

Réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: contraintes et difficultés liées à l'acquisition de données sur le terrain

**Atelier "Interactions entre plantes et pollinisateurs :
réseaux, dynamique, évolution et modélisation"**

**5-7 décembre 2012
Université Lille 1**



*Isabelle Dajoz
Floriane Flacher
Benoît Geslin
Xavier Raynaud*

UMR CNRS 7618 BIOEMCO

La pollinisation

Une interaction entre plantes et agents pollinisateurs



- Permet la reproduction des plantes supérieures
- **Grande diversité** d'organismes impliqués
- Les pollinisateurs **viennent se nourrir** dans les fleurs (***pollen, nectar***)



La pollinisation: *Un service écosystémique majeur*

- ✓ *Pollinisation des communautés naturelles*
- ✓ *Pollinisation des plantes cultivées*
- ✓ *Production de nourriture*



Pollinisation et production alimentaire mondiale

Une importance considérable (i)



- Chez 75% des plantes cultivées: la récolte dépend de la pollinisation
- ✓ *Fruits, légumes...*
- ✓ *Cultures d'intérêt économique (café, cacao, oléagineux, épices...)*
- ✓ *Semences*

Estimation de la valeur économique
de la pollinisation pour la
production alimentaire humaine:
153.10⁹ €

(9.5% de la valeur commerciale de
la production alimentaire mondiale
destinée à l'alimentation humaine)

Gallai et al., 2008, Ecological Economics

Pollinisation et production alimentaire mondiale

Une importance considérable (ii)



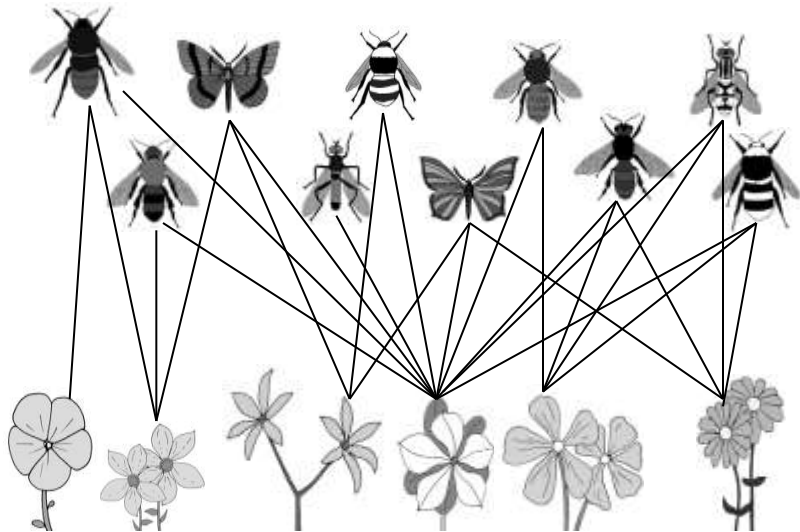
AVEC ABEILLES

SANS ABEILLES

La pollinisation

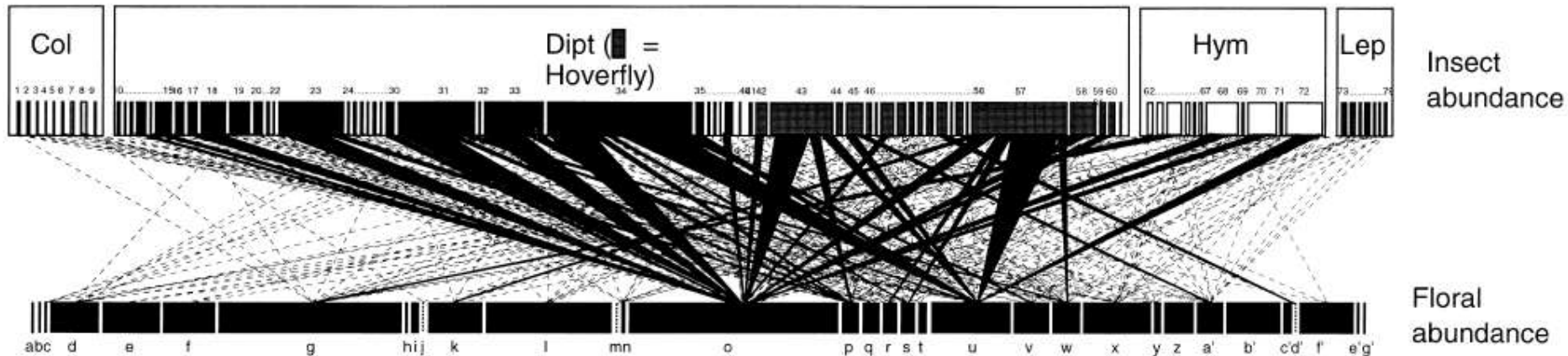
Une interaction entre plantes et agents pollinisateurs qui implique une grande diversité d'espèces

- Chez >70% plantes supérieures l'agent pollinisateur est un animal
- Les interactions plantes-pollinisateurs forment des **réseaux complexes**



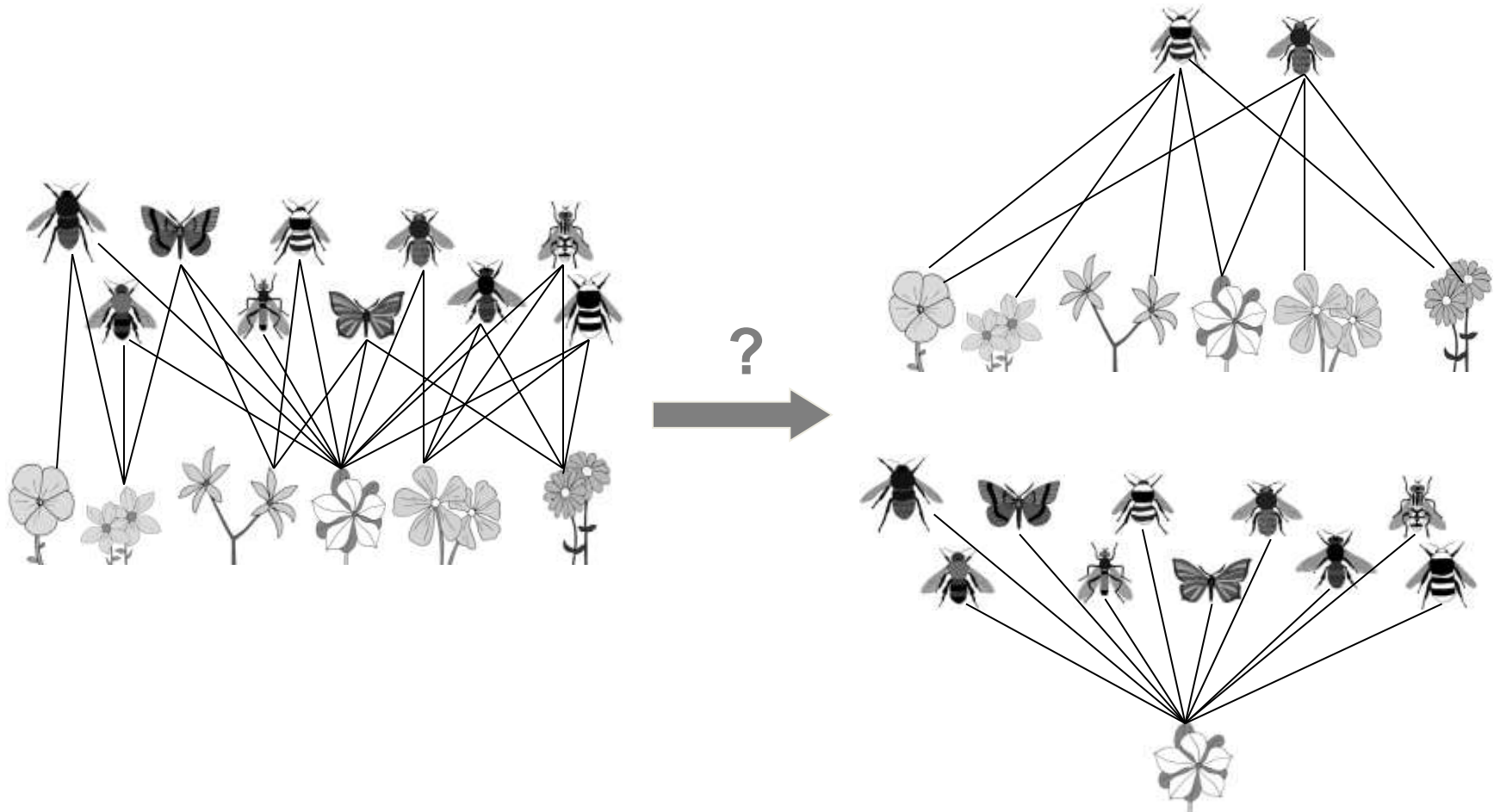
Les réseaux plantes-pollinisateurs: *Quelle structure ?*

- Des réseaux très **complexes**...et de **multiples sources** de variation potentielle ...
- **Exemple**: réseau observé pendant 1 mois dans une prairie en Angleterre; 26 sp. de plantes, 79 sp. de pollinisateurs



Le contexte: *crise de la biodiversité*

Perte d'espèces = perte d'interactions



La pollinisation: un service écologique en danger?

➤ Depuis quelques décennies: **déclin des pollinisateurs et de la flore sauvage**

- Diminution d'abondance des pollinisateurs
- Effondrement des ruches d'Abeilles domestiques
- Disparition de la flore associée

➤ Des **causes multiples de ce déclin:**

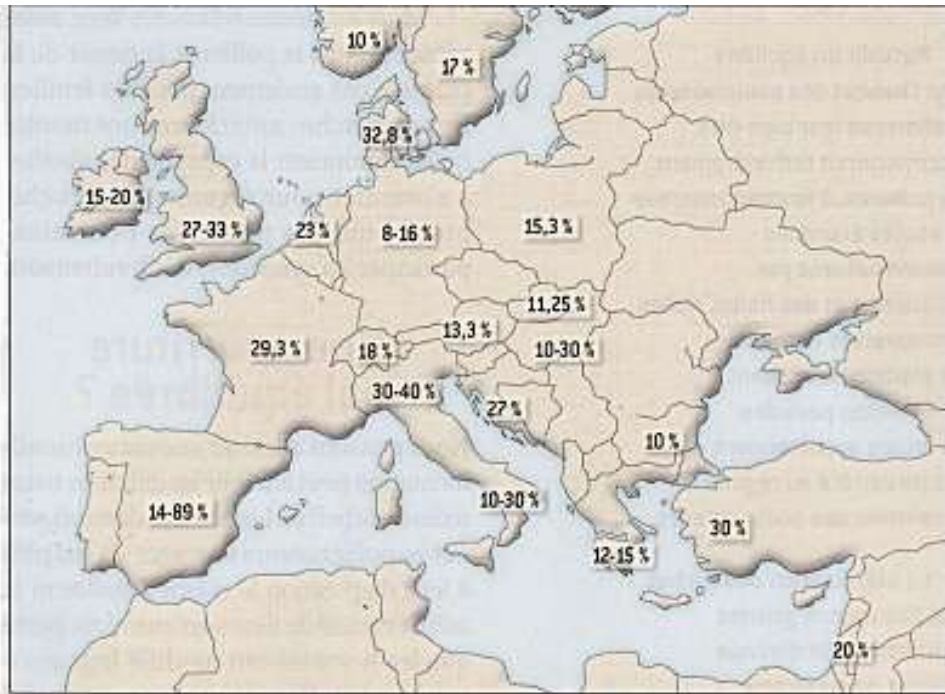
- Augmentation des intrants (*pesticides, fongicides etc...*)
- Urbanisation, homogénéisation et anthropisation des milieux



ALARM



La raréfaction des pollinisateurs : *un état des lieux relativement précis pour l'Abeille domestique*



MORTALITÉS DES COLONIES D'ABEILLES en 2007 et 2008 (pour l'Allemagne, l'Espagne, la Grèce, Israël et le Royaume-Uni, ces estimations ont été calculées respectivement entre 2004 et 2008, 2006 et 2007, 2006 et 2008, en 2008 et durant l'hiver 2008).

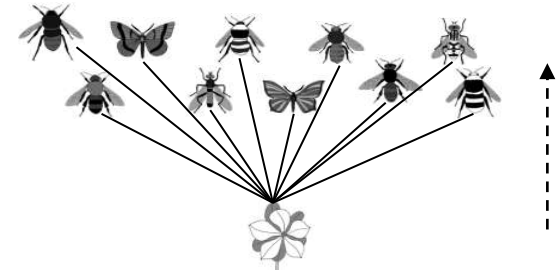


Arrêtons le massacre !

- Une vision très centrée sur l'Abeille domestique
- Quid de la faune sauvage?

Crise de la pollinisation: (i) Quelles mesures de réhabilitation ?

1. Action sur les communautés végétales



- Introductions d'espèces de plantes *Jachères fleuries*



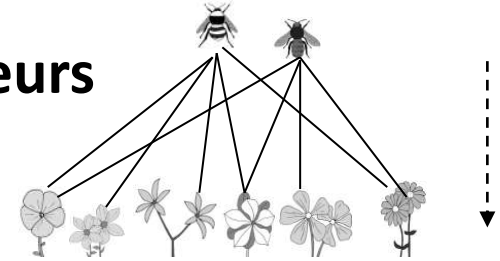
- Le fleurissement du bord des routes:
une action du Ministère de l'Écologie



→ Quel impact de ces introductions de communautés fleuries

- sur la flore indigène sauvage?
- sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs ?

2. Action sur les communautés de pollinisateurs

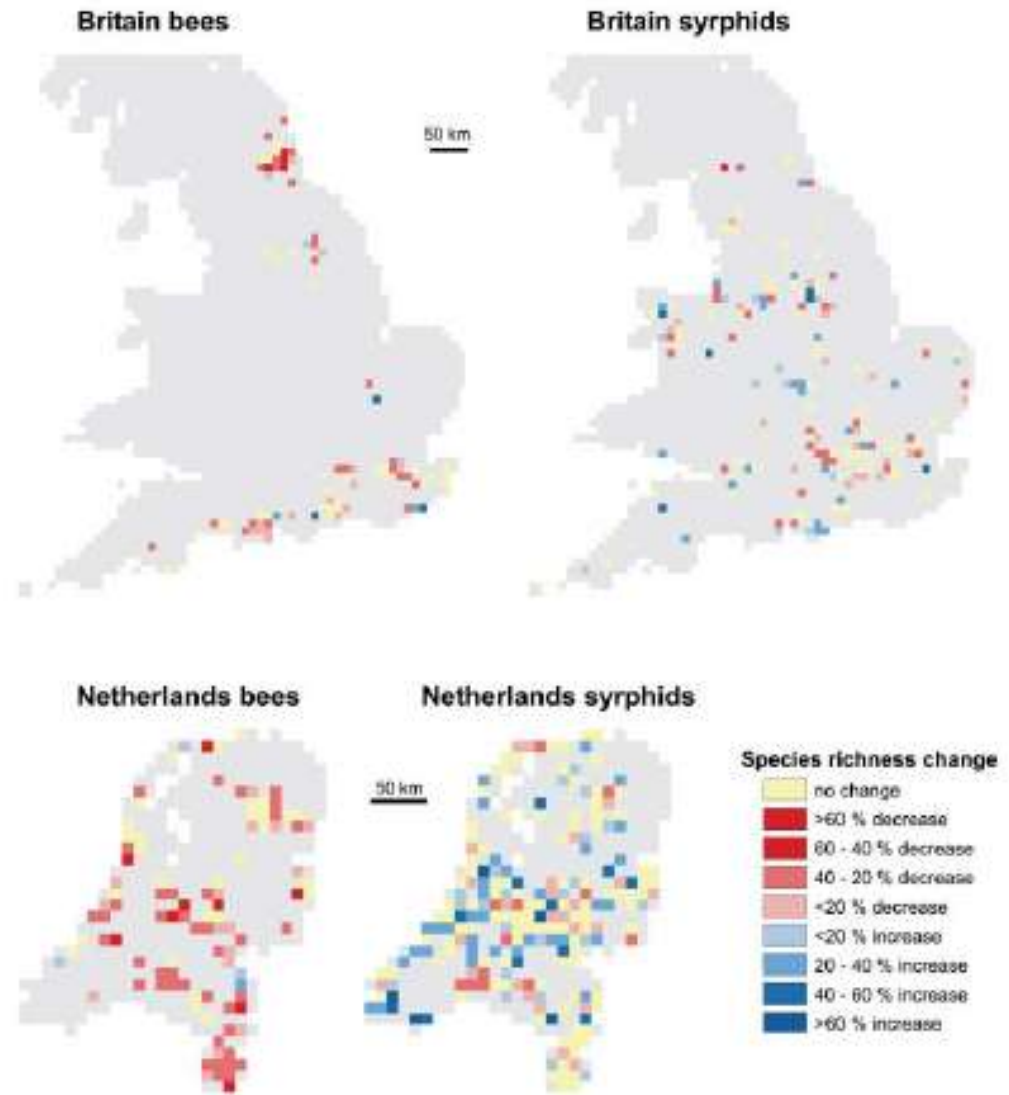


- Introductions d'Abeilles domestiques *notamment dans biotopes urbains et périurbains*
- Quel impact de ces introductions et de l'anthropisation des milieux
 - sur la faune pollinisatrice sauvage?
 - sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs ?



