		Native
<i>Chondrilla juncea</i>	Skeleton Weed	Introduced and Naturalised
<i>Urospermum pteroides</i>	False Hawkbit	Introduced and Naturalised
<i>Hypochaeris radicata</i>	Flat-weed	Introduced and Naturalised
<i>Helminthotheca echioides</i>	Ox-tongue	Introduced and Naturalised
<i>Picris</i> spp. ²		Native
<i>Leontodon rhagadioloides</i>		Introduced and Naturalised
<i>Lactuca sativa</i>	Lettuce	Introduced and Naturalised
<i>Lactuca scariola</i>	Prickly Lettuce	Introduced and Naturalised

Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Tests de spécificité



tests de non-choix



tests de choix

En quarantaine

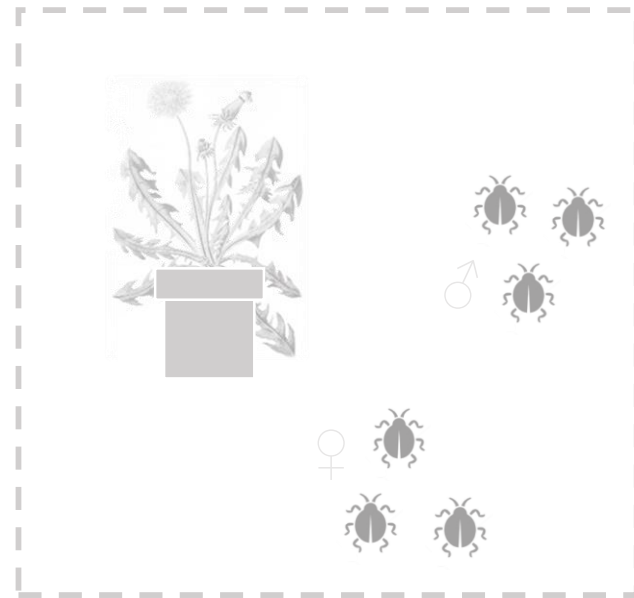
Liste d'espèces à tester
définie par **phylogénie centrifuge**

Wapshere *et al.* 1989

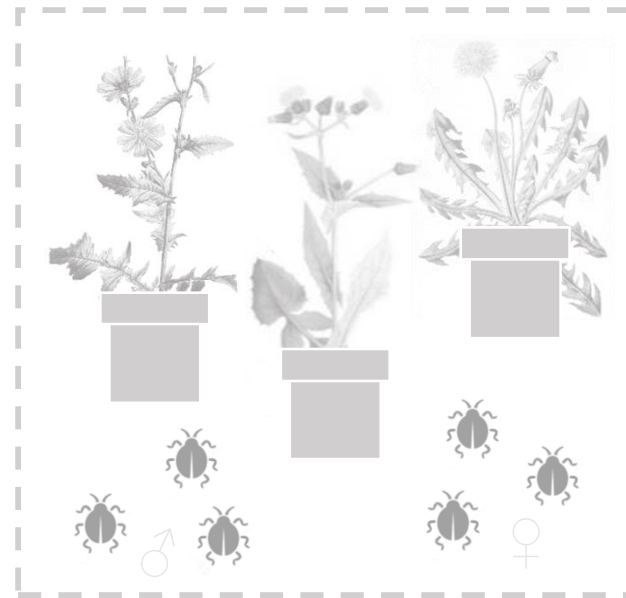
Genus species	Common name ¹	Status in Australia
<i>Sonchus oleraceus</i>	Sow thistle	Introduced and Naturalised
<i>Sonchus asper</i>	Prickly Sowthistle	Introduced and Naturalised
<i>Sonchus hydrophilus</i>	Native sowthistle	Native
<i>Actites megalocarpus</i>	Dune thistle	Native
<i>Reichardia tingitana</i>	False Sowthistle	Introduced and Naturalised
<i>Launaea sarmentosa</i>		Introduced and Naturalised
<i>Crepis capillaris</i>	Smooth Hawksbeard	Introduced and Naturalised
<i>Crepis foetida</i>	Stinking Hawksbeard	Introduced and Naturalised
<i>Lapsana communis</i>	Nipplewort	Introduced and Naturalised
<i>Taraxacum arustum</i>	Mountain Dandelion	Native
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Hamata</i>	Dandelion	Introduced and Naturalised
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Taraxacum</i>		Introduced and Naturalised
<i>Youngia japonica</i>		Native
<i>Chondrilla juncea</i>	Skeleton Weed	Introduced and Naturalised
<i>Urospermum pteroides</i>	False Hawkbit	Introduced and Naturalised
<i>Hypochaeris radicata</i>	Flat-weed	Introduced and Naturalised
<i>Helminthotheca echioides</i>	Ox-tongue	Introduced and Naturalised
<i>Picris</i> spp. ²		Native
<i>Leontodon rhagadioloides</i>		Introduced and Naturalised
<i>Lactuca sativa</i>	Lettuce	Introduced and Naturalised
<i>Lactuca scariola</i>	Prickly Lettuce	Introduced and Naturalised

Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Tests de spécificité



tests de non-choix



tests de choix

En quarantaine

Liste d'espèces à tester
définie par phylogénie centrifuge

Wapshere *et al.* 1989

Genus species	Common name ¹	Status in Australia
<i>Sonchus oleraceus</i>	Sow thistle	Introduced and Naturalised
<i>Sonchus asper</i>	Prickly Sowthistle	Introduced and Naturalised
<i>Sonchus hydrophilus</i>	Native sowthistle	Native
<i>Actites megalocarpus</i>	Dune thistle	Native
<i>Reichardia tingitana</i>	False Sowthistle	Introduced and Naturalised
<i>Launaea sarmentosa</i>		Introduced and Naturalised
<i>Crepis capillaris</i>	Smooth Hawksbeard	Introduced and Naturalised
<i>Crepis foetida</i>	Stinking Hawksbeard	Introduced and Naturalised
<i>Lapsana communis</i>	Nipplewort	Introduced and Naturalised
<i>Taraxacum arustum</i>	Mountain Dandelion	Native
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Hamata</i>	Dandelion	Introduced and Naturalised
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Taraxacum</i>		Introduced and Naturalised
<i>Youngia japonica</i>		Native
<i>Chondrilla juncea</i>	Skeleton Weed	Introduced and Naturalised
<i>Urospermum picroides</i>	False Hawkbit	Introduced and Naturalised
<i>Hypochoeris radicata</i>	Flat-weed	Introduced and Naturalised
<i>Helminthotheca echioides</i>	Ox-tongue	Introduced and Naturalised
<i>Picris</i> spp. ²		Native
<i>Leontodon rhagadioloides</i>		Introduced and Naturalised
<i>Lactuca sativa</i>	Lettuce	Introduced and Naturalised
<i>Lactuca scariola</i>	Prickly Lettuce	Introduced and Naturalised

Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Limites des tests de spécificité :

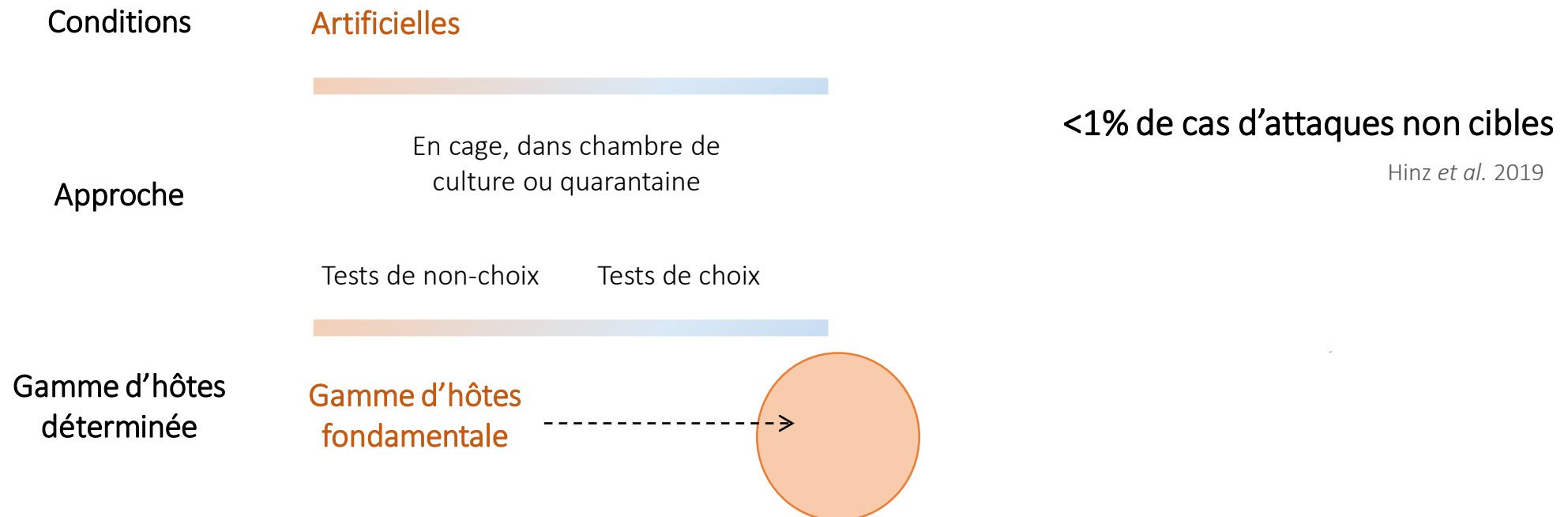
- ▶ Déterminent la gamme d'hôte fondamentale *Schaffer et al. 2018*
- ▶ Ne permettent pas de prédire les effets indirects *López Núñez et al. 2017*



Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Limites des tests de spécificité :

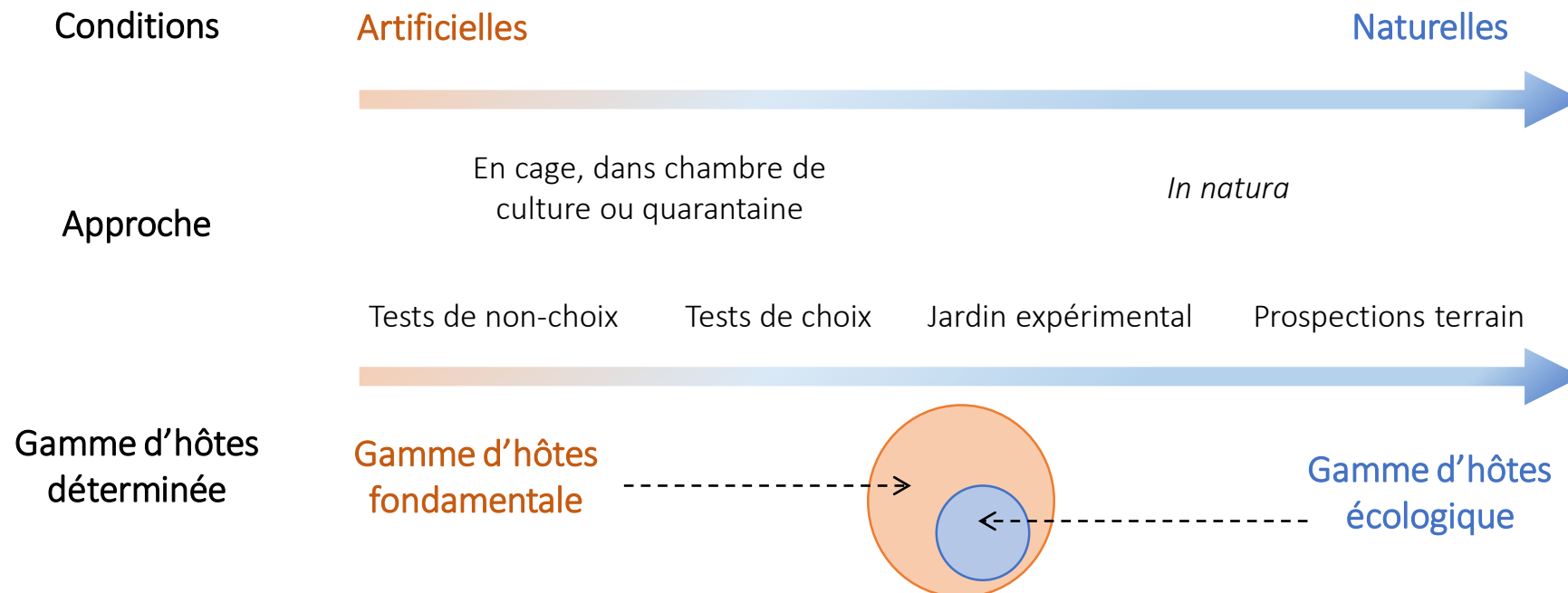
- ▶ Déterminent la gamme d'hôte fondamentale *Schaffer et al. 2018*



Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Limites des tests de spécificité :

- ▶ Déterminent la gamme d'hôte fondamentale *Schaffer et al. 2018*



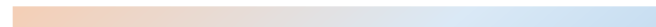
Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Limites des tests de spécificité :

- ▶ Ne permettent pas de prédire les effets indirects *López Núñez et al. 2017*

Conditions

Artificielles

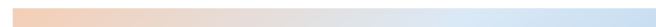


Approche

En cage, dans chambre de culture ou quarantaine

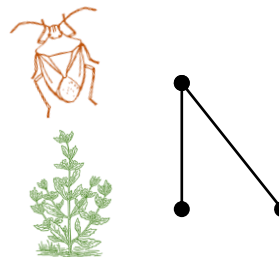
Tests de non-choix

Tests de choix



Interactions déterminées

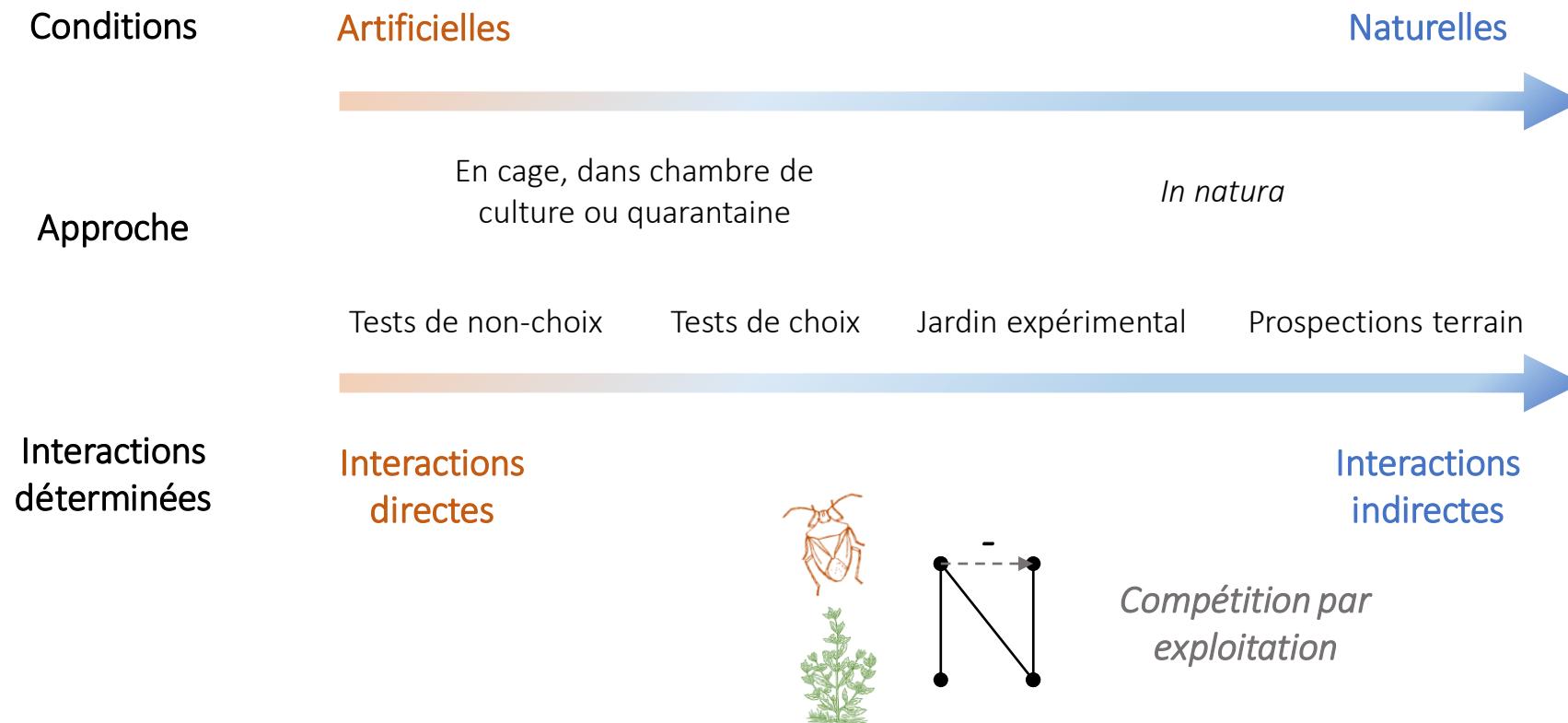
Interactions directes



Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Limites des tests de spécificité :

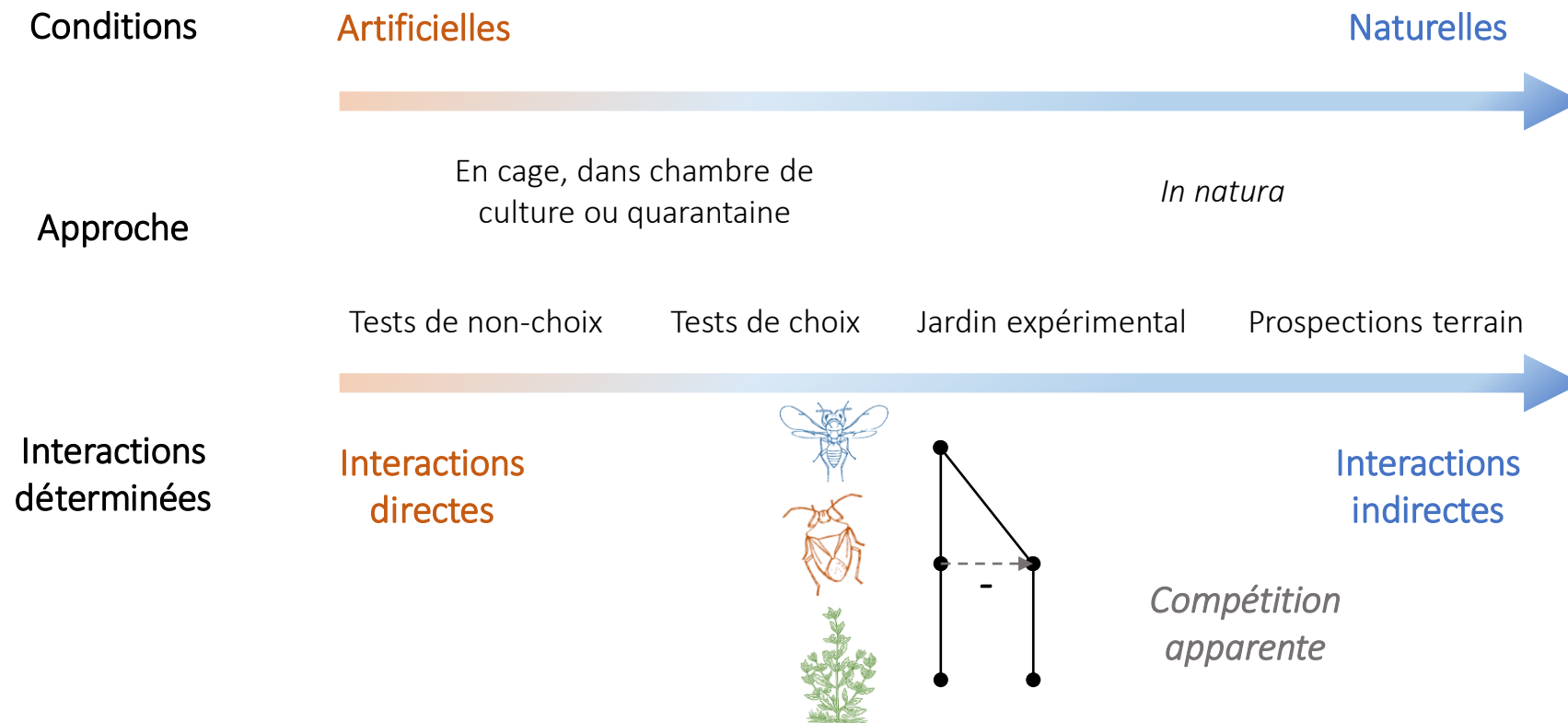
- ▶ Ne permettent pas de prédire les effets indirects *López Núñez et al. 2017*



Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Limites des tests de spécificité :

- ▶ Ne permettent pas de prédire les effets indirects *López Núñez et al. 2017*



Méthodes conventionnelles de sélection des agents de lutte biologique

Limites des tests de spécificité :

- ▶ Ne permettent pas de prédire les effets indirects López Núñez *et al.* 2017

Conditions

Artificielles

En cage, dans chambre de culture ou quarantaine

Approche

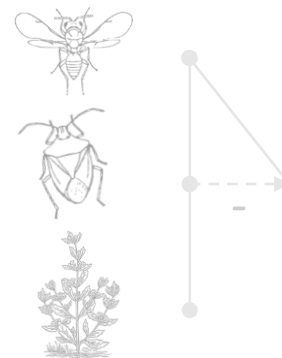
Tests de non-choix

Tests de choix

Jardin exp

Interactions déterminées

Interactions directes



Compétition apparente



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Current Opinion in
Insect Science

Characterizing ecological interaction networks to support risk assessment in classical biological control of weeds

Melodie Ollivier¹, Vincent Lesieur^{1,2}, Sathyamurthy Raghu³ and Jean-François Martin¹



A key element in weed biological control is the selection of a biological control agent that minimizes the risks of non-target attack and indirect effects on the recipient community. Network ecology is a promising approach that could help decipher tritrophic interactions in both the native and the invaded ranges, to complement quarantine-based host-specificity tests and gain insights on potential interactions of biological control agents. This review highlights practical questions addressed by networks, including 1) biological control agent selection, based on specialization indices, 2) risk assessment of biological control agent release into a novel environment, via particular patterns of association such as apparent competition between agent(s) and native herbivore(s), 3) network comparisons through structural metrics, 4) potential of network modelling and 5) limits of network construction methods.

