

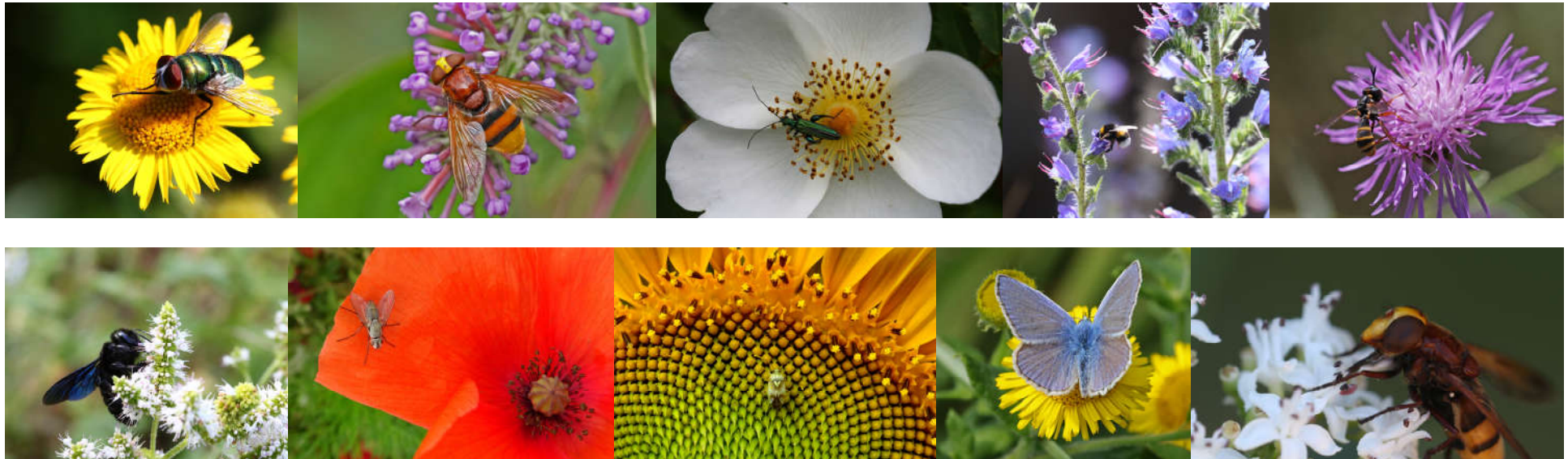


COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

Chaire annuelle Biodiversité et écosystèmes

Coévolution entre les plantes à fleurs et leurs pollinisateurs

Emmanuelle PORCHER



Photos : Didier51 - Spipoll

Rappel du cours 1

- ❑ Les plantes sont très capables de se reproduire sans pollinisateurs



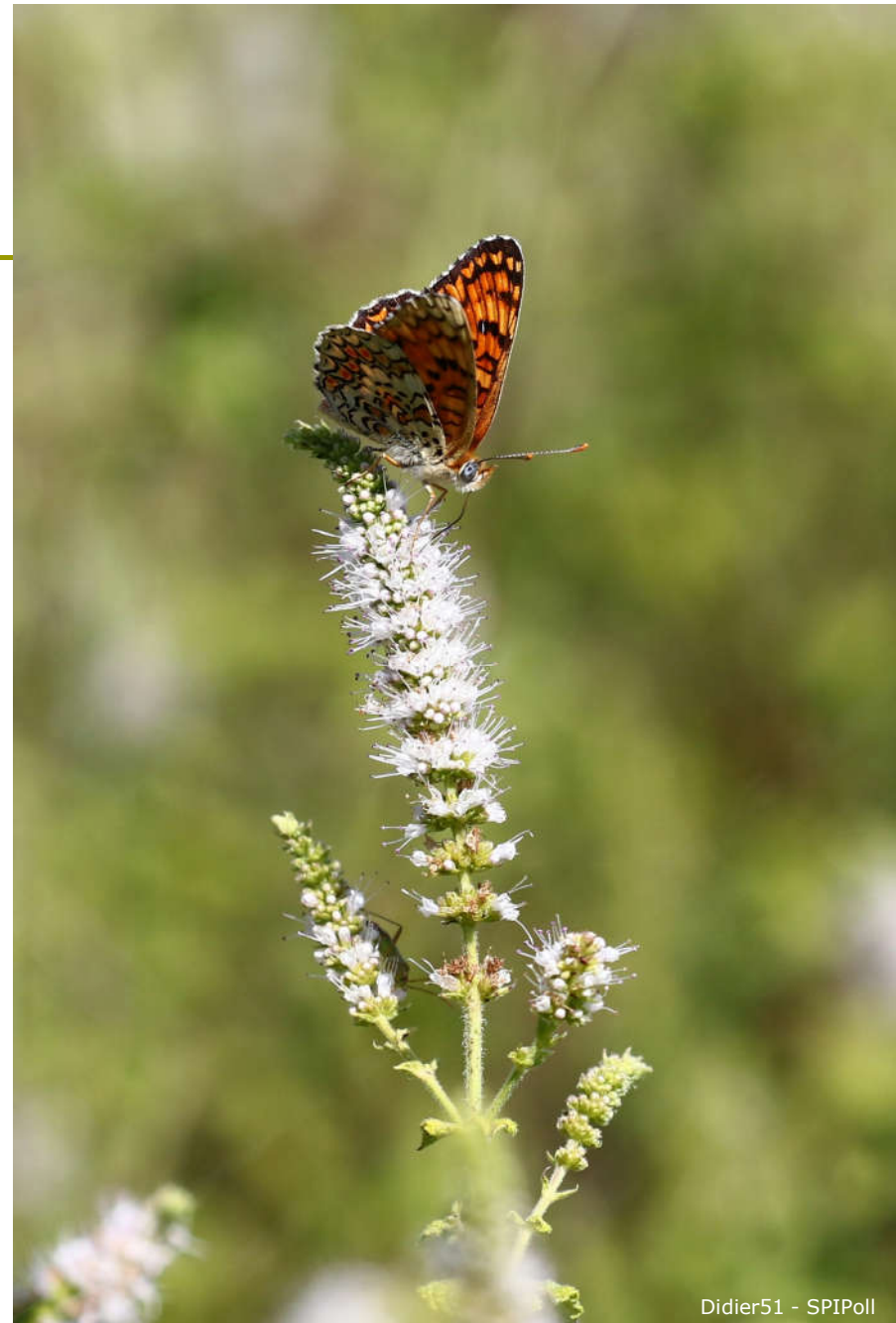
Reproduction végétative

Gilles Ayoite