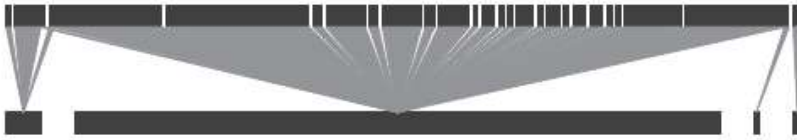
Perte de diversité des pollinisateurs et fonctionnement des réseaux de pollinisation: *Une relation de cause à effet ?*

- Comparaison de l'abondance avant/après 1980 des:
 - ✓ *Abeilles sociales et solitaires*
 - ✓ *Syrphidés*
- Déclin associé à celui du nombre d'espèces de plantes pollinisées par ces insectes...
- ***A démontrer !***



En effet: Forte variabilité temporelle des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs (i)

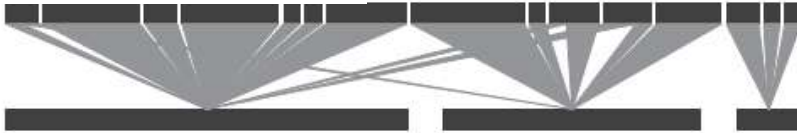
Stade 1: 5-15 ans



Stade 2: 16-45 ans



Stade 3: 46-75 ans



Stade 4: 75-120 ans



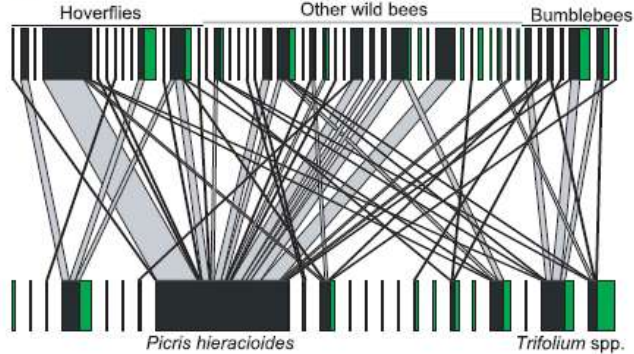
Stade 5: 135-200+ans



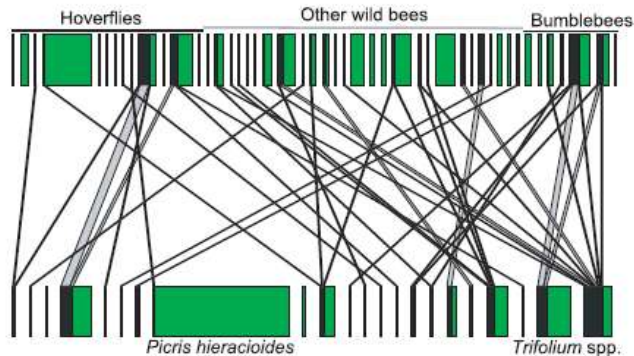
- Succession écologique dans une forêt de Pins en Ecosse: fortes modifications de la structure du réseau plantes-pollinisateurs

En effet: Forte variabilité temporelle des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs (ii)

(a) Interactions before 1 p.m.



(c) Interactions after 1 p.m.



Réseau du matin



Réseau de midi

Un réseau qui change sur un ***pas de temps horaire*** !
L'horloge florale de Linné : basée sur les heures
d'ouverture-fermeture des fleurs de différentes espèces



En effet: Forte variabilité temporelle des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs (iii)

Stade 1: 5-15 ans



Stade 2: 16-45 ans



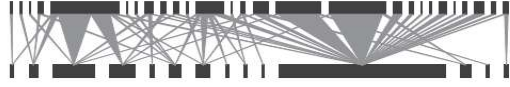
Stade 3: 46-75 ans



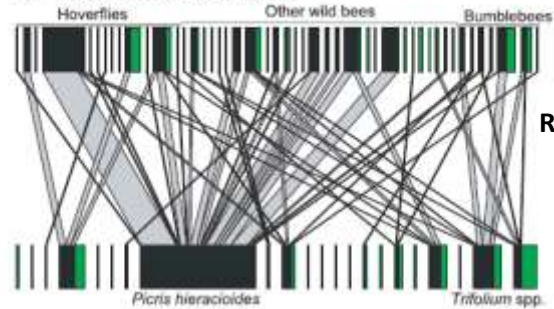
Stade 4: 75-120 ans



Stade 5: 135-200+ans

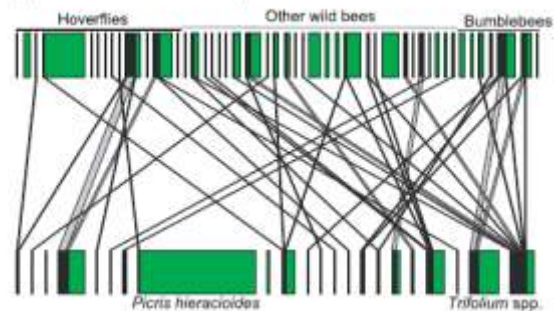


(a) Interactions before 1 p.m.



Réseau du matin

(c) Interactions after 1 p.m.



Réseau de midi

Des réseaux qui changent sur un pas de temps

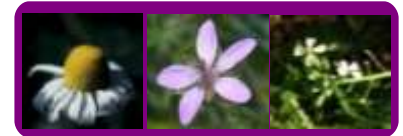
- annuel
- mensuel
- journalier

→ Quelle(s) solution(s) pour étudier les réseaux plantes-pollinisateurs ?

Une solution: *Contrôler la composition/densité de la faune pollinisatrice et de la communauté de plantes*

Manipulation de la diversité fonctionnelle des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs

- **Plantes:** accessibilité des ressources (pollen & nectar)

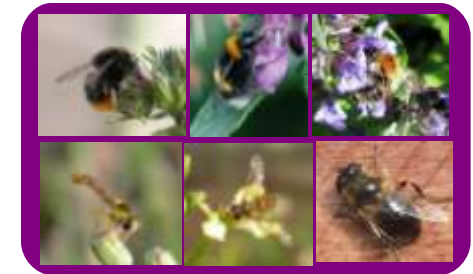


Facile (fleurs en assiette)

Difficile (fleurs en tube)



- **Pollinisateurs:** taille des pièces buccales



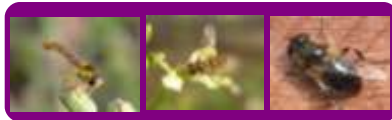
Courtes (Diptères Syrphes)

Longues (Bourdons)

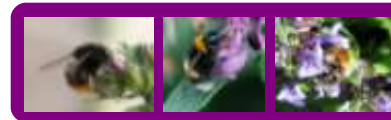


Le protocole expérimental: *traitements de pollinisation*

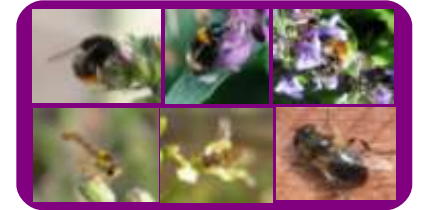
Pièces buccales
courtes



Pièces buccales
longues

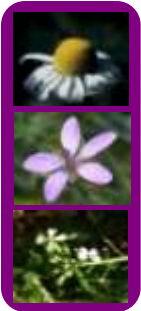


Communauté totale

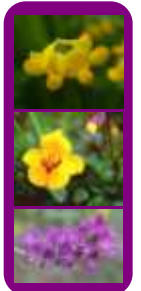


×

Fleurs en
assiette



Fleurs en
tube

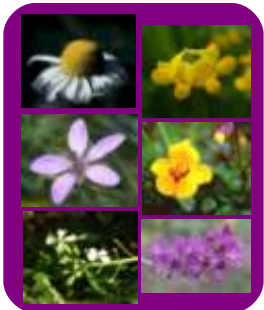


- **Capture** des pollinisateurs sur le site d'étude

- **Contrôle** du nombre d'événements de butinage en tentes (4 rounds de butinage x 300 visites = 1200 visites/traitement)

- Expérience pendant 2 années consécutives => ***devenir des communautés végétales expérimentales***

Communauté
totale



Résultats: (i) Structure des réseaux d'interactions dans les différentes communautés

Effet « identité pollinisateurs » x « identité des plantes » ; $P = 0.004$

Traitement de pollinisation avec un seul groupe fonctionnel

syrphes

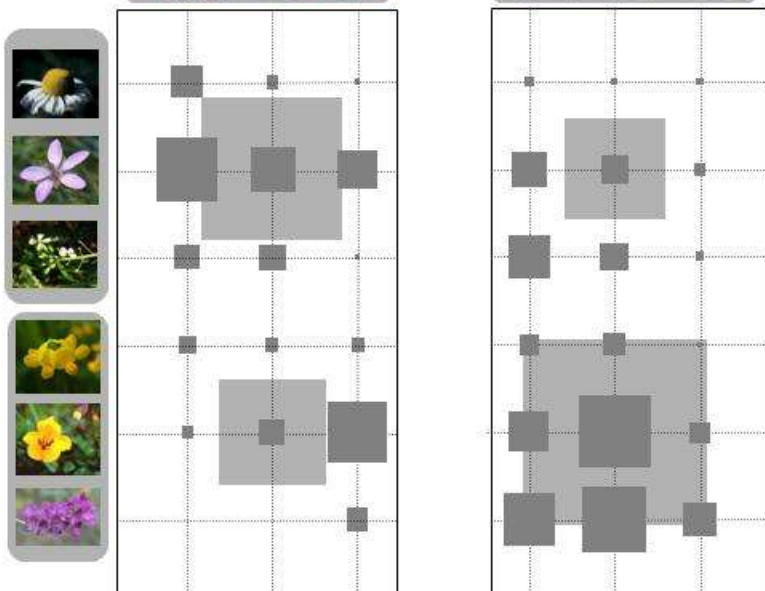


bourdons



assiette

tube



Traitement de pollinisation avec plusieurs groupes fonctionnels

syrphes

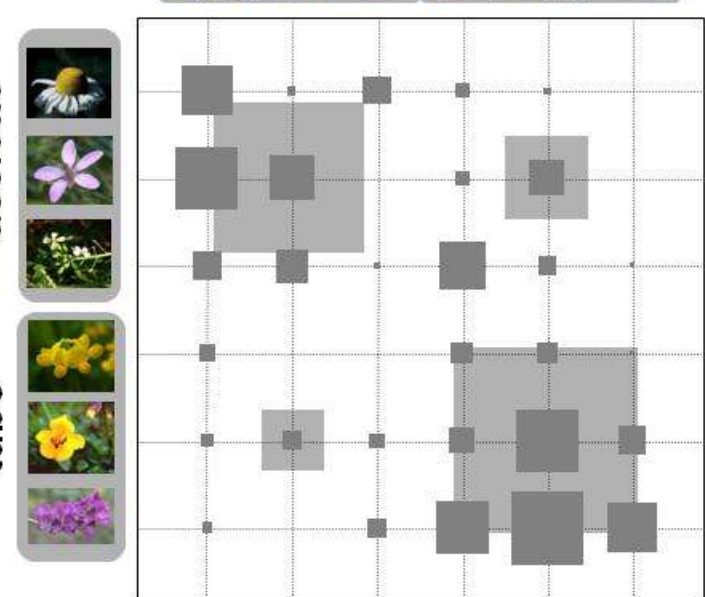


bourdons



assiette

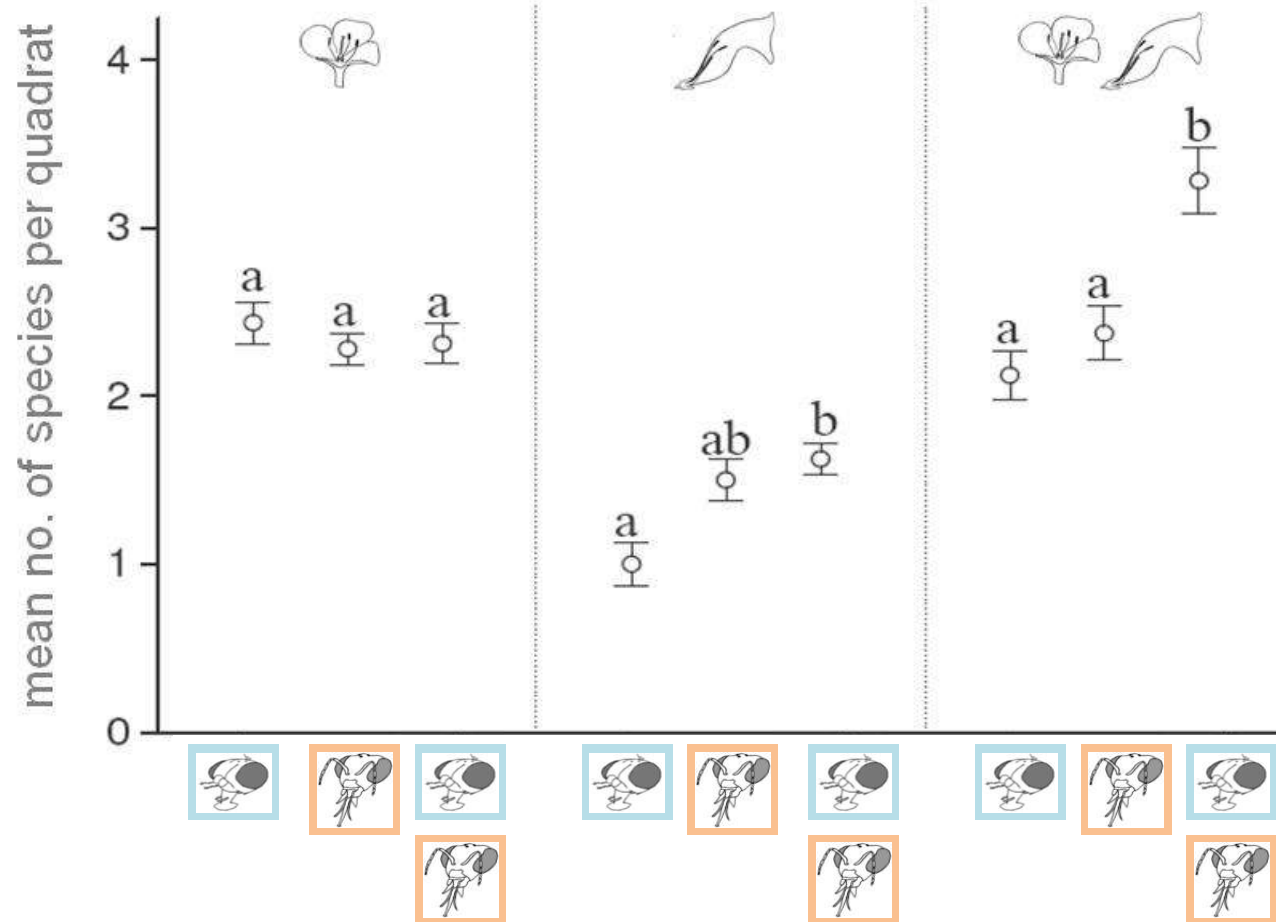
tube



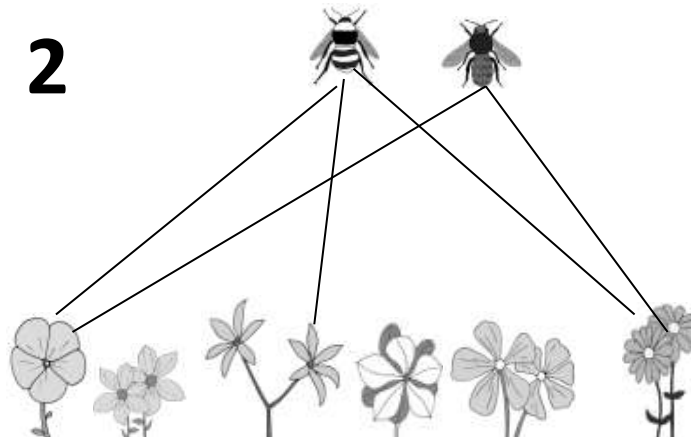
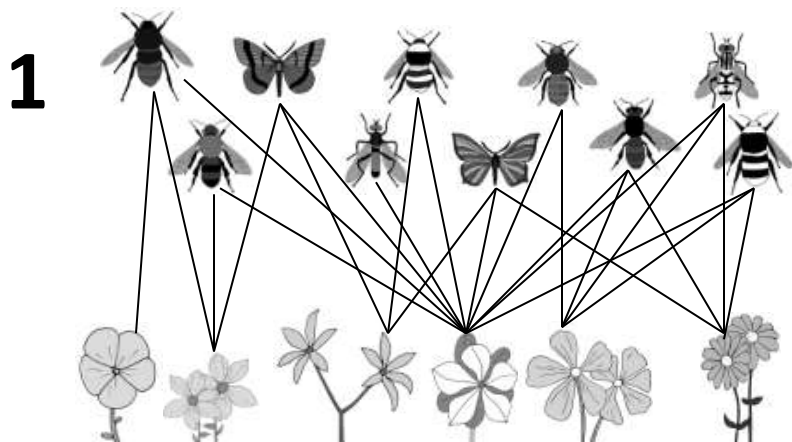
Fontaine et al., 2006, PLOS Biology

Résultats: (ii) Richesse spécifique des communautés recrutées

Effet « traitement de pollinisation » x « communauté de plantes » $P = 0.017$



Manipulation de la diversité fonctionnelle des réseaux plantes-pollinisateurs: *Conclusion*



Problème:

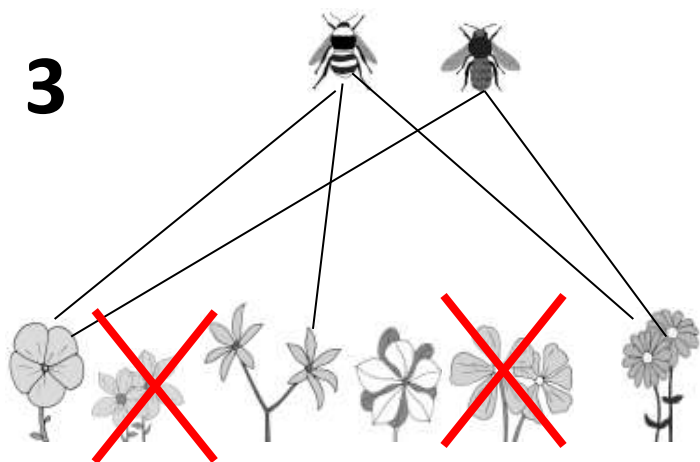
Variabilité temporelle des communautés de plantes et de pollinisateurs

Une solution :

Contrôle des communautés de plantes et de pollinisateurs

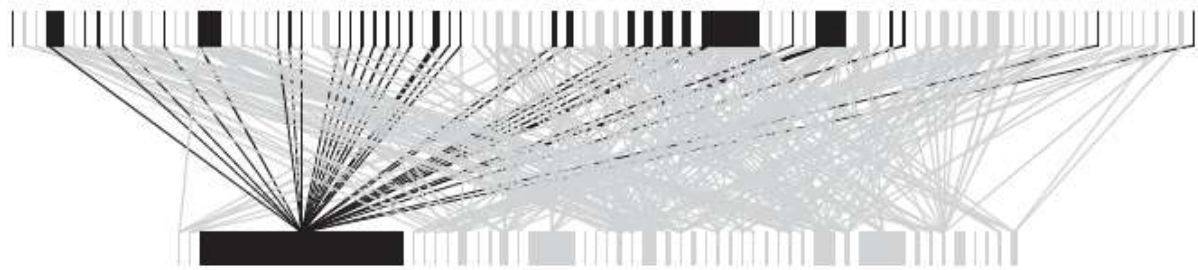
MAIS

Et la variabilité spatiale?