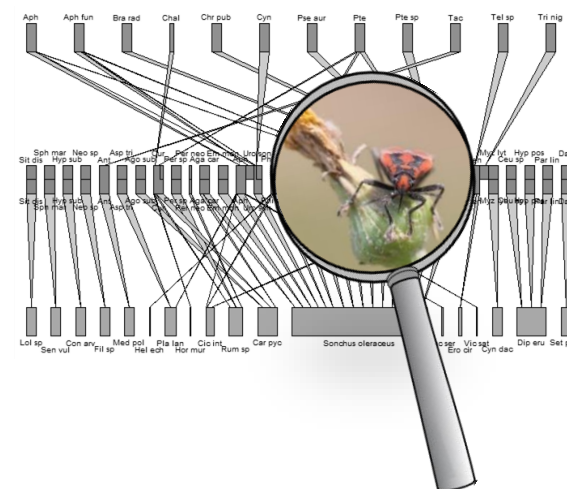
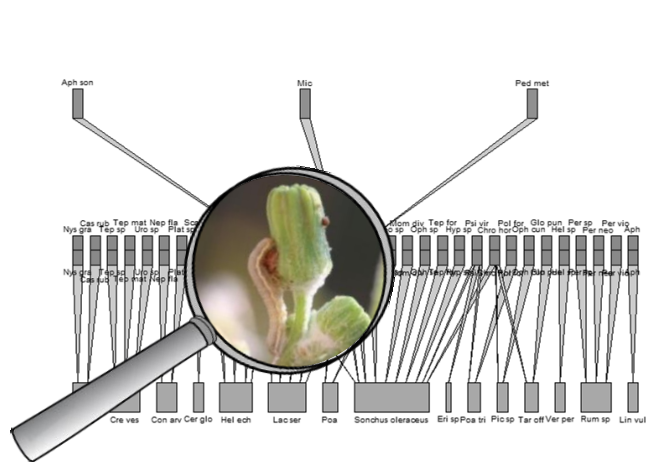
gain insight into niche-based community assembly, reflecting the complexity of species interactions and underlying ecosystem processes [3]. Such analyses can strengthen our understanding of fundamental drivers of community assembly [4,5], co-evolutionary processes [6], ecosystem response to biological invasions and global change [7,8], and ecosystem services management [9,10].

Network ecology could therefore benefit weed biological control, a discipline that aims to re-associate a plant species invading a novel environment with its specialist natural enemies (i.e. biological control agents). Although understanding species interactions has been advocated for more than 20 years [11–13], assessing risks still mostly rely on experimental tests. Network ecology could enhance such

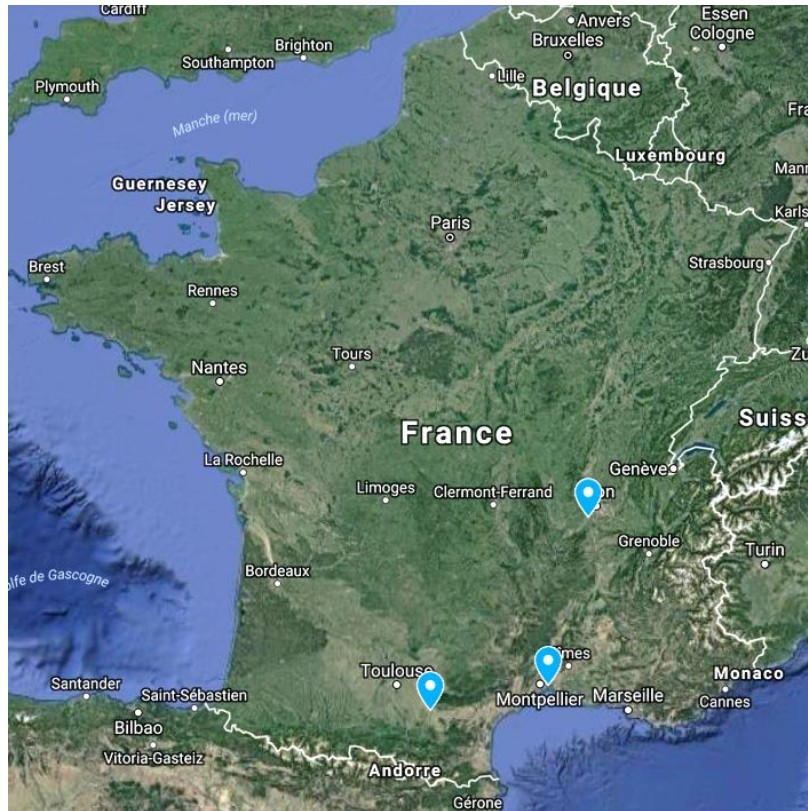
Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Objectifs :

1. Inventorier les herbivores de *S. oleraceus*
2. Déterminer la **gamme d'hôte écologique** des herbivores et identifier des agents candidats
3. Identifier les **ennemis naturels** des herbivores et discuter leurs implications



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



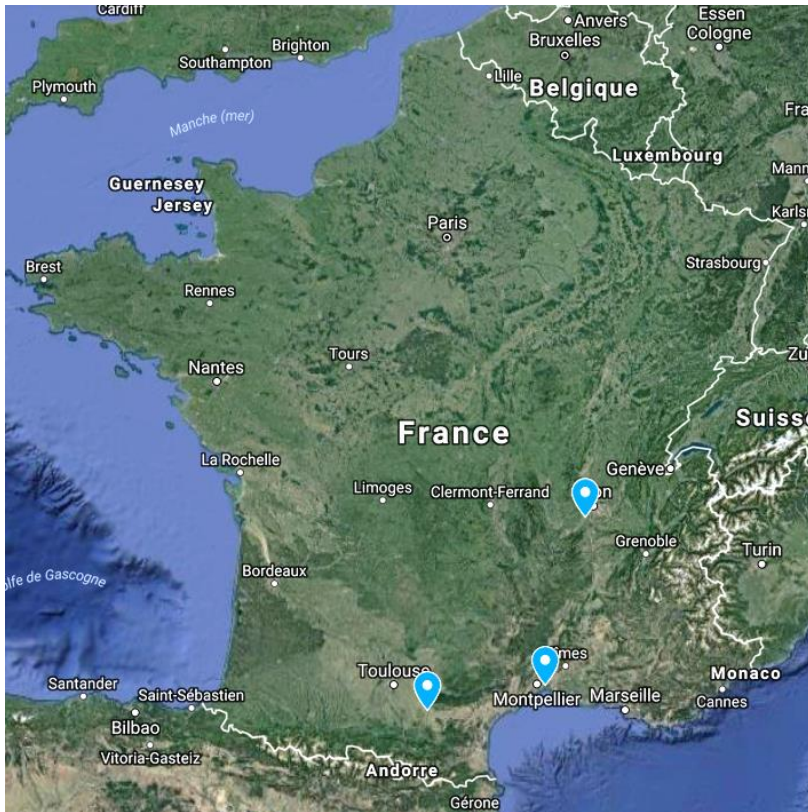
57 quadrats



Maximiser la diversité spécifique :

- 3 régions bioclimatiques
- 3 échantillonnages au cours du printemps

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



Maximiser la diversité spécifique :

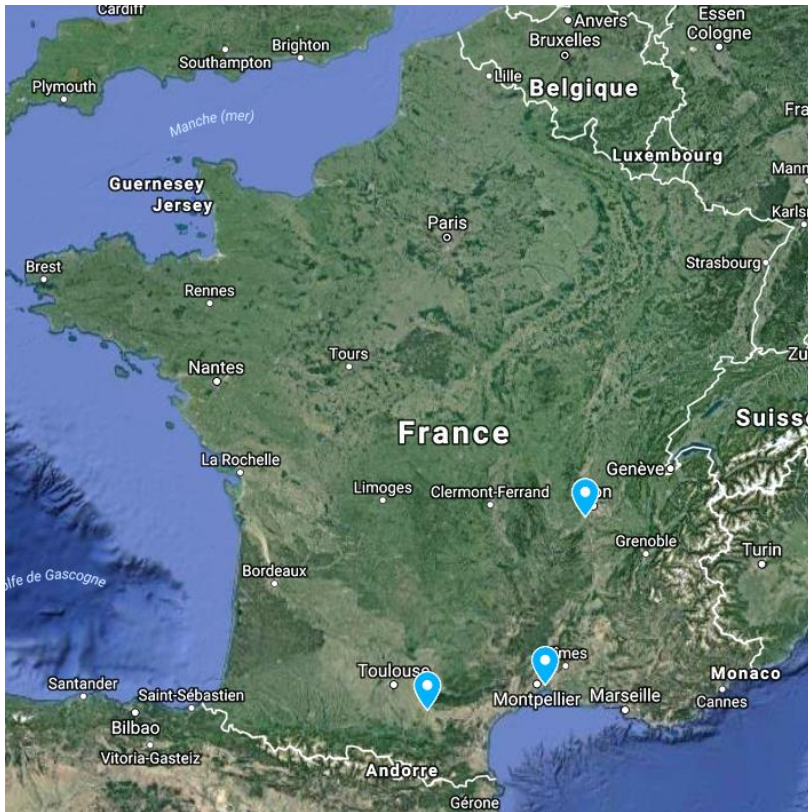
- 3 régions bioclimatiques
- 3 échantillonnages au cours du printemps



Sur le terrain, collecte arthropodes ectophytes



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



Maximiser la diversité spécifique :

- 3 régions bioclimatiques
- 3 échantillonnages au cours du printemps

Au labo, collecte arthropodes endophytes
ID morphologiques plantes + mesure biomasse



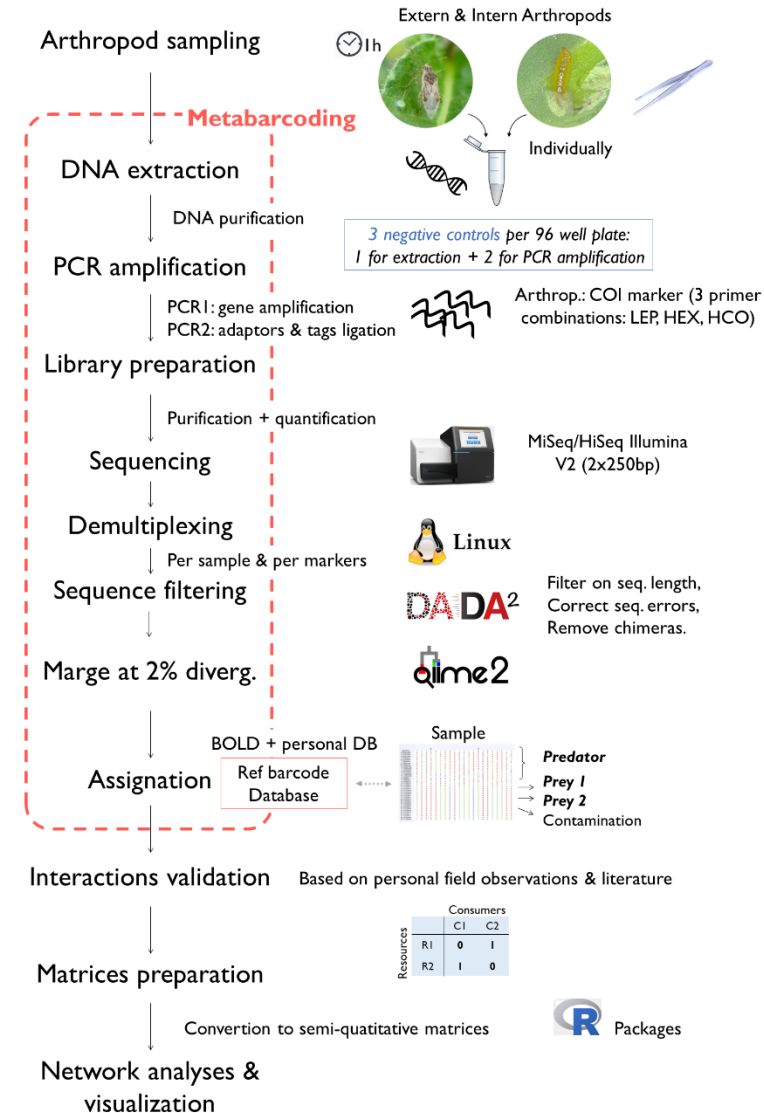
Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Reconstruction des interactions trophiques par **metabarcoding** et **séquençage haut débit** :

- Identification à l'espèce des arthropodes
- Détection des proies dans prédateurs
- Détection des parasitoïdes dans hôtes

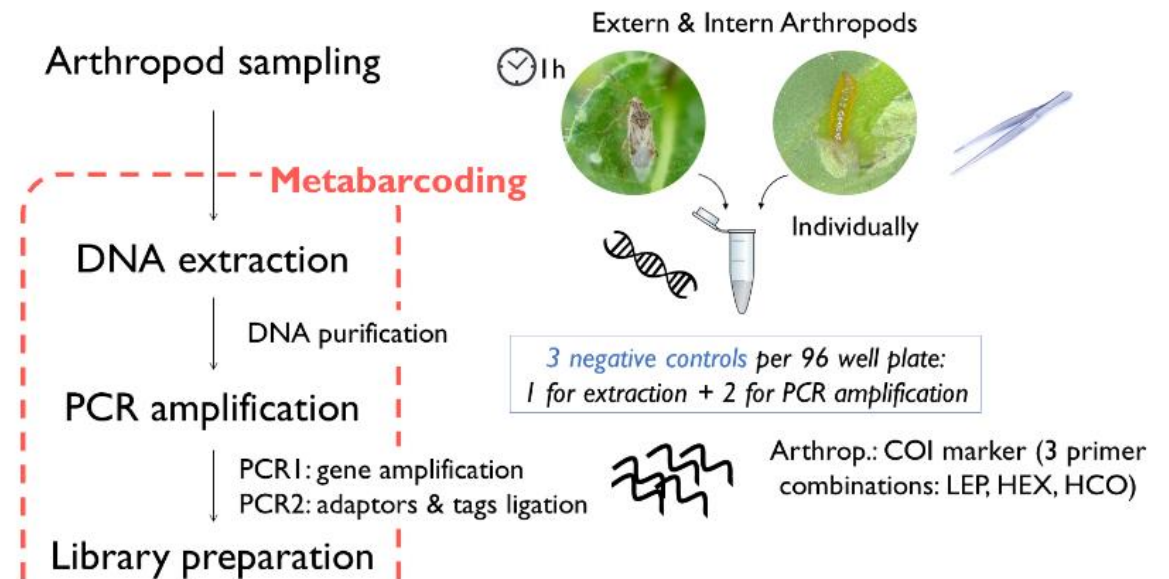
► 2834 échantillons

Reconstruction des interactions de phytophagie par **observations** et **identification morphologique**



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Reconstruction des interactions trophiques par **metabarcoding** et **séquençage haut débit**

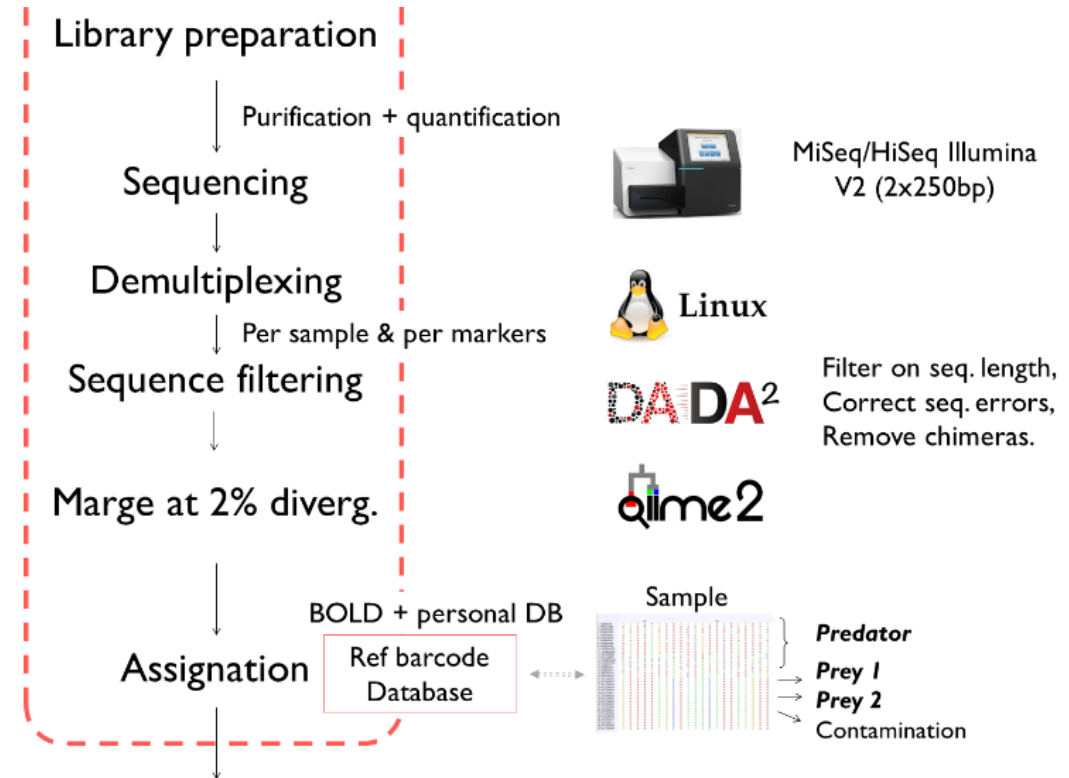


Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Reconstruction des interactions trophiques par **metabarcoding** et **séquençage haut débit**