Autofécondation

- ❑ Mais les espèces qui arrêtent les croisements entre individus sont menacées à long terme
- ❑ Rôle central des pollinisateurs



Primaire

-300 Ma

Secondaire

-200 Ma

?

Apparition des
plantes à fleurs
~-140 Ma

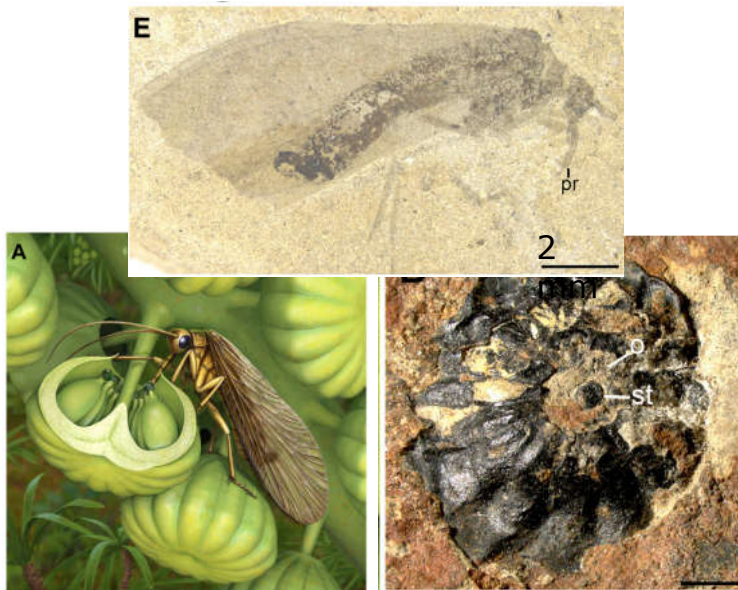
-100 Ma

Tertiaire

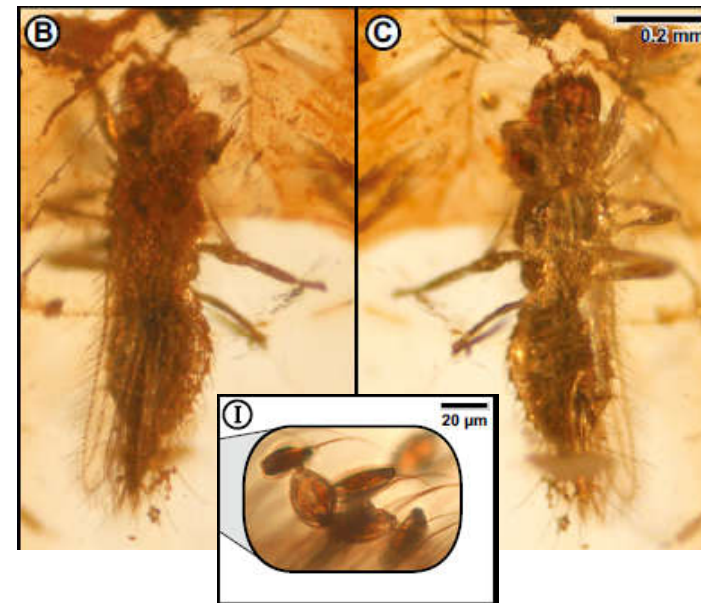
Aujourd'hui

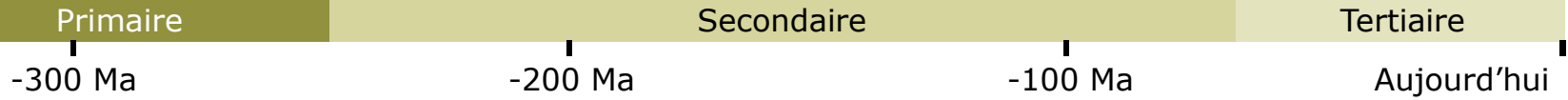
La pollinisation est une interaction ancienne