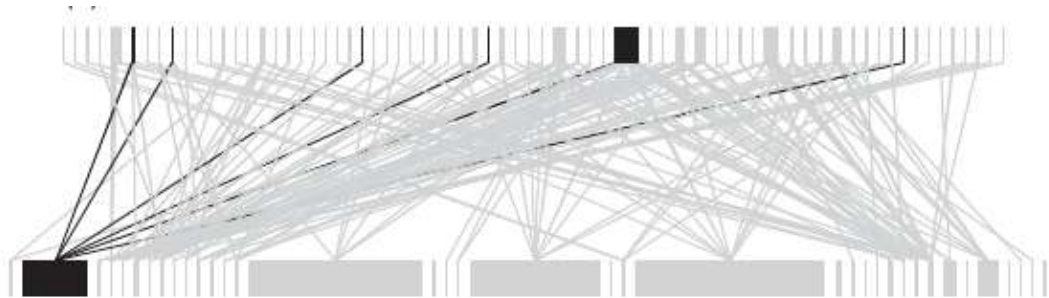


En effet... Comment tenir compte de la variabilité spatiale des communautés d'insectes?

Localité A



Localité B



- Une **même espèce** de plante (*Torilis arvensis*)
- Deux localités distantes **d'environ 10 km**
- Des **réseaux d'interactions très différents**

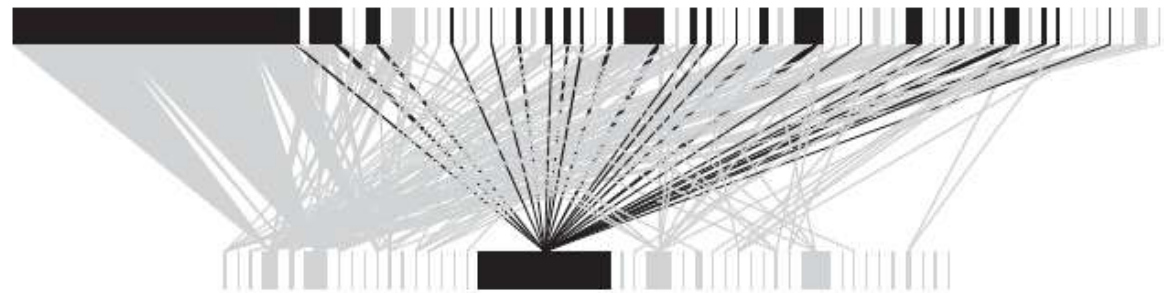


De plus... les réseaux de floricoles et de pollinisateurs effectifs peuvent être très différents

Une **même espèce** de plante (*Galeopsis angustifolia*)



Réseau de visites
de floricoles



Réseau de transporteurs
de pollen



→ **Observer les insectes posés sur les fleurs ne suffit pas pour l'étude du service de pollinisation !**

Des difficultés méthodologiques

Building a plant pollinator network is a daunting but feasible task.

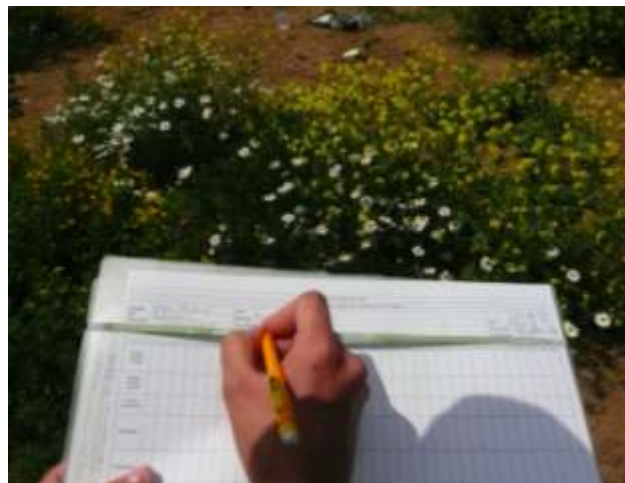
(Waser, 1996; Memmott, 1999)

Des difficultés méthodologiques

Technique	Diversité	Abondance	Réseau Qualitatif	Réseau Quantitatif
Coupelles colorées	+	+	-	-
Postes d'observation	-	+	-	+
Transects	+	-	+	-

**Une solution:
Combiner les méthodes**

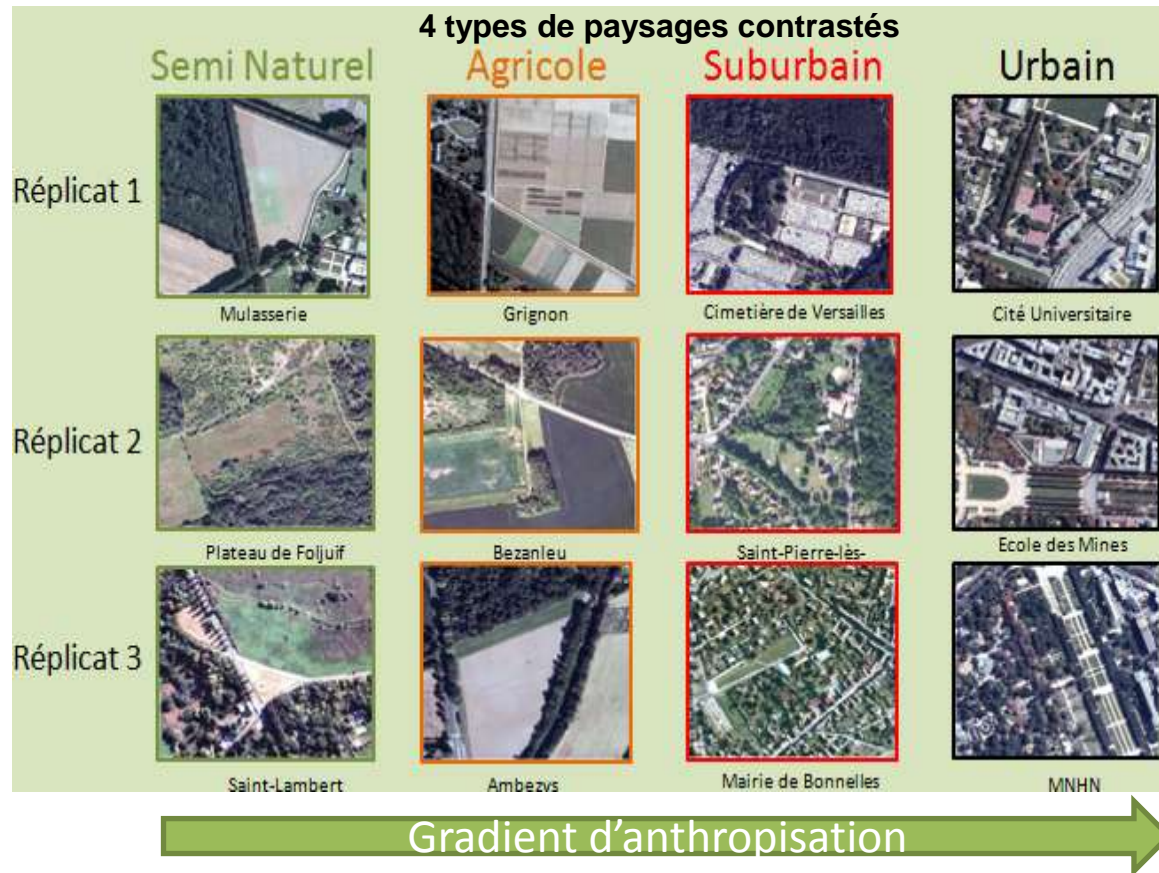
Roulston et al. 2007; Gibson et al. 2011; Nielsen et al. 2011



Une approche de la variabilité spatiale

Quels impacts de l'anthropisation et de la fragmentation des habitats?

Objectif: comprendre l'impact de l'anthropisation et des changements d'usage des terres sur la structure et le fonctionnement des réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs



Rôles respectifs du gradient d'anthropisation et de l'occupation du sol ?



Semi-naturel



Agricole



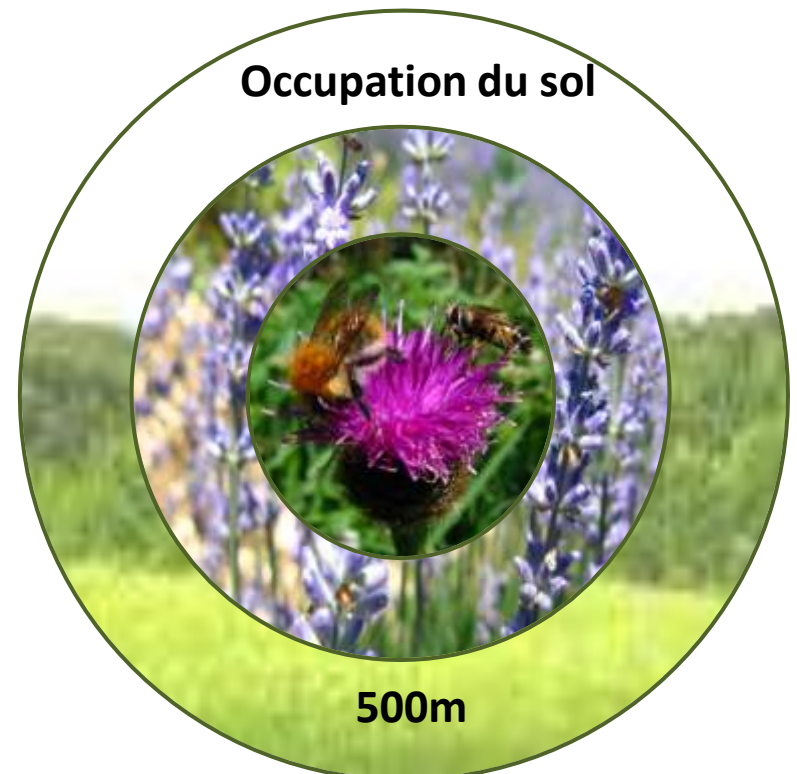
Suburbain



Urbain

Comment varient les communautés de pollinisateurs:

1. Le long du gradient d'anthropisation?
2. En fonction de l'occupation du sol à une échelle de 500m ?

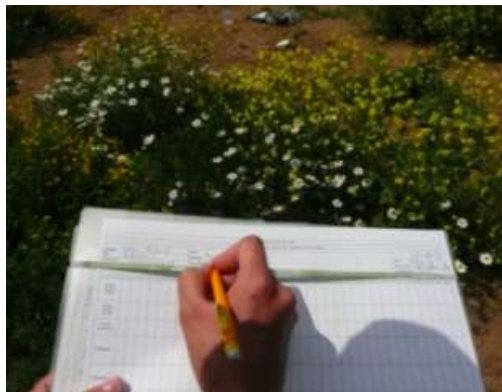


Les communautés de pollinisateurs: matériel et méthodes (i)

6 sessions d'échantillonnage minimum par site, d'Avril à Juillet 2011.



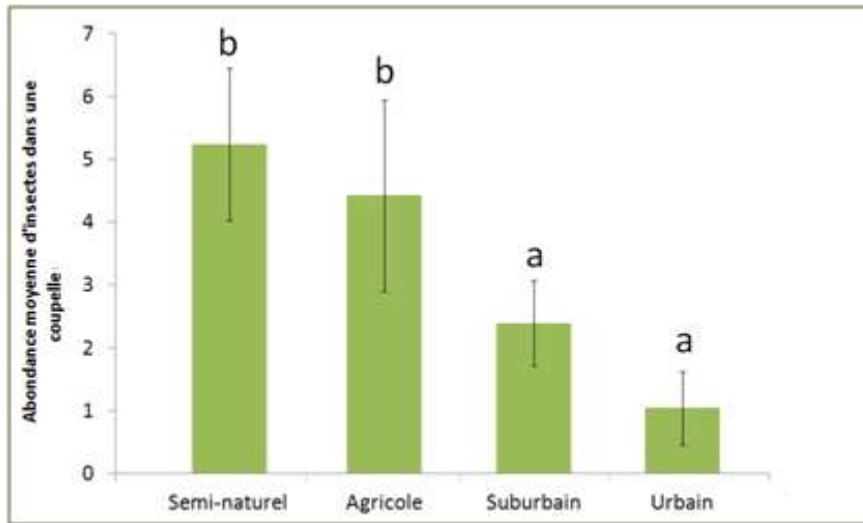
Couppes colorées
placées 24H sur les
parcelles
expérimentales



Sessions d'observation
sur les parcelles
expérimentales

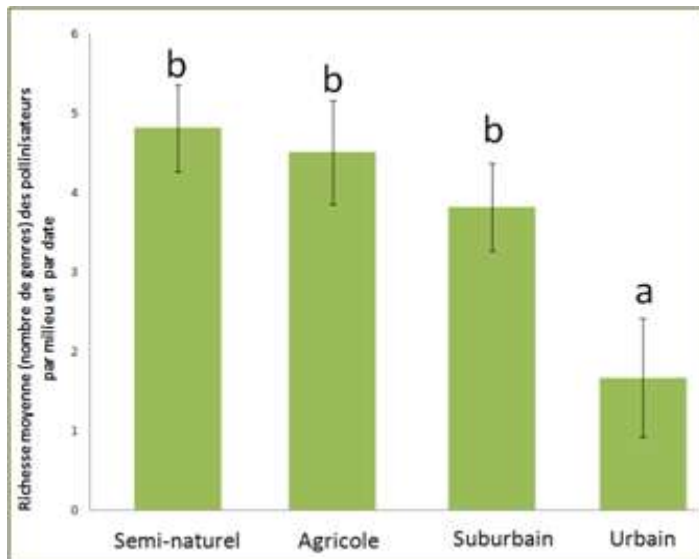
→ **Combinaison des méthodes**

Impact du gradient d'anthropisation sur les communautés de pollinisateurs: résultats (i)



Abondance de pollinisateurs

→ Significativement **plus faible** en milieux urbanisés



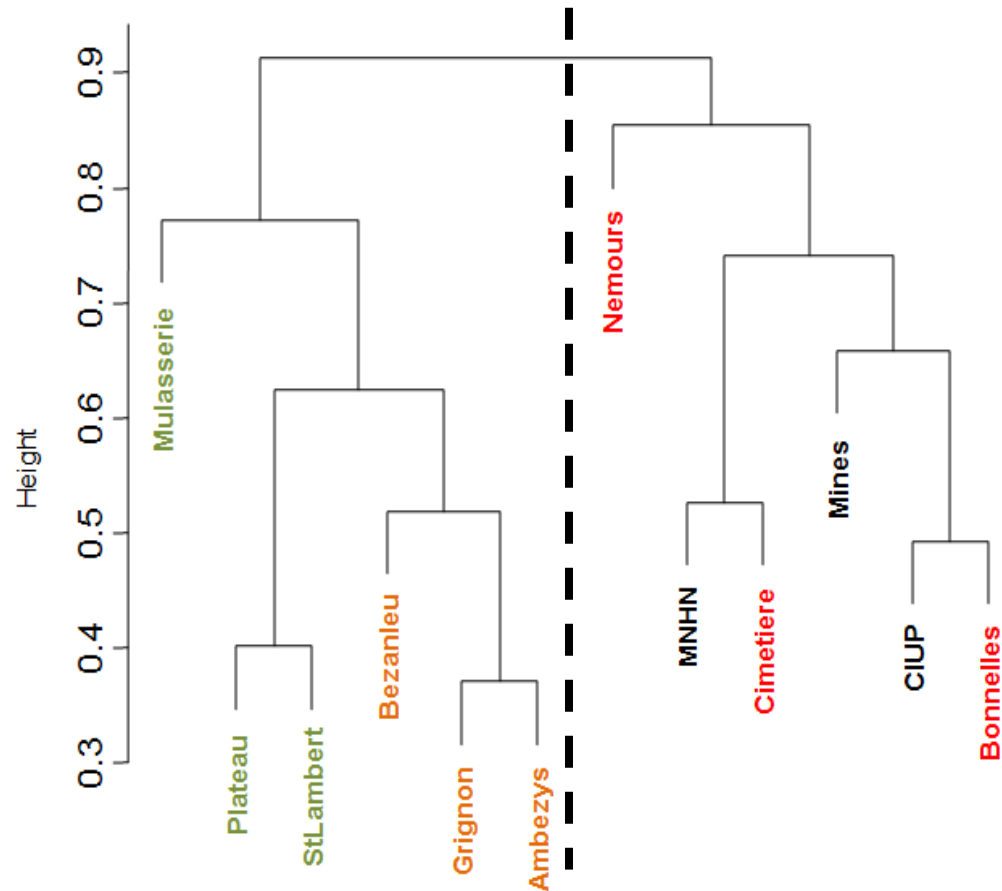
Richesse taxonomique (nombre de genres) de pollinisateurs

→ Significativement **plus faible** en milieux très urbanisés

Gradient d'anthropisation →

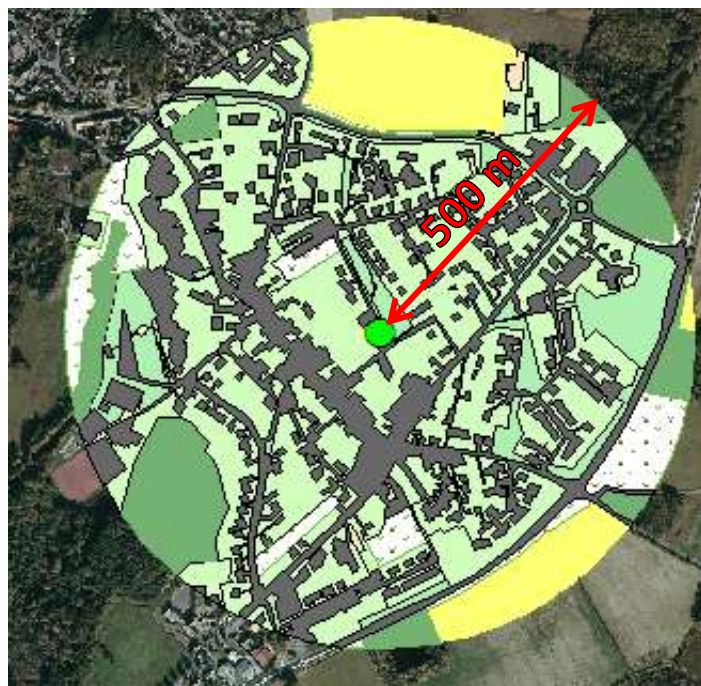
Impact du gradient d'anthropisation sur les communautés de pollinisateurs : résultats (ii)

Dendrogramme réalisé sur les communautés de pollinisateurs à partir de la matrice de distance de Bray-Curtis.