3 bases de références

- Base locale (79 taxa - 189 seq.)
- Base Arthemis (2990 taxa - 11 180 seq.)
- Base BOLD

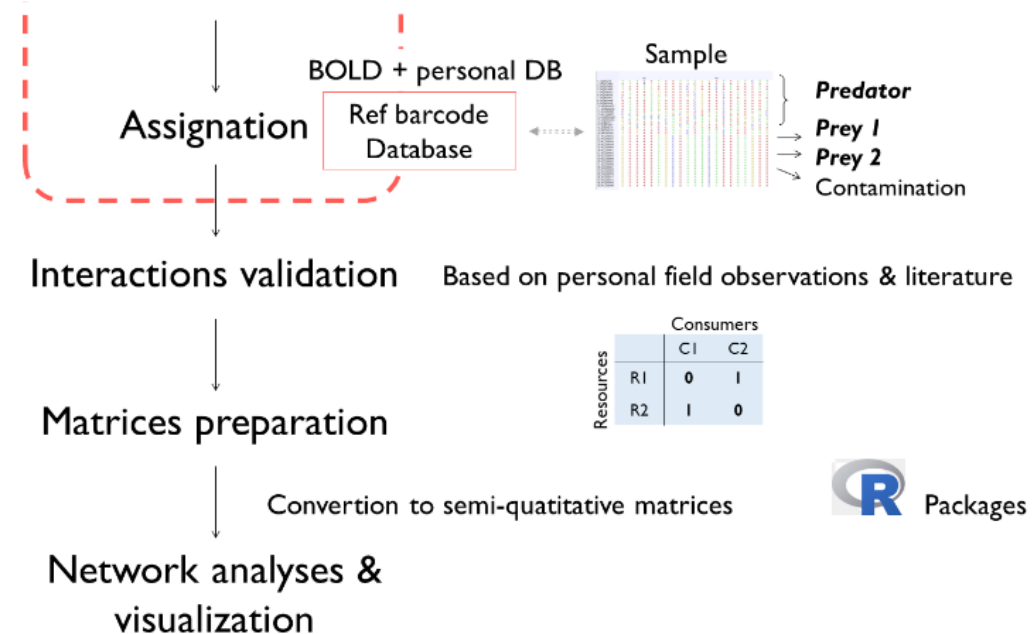


Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Reconstruction des interactions trophiques par
metabarcoding et **séquençage haut débit**

Fréquences d'occurrences =

$$\frac{\text{Nb de ressources positives dans un conso.}}{\text{Nb de spécimens de ce conso. collectés}}$$



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Analyses de communautés

Variations de composition significatives

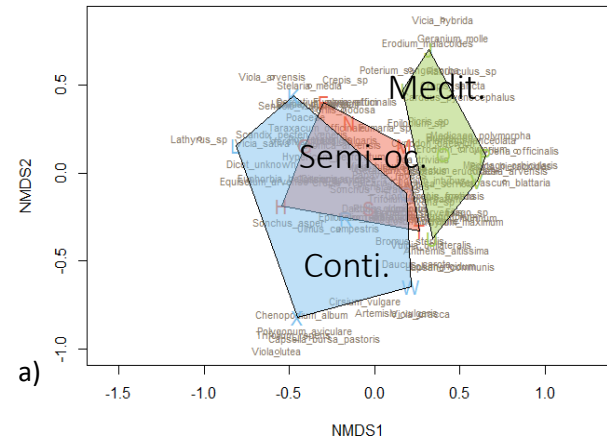
Communauté plantes

β diversité = 0.78 (\pm SEM 0.036)

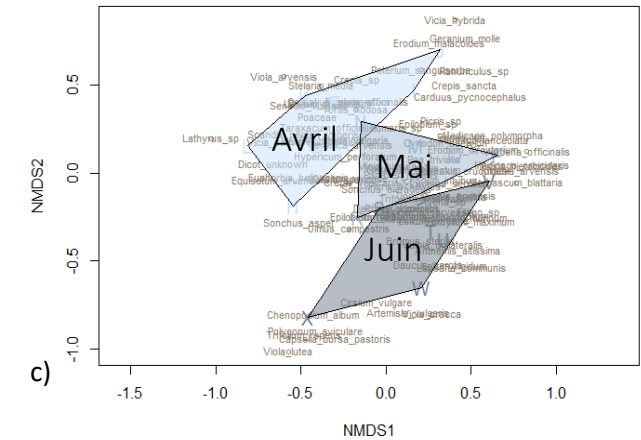
Entre régions : $F = 2.25$, $p = 0.001$

Entre sessions : $F = 1.52$, $p = 0.037$

Variations spatiales



Variations temporelles



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Analyses de communautés

Variations de composition significatives

Communauté plantes

β diversité = 0.78 (\pm SEM 0.036)

Entre régions : $F = 2.25, p = 0.001$

Entre sessions : $F = 1.52, p = 0.037$

Communauté arthropodes

β diversité = 0.85 (\pm SEM 0.036)

Entre régions : $F = 1.62, p = 0.02$

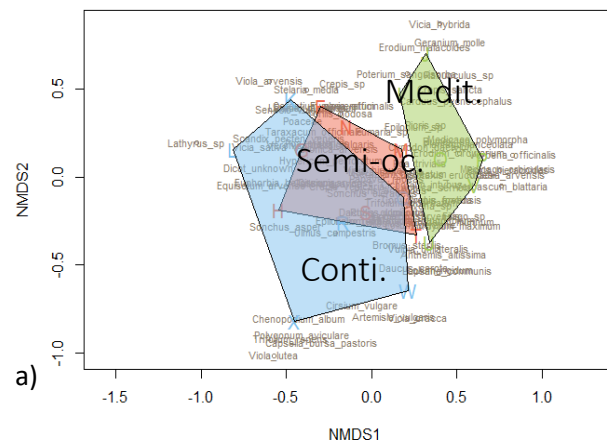
Entre sessions : $F = 2.39, p < 0.001$

Composition suit un gradient temporel

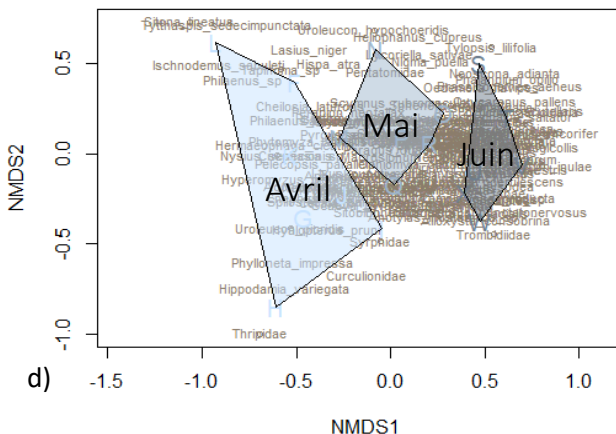
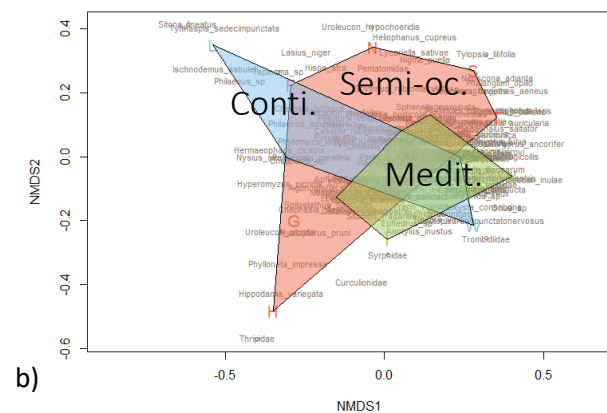
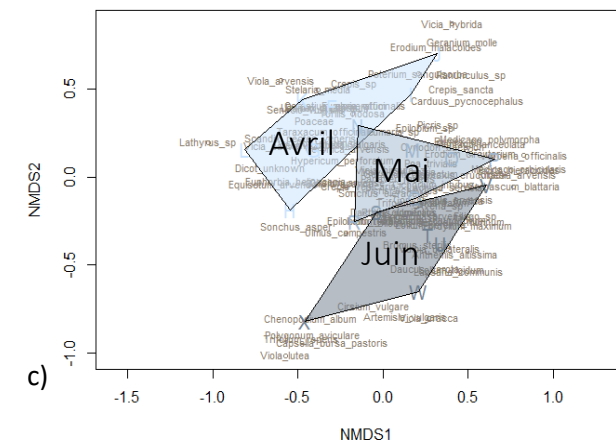
Forte dissimilarité entre les sites

Échantillonnage de sites complémentaires

Variations spatiales



Variations temporelles



Dissimilarité évaluée par Permanova, 1000 permutations, distance Bray-Curtis,

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Analyses de communautés

Variations de composition significatives

Communauté plantes

β diversité = 0.78 (\pm SEM 0.036)

Entre régions : $F = 2.25, p = 0.001$

Entre sessions : $F = 1.52, p = 0.037$

Communauté arthropodes

β diversité = 0.85 (\pm SEM 0.036)

Entre régions : $F = 1.62, p = 0.02$

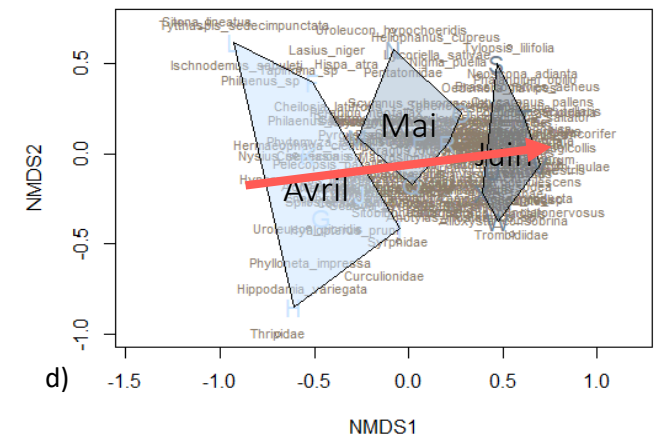
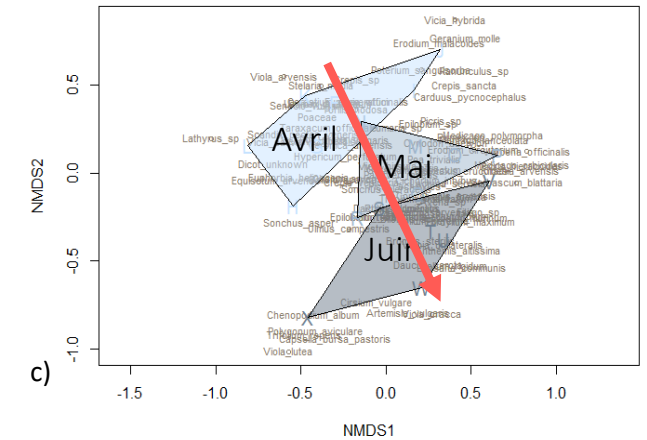
Entre sessions : $F = 2.39, p < 0.001$

Composition suit un gradient temporel

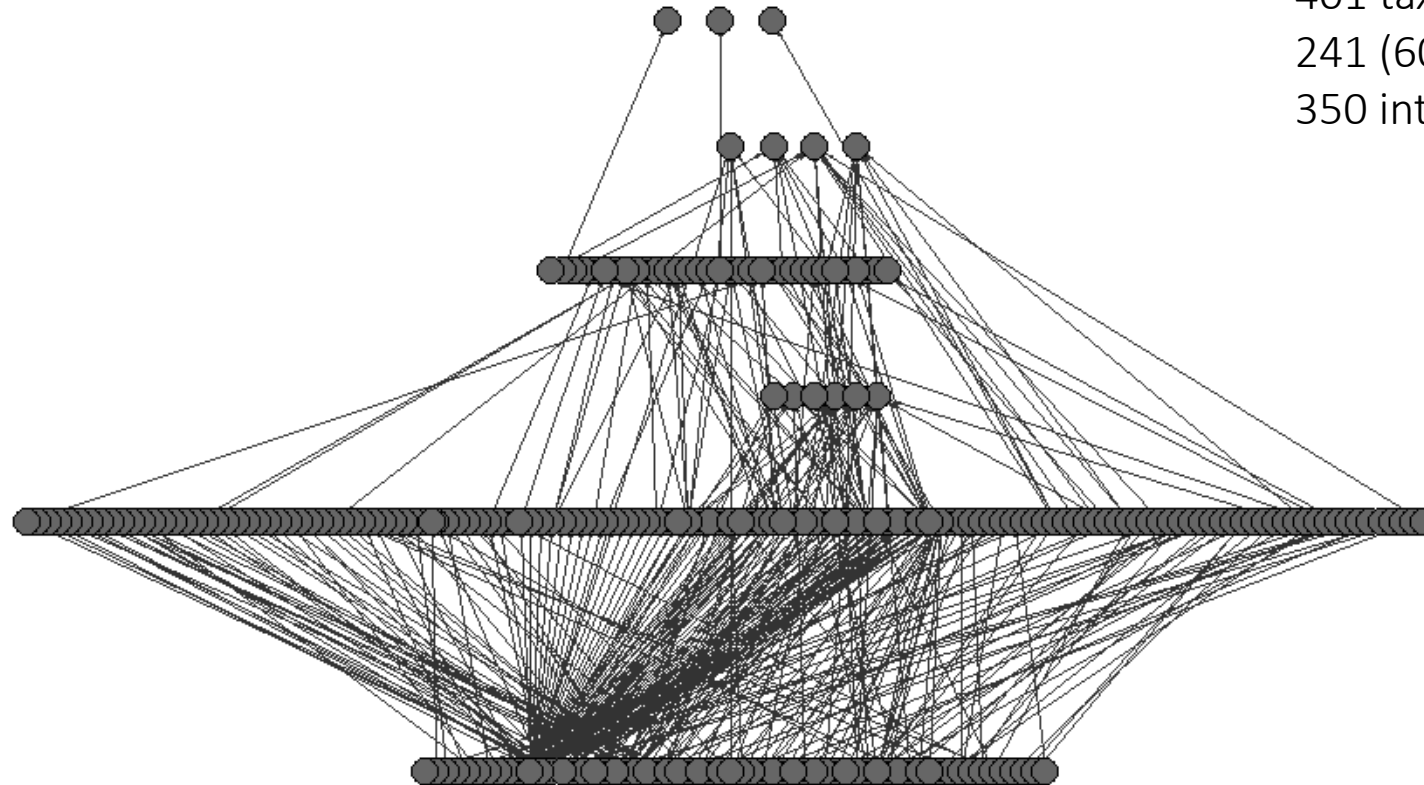
Forte dissimilarité entre les sites

Échantillonnage de sites complémentaires

Variations temporelles

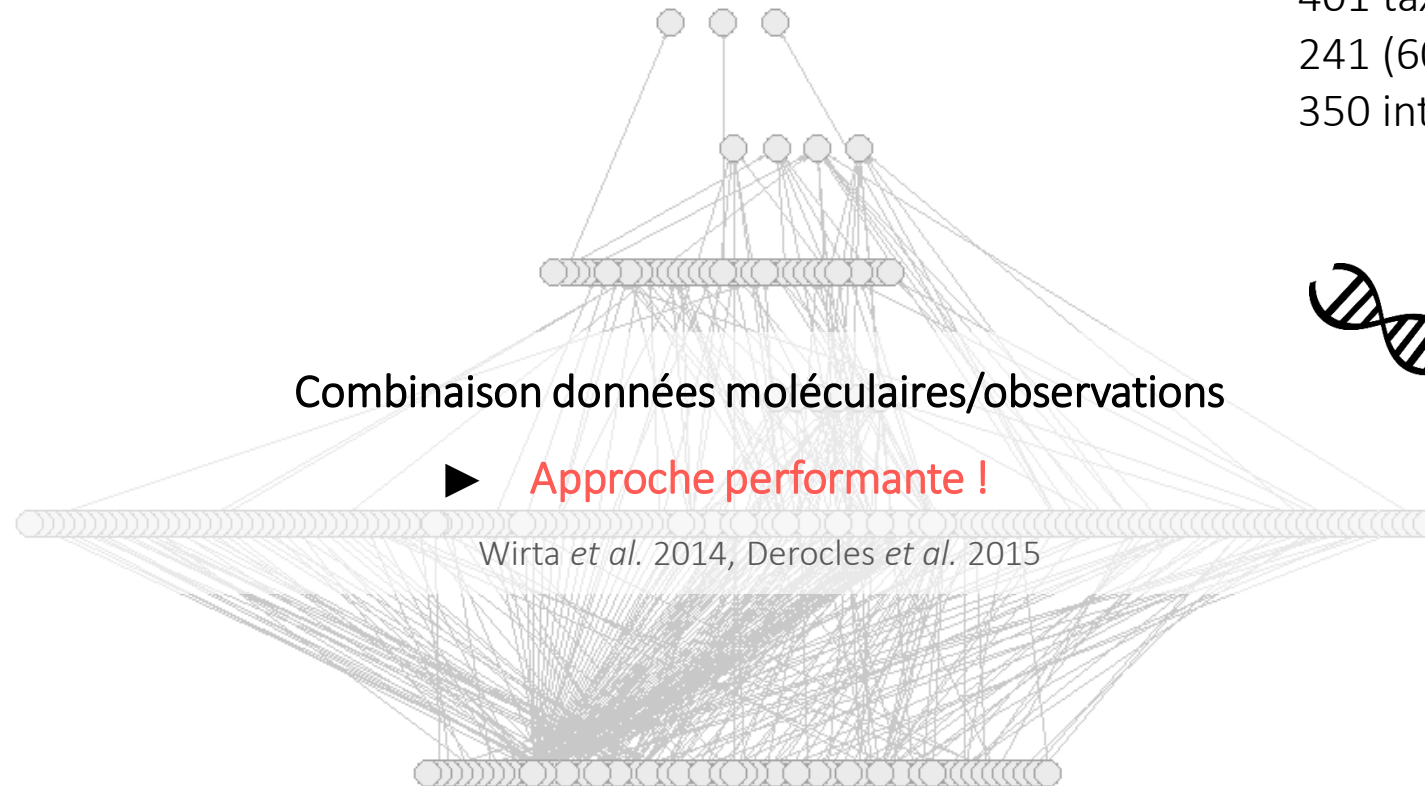


Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



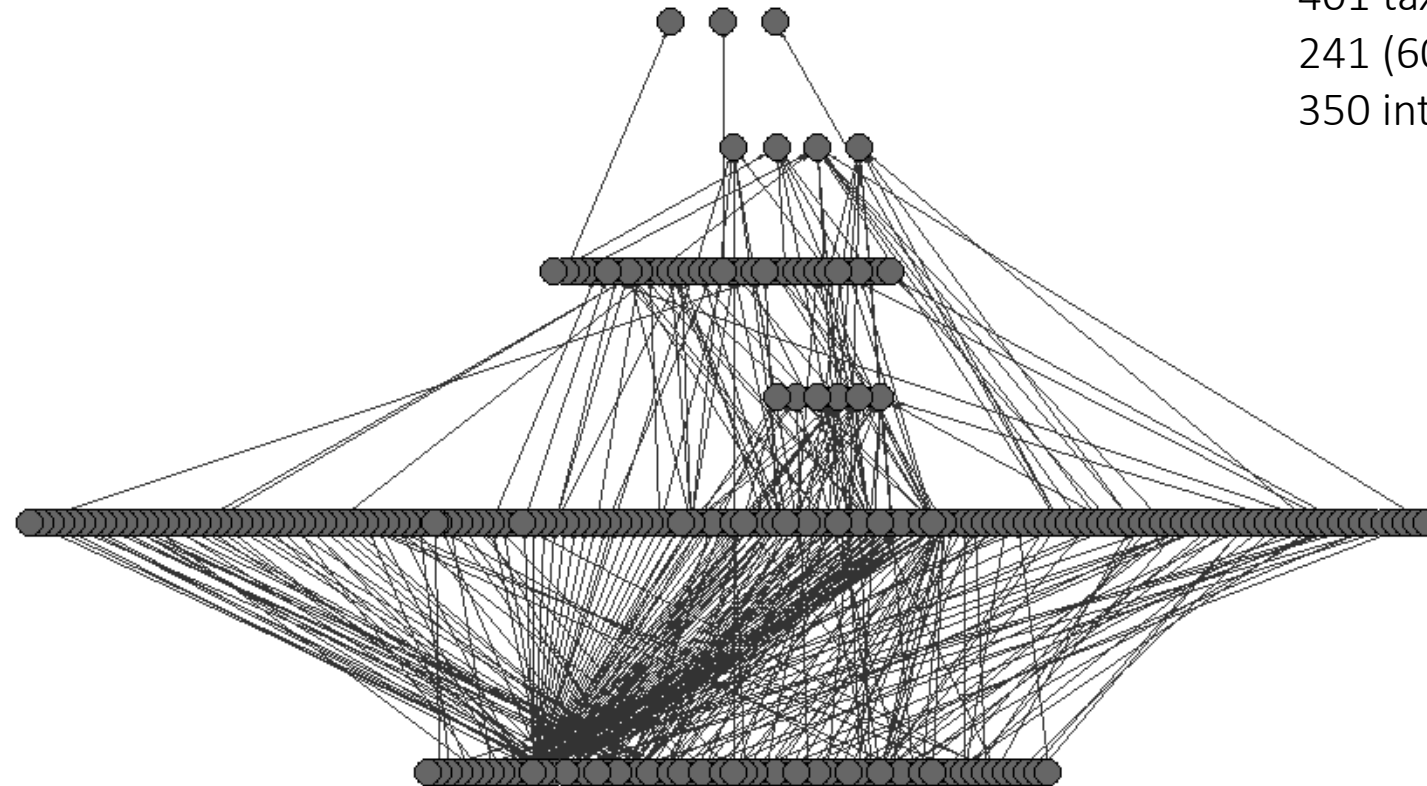
401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