Indices
morphologiques
(longue trompe)
-280 Ma

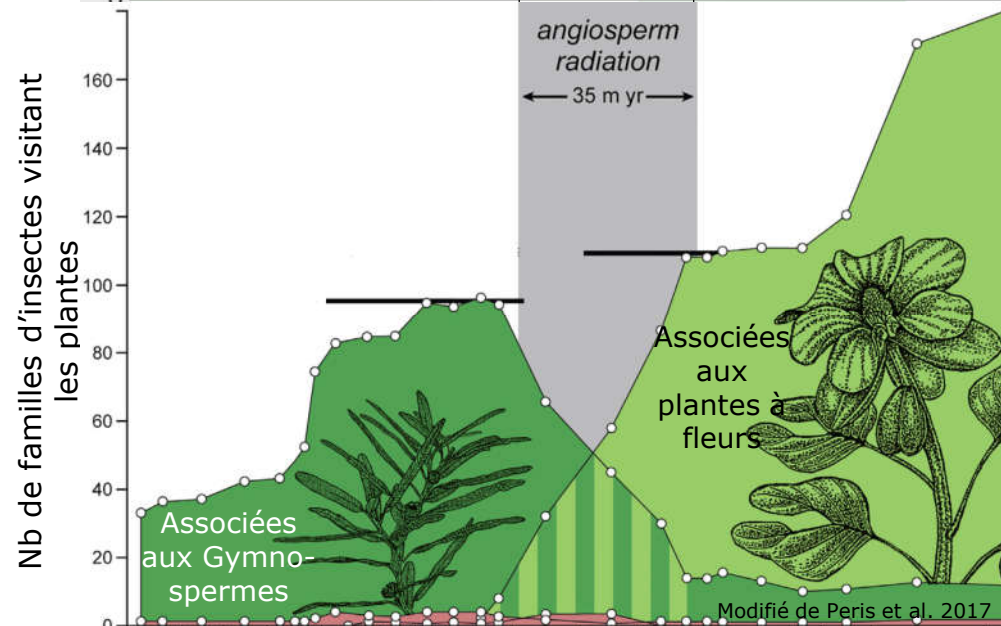
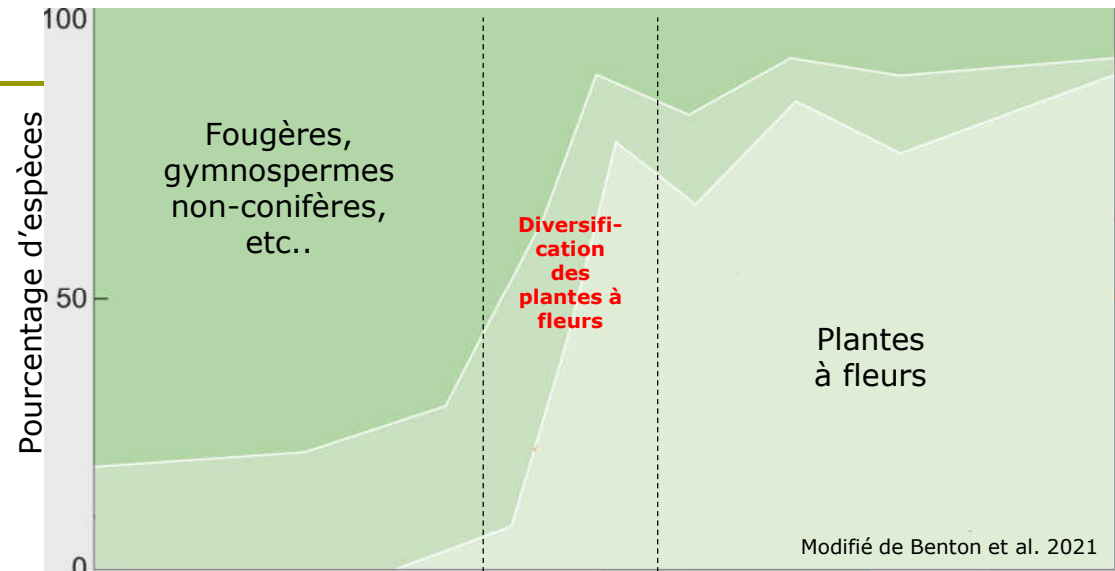


Fossile de thrips avec
pollen de Ginkgo
-105 Ma





- Diversification rapide des plantes à fleurs entre -125 et -90 Ma
- Charles Darwin : « *abominable mystère* »
- Mécanismes encore incertains
- Diversification conjointe de certains groupes d'insectes



Innovations à l'origine de la diversification des plantes à fleurs

- | □ Reproduction | → | □ Conséquences |
|---|---|--|
| ■ Fleurs et relation avec les pollinisateurs | → | ■ Pollinisation plus efficace |
| ■ Réduction des gamétophytes | → | ■ Protection d'une phase à une copie du génome |
| ■ Graines et fruits | → | ■ Meilleure dispersion |
| □ Appareil végétatif | | |
| ■ Vaisseaux, nervures, cellules d'échanges plus denses et efficaces | → | ■ Meilleure efficacité de la photosynthèse et de la transpiration |
| ■ Production de métabolites | → | ■ Défenses |
| □ Génome | | |
| ■ Duplication | → | ■ Diversification |
| ■ Petit génome | → | ■ Petites cellules et cellules plus denses |

Une diversification peut-être antérieure à celle des insectes, mais qui a beaucoup influencé l'évolution des **animaux**

Toutes les plantes ne sont pas pollinisées par des insectes...

□ Oiseaux

■ Colibris



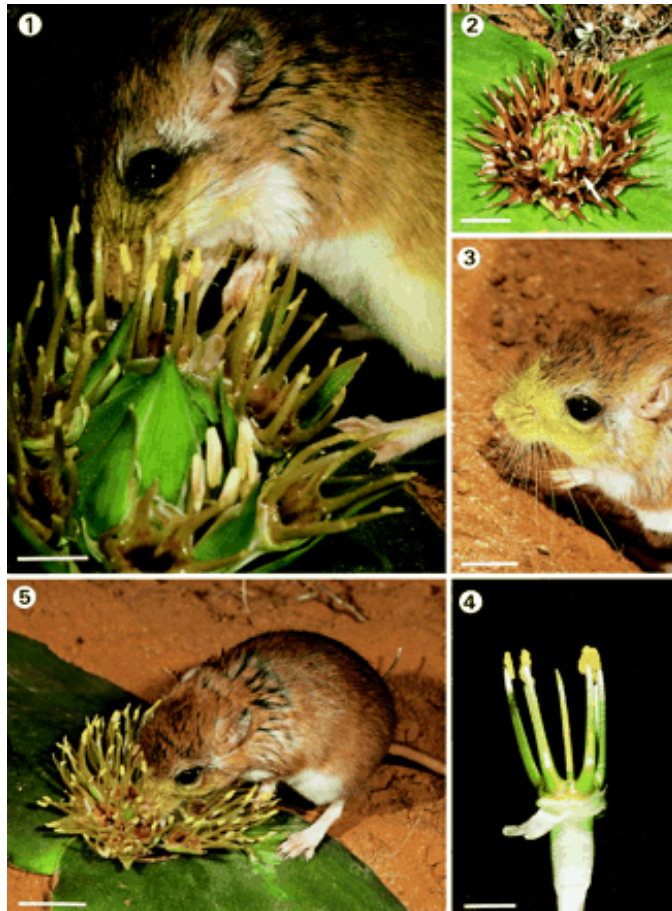
Mais attention : pas en France métropolitaine !!