Un certain taux d'**urbanisation** entraîne une **modification de la structure** des communautés de pollinisateurs.

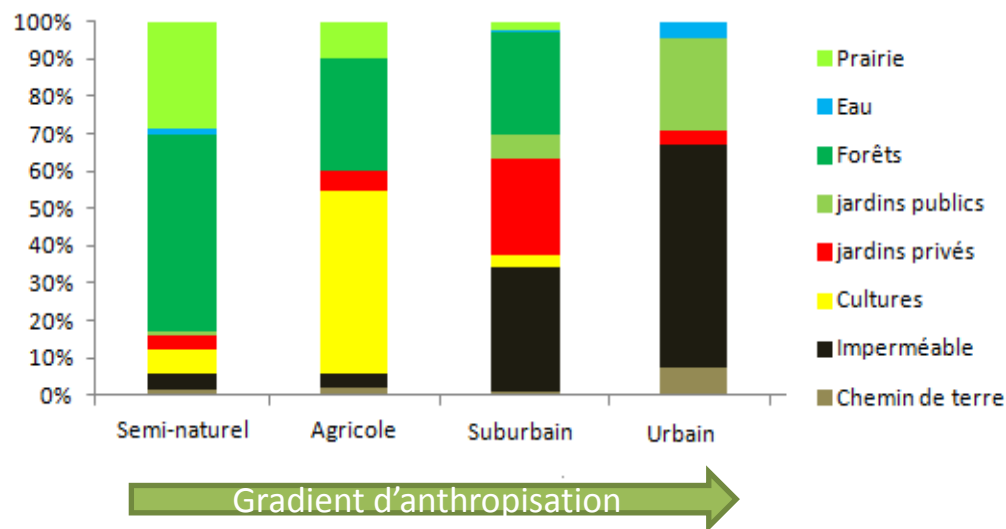
Et quel impact de l'occupation du sol? résultats (i)



Huit éléments cartographiés:

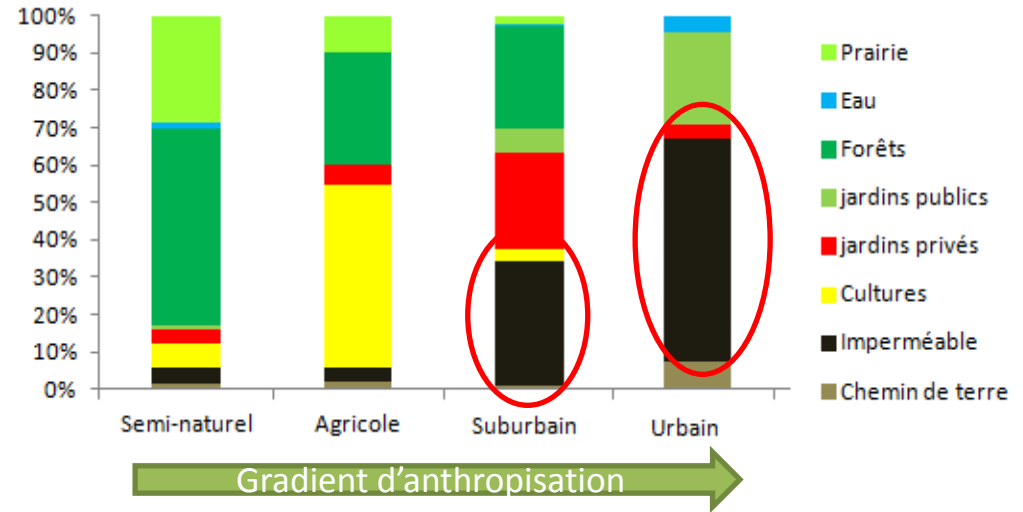
- eau libre
- surfaces imperméables
- cultures
- chemins de terre
- jardins privés
- jardins publics
- forêts
- prairies

→ Calcul du **pourcentage** de surface occupée par chaque élément paysager



Et quel impact de l'occupation du sol? résultats (ii)

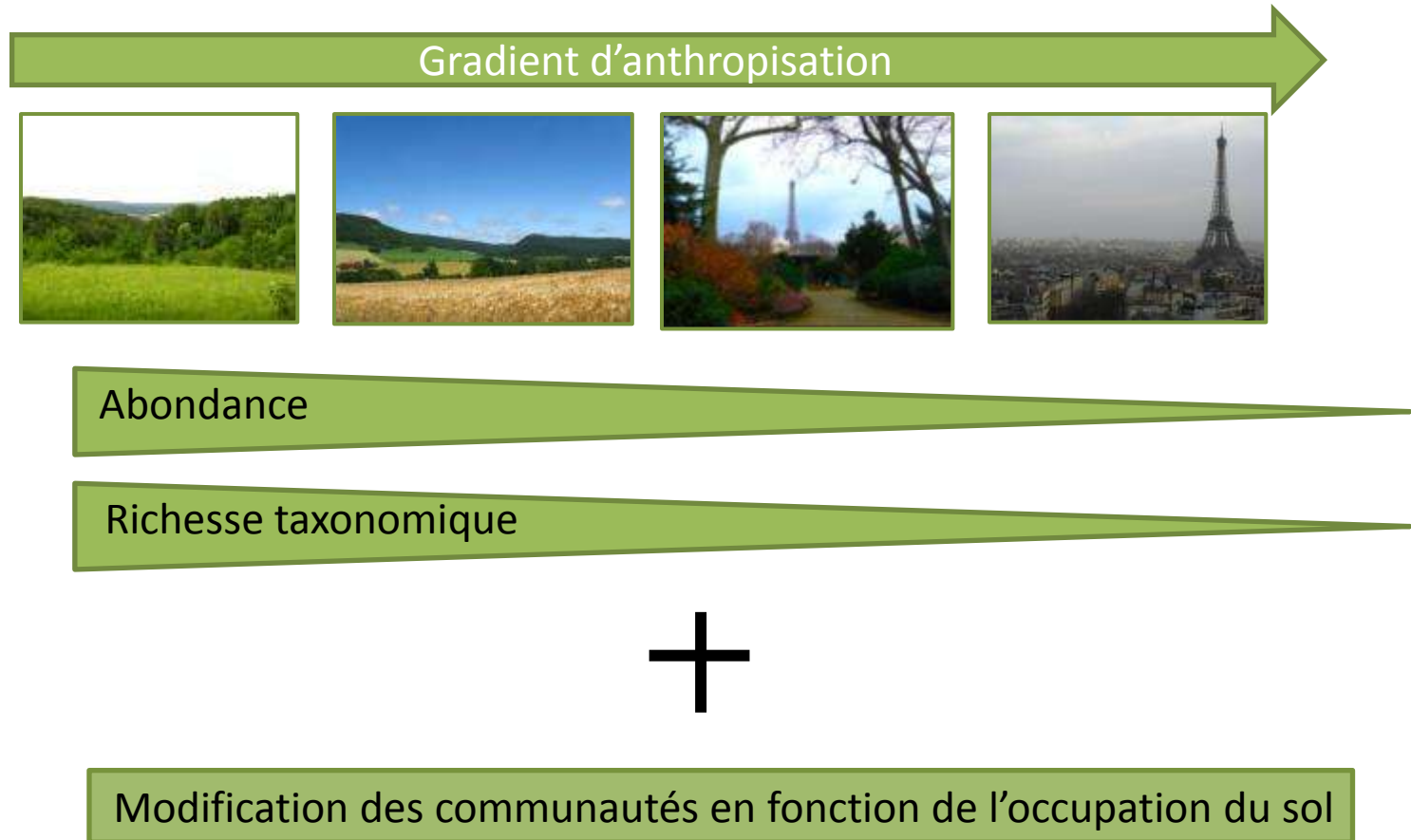
Zones imperméables		
	coeff.	p-value
Abondance de pollinisateurs	-0.035	8.39e-05
Diversité de pollinisateurs (par site)	-0.012	7e-04



L'occupation du sol à 500 m permet d'expliquer l'effet négatif de l'urbanisation sur les communautés d'insectes, particulièrement via **l'imperméabilisation des sols**

→ Effet **négatif de l'imperméabilisation** des sols à la fois sur **l'abondance et la richesse** des pollinisateurs

Impacts de l'anthropisation sur les communautés de pollinisateurs : Conclusion



Impacts de l'anthropisation sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Protocole expérimental*

Étudier dans différentes conditions paysagères le réseau d'interactions plantes-pollinisateurs sur une même communauté expérimentale de plantes

Gradient d'anthropisation



Semi-naturel



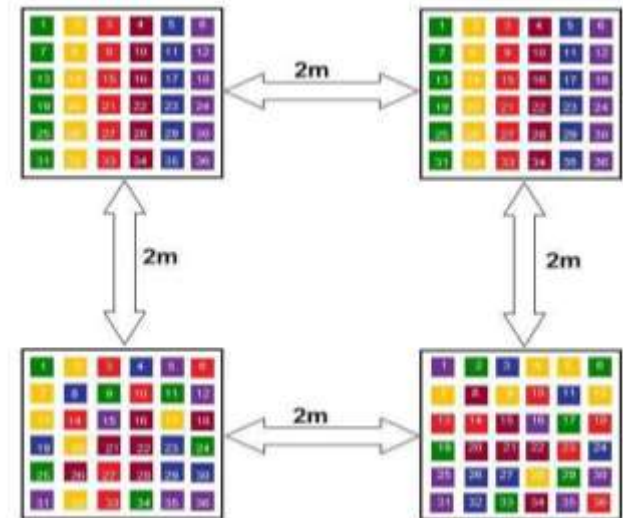
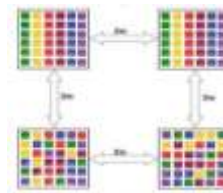
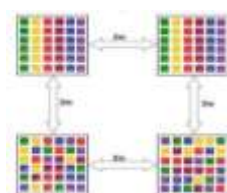
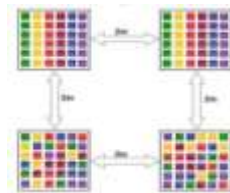
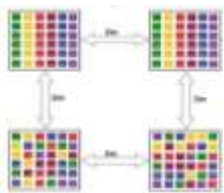
Agricole



Suburbain



Urbain



Impacts de l'anthropisation sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Une approche en groupes fonctionnels*



Consolida regalis *Medicago sativa* *Lotus corniculatus*

Fleurs en tube



Fleurs en assiette



Tripleurospermum maritimum subsp. inodorum *Sinapis alba*

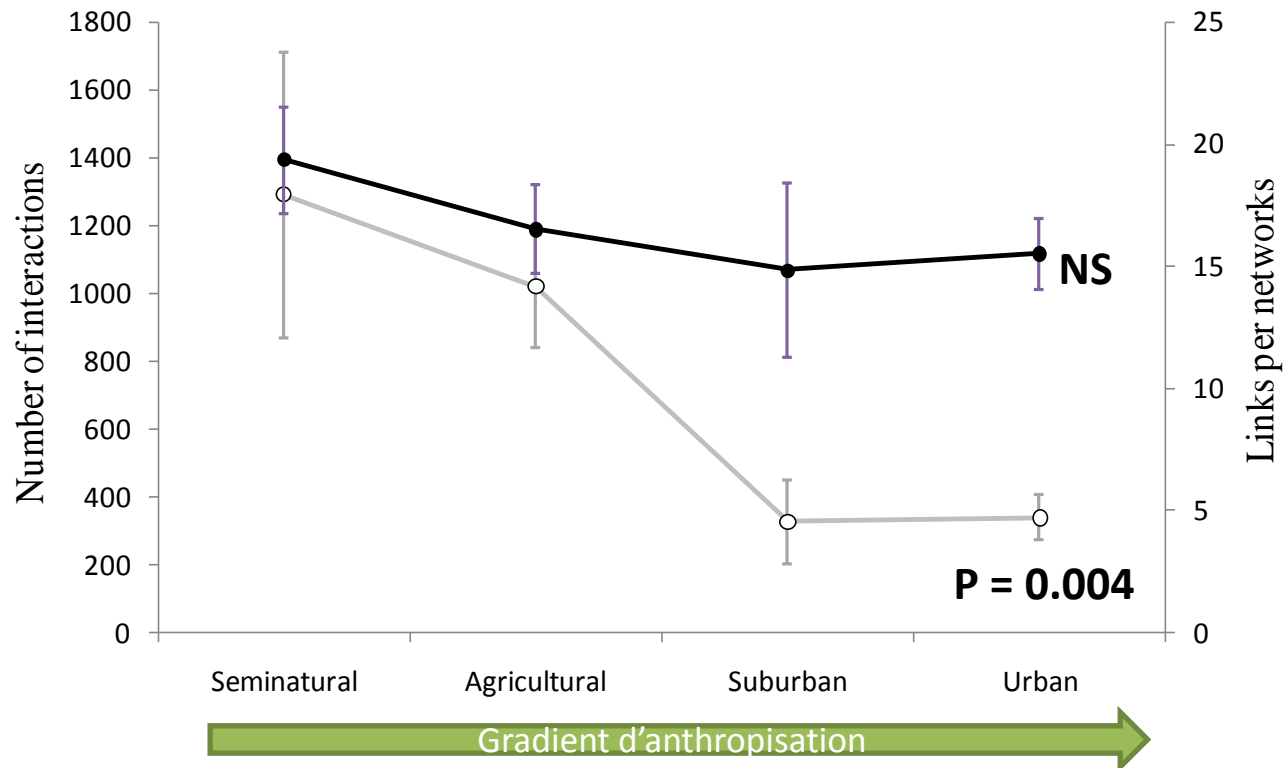
9 groupes fonctionnels d'insectes, répartis en



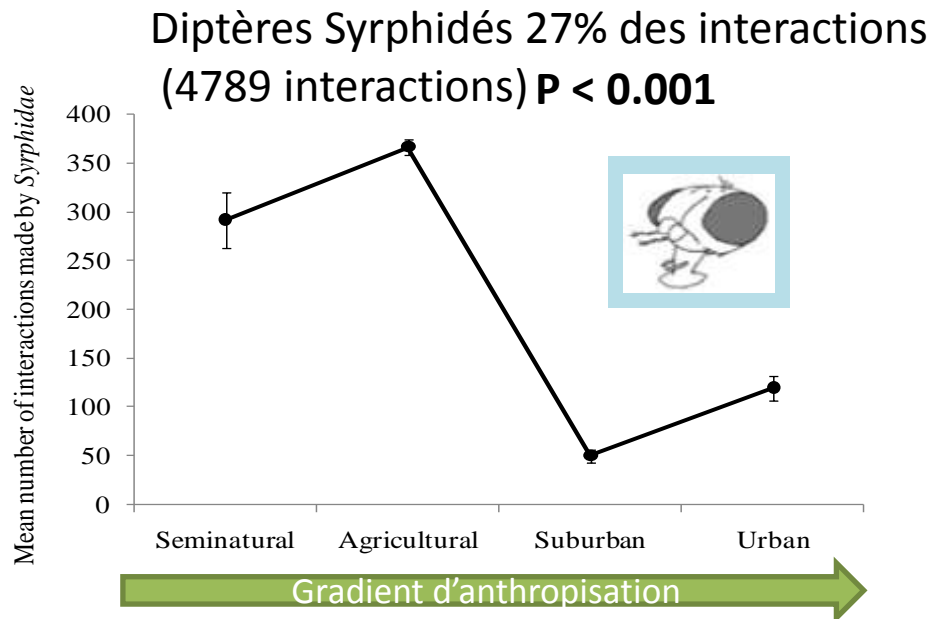
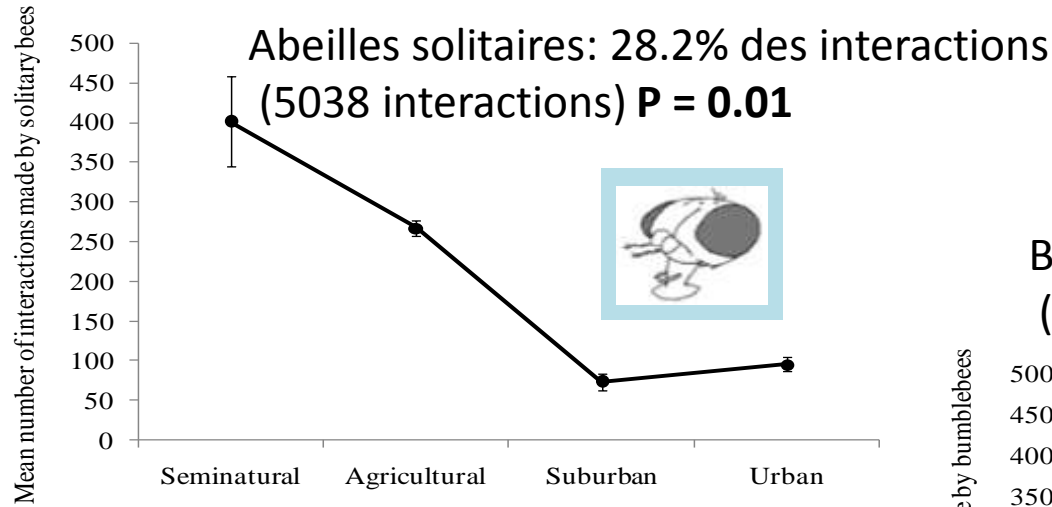
et