x60

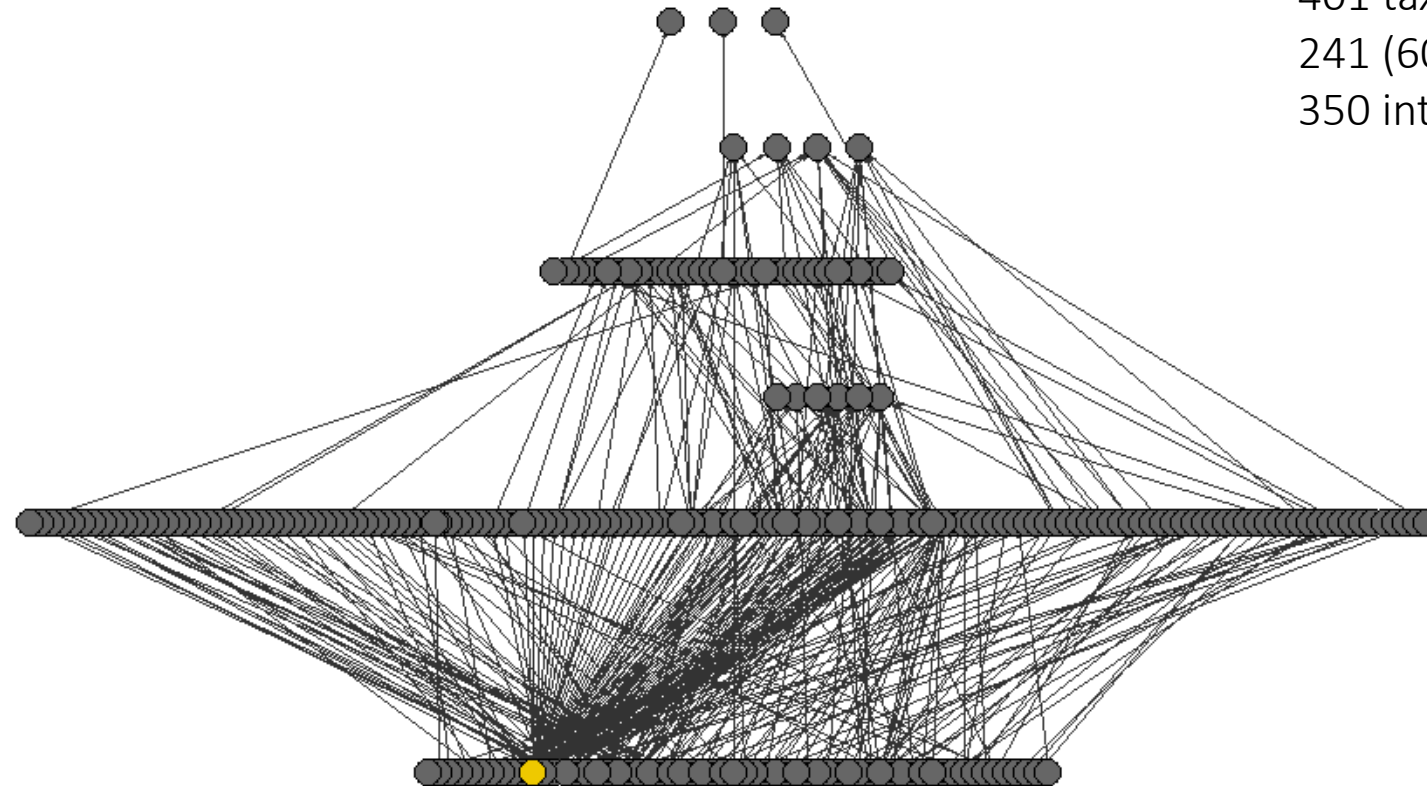


401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



x60



401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions

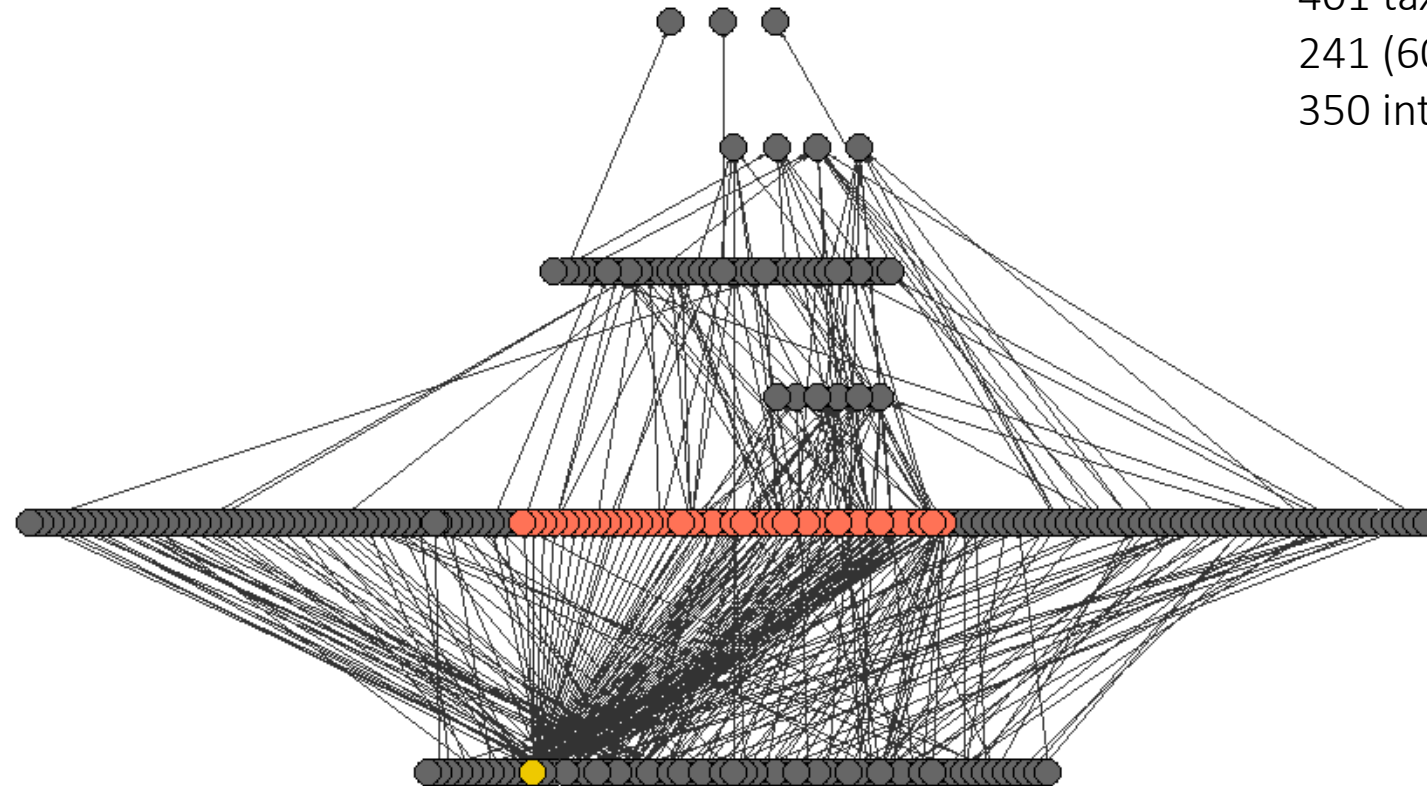
Sonchus oleraceus

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



x136

x60



401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions

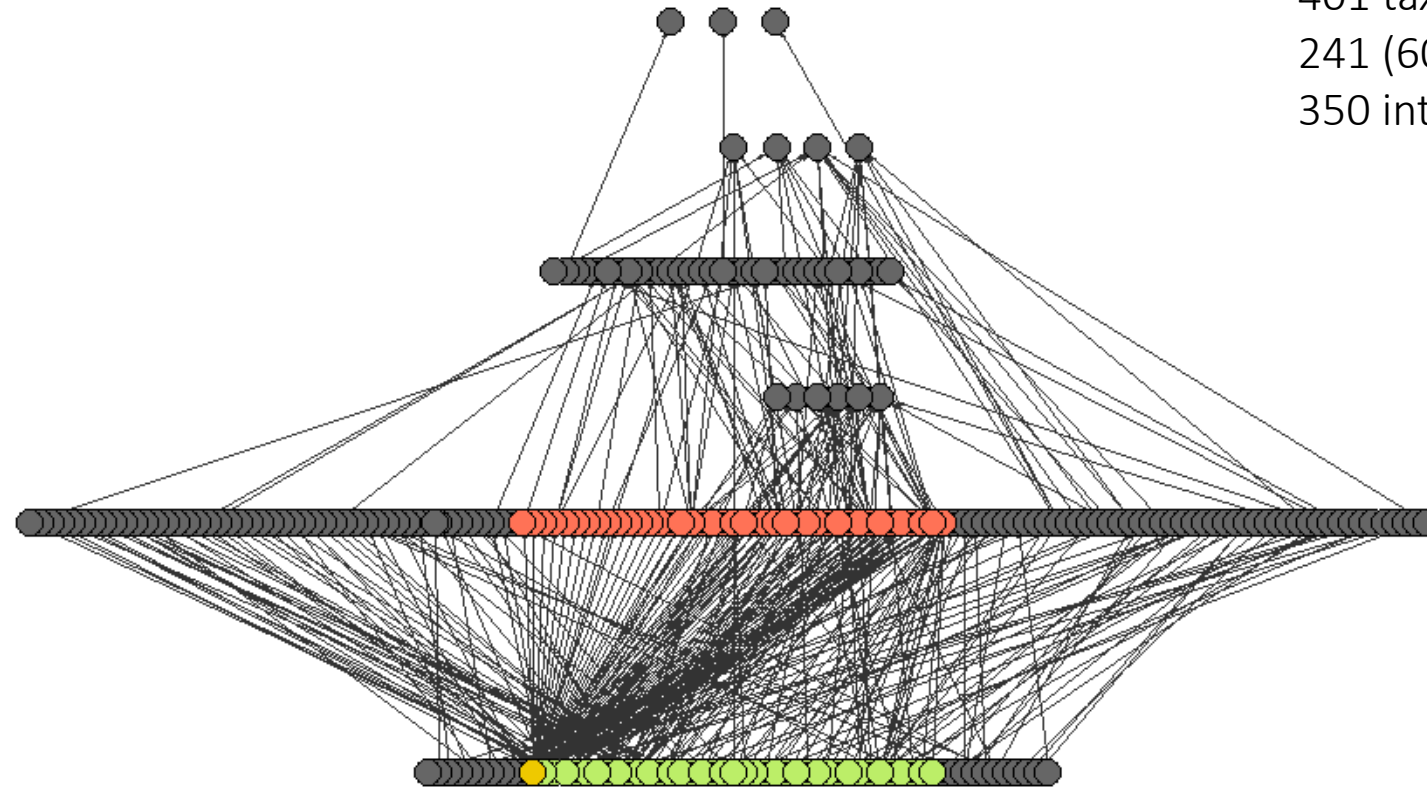
Sonchus oleraceus

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



x136

x60



Sonchus oleraceus

401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



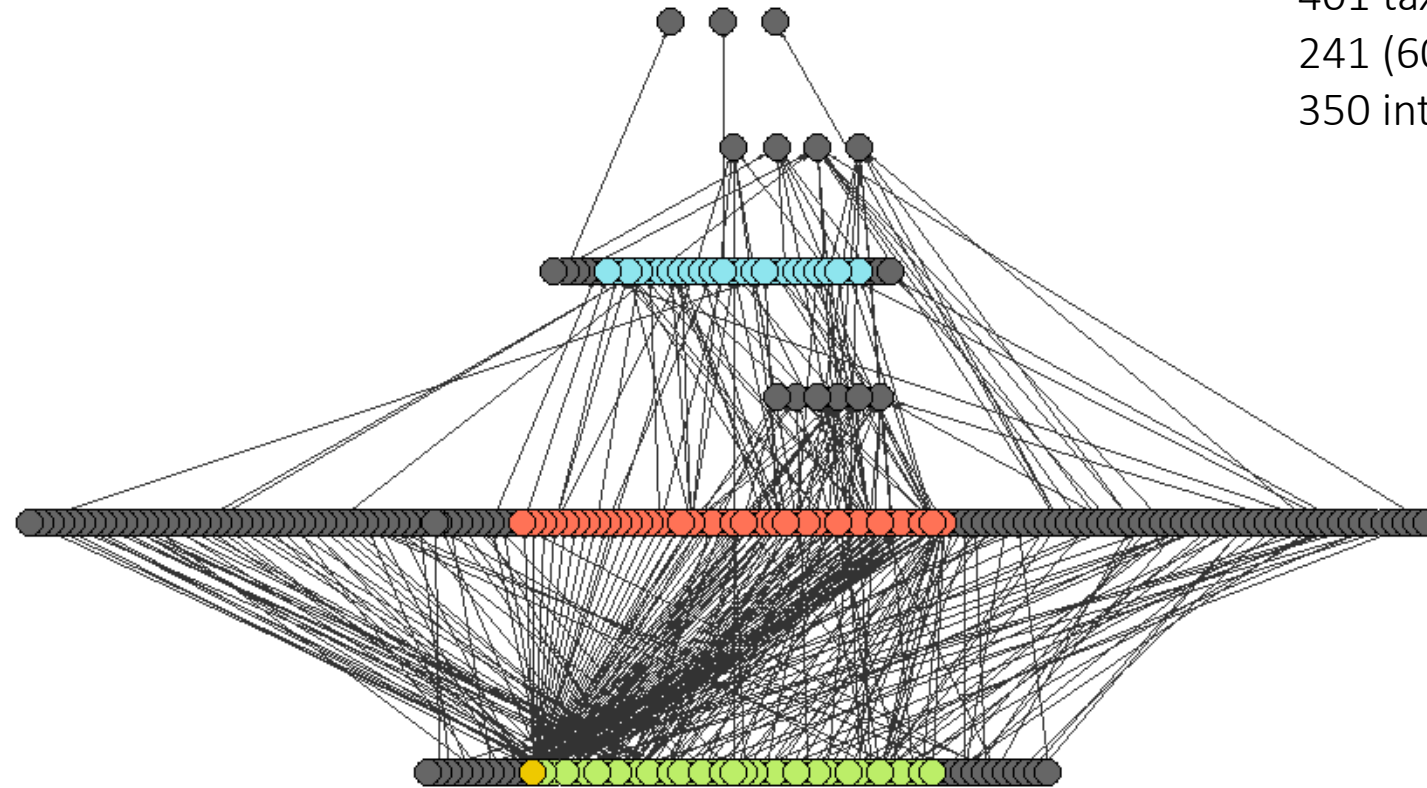
x32



x136



x60



401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions

Sonchus oleraceus

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



10 omnivores



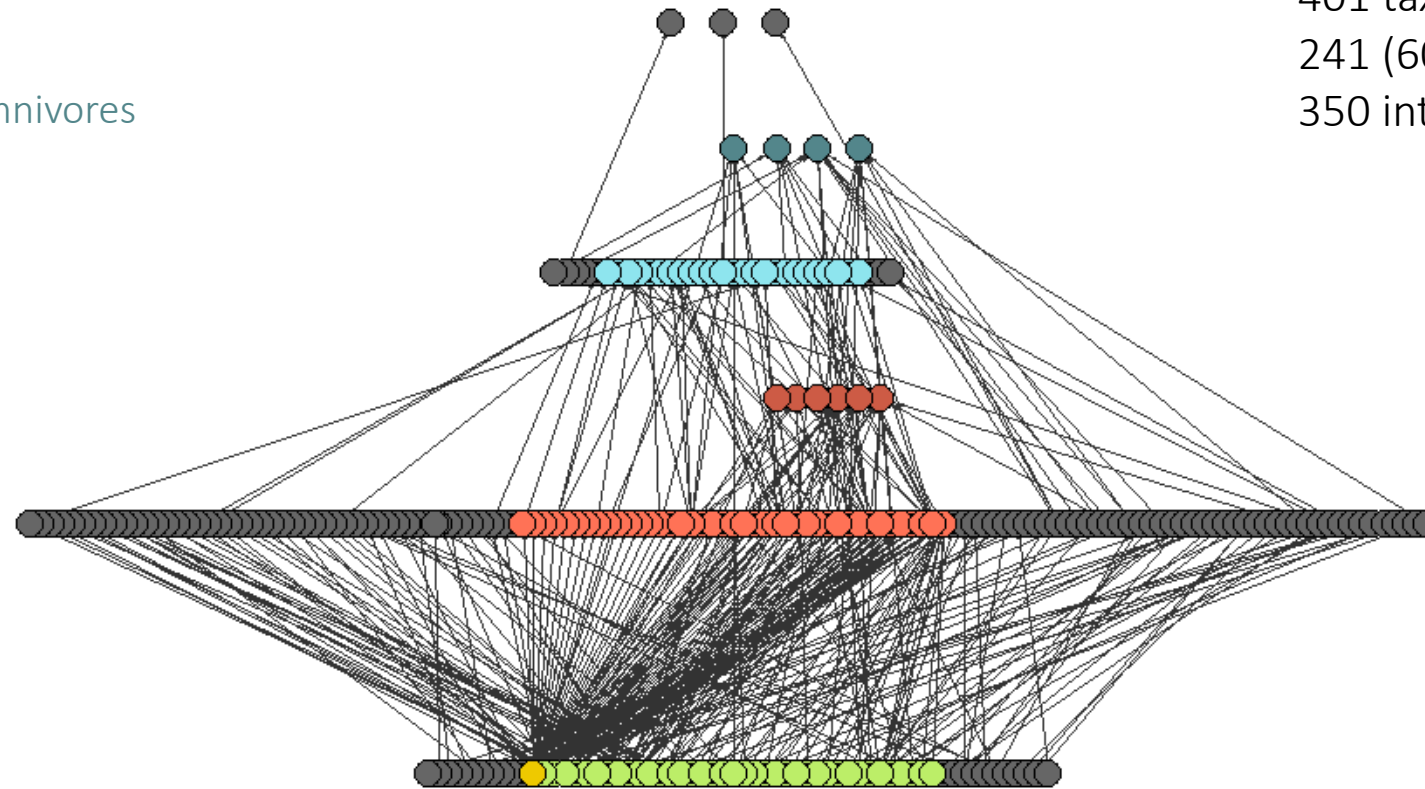
x32



x136



x60



401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions

Sonchus oleraceus

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



x3

10 omnivores



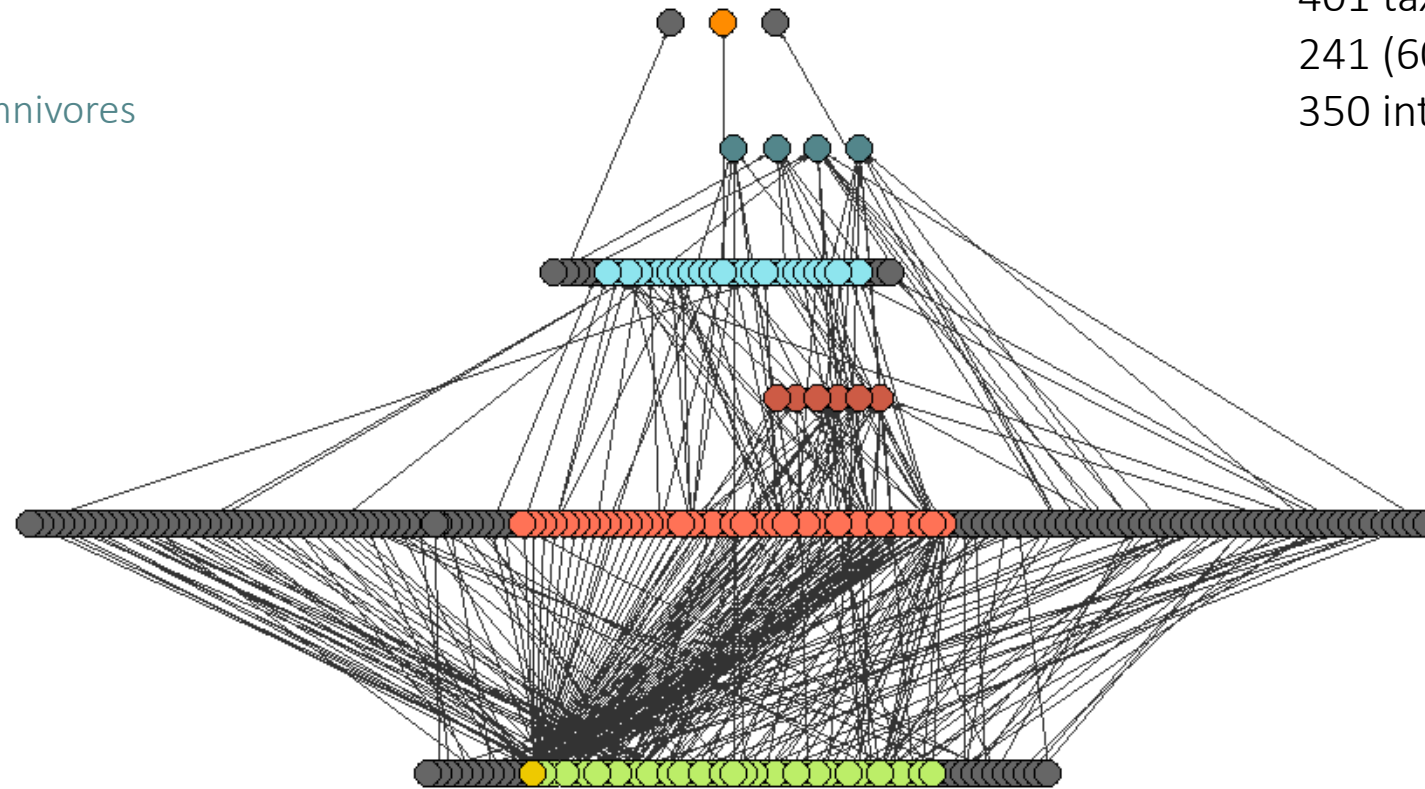
x32



x136



x60



401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions

Sonchus oleraceus

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



x3

10 omnivores



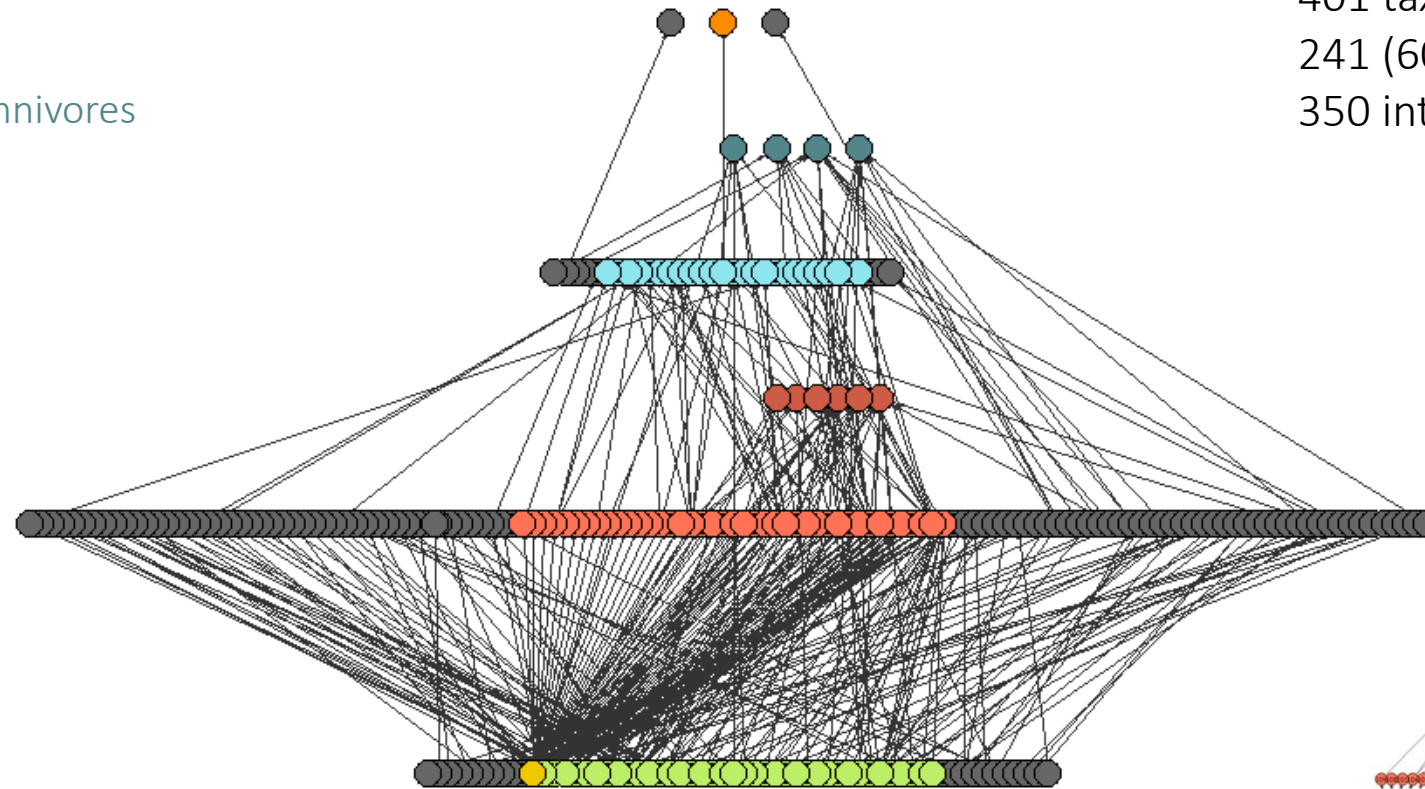
x32



x136

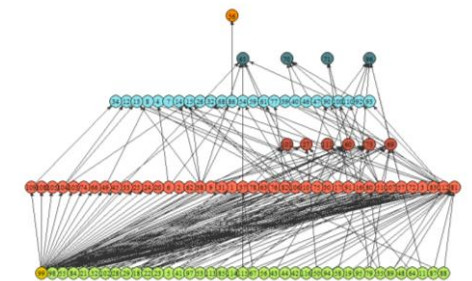


x60



Sonchus oleraceus

401 taxa au total
241 (60%) en interactions