□ Mammifères

■ Chauves-souris



Toutes les plantes ne sont pas pollinisées par des insectes...



Fleurs de *Massonia depressa* visitées par une gerbille se nourrissant de nectar
Johnson et al. 2001



Lézard buvant du nectar dans les fleurs de *Musschia aurea*
Olesen & Valido 2003

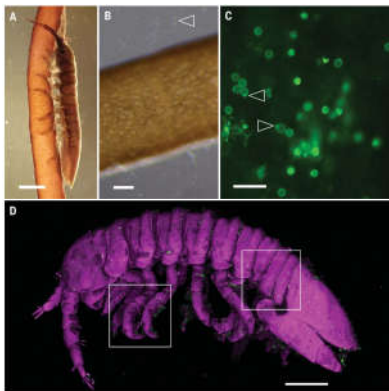
Toutes les plantes ne sont pas pollinisées par des insectes...

□ Des organismes marins



Thalassia testudinum (herbe à tortue) visitée par des larves de crustacés et des vers se nourrissant du mucilage entourant le pollen - Tussenbroeck et al. 2016

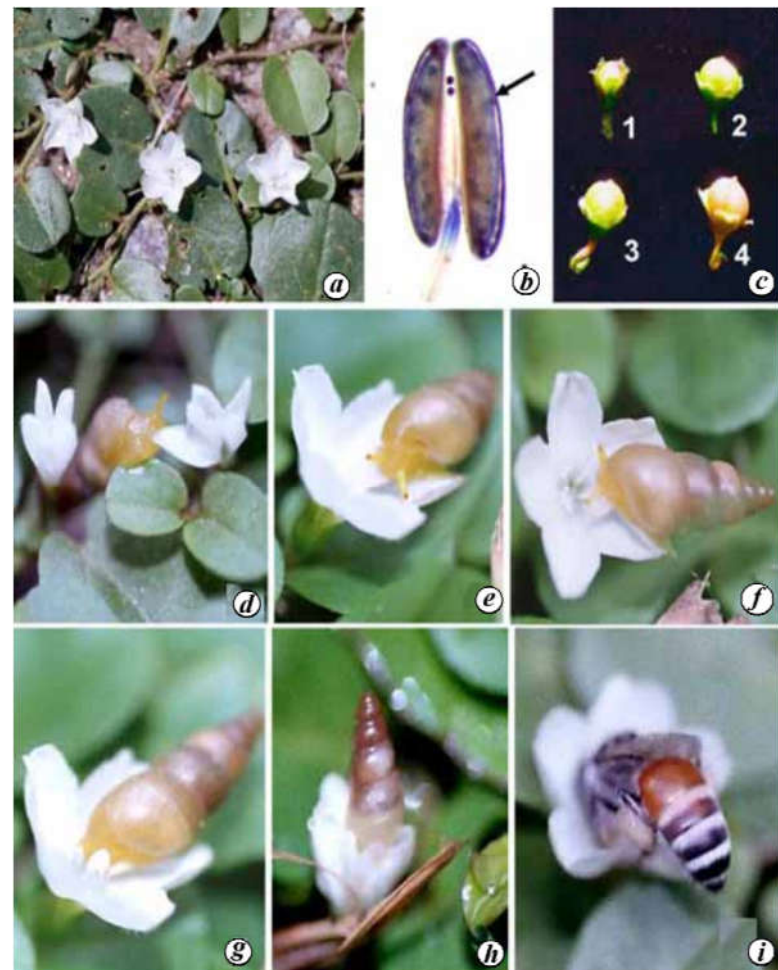
□ Y compris pour les algues



Transport des gamètes mâles de l'algue rouge *Gracilaria gracilis* par l'isopode *Idotea balthica*
Lavaut et al. 2023

□ Des escargots

Sarma et al. 2007



Volvulopsis nummularium

Diversité des insectes pollinisateurs

- Quand on pense « insecte pollinisateur » :
 - On pense souvent à l'abeille domestique (ou mellifère)



Diversité des insectes pollinisateurs

- Mais en fait, il existe une diversité d'insectes pollinisateurs



Diversité des insectes pollinisateurs

- Mais en fait, il existe une diversité d'insectes pollinisateurs
 - Hyménoptères