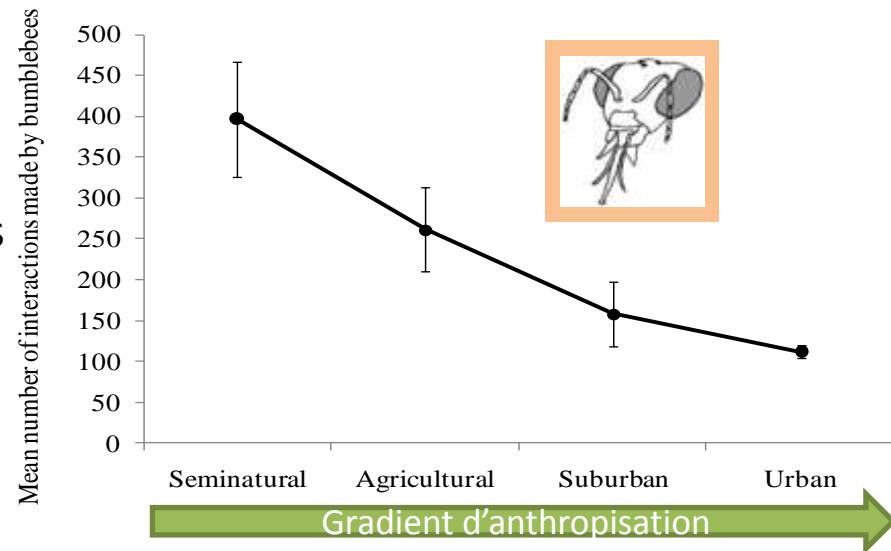
Impacts de l'anthropisation sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Un effet sur la fréquence des interactions*



Impacts de l'anthropisation sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Les pollinisateurs spécialistes sont plus rares en milieux urbanisés*

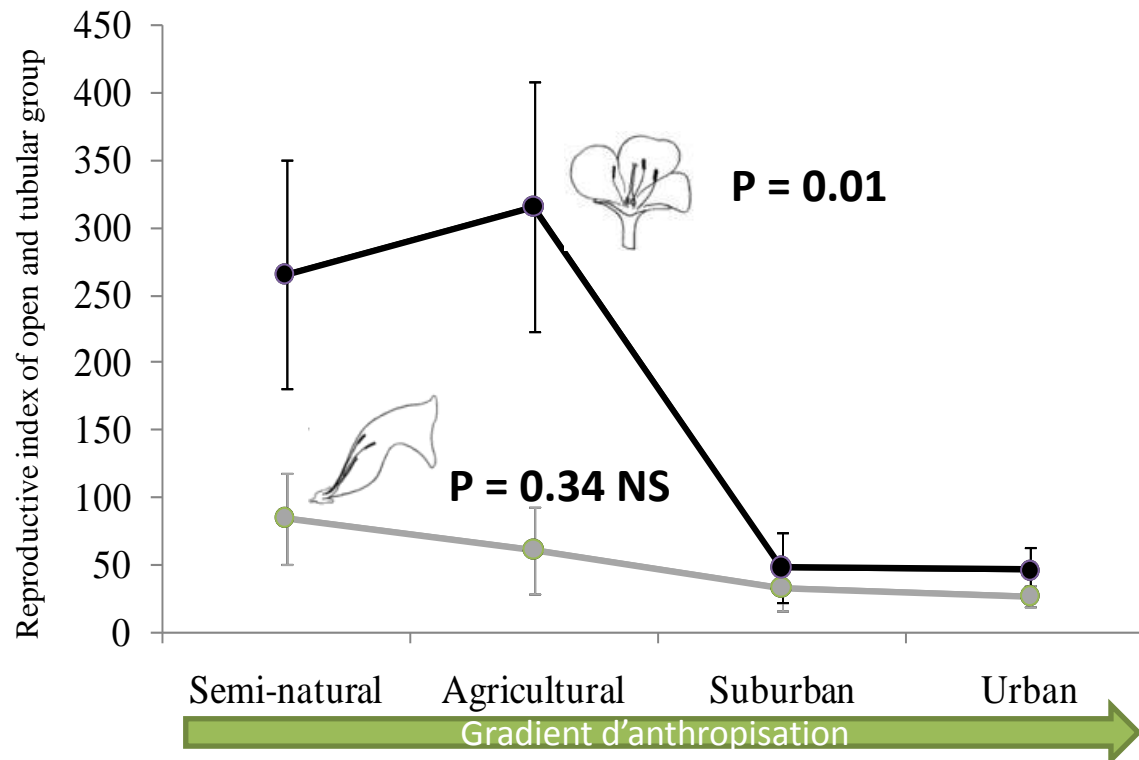


Bourdons: 31.1% des interactions
(5567 interactions) **P = 0.35 NS**



Impacts de l'anthropisation sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Les plantes généralistes se reproduiraient moins bien en milieux urbanisés*

Reproductive index: estimation du nombre de visites qui contribuent au succès reproducteur des différentes espèces dans chaque groupe fonctionnel de plantes



Impacts de l'anthropisation sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Conclusion (i)*

Gradient d'anthropisation



Abondance

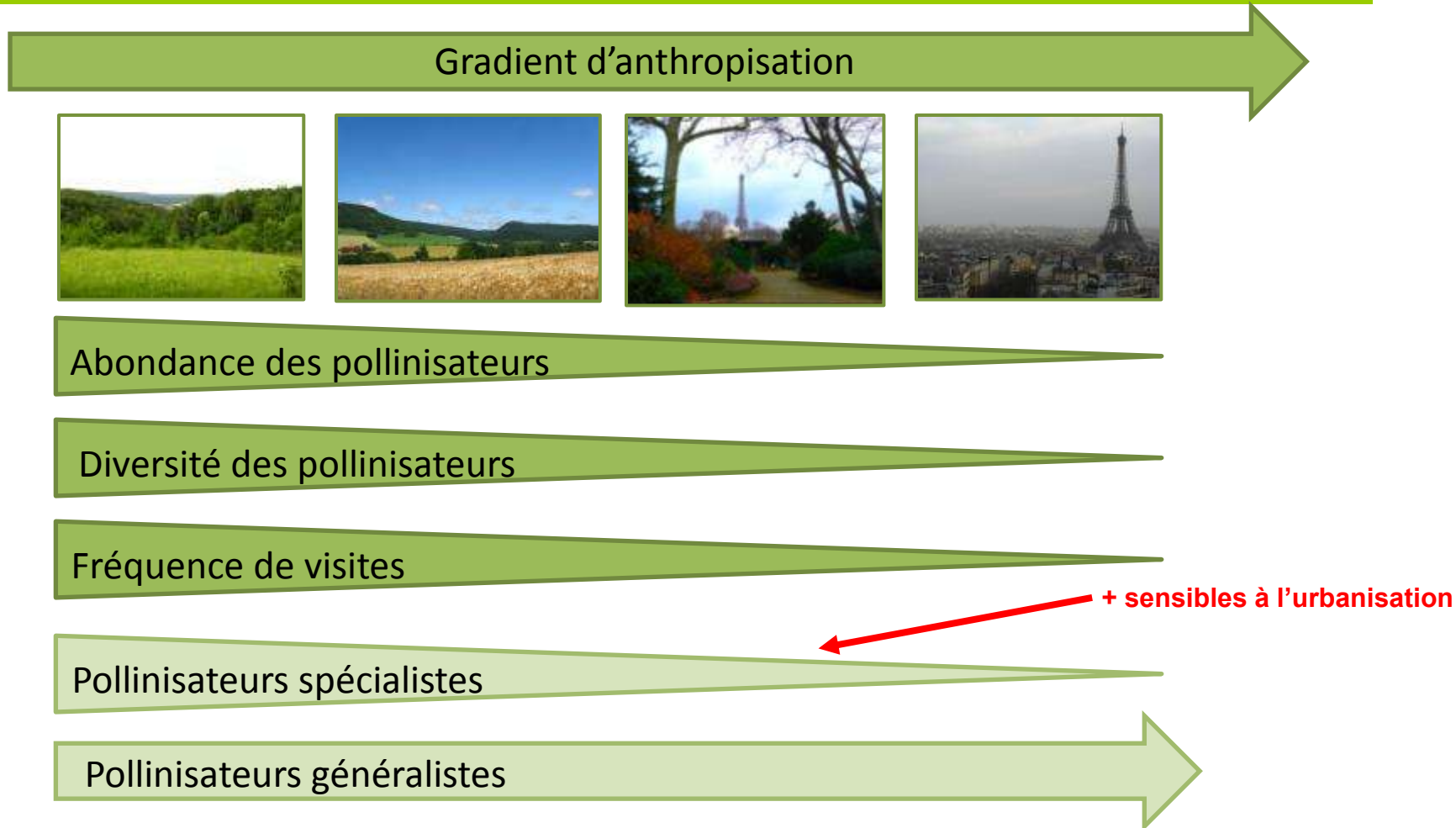
Richesse taxonomique

Fréquence de visites

Pollinisateurs spécialistes

Pollinisateurs généralistes

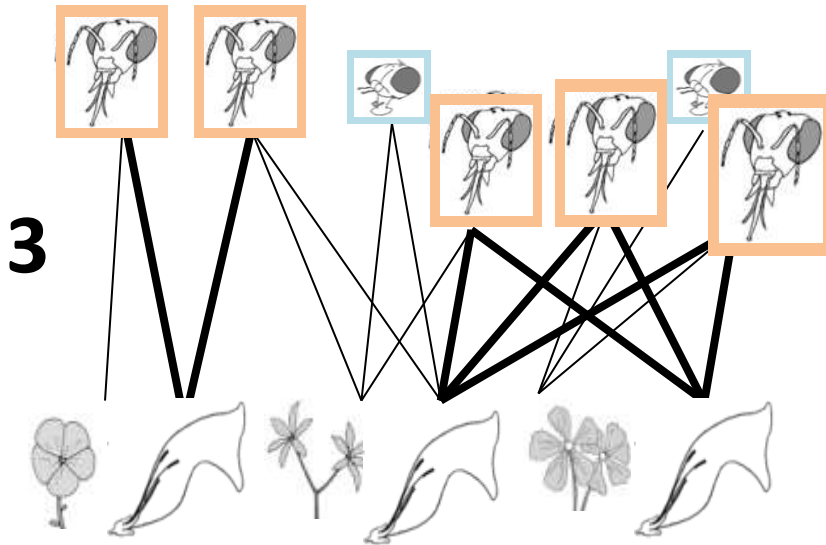
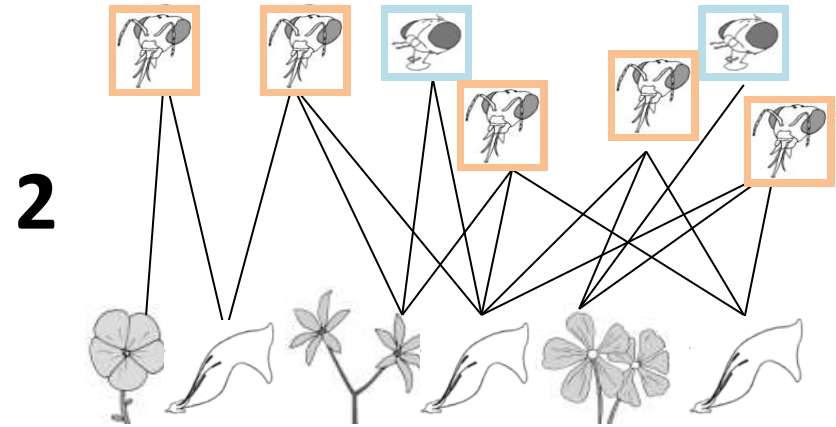
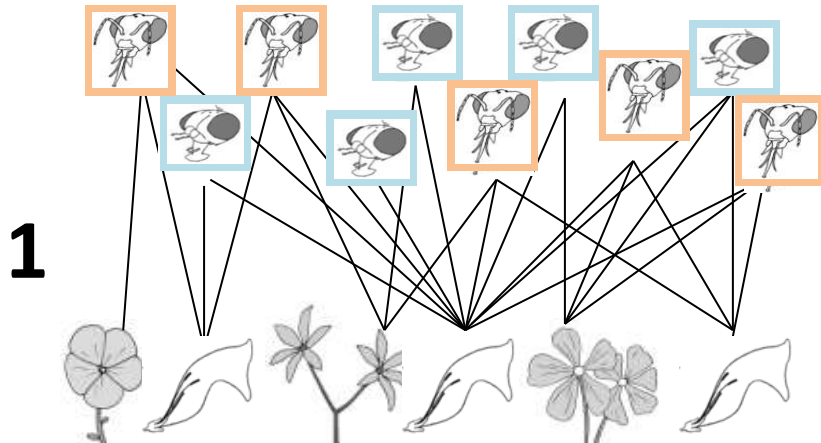
Impacts de l'anthropisation sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Conclusion (i)*



Quid des mesures de conservation en milieux urbains?

Réintroduction massive d'Abeilles domestiques (pollinisateur généraliste)...

Impacts de l'anthropisation sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Conclusion (ii)*



Problème:

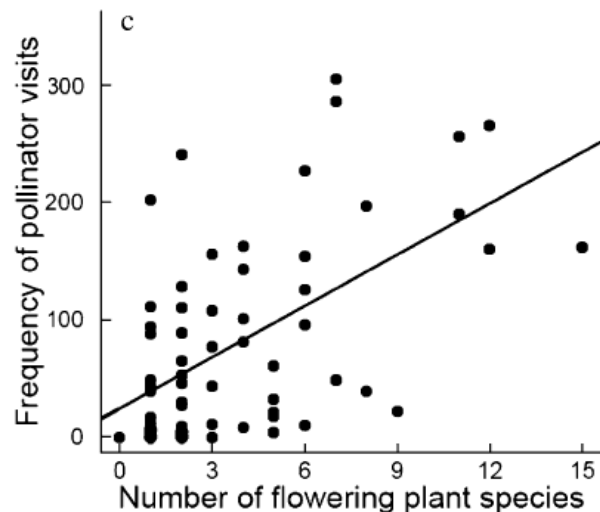
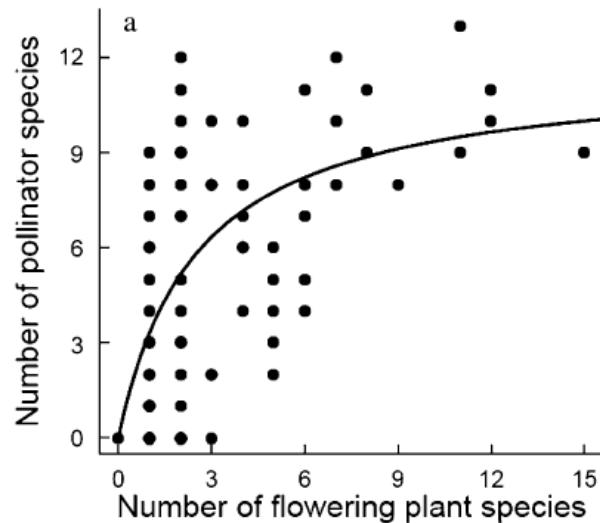
Variabilité spatiale des communautés de plantes et de pollinisateurs

Une solution :

Contrôle des communautés végétales et du degré d'anthropisation

MAIS Quel impact de la composition des communautés végétales à petite échelle?