350 interactions



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction



x1

10 omnivores



x25

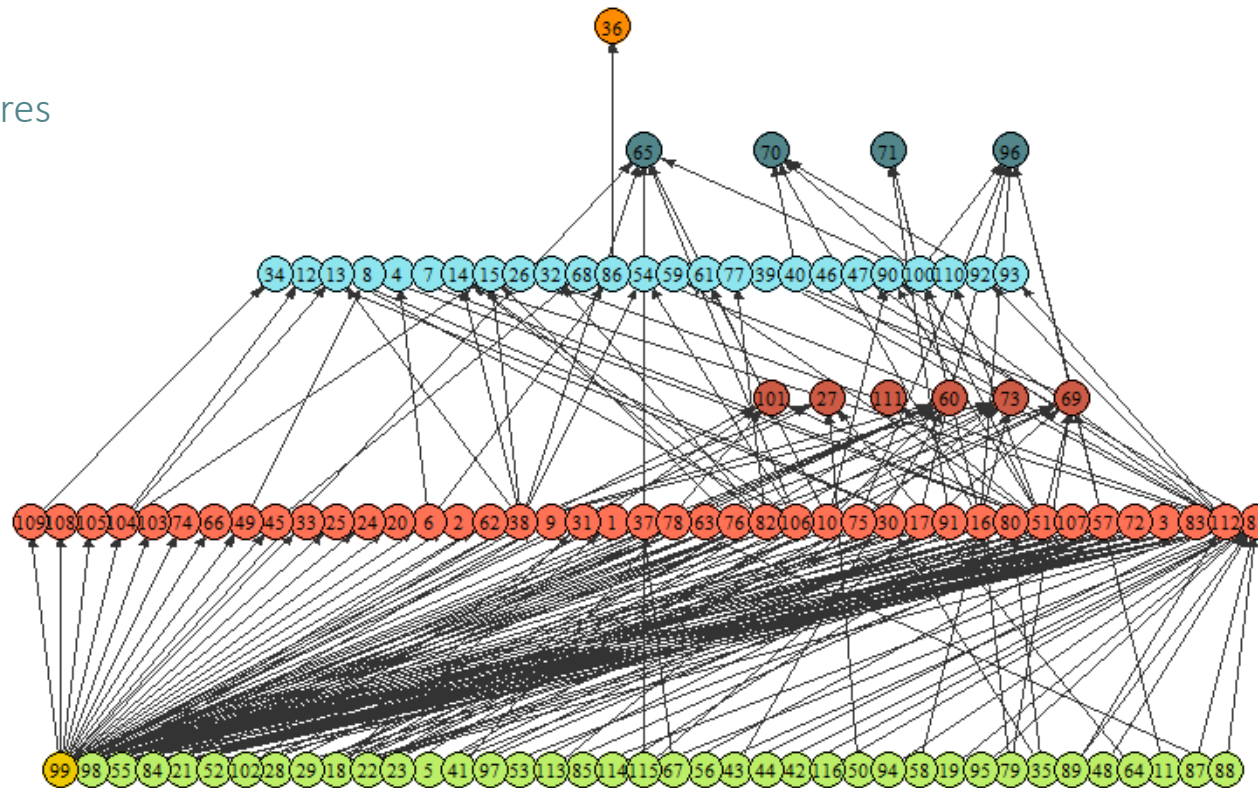


x47



x39

Sonchus oleraceus

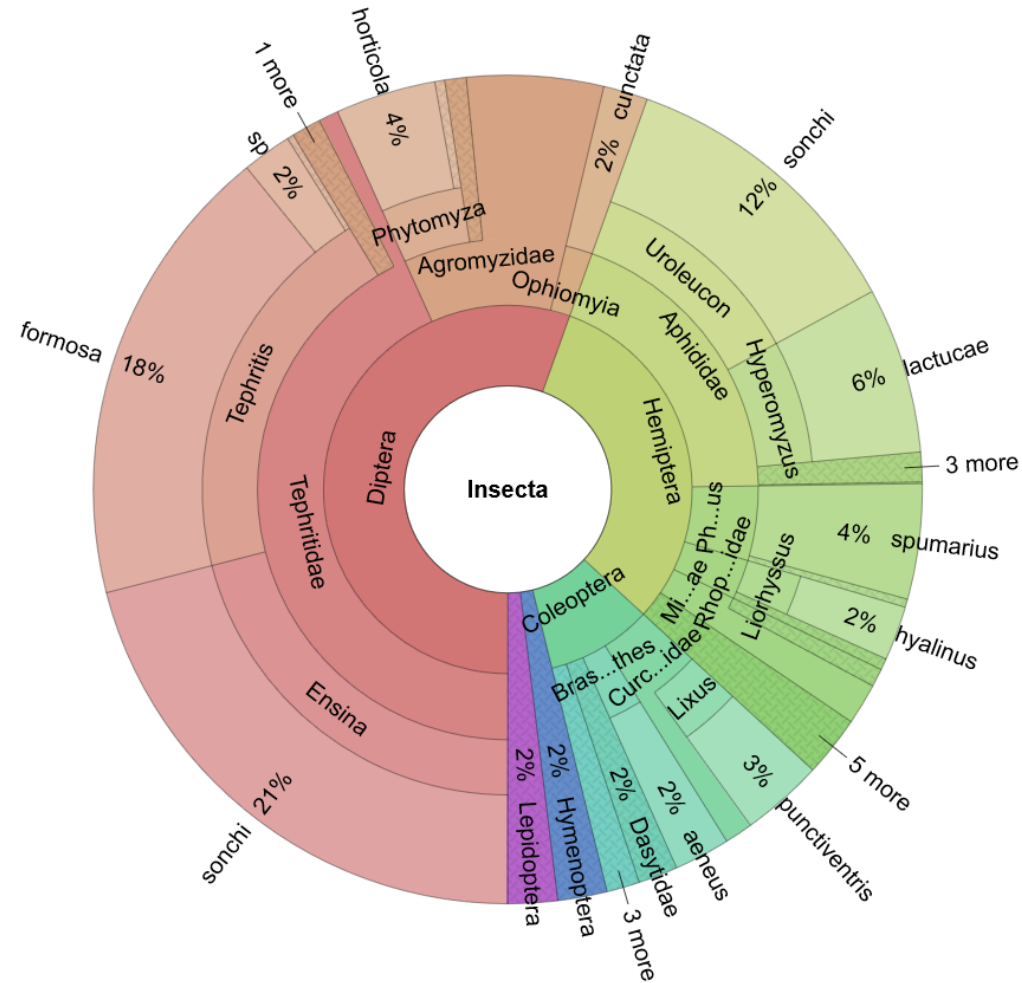


116 nœuds
213 liens

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

1. Inventorier les herbivores de *S. oleraceus*

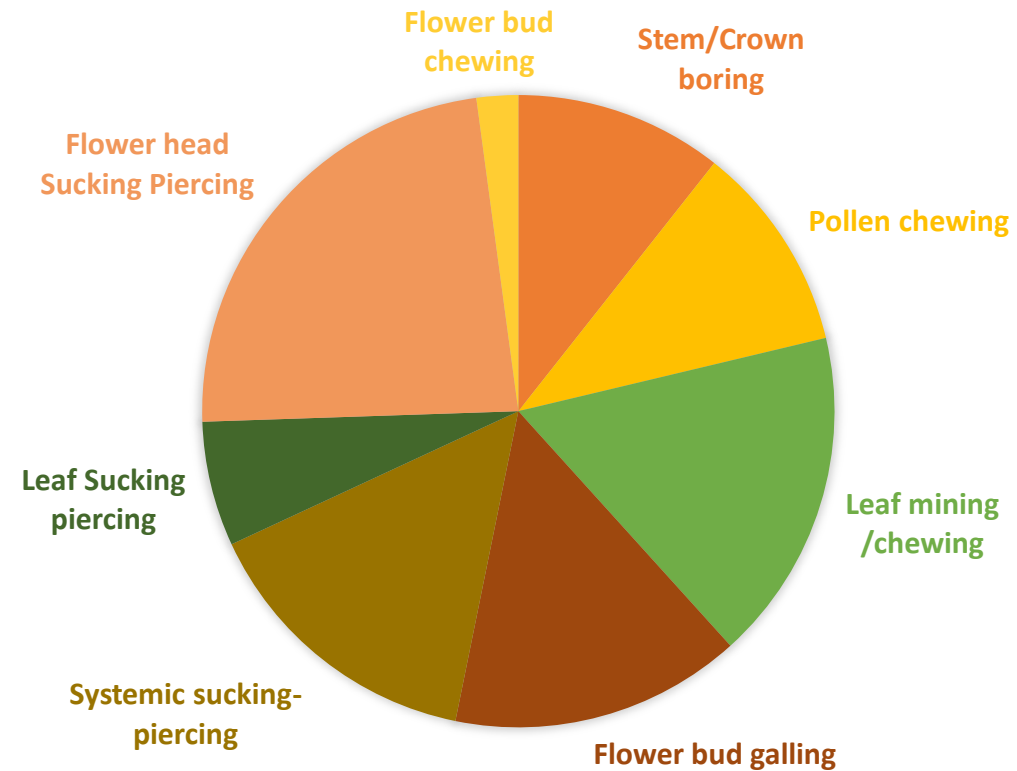
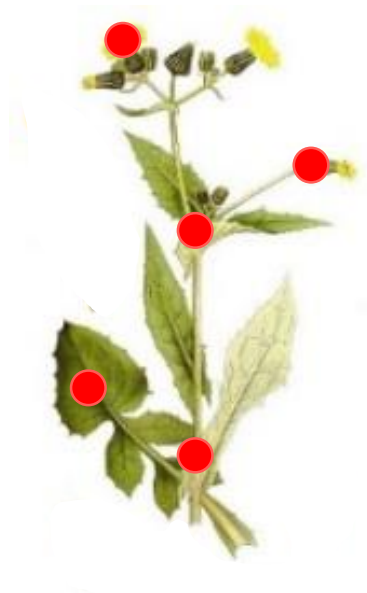
47 taxa (37 ID à l'espèce)



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

1. Inventorier les herbivores de *S. oleraceus*

47 taxa (37 ID à l'espèce)



Guildes trophiques

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

1. Inventorier les herbivores de *S. oleraceus*

37 taxa ID à l'espèce, 19 déjà collectés dans le cadre du programme, 18 nouvelles espèces



La guilde des consommateurs de pollen

Des Aphididae présents mais non établis

3 *Tephritis sp.* proches, mauvaise ID moléculaire ou complexe d'espèces ? Diegisser *et al.* 2006

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

1. Inventorier les herbivores de *S. oleraceus*

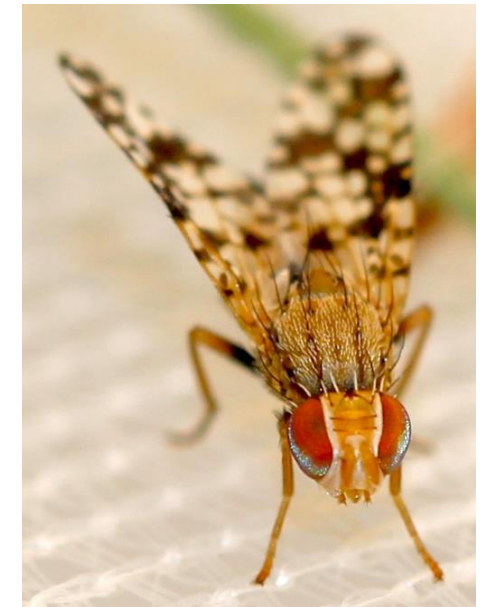
37 taxa ID à l'espèce, 19 déjà collectés dans le cadre du programme, 18 nouvelles espèces



La guilde des consommateurs de pollen
Des Aphididae présents mais non établis
3 *Tephritis sp.* proches, mauvaise ID moléculaire ou complexe d'espèces ?