Diversité des insectes pollinisateurs

- Et beaucoup d'autres groupes



Diversité des insectes pollinisateurs

□ Et beaucoup d'autres groupes

Diptères

Hyménoptères

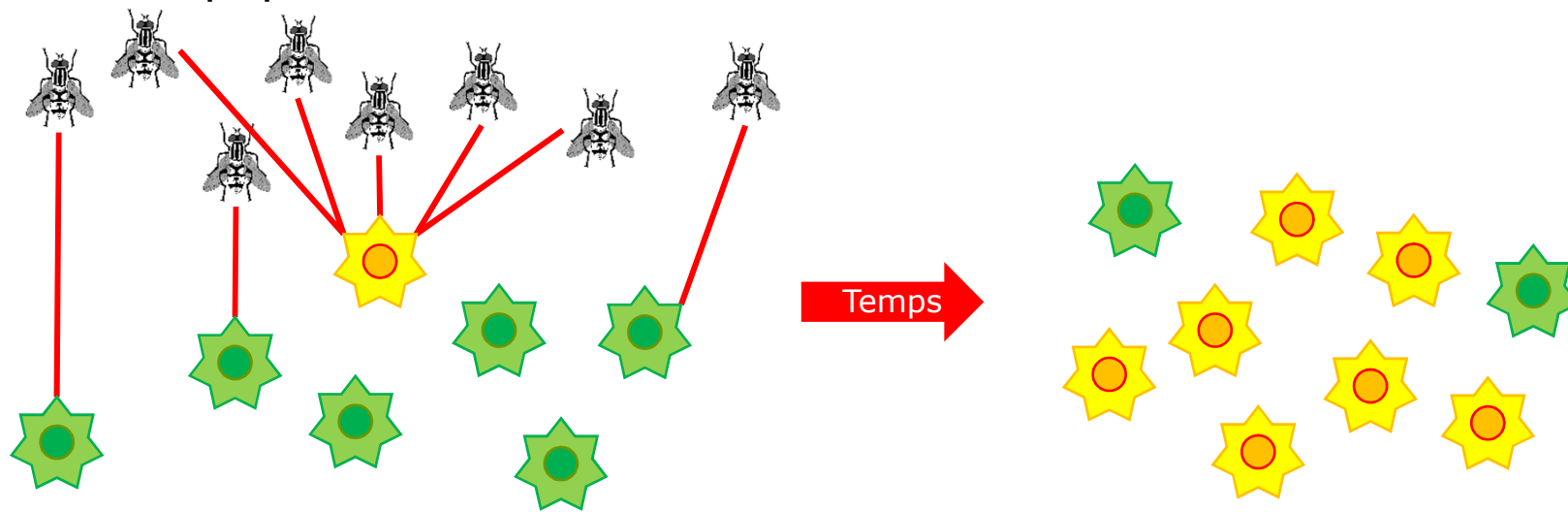
Coléoptères

Lépidoptères



Rôle de la sélection naturelle dans l'évolution du vivant (dont plantes et pollinisateurs)

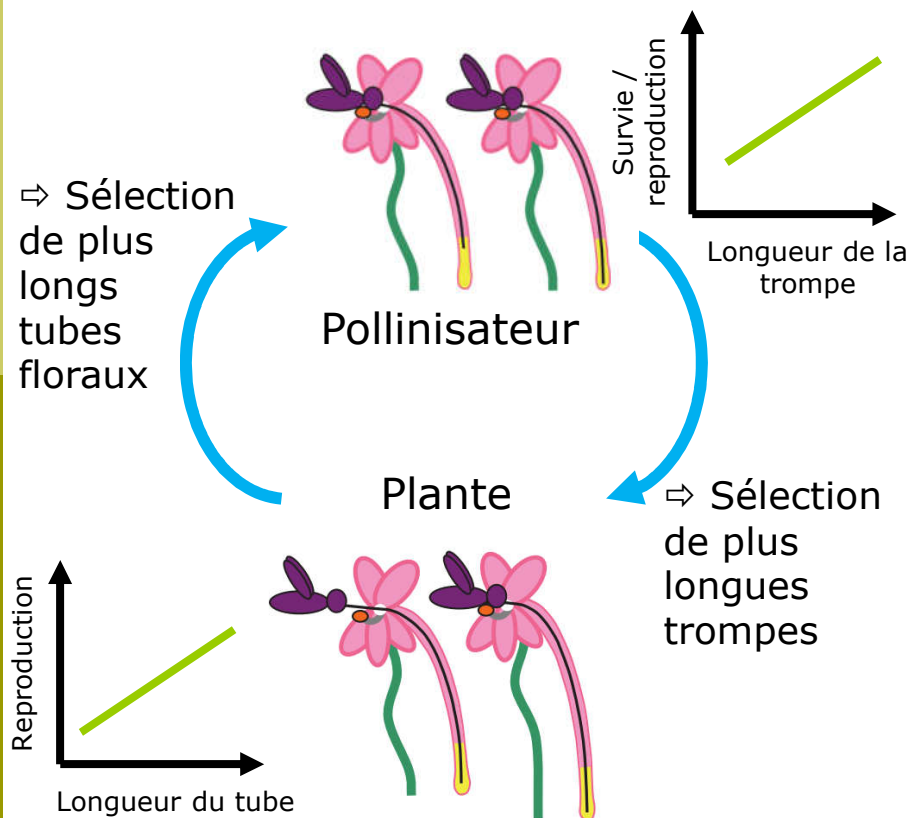
- Les caractéristiques (acquises au hasard des mutations) qui permettent aux individus de survivre mieux ou de se reproduire mieux sont plus transmises à la descendance et s'installent dans une population



- Quelles caractéristiques sont favorisées ?
 - Plantes : bon transport du pollen sans dépenser trop d'énergie
 - Pollinisateurs : récupérer de la nourriture le plus efficacement possible

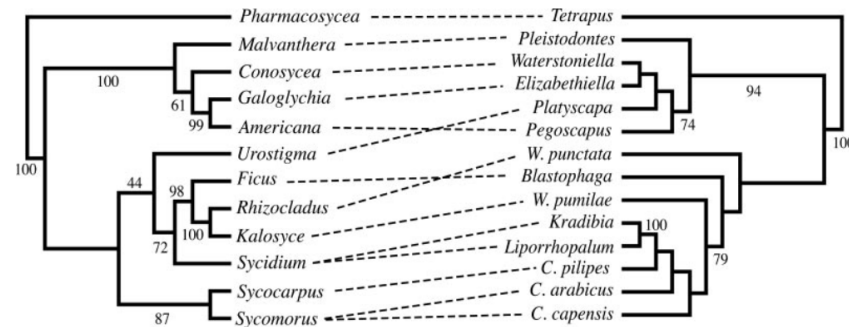
Coévolution

- ❑ Changements évolutifs réciproques entre deux espèces (ou groupes d'espèces) qui interagissent étroitement