MAIS ... les communautés de plantes varient en fonction des pratiques de gestion : *quelle influence sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs ?*

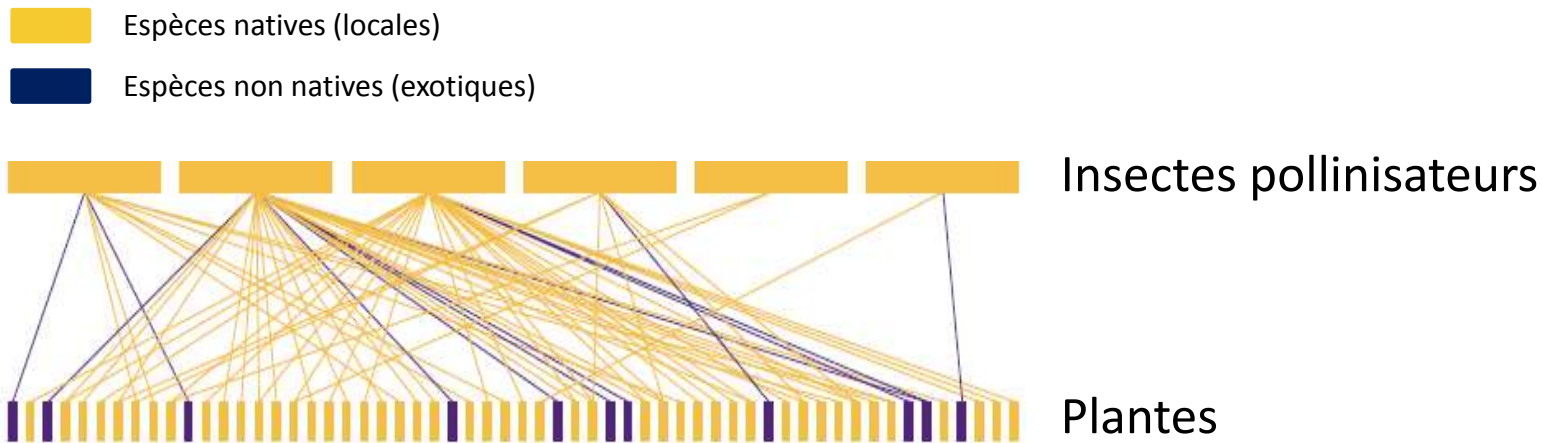


- La *diversité des communautés* influence sur

- La **diversité** des pollinisateurs
- La **fréquence** de leurs visites

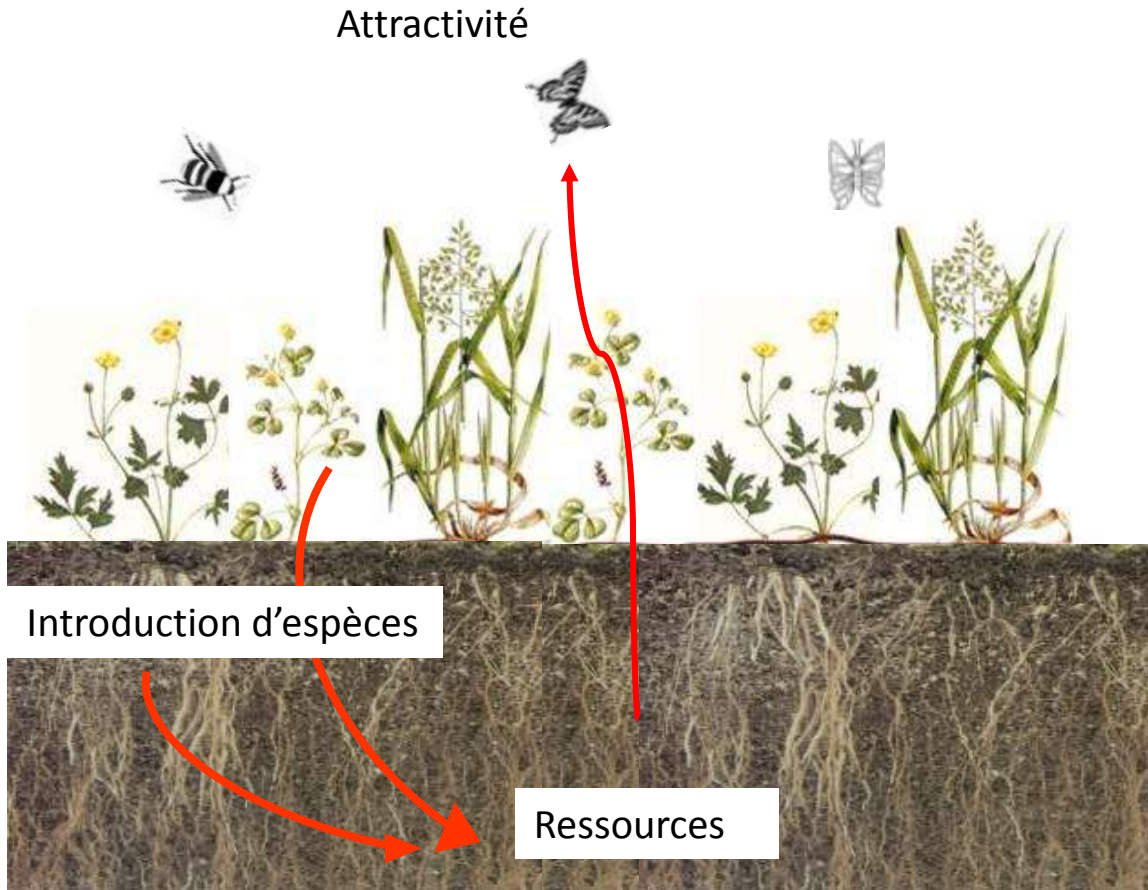
- Nécessité **d'approches expérimentales** pour analyser impacts de la composition des communautés végétales sur les réseaux plantes-pollinisateurs

De plus...l'introduction d'espèces pourrait fortement modifier les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs



- Intégration d'espèces végétales non natives (bleu) au sein d'un réseau plante-pollinisateur natif (jaune)

Impacts de la composition et de la diversité des communautés végétales : *Sur l'attractivité aux pollinisateurs? Sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs?*

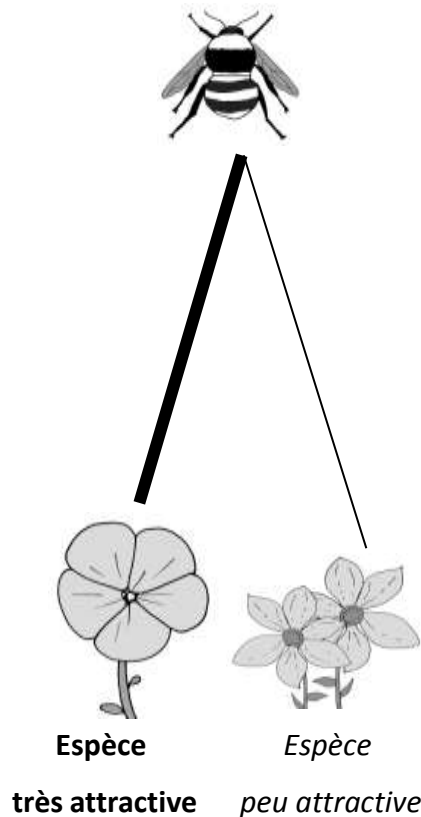


Comment les changements de structure des communautés végétales, liés à l'acquisition des ressources jouent sur:

- *L'attractivité de certaines espèces aux pollinisateurs ?*
- *Le fonctionnement du service écosystémique de pollinisation ?*

Qu'est-ce qui détermine l'attractivité des plantes aux pollinisateurs?

Attractivité des plantes aux pollinisateurs = propriété de la plante



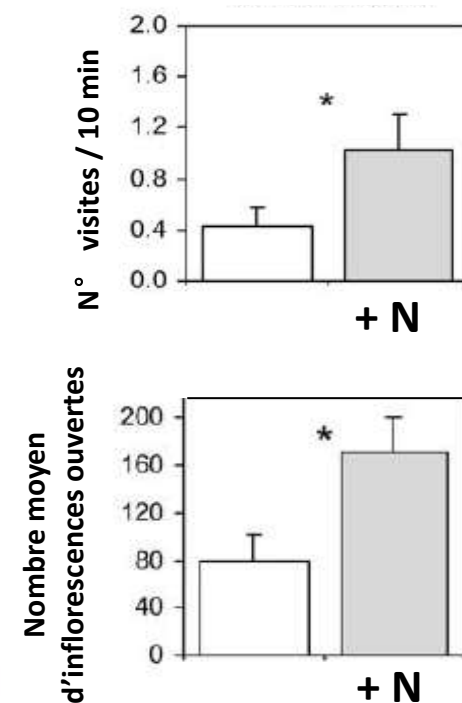
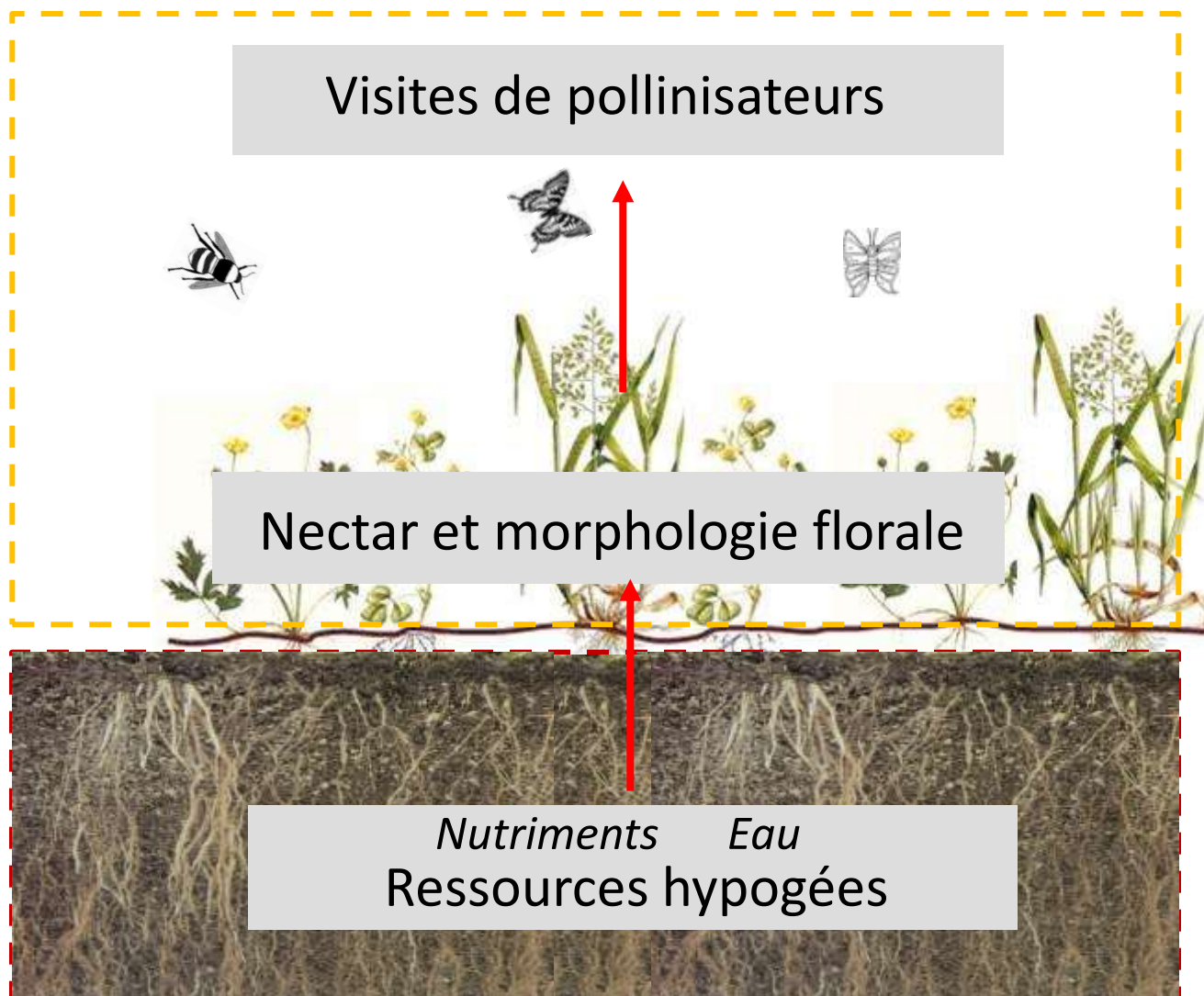
A L'ECHELLE DE LA PLANTE

Attractivité individuelle: Production de fleurs et de récompenses associées telles que le nectar et le pollen

A L'ECHELLE DE LA COMMUNAUTE

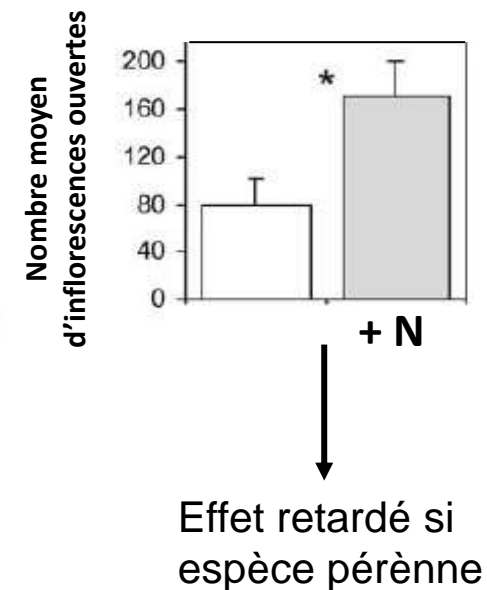
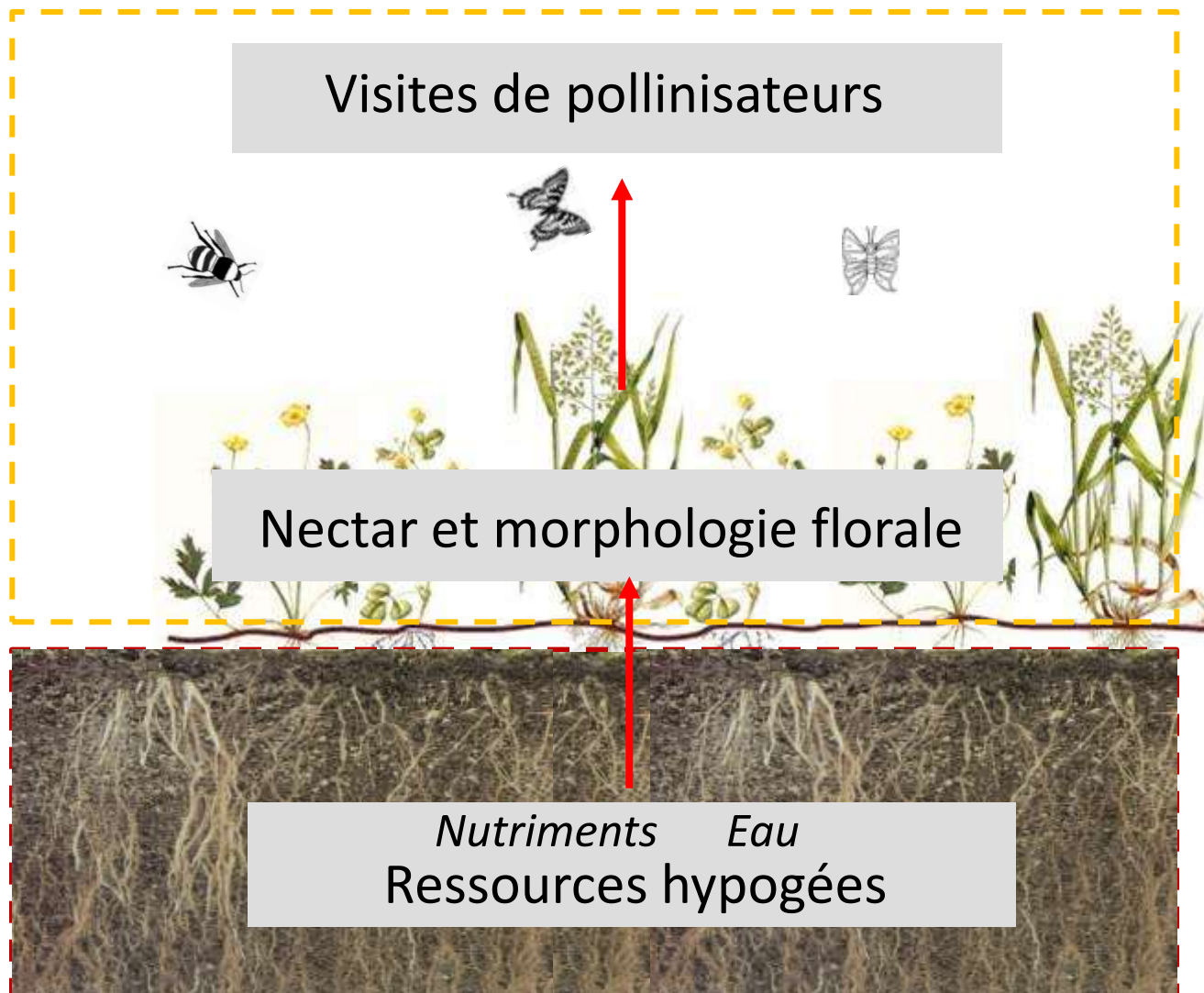
Attractivité relative: attractivité d'une espèce relativement aux espèces voisines

Les ressources hypogées affectent aussi l'attractivité des plantes aux pollinisateurs



Munoz et al., 2005

Les ressources hypogées affectent aussi l'attractivité des plantes aux pollinisateurs



Mais... Les ressources hypogées affectent aussi l'attractivité des plantes aux pollinisateurs?