Campiglossa producta (Tephritidae), espèce rare des Iles Canaries



V. Lesieur

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

1. Inventorier les herbivores de *S. oleraceus*

37 taxa ID à l'espèce, 19 déjà collectés dans le cadre du programme, 18 nouvelles espèces



La guilde des consommateurs de pollen
Des Aphididae présents mais non établis
3 *Tephritis sp.* proches, mauvaise ID moléculaire ou complexe d'espèces ?



Campiglossa producta (Tephritidae), espèce rare des Iles Canaries



Manque *Cystiphora sonchi* (Cecidomyiidae), actif en juillet



V. Lesieur

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

1. Inventorier les herbivores de *S. oleraceus*

37 taxa ID à l'espèce, 19 déjà collectés dans le cadre du programme, 18 nouvelles espèces

+ La guilde des consommateurs de pollen
Des Aphididae présents mais non établis
3 *Tephritis* sp. proches, mauvaise ID moléculaire ou complexe d'espèces ? Diegisser *et al.* 2006

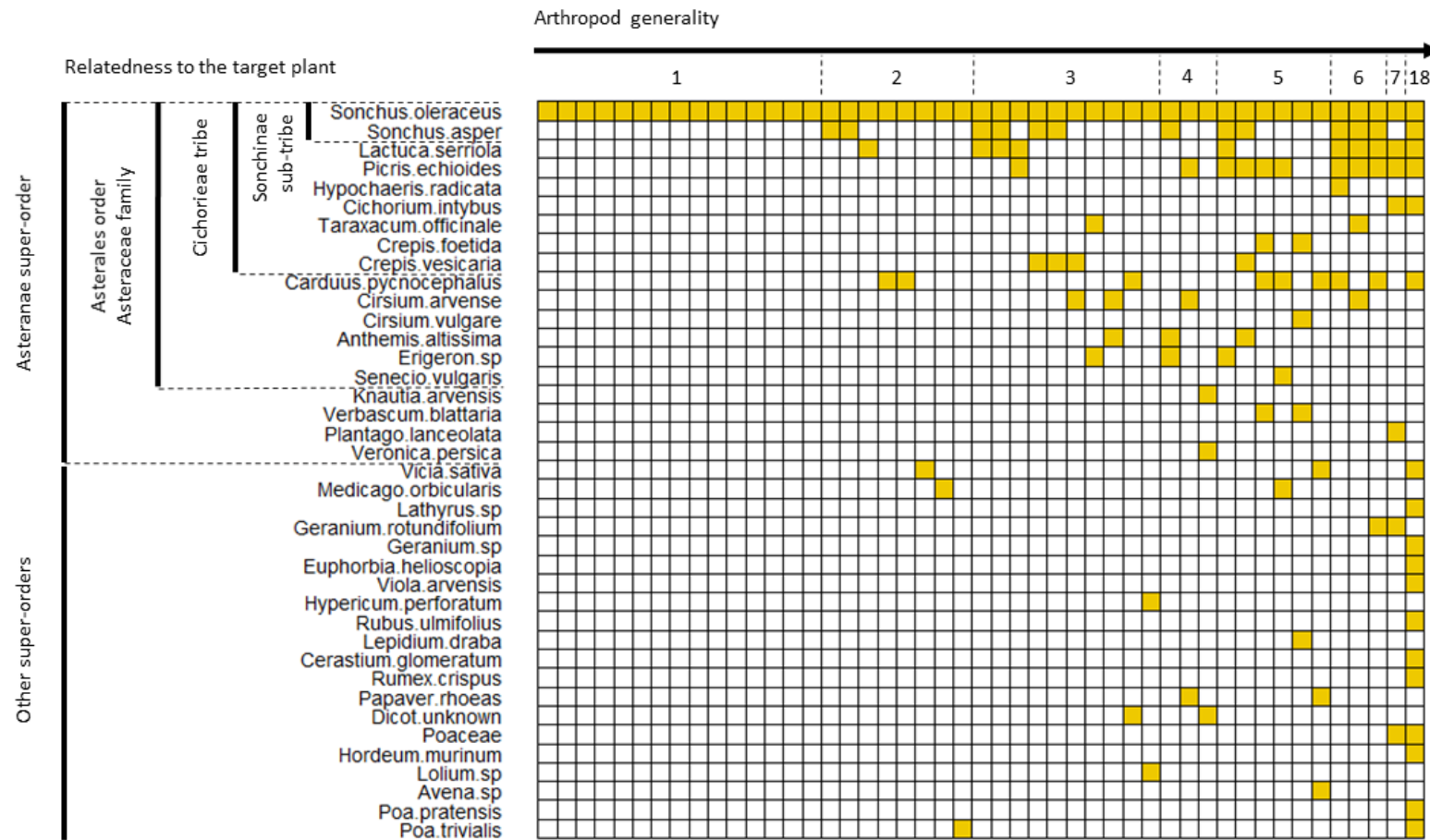
= *Campiglossa producta* (Tephritidae), espèce rare des Iles Canaries

- Manque *Cystiphora sonchi* (Cecidomyiidae), actif en juillet

++ Nouvelles interactions

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

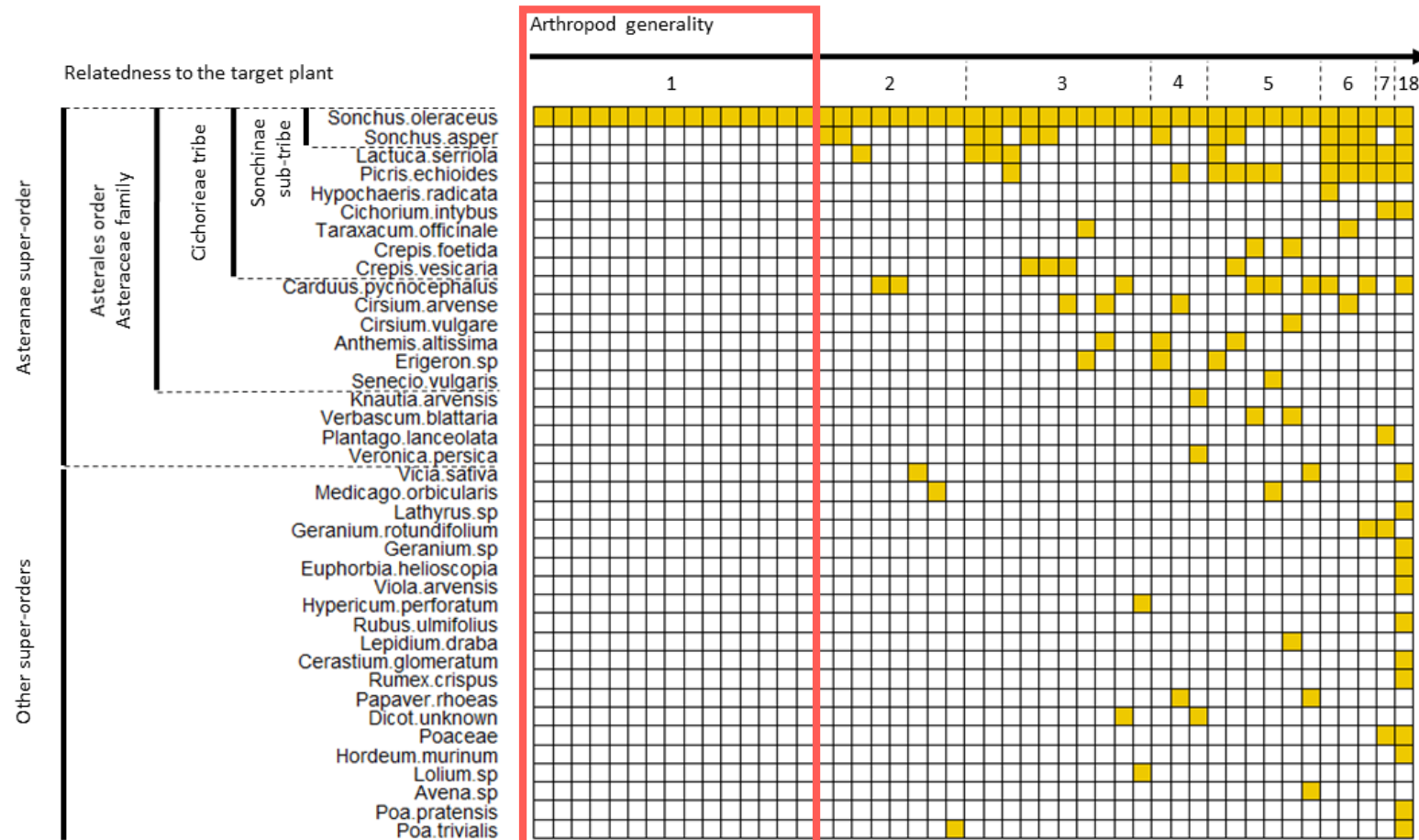
2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



47 herbivores

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

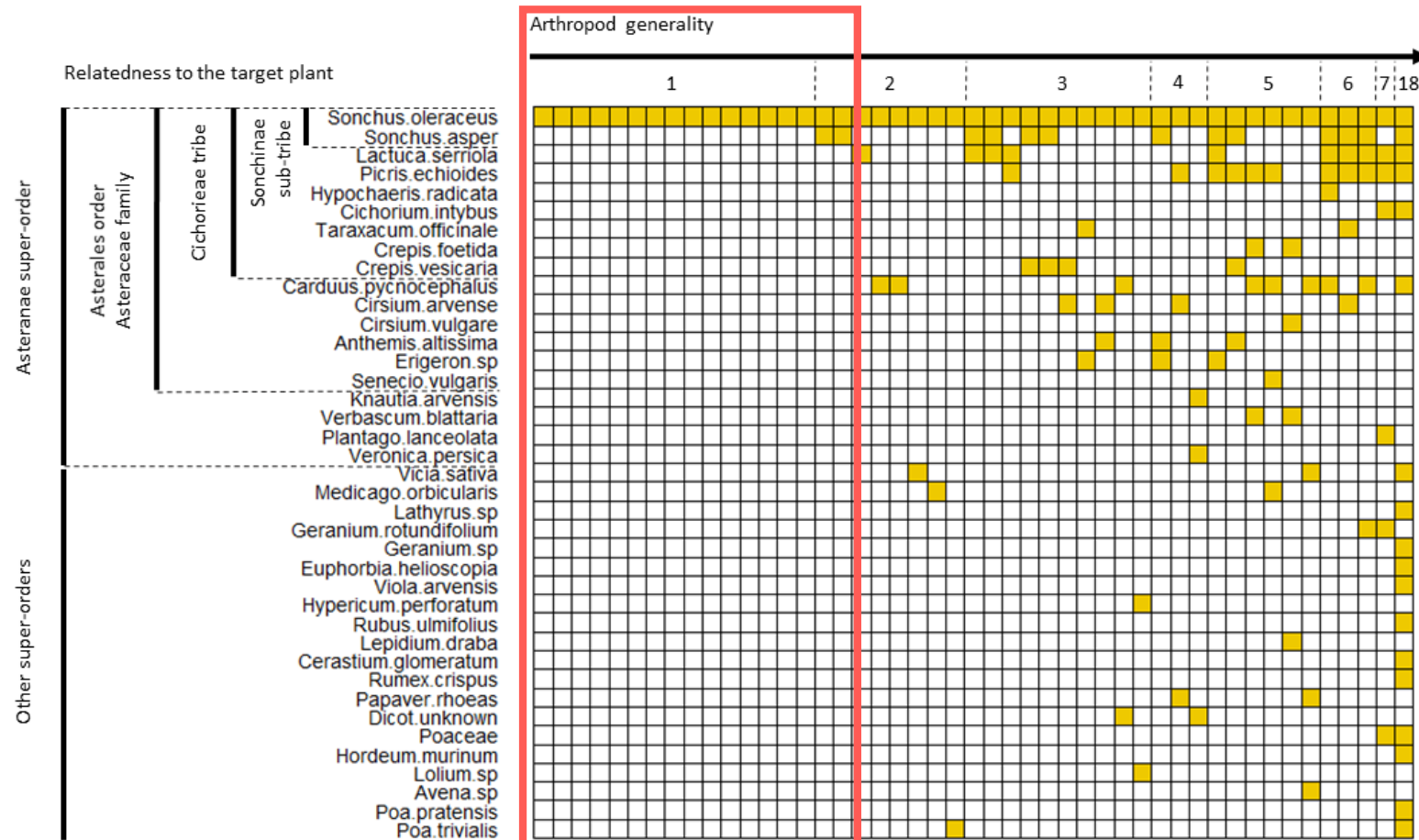
2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



47 herbivores

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



47 herbivores

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



15 agents spécifiques de *S. oleraceus* + 2 au genre *Sonchus*

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



15 agents spécifiques de *S. oleraceus* + 2 au genre *Sonchus* ?!

Contradictions :

- ▶ Manque de puissance d'échantillonnage ?
Ex : *Ensina sonchi* (Tephritidae) et *Lyriomyza sonchi* (Agromyzidae) **oligophages**
- ▶ Démarche de validation des interactions trop stricte ?

White 1988; Benavent-Corai 2005



V. Lesieur

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*

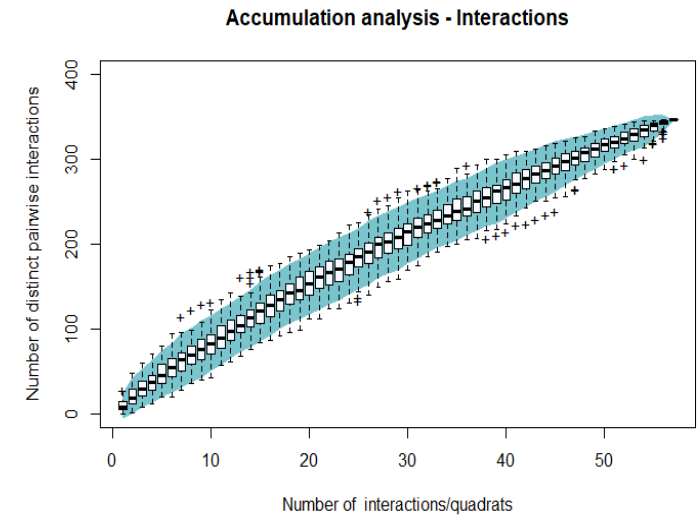


15 agents spécifiques de *S. oleraceus* + 2 au genre *Sonchus* ?!

Contradictions :

- ▶ Manque de puissance d'échantillonnage ?
Ex : *Ensina sonchi* (Tephritidae) et *Lyriomyza sonchi* (Agromyzidae) **oligophages**
- ▶ Démarche de validation des interactions trop stricte ?

White 1988; Benavent-Corai 2005



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



15 agents spécifiques de *S. oleraceus* + 2 au genre *Sonchus* ?!

Contradictions :

- ▶ Mise en évidence de complexe d'espèce ?
3 espèces du genre *Tephritis* dont 2 spécifiques à *S. oleraceus*
Groupe sujet à la spéciation par formation de races d'hôtes

Diegisser *et al.* 2006

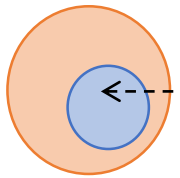
à investiguer...



V. Lesieur

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



← Détermination de la gamme d'hôte écologique pour des agents prometteurs

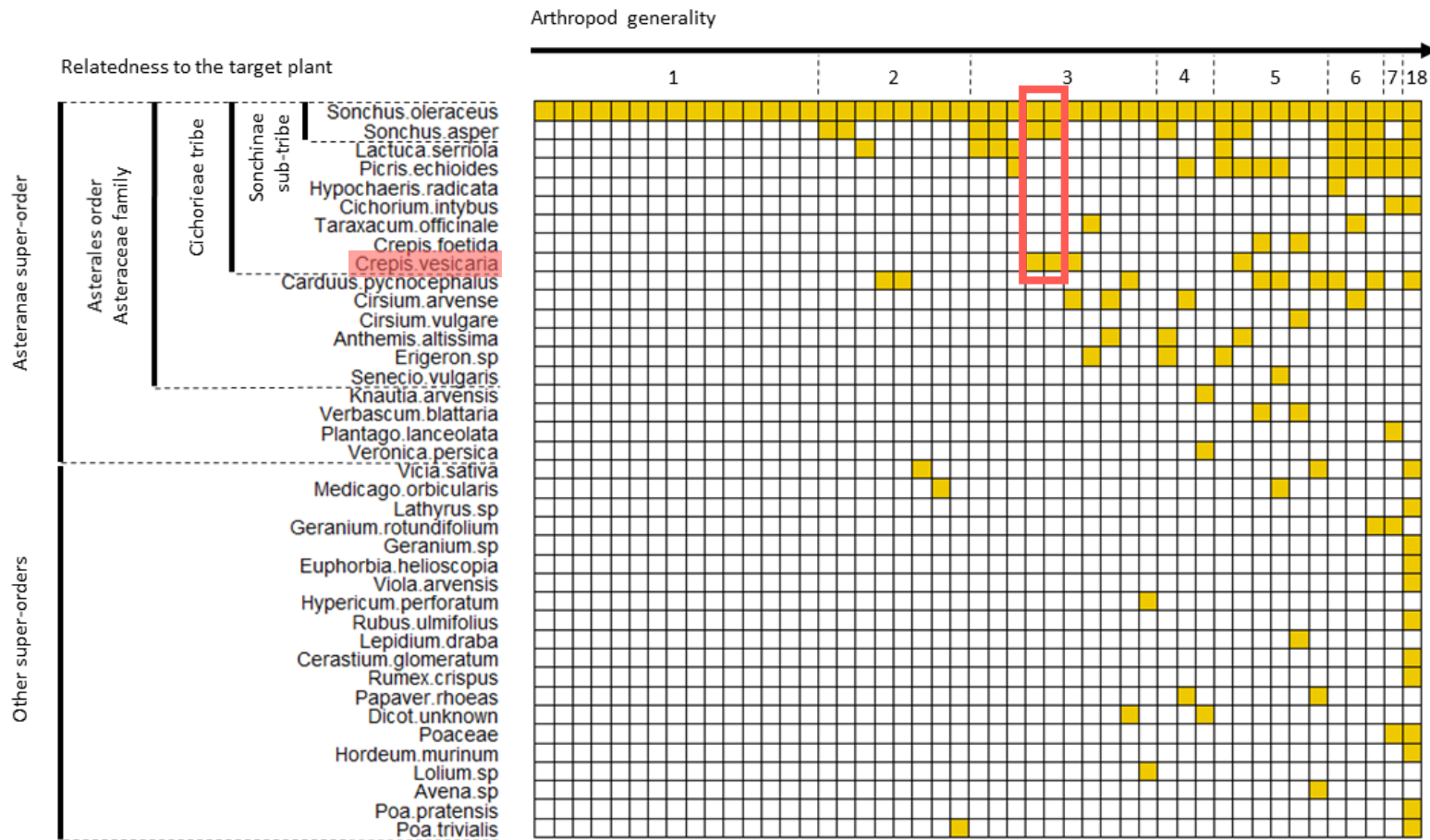
Une plante qui ne figure pas dans la liste : *Crepis vesicaria* (tribu Cichorieae)