Whitehall & Hodges 2007

Possibilité de co-spéciation



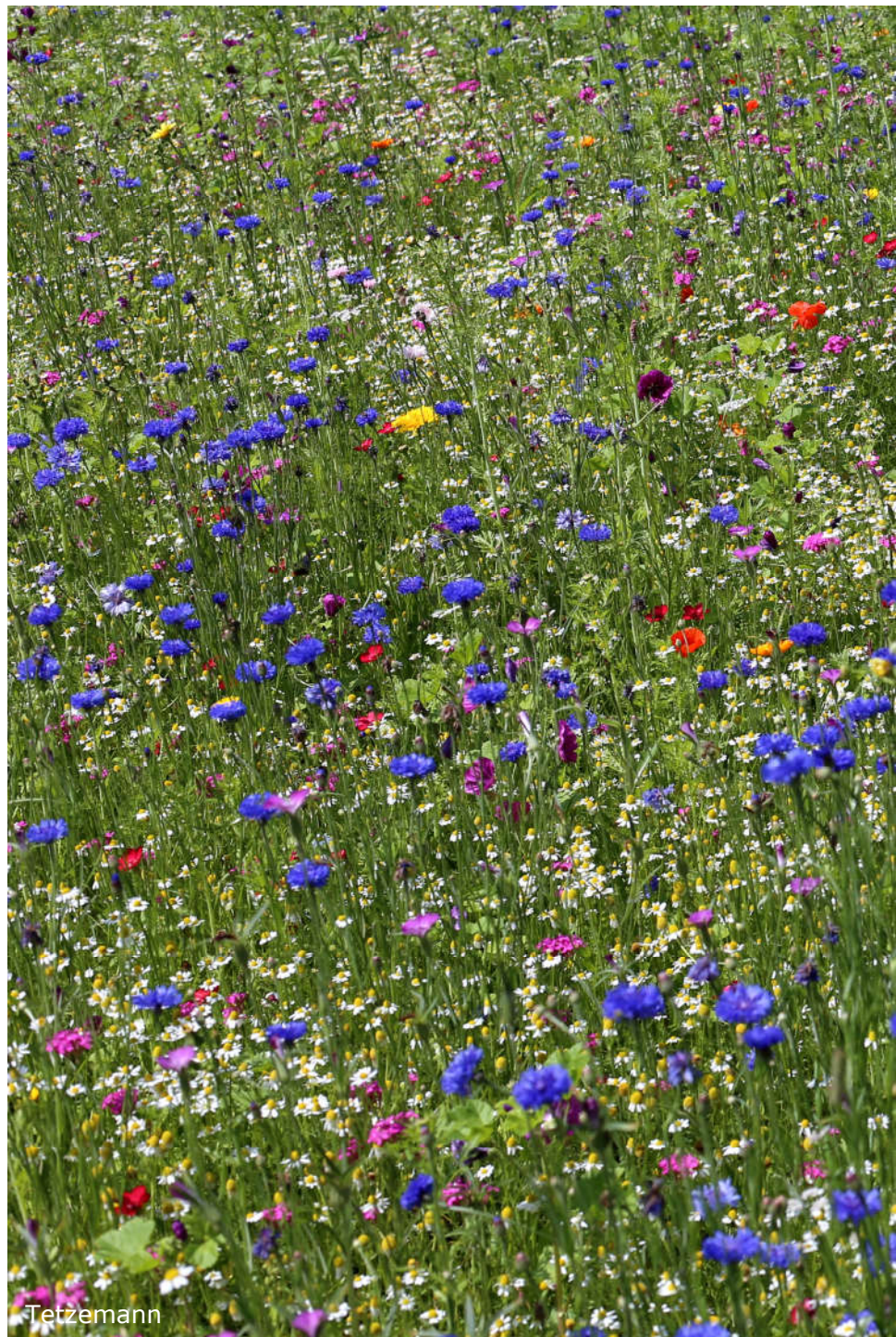
Figuier

Guêpes

Machado et al. 2005

Caractéristiques des fleurs permettant d'attirer les pollinisateurs





Tetzemann



Артем Полоз

Couleurs favorisant la détection

- Correspondant à la vision des pollinisateurs



Abeilles, bourdons...

Couleur jaune, bleu, violet, UV



Oiseaux (colibris)

Couleur rouge ou orange

Parfois, deux couleurs pour la même espèce

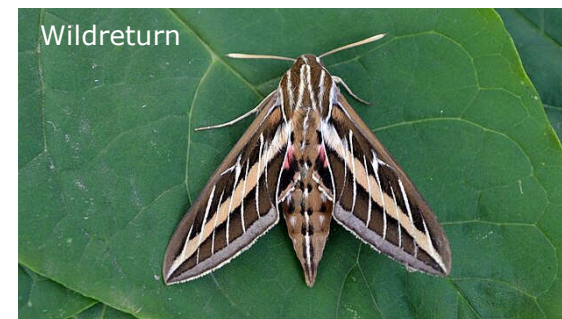
Mimulus aurantiacus, Californie



Ruff tuff
cream puff



Calypte anna



Hyles lineata

Parfois, plusieurs couleurs pour la même fleur

□ Pulmonaires

- Fleurs rouges puis bleues
- Combinaison de l'attractivité à longue distance + direction vers les fleurs à polliniser à courte distance