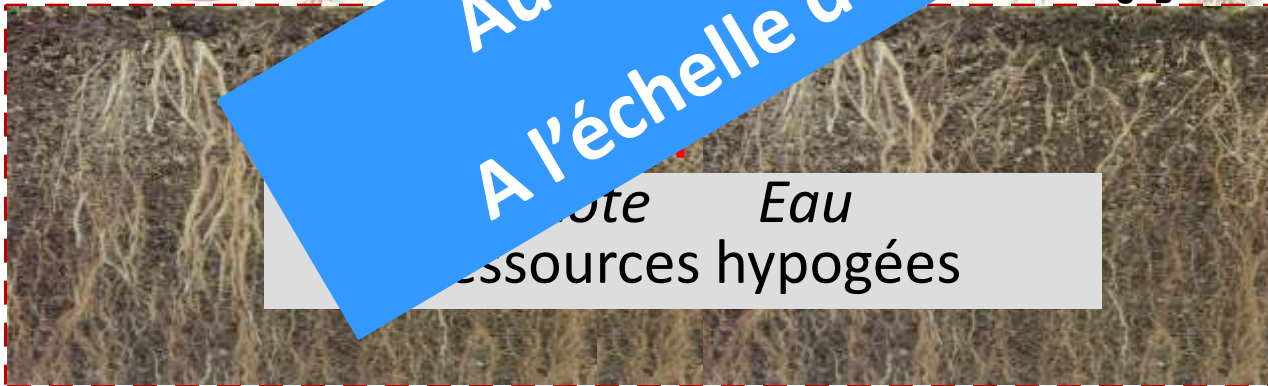
Visites de pollinisateurs



Nectar et me

**Au niveau monospécifique
A l'échelle de la communauté?**

ote Eau
ressources hypogées



Une première expérience avec uniquement des espèces entomophiles

Mimulus guttatus

Scrophulariaceae (MG)



Lamium amplexicaule

Lamiaceae (LA)



Medicago sativa

Fabaceae (MS)



Espèce compétitive

Truscott et al. 2006

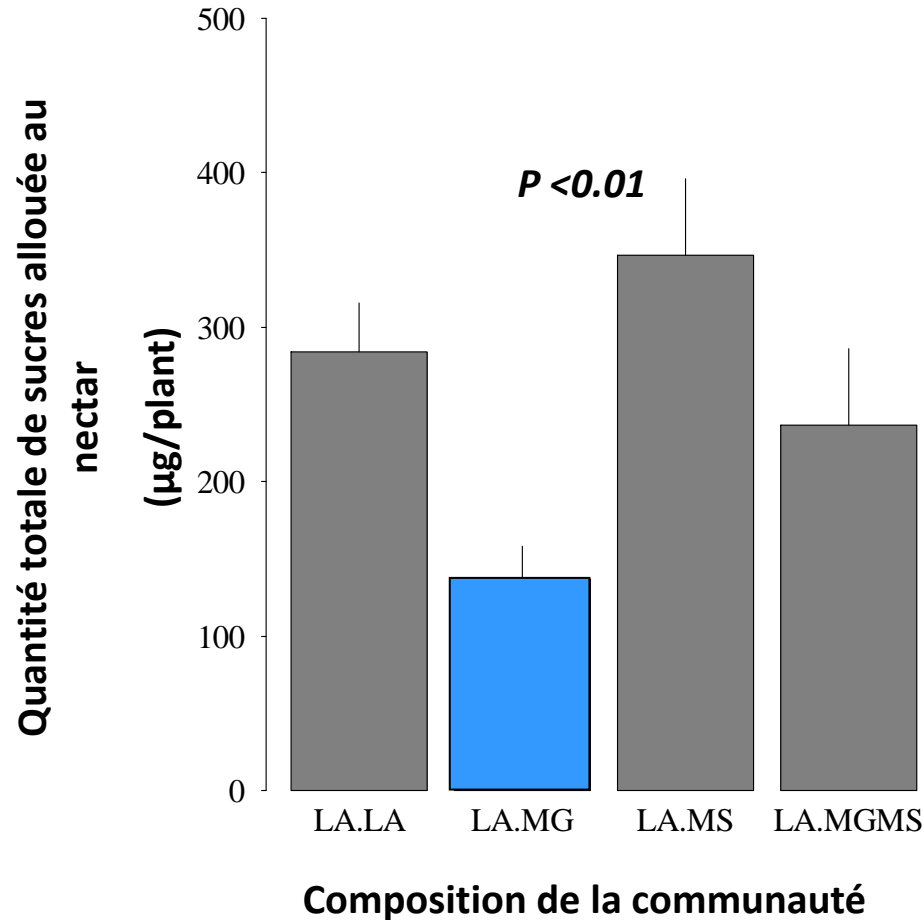


**Traits végétatifs
et floraux**

Espèce facilitatrice

(fixation N
atmosphérique)

Impact sur caractères d'attractivité chez *Lamium*



Chez *Lamium* en présence de *Mimulus*:

- Moins de fleurs/plante
- Moins de nectar/fleur
- Quantité totale de sucre allouée au nectar/plante significativement plus faible en présence de la compétitrice

Une deuxième expérience: *Impacts de la compétition avec espèces anémophiles sur l'attractivité aux pollinisateurs*

4 espèces anémophiles



Chenopodium album (CH)



Agrostis capillaris (AG)



Plantago lanceolata (PL)



Holcus lanatus (HO)

- 4 espèces à pollinisation par les insectes (entomophiles), confrontées à un gradient d'intensité de compétition par des espèces à pollinisation par le vent (anémophiles)

GRADIENT DE COMPETITIVITE



Lamium purpureum (LA)



Echium plantagineum (EC)



Lotus corniculatus (LO)

3 espèces entomophiles

- Quel impact sur l'attractivité aux pollinisateurs?

- Quel impact sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs?

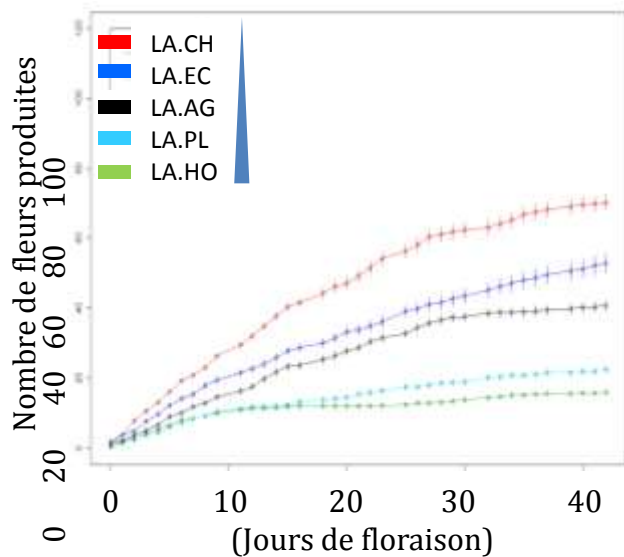
=> *Quelle généralité de la réponse ?*

Impacts de la compétition avec espèces anémophiles sur l'attractivité aux pollinisateurs : *production de fleurs*



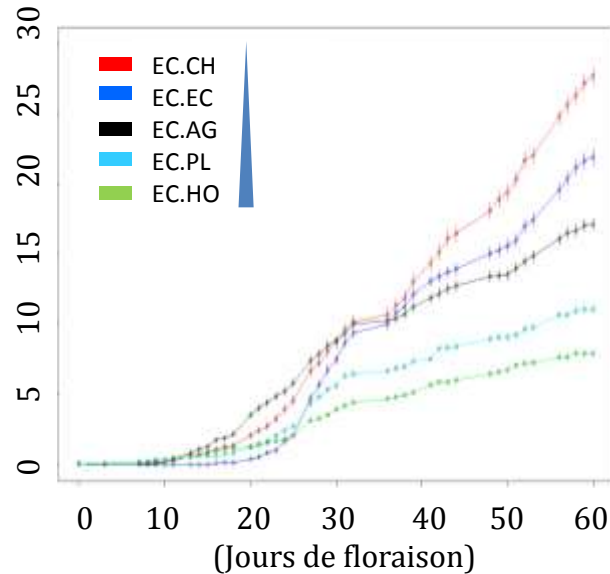
Lamium purpureum (LA)

$P < 0.05$



Echium plantagineum (EC)

$P < 0.001$



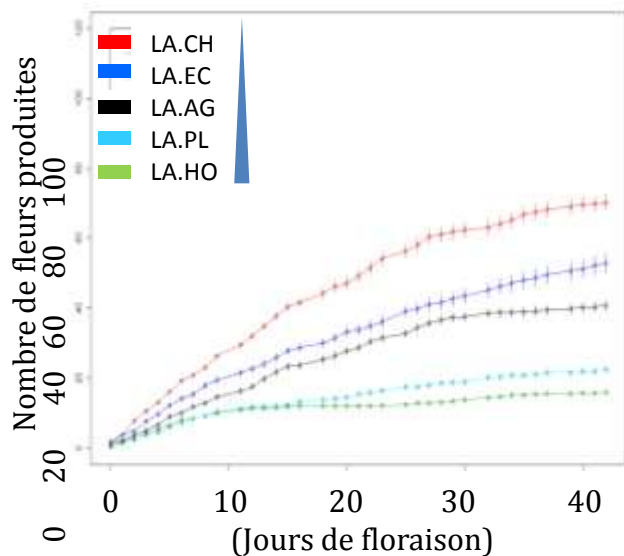
La production de fleur ↘ *quand l'intensité de compétition* ↗

Impacts de la compétition avec espèces anémophiles sur l'attractivité aux pollinisateurs : *production de fleurs*



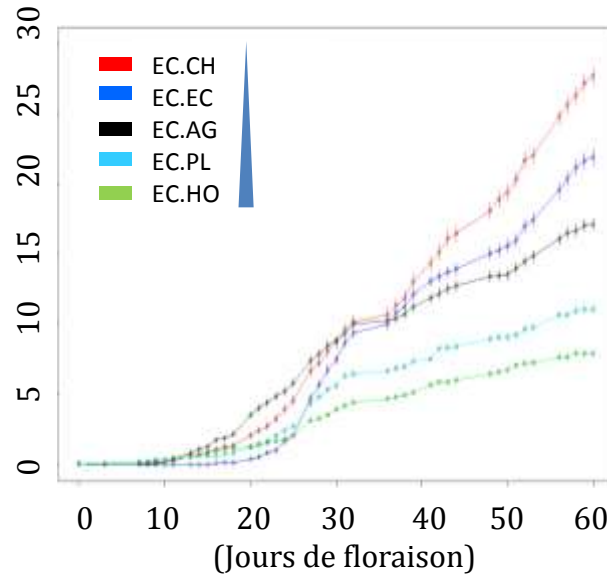
Lamium purpureum (LA)

P<0.05



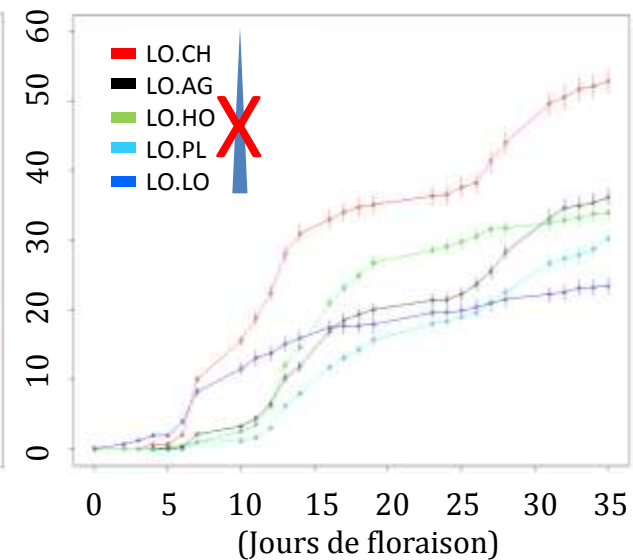
Echium plantagineum (EC)

P<0.001



Lotus corniculatus

P<0.001

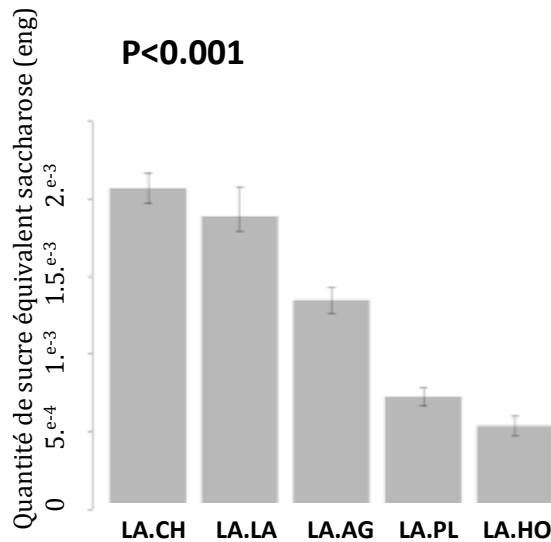


Réponse différente pour Lotus:

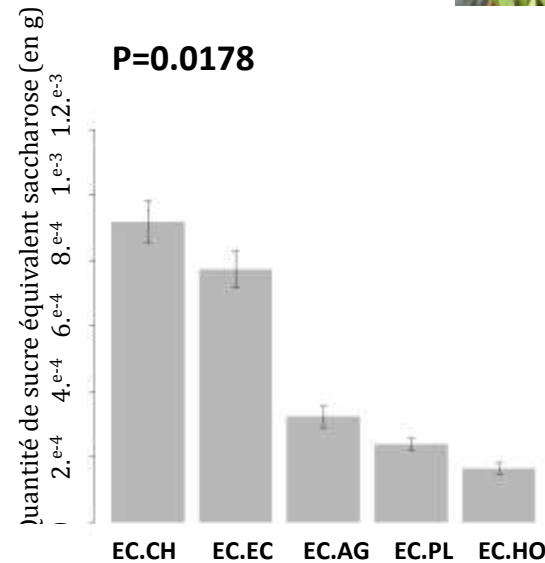
- Caractère pérenne de l'espèce (délai de réponse)?
- Fixation d'azote ?

Impacts de la compétition avec espèces anémophiles sur l'attractivité aux pollinisateurs : *quantité totale de sucre allouée au nectar*

Lamium purpureum



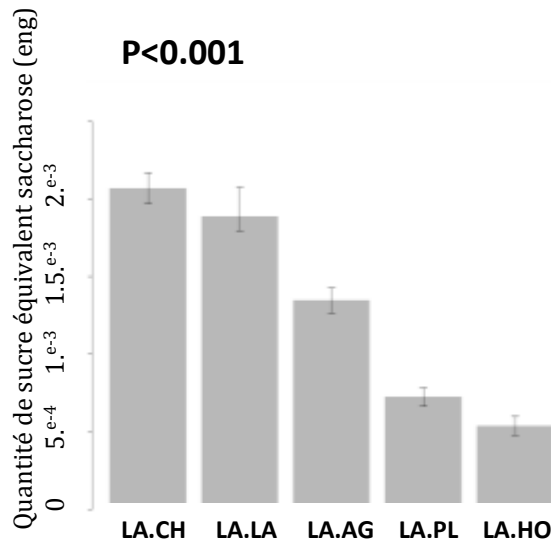
Echium plantagineum



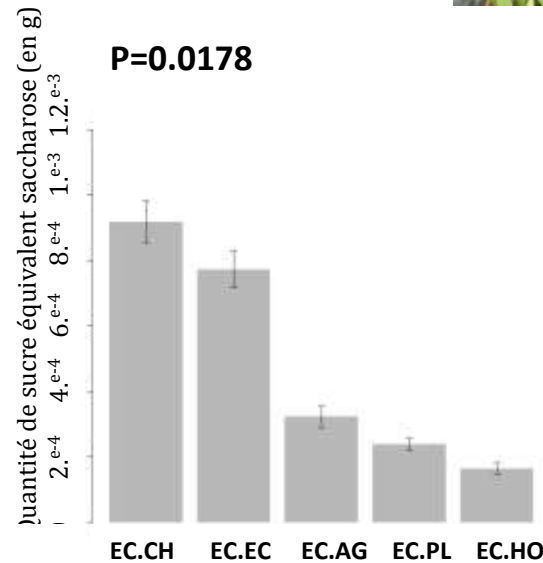
La quantité de sucre allouée au nectar ↘ *quand l'intensité de compétition* ↗

Impacts de la compétition avec espèces anémophiles sur l'attractivité aux pollinisateurs : *quantité totale de sucre allouée au nectar*

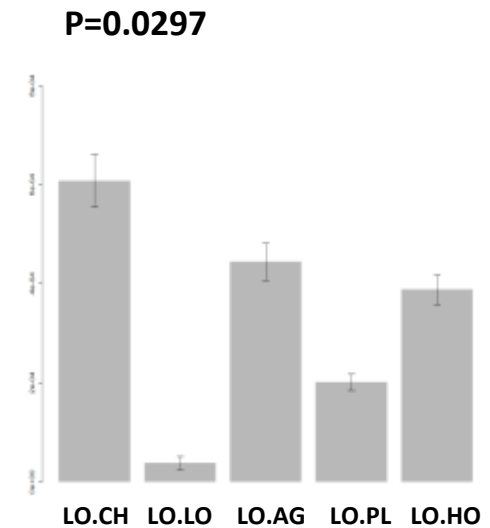
Lamium purpureum
(LA)



Echium plantagineum
(EC)