<https://www.preservons-la-nature.fr>

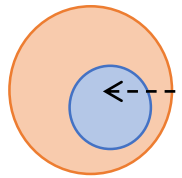
Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

2. Identifier des herbivores spécifiques de *S. oleraceus*



← Détermination de la gamme d'hôte écologique pour des agents prometteurs

Une plante qui ne figure pas dans la liste : *Crepis vesicaria* (tribue Cichorieae)

Campiglossa producata retrouvé sur *C. vesicaria* -> pas nécessaire de la tester



<https://www.preservons-la-nature.fr>

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

3. Identifier les ennemis naturels des herbivores



13 Prédateurs (Arachnida, Coccinellidae, Syrphidae)



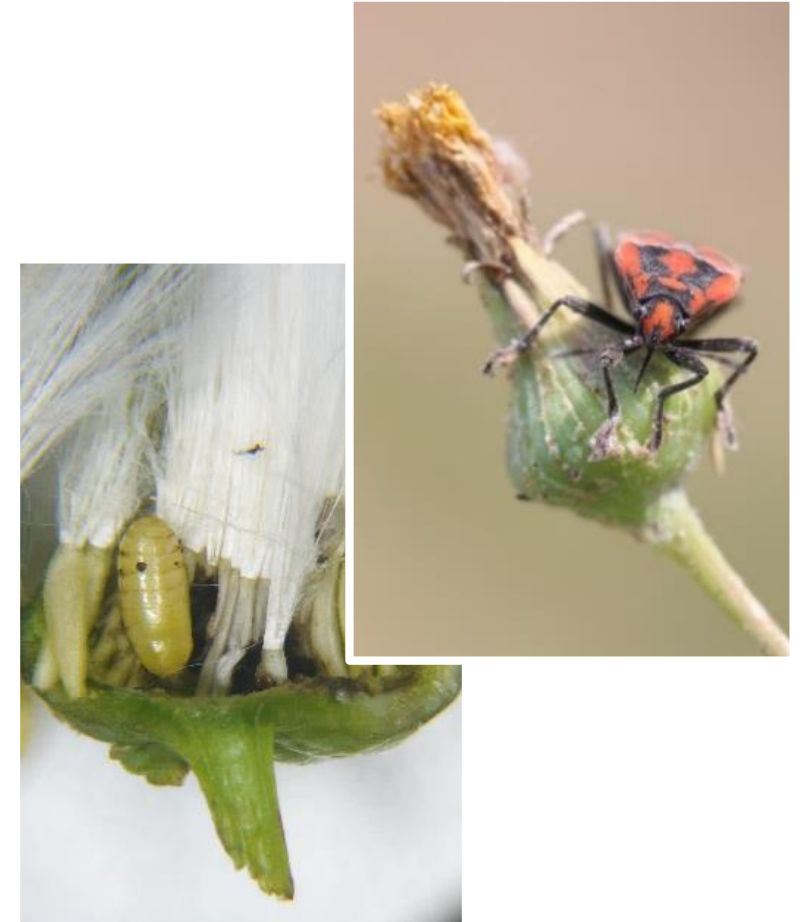
13 Parasitoïdes (Braconidae, Ichneumodinae)



10 Omnivores (Miridae, Lygaeidae)

Caractérisation de comportements alimentaires peu documentés

Connaissances essentielles pour la prédiction des effets indirects



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Conclusion

Détermination de la gamme d'hôte écologique à partir de **plantes qui vivent en sympatrie** avec la cible, **parfois non testées** !

Pour plusieurs agents candidats simultanément -> **agents exemptés de tests** + **agents à étudier, race d'hôtes** ?

Informations utiles à d'autres programmes : *Lactuca serriola*, *Chenopodium album*

Limite majeure : n'inclut pas les espèces indigènes Australiennes

Approche complémentaire aux tests



<http://www.floramyno.com>

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

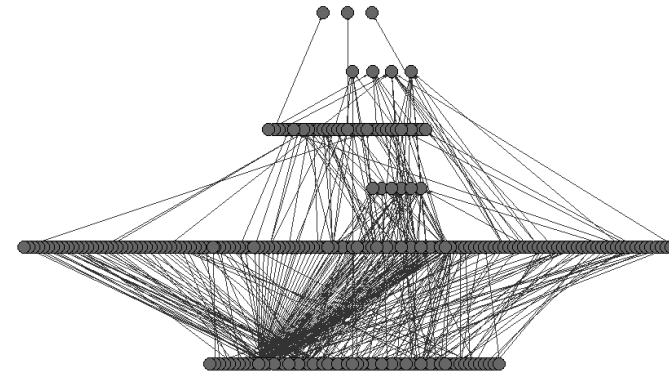
Comparaison France – Australie



Printemps 2018
 $n(Q) = 42$



Printemps 2018
 $n(Q) = 57$

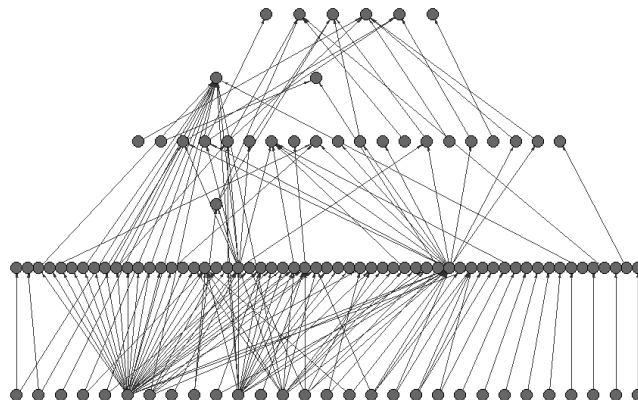


Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Comparaison France – Australie



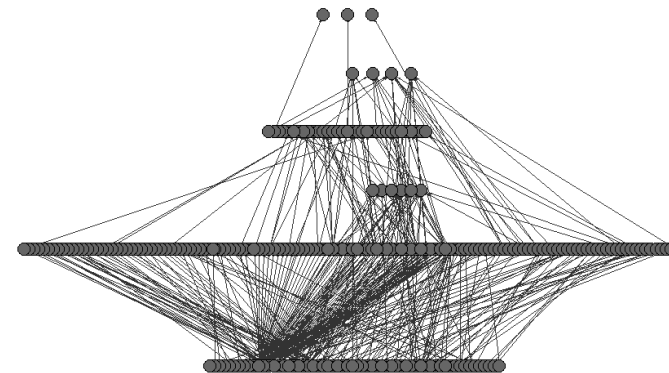
Printemps 2018
 $n(Q) = 42$



	AUS	FR
<i>Noeuds</i>	115	241
<i>Liens</i>	159	350
<i>Densité de liens</i>	1,38	1,45
<i>Connectance</i>	0,012	0,006



Printemps 2018
 $n(Q) = 57$

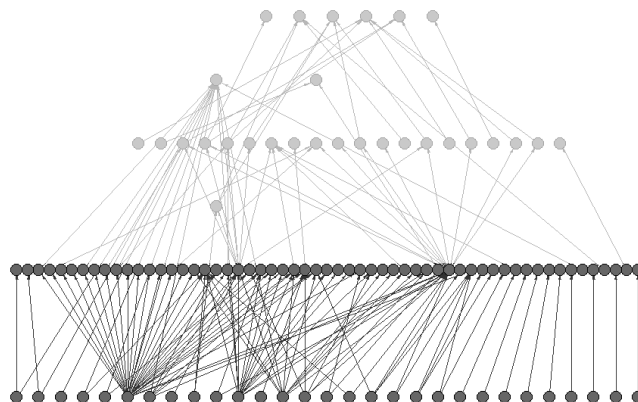


Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Comparaison France – Australie



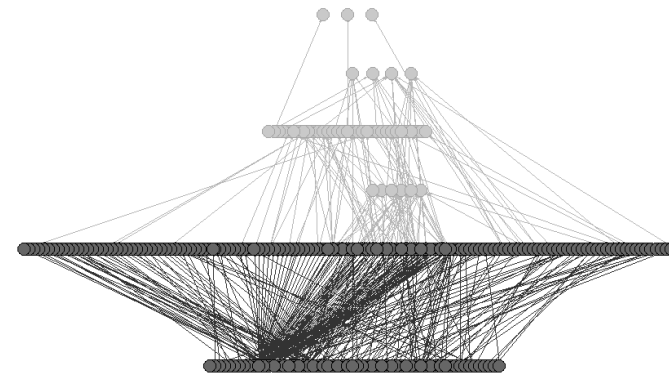
Printemps 2018
 $n(Q) = 42$



	AUS	FR
<i>Plantes exploitées</i>	29/93	60/132
%	31,2	45,5
$V_{(plantes)}$	14,25	17,82



Printemps 2018
 $n(Q) = 57$



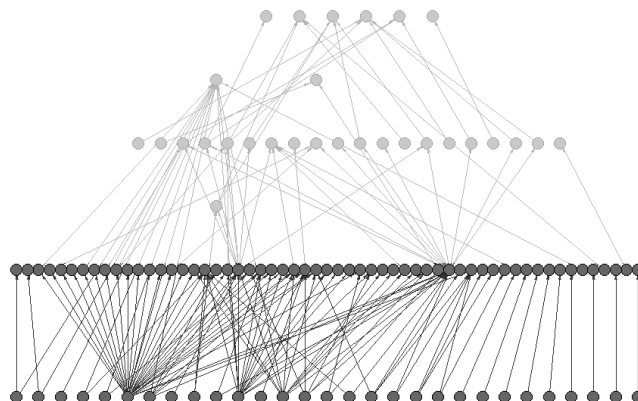
Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Comparaison France – Australie



Printemps 2018
n(Q) = 42

1 seule esp.
Native AUS



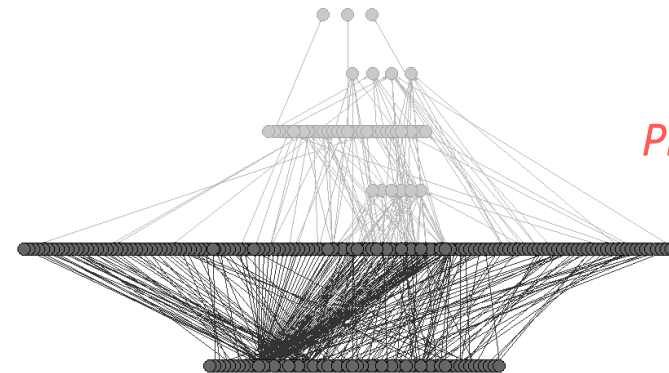
	AUS	FR
Plantes exploitées	29/93	60/132
%	31,2	45,5
$V_{(plantes)}$	14,25	17,82

Heleno et al. 2013



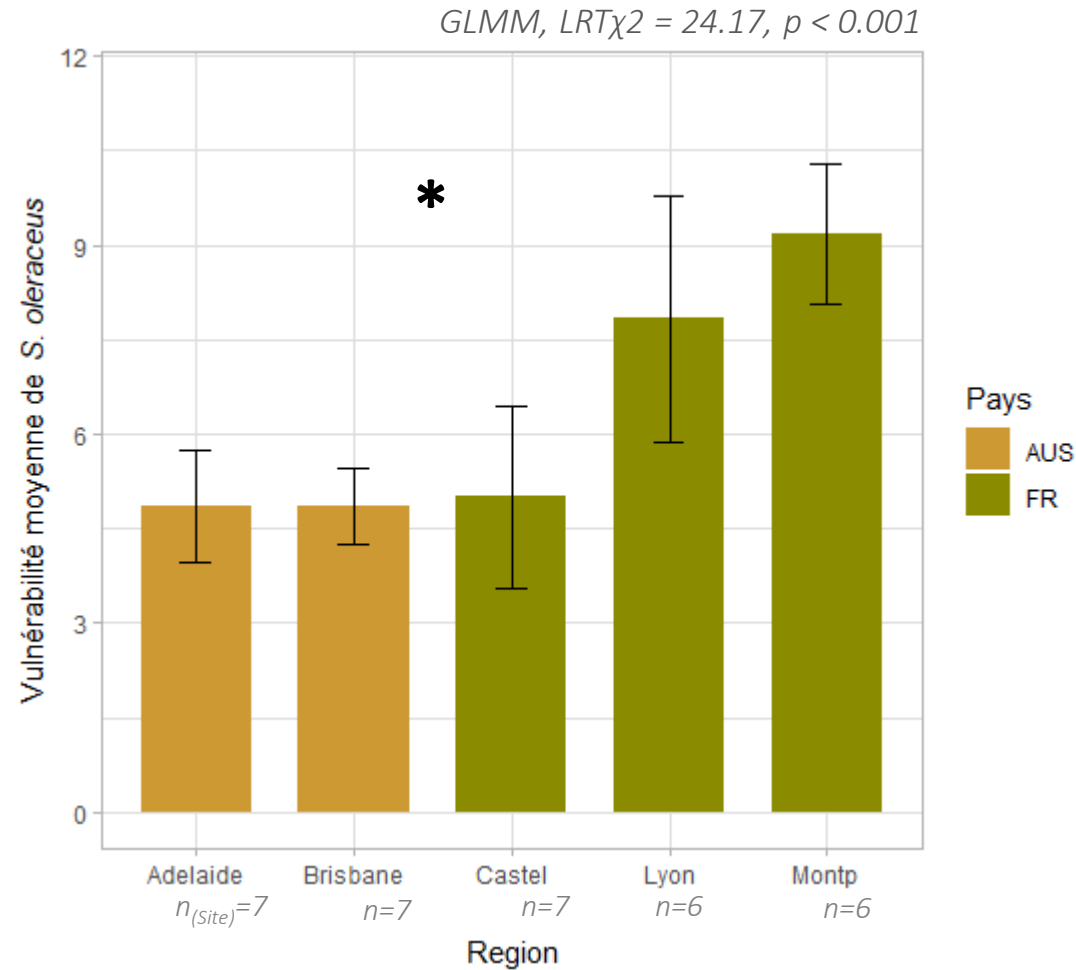
Printemps 2018
n(Q) = 57

Pression d'herbivorie
sup. en FR



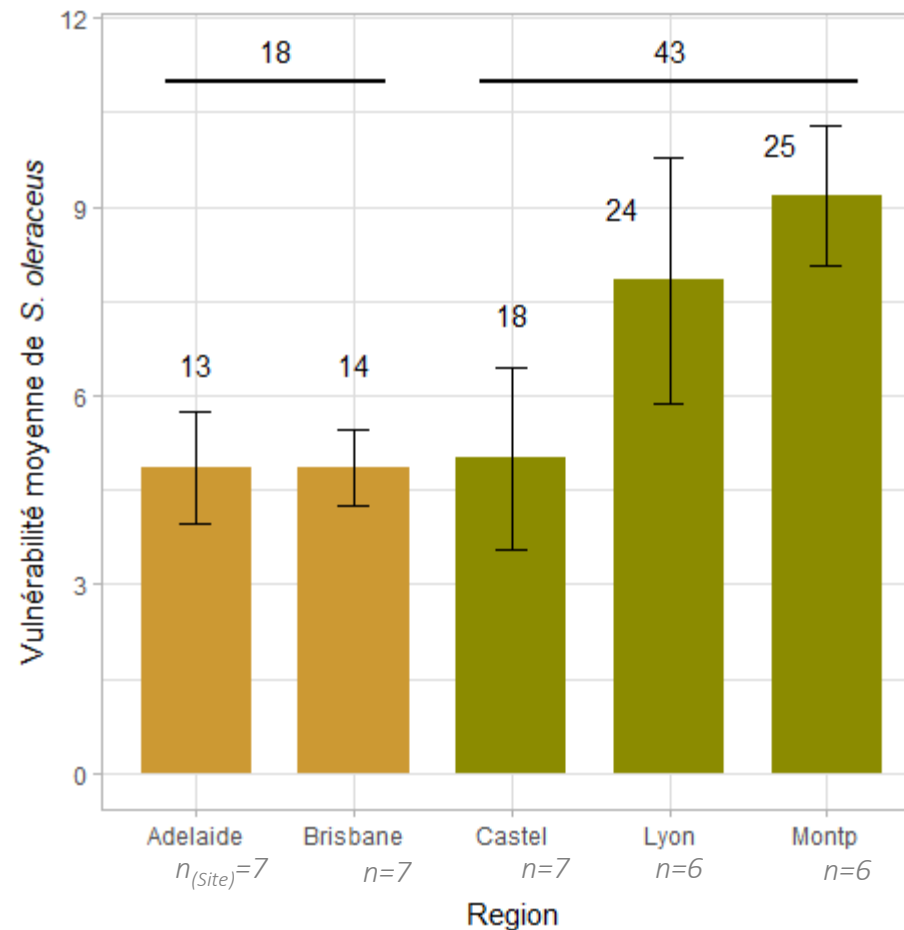
Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Comparaison France – Australie



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Comparaison France – Australie



Pays
AUS
FR



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Comparaison France – Australie



Contarinia jongi (Diptera, Cecidomyiidae)

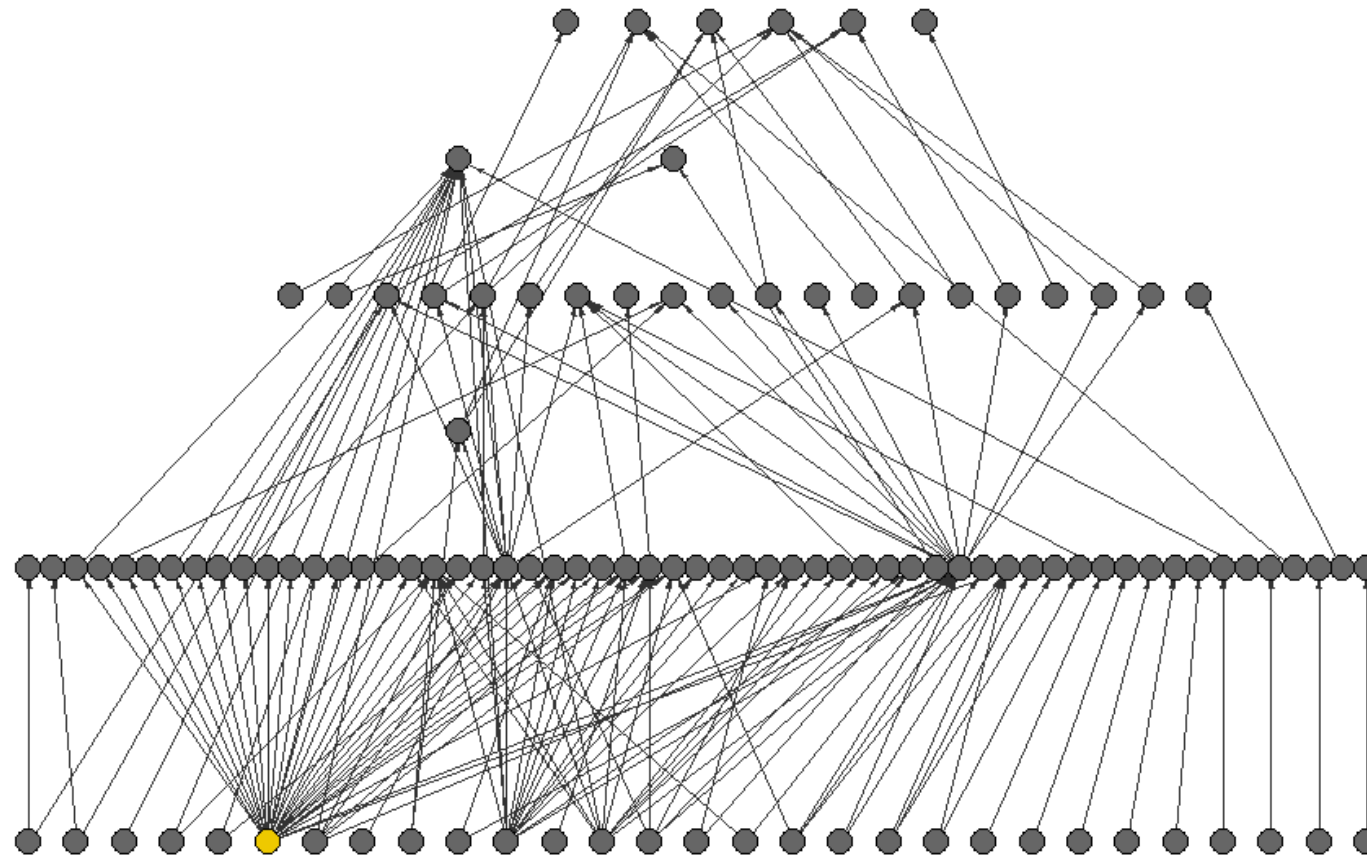
Nouvelle interaction inattendue

Espèce associée à *Alstromeria* sp.



Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

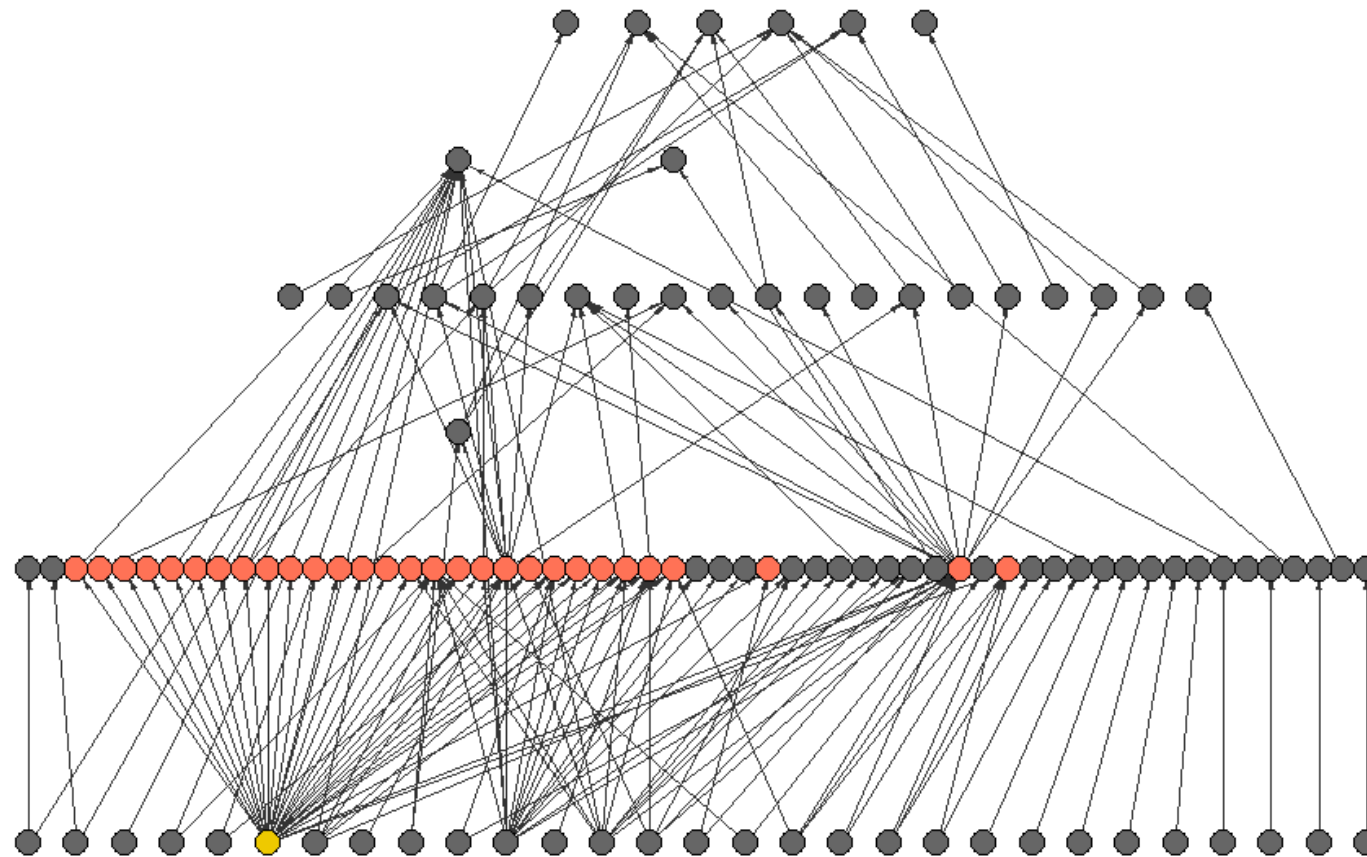
Lutte biologique contre *S. oleraceus*
Possible **effet cascade** sur la communauté



Printemps 2018

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

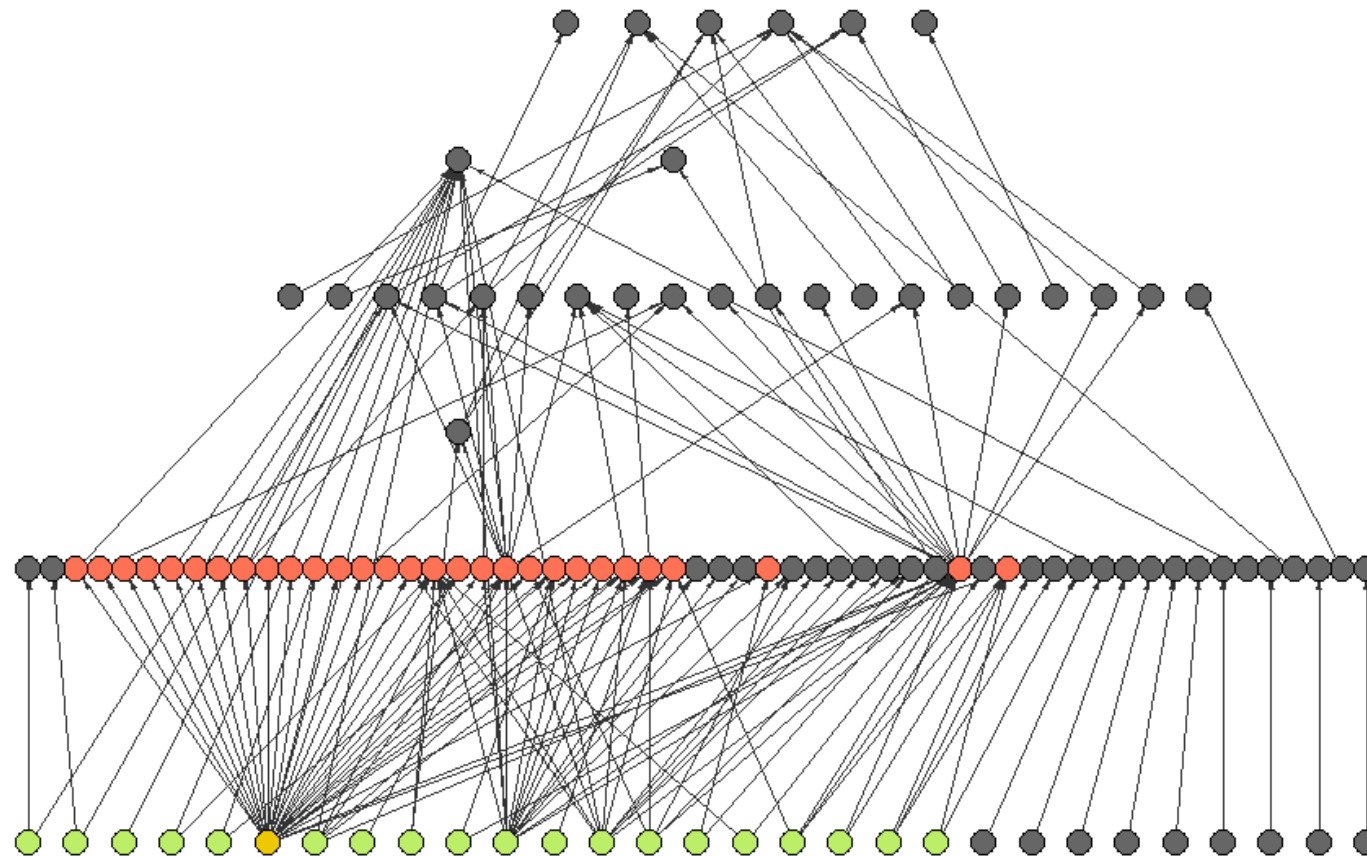
Lutte biologique contre *S. oleraceus*
Possible **effet cascade** sur la communauté



Printemps 2018

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

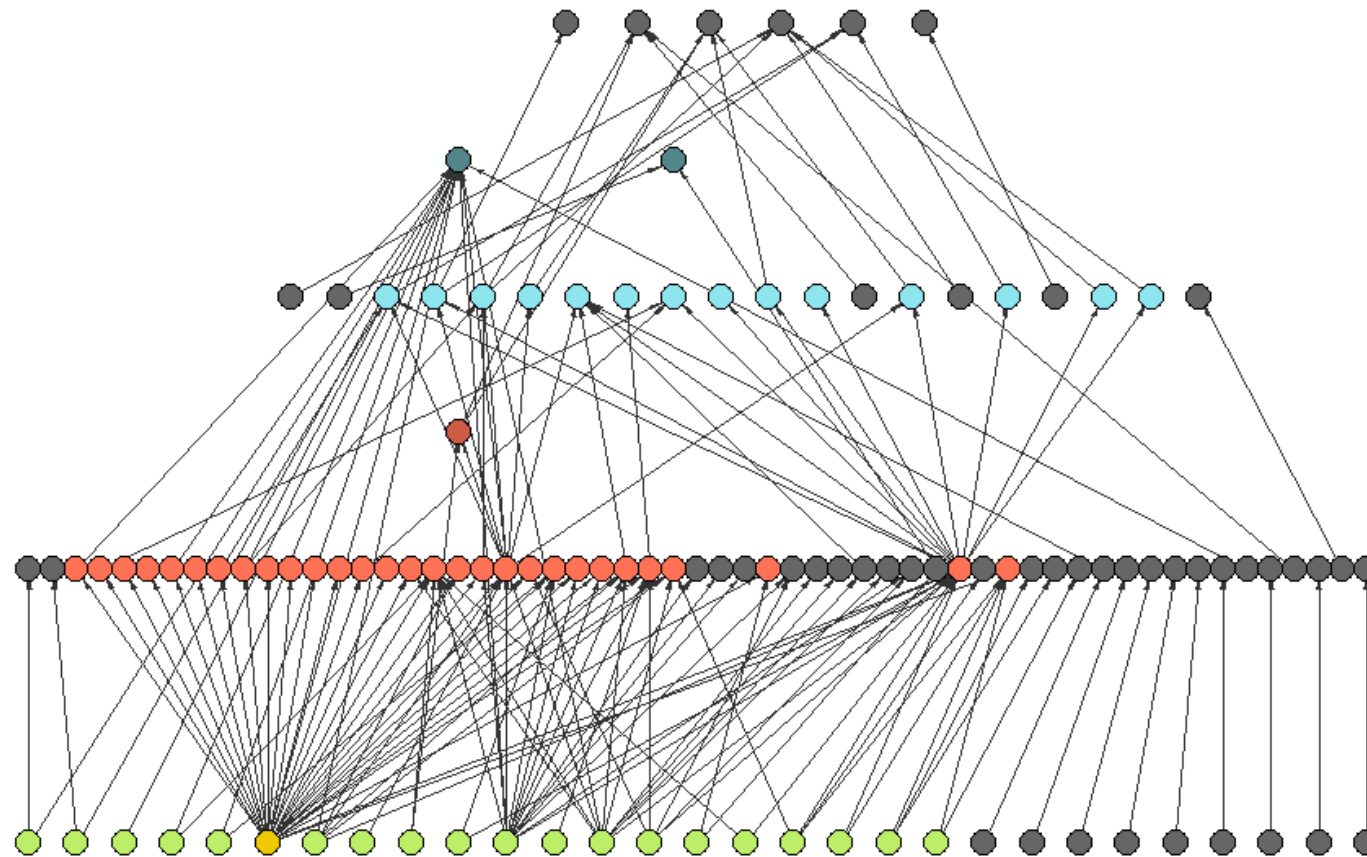
Lutte biologique contre *S. oleraceus*
Possible **effet cascade** sur la communauté



Printemps 2018

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

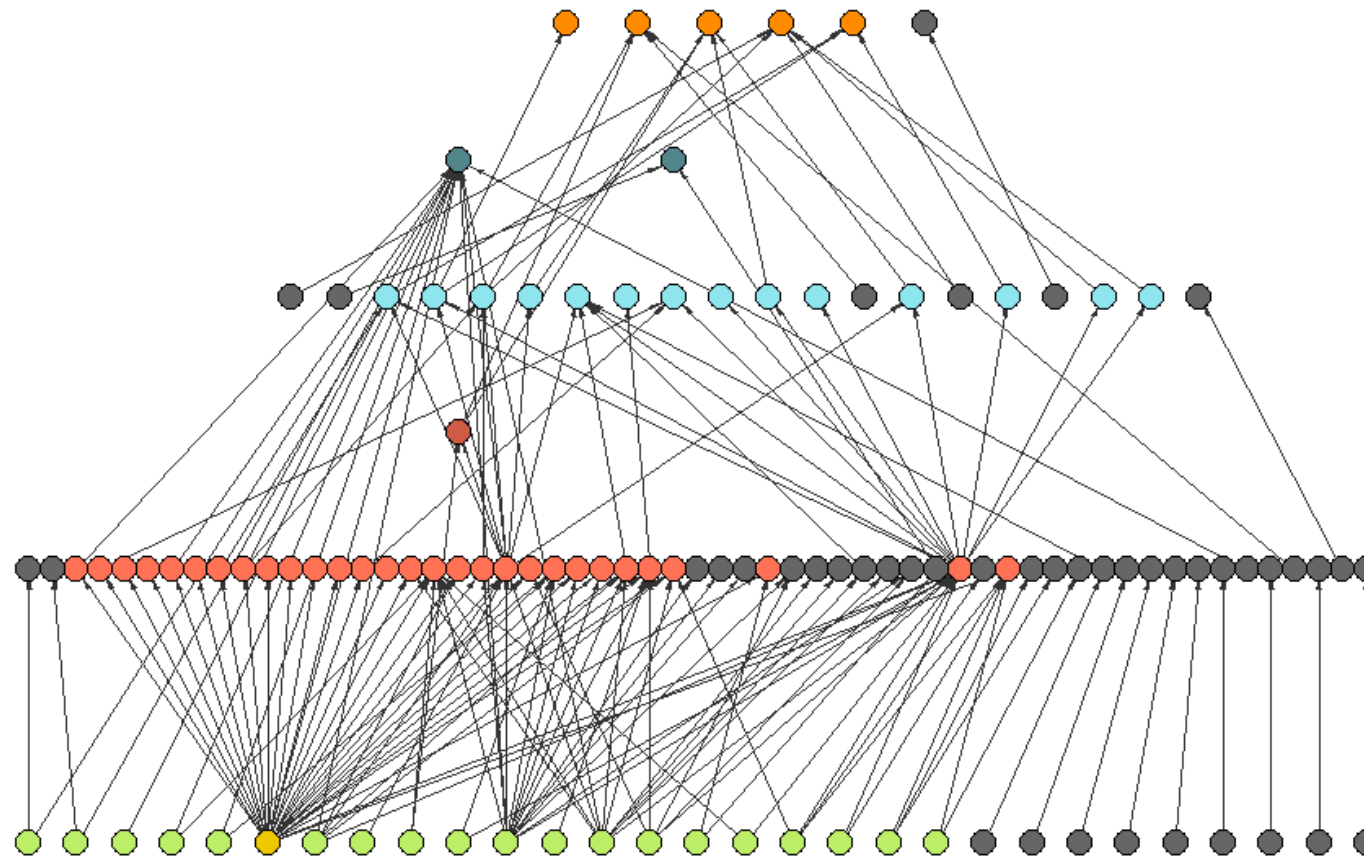
Lutte biologique contre *S. oleraceus*
Possible **effet cascade** sur la communauté



Printemps 2018

Metabarcoding et réseaux d'interactions en lutte biologique par introduction

Lutte biologique contre *S. oleraceus*
Possible **effet cascade** sur la communauté



Printemps 2018

Lutte biologique contre *Sonchus oleraceus* et au-delà...

Une gestion multi-approches

Lutte biologique complexe à développer chez *S. oleraceus* ?

Les pratiques agricoles -> offre une autre alternative de gestion

Widderick & Meulen 2019, Mobli *et al.* 2019



Lutte biologique contre *Sonchus oleraceus* et au-delà...

Une gestion multi-approches

Lutte biologique complexe à développer chez *S. oleraceus* ?
Les pratiques agricoles -> offre une autre alternative de gestion

Widderick & Meulen 2019, Mobli *et al.* 2019

Exploration des réseaux : une étape à intégrer au processus de lutte biologique

Tenir compte des impacts indirects au même titre que les impacts directs
Peut être réalisée en amont des tests (épargne temps et argent)
Applicable à la lutte biologique contre les ravageurs

Henneman & Memmott 2001, Looda *et al.* 2003



Lutte biologique contre *Sonchus oleraceus* et au-delà...

Une gestion multi-approches

Lutte biologique complexe à développer chez *S. oleraceus* ?
Les pratiques agricoles -> offre une autre alternative de gestion

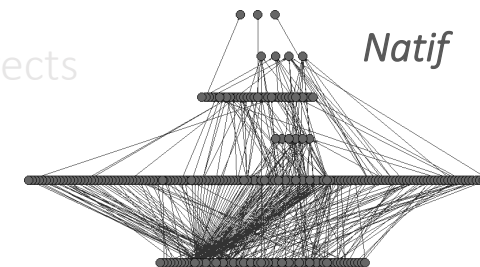
Widderick & Meulen 2019, Mobli *et al.* 2019



Exploration des réseaux : une étape à intégrer au processus de lutte biologique

Tenir compte des impacts indirects au même titre que les impacts directs
Peut être réalisée en amont des tests (épargne temps et argent)
Applicable à la lutte biologique contre les ravageurs

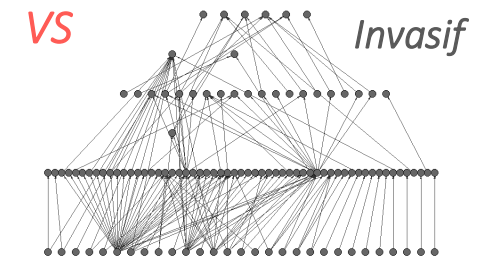
Henneman & Memmott 2001, Looda *et al.* 2003



Opportunité pour étudier les perturbations provoquées par espèces invasives/introduites

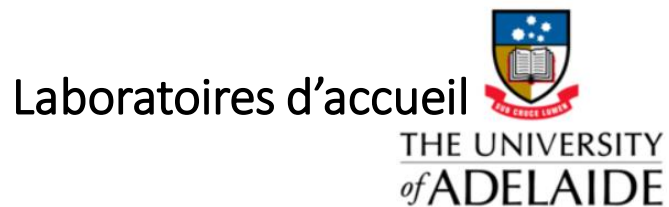
Pouvoir prédictif des réseaux d'interaction
... et 10 ans après l'introduction ?

Veldtman *et al* 2011, Frost *et al* 2019



Remerciements

Plateau BM
Entomologistes
Collectif zéro déchet
Doctorants et post-doctorants



Equipe *Sonchus* France-Australie





Lutte biologique par introduction contre *Sonchus oleraceus* (Asteraceae)

Une approche intégrative pour questionner le processus d'invasion et contribuer à la sélection des agents de lutte via l'analyse des réseaux écologiques

Présenté par Mélodie Ollivier

Sous la direction de Marie Stéphane Tixier et Jean François Martin