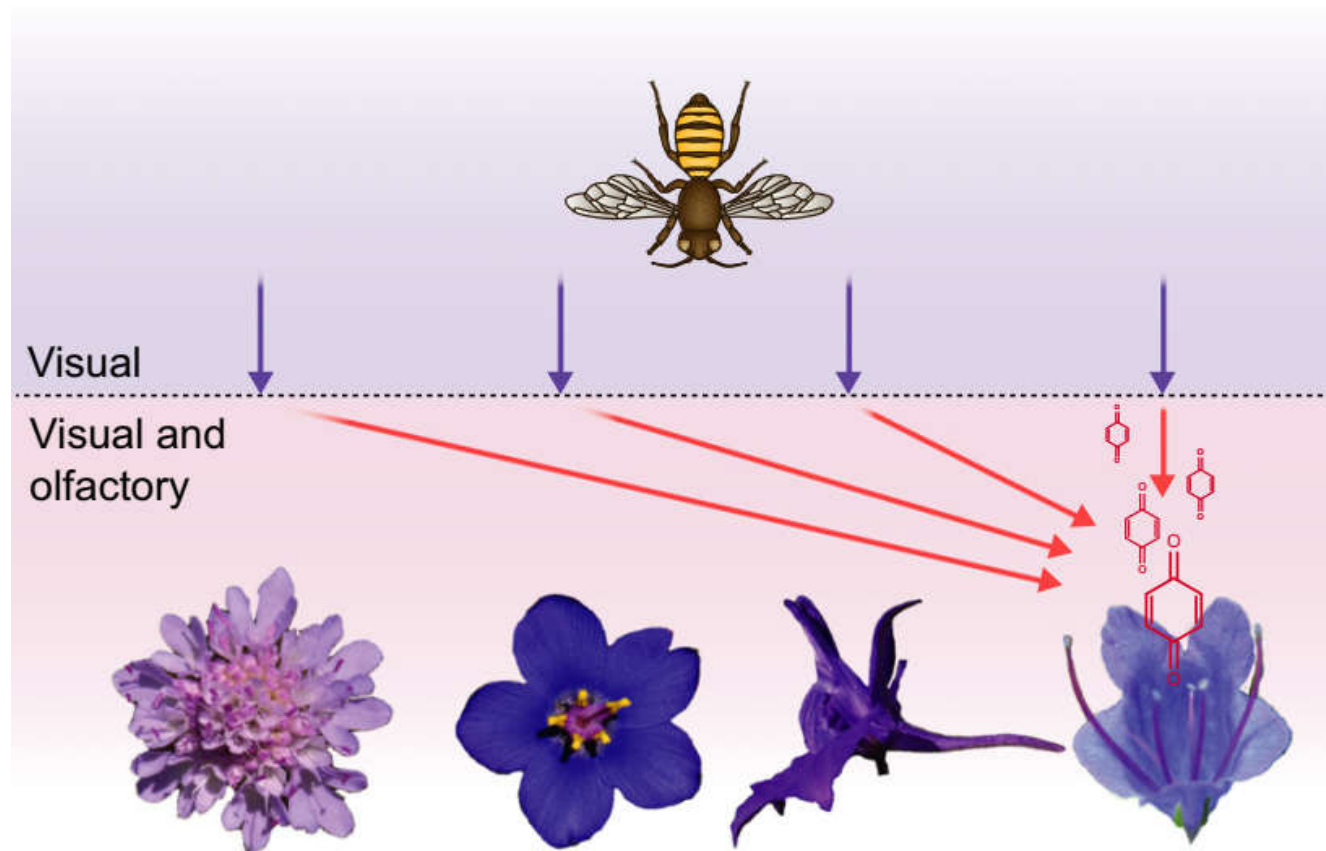
Mouvements favorisant la détection (*Silene maritima*)



Rosser1954

Odeurs favorisant la détection

- ❑ Estimation des ressources disponibles
- ❑ Identification d'une espèce de plante



Odeurs favorisant la détection

- ❑ La bonne odeur, c'est relatif !
 - La fleur du diable attire des mouches qui d'habitude pondent sur des cadavres
 - Couleur vert-marron
 - Odeur nauséabonde

Tacca chantrieri – La fleur du diable



Thermogénèse pour diffuser plus efficacement les odeurs



Arum titan (*Amorphophallus titanum*)



Rafflésies

Caractéristiques permettant de guider les pollinisateurs

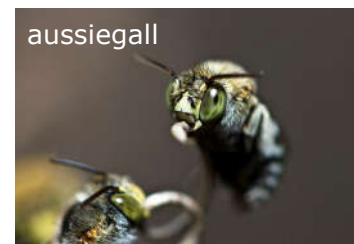
▣ Guides à nectar



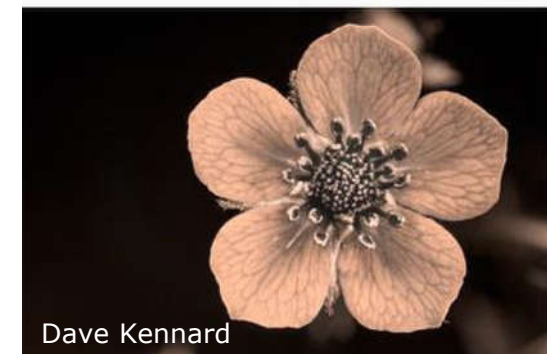
Pensée des champs
(*Viola arvensis*)



Ce que nous voyons



Ce que voient les insectes



Fraisiers des bois
(*Fragaria vesca*)