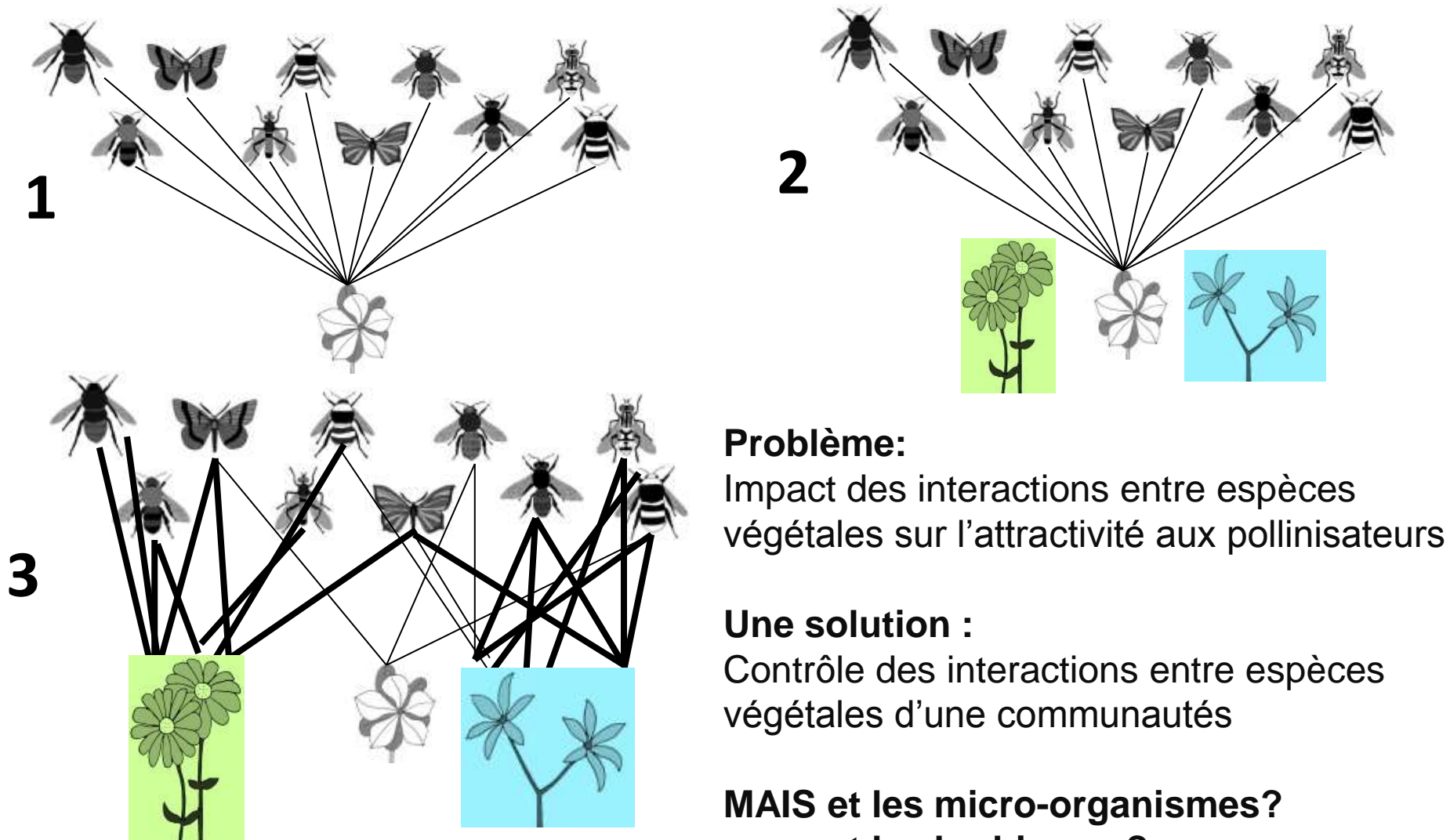
Lotus corniculatus
(LO)



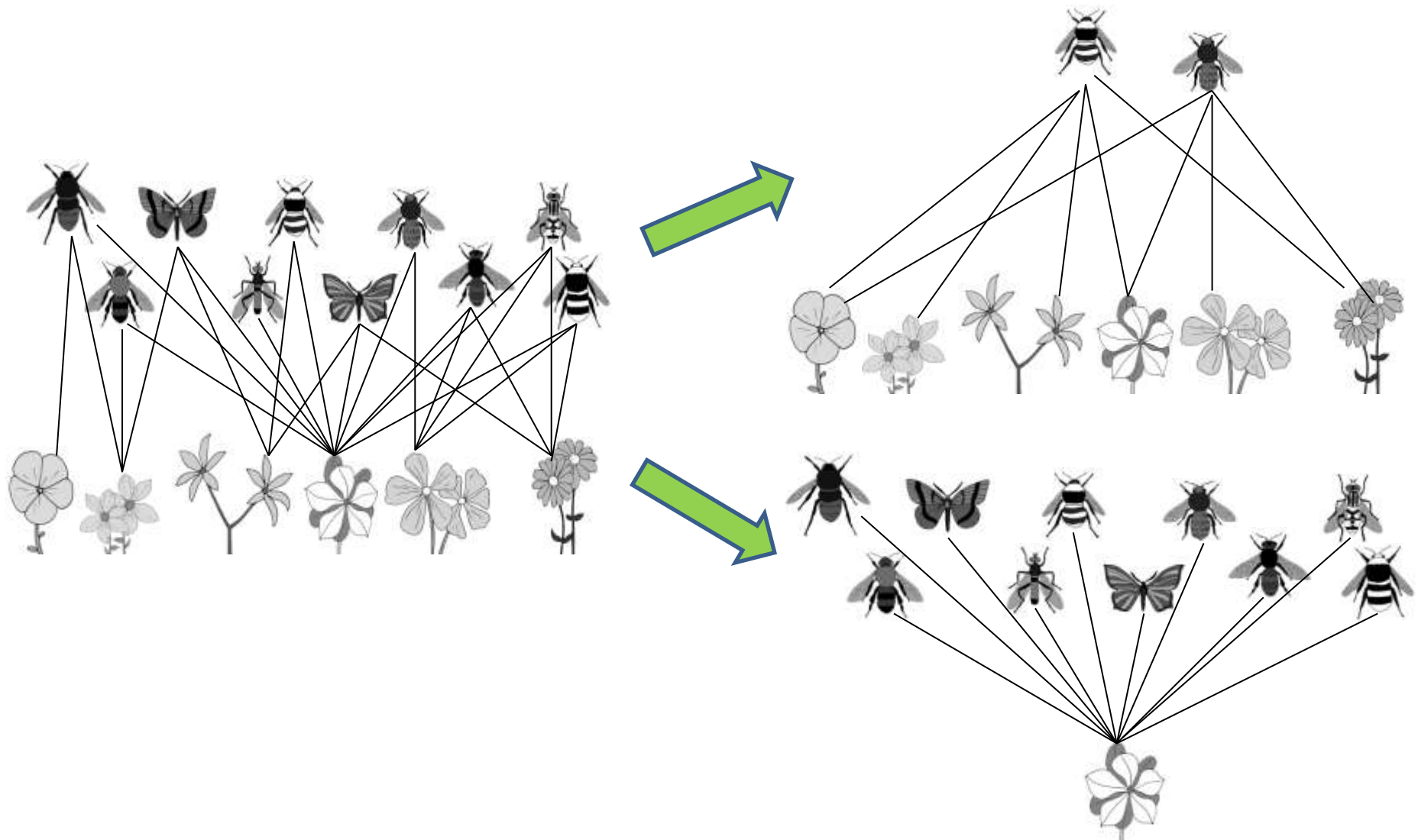
Réponse différente pour Lotus:

- Caractère pérenne de l'espèce (délai de réponse)?
- Fixation d'azote ?

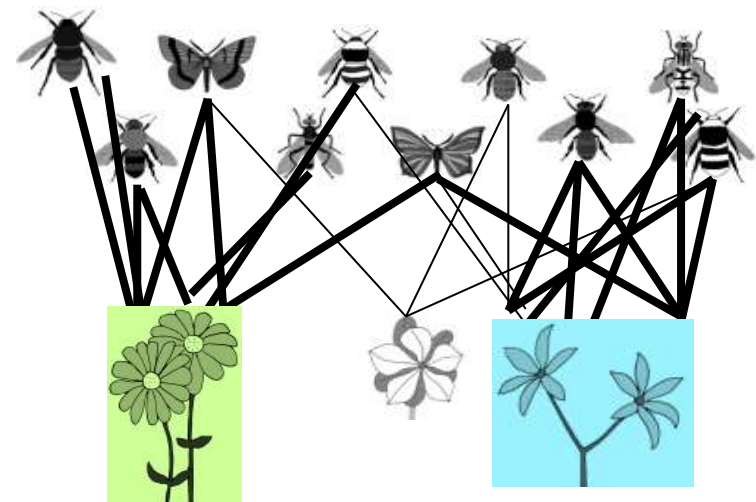
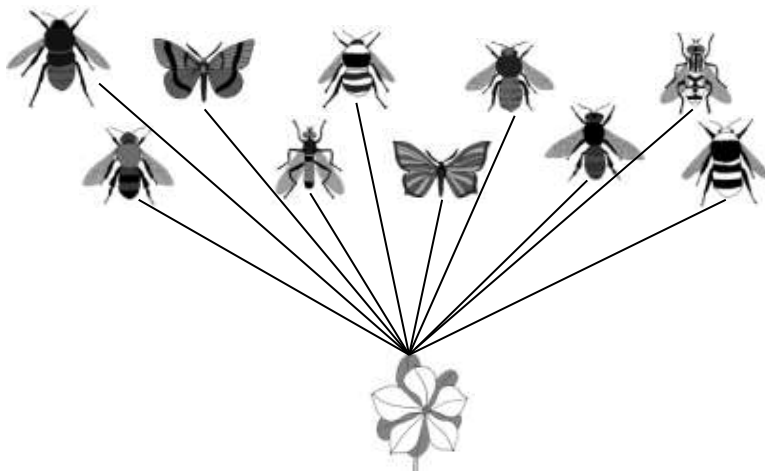
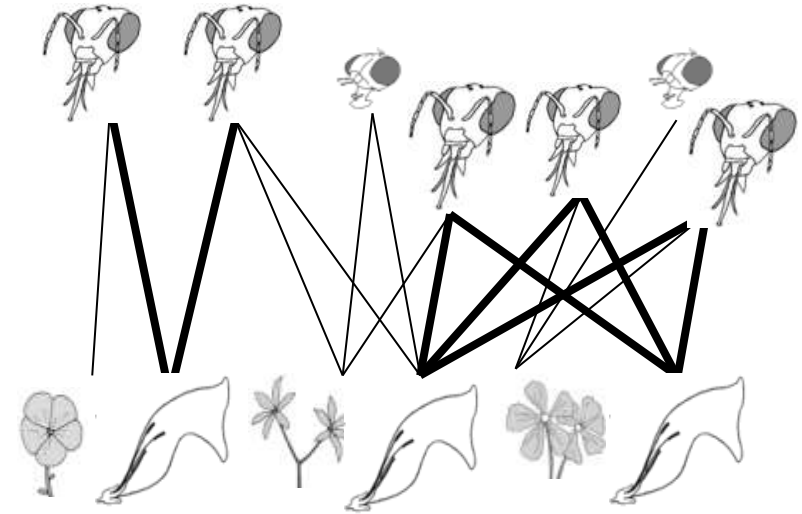
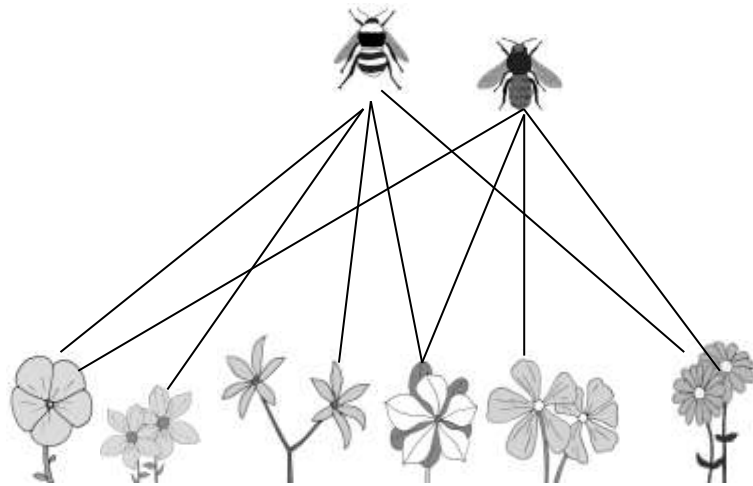
Impacts de la composition et de la diversité des communautés végétales sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Conclusion*



Impacts de la composition et de la diversité des communautés végétales et de pollinisateurs sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Conclusion générale (i)*



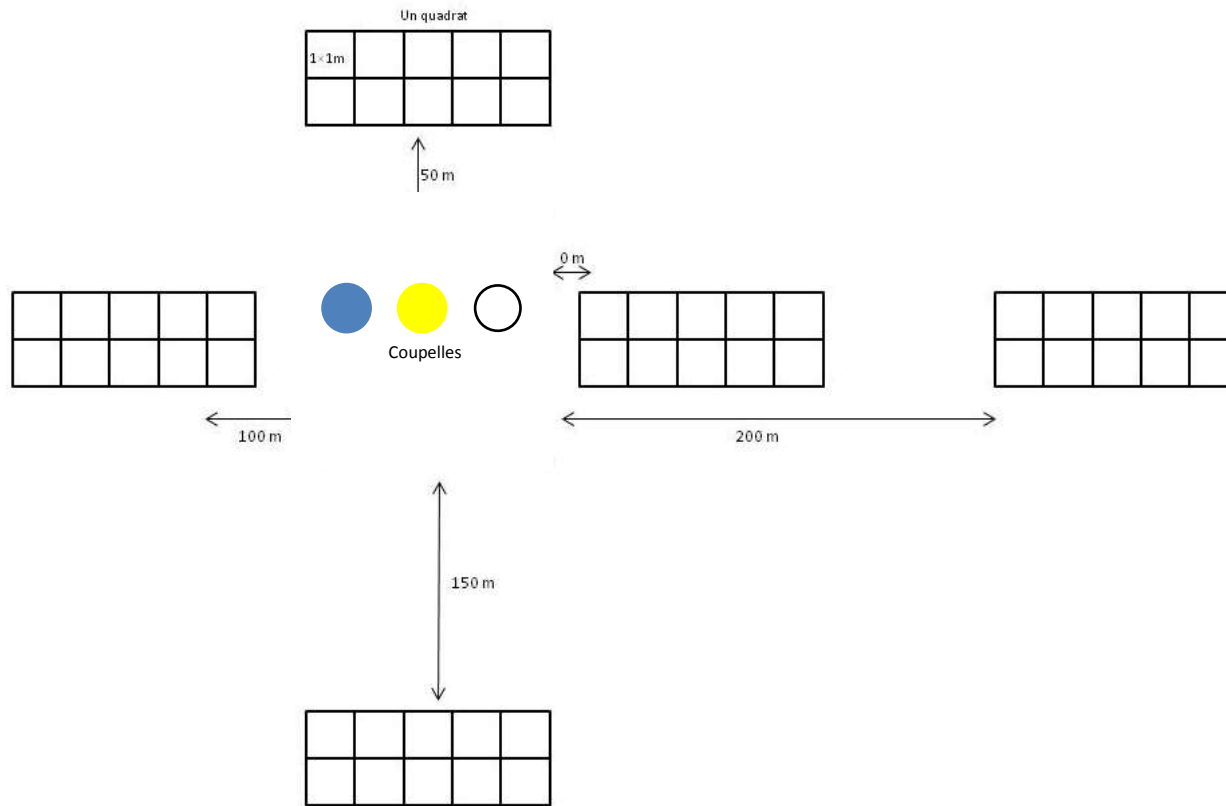
Impacts de la composition et de la diversité des communautés végétales et de pollinisateurs sur les réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs: *Conclusion générale (ii)*



A close-up photograph of a bumblebee on a yellow flower. The bee is positioned on the lower-left side of the frame, facing the flower. The flower is bright yellow and has a distinct shape. The background is filled with green leaves and stems, with other yellow flowers visible. A semi-transparent grey box is overlaid on the upper part of the image, containing the text "Merci !".

Merci !

Les communautés de plantes: méthodes d'analyse



Protocole Vigie-Flore

263 espèces de plantes identifiées sur
les 12 sites via cette méthode

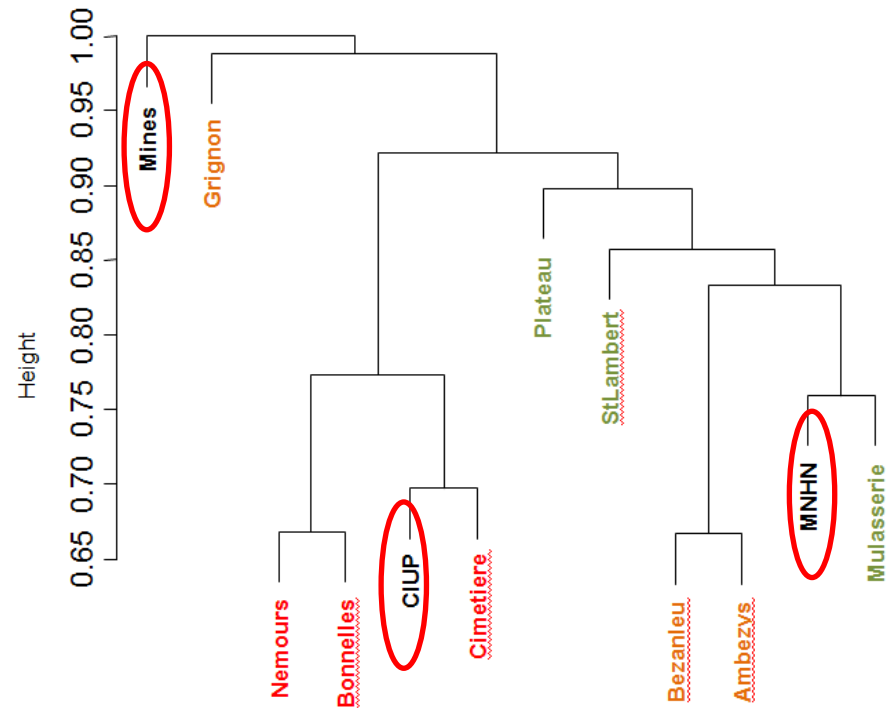
Les communautés de plantes: résultats

Leur richesse spécifique (totale, entomophile) ne varie pas le long du gradient anthropique

→ Communautés de plantes **non structurées** le long du gradient

→ Les communautés de plantes (diversité, structure) ne permettent pas d'expliquer l'effet négatif de l'urbanisation sur les communautés d'insectes

→ *Forte manipulation des plantes* (plantation, désherbage, etc...) entre sites



Dendrogramme réalisé sur les communautés totales de plantes à partir de la matrice de distance de Bray-Curtis.