Voir une potentille à travers les yeux des insectes

□ Humains



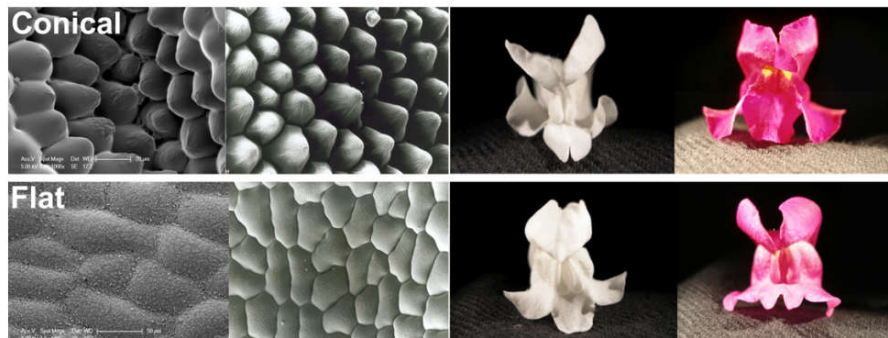
□ Insectes



Potentilla reptans

Caractéristiques facilitant l'accès aux fleurs

- Revêtement antidérapant à l'entrée
 - Chez le muflier (*Antirrhinum majus*)



C T Johansson

Caractéristiques facilitant l'accès aux fleurs

- Horaires d'ouverture adaptés
 - Chez le baobab *Adansonia digitata*



Chauves-souris
Couleur pâle
Ouverture nocturne

Caractéristiques permettant de fidéliser les pollinisateurs

- ▣ Les plantes fournissent souvent de la nourriture aux insectes qui les visitent



Nectar ⇒ **Sucres**



Pollen ⇒ **Protéines, lipides**

Autres formes de récompense

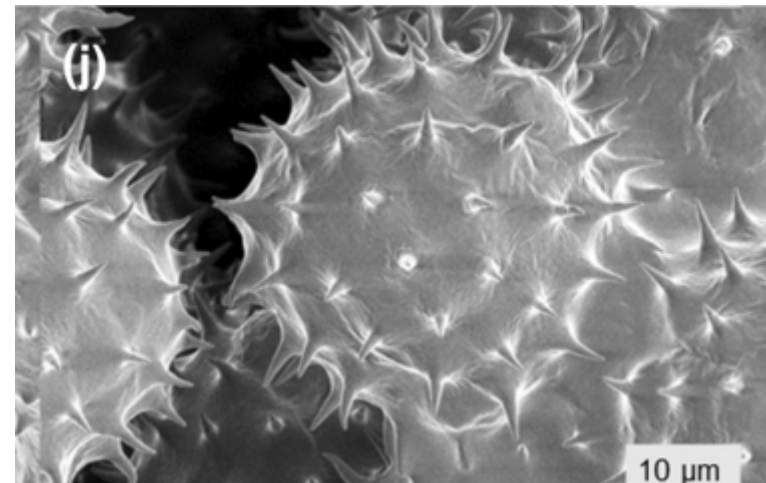
- ▣ *Iris atropurpurea* servant de refuge à des abeilles solitaires



Watts et al. (2013)

Autres formes de récompense

- Médicaments
 - Pollen de tournesol contre le parasite *Chritidia bombi*



Autres formes de récompense

□ Stimulants

- Caféine pour améliorer les capacités cognitives des pollinisateurs
- *Coffea* et *Citrus*
- Meilleure mémoire de l'odeur des fleurs



Caractéristiques favorisant une spécialisation des pollinisateurs

- Attirer des pollinisateurs qui apportent le « bon » pollen ⇒ spécialisation des formes



Il existe des cas extrêmes de spécialisation

- Etoile de Madagascar, *Angraecum sesquipedale*



*Xanthopan morgani
praedicta*



Esculapio

That such a moth exists in Madagascar may be safely predicted; and naturalists who visit that island should search for it with as much confidence as astronomers searched for the planet Neptune,—and they will be equally successful! A.R. Wallace 1867

Recherche de motifs et de lois générales

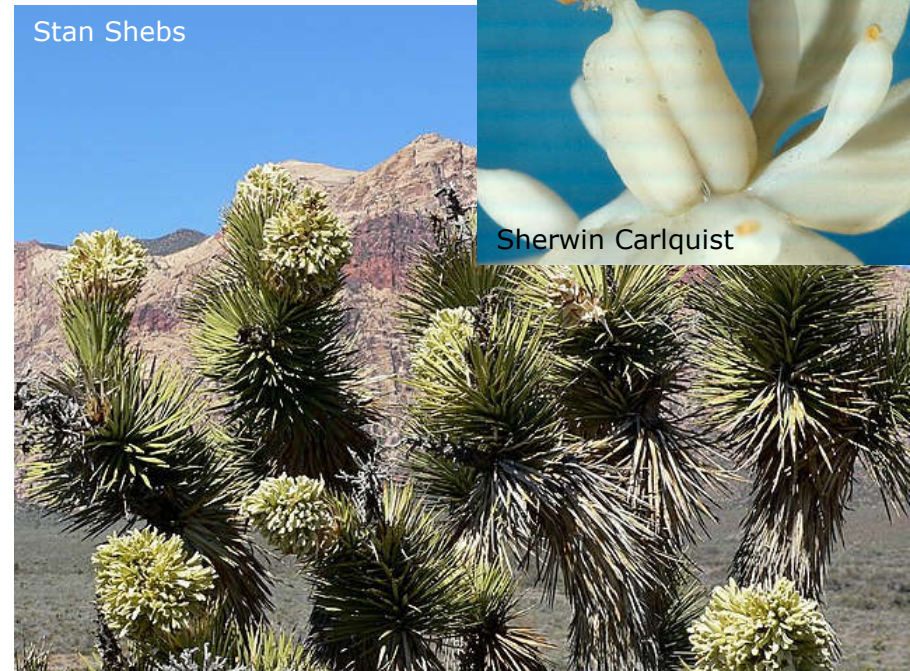
Mais le vivant reste un système adaptatif complexe, avec de nombreuses rétroactions

Les conséquences de la spécialisation

▣ Des comportements inattendus...



Trolle d'Europe et mouche chiasochète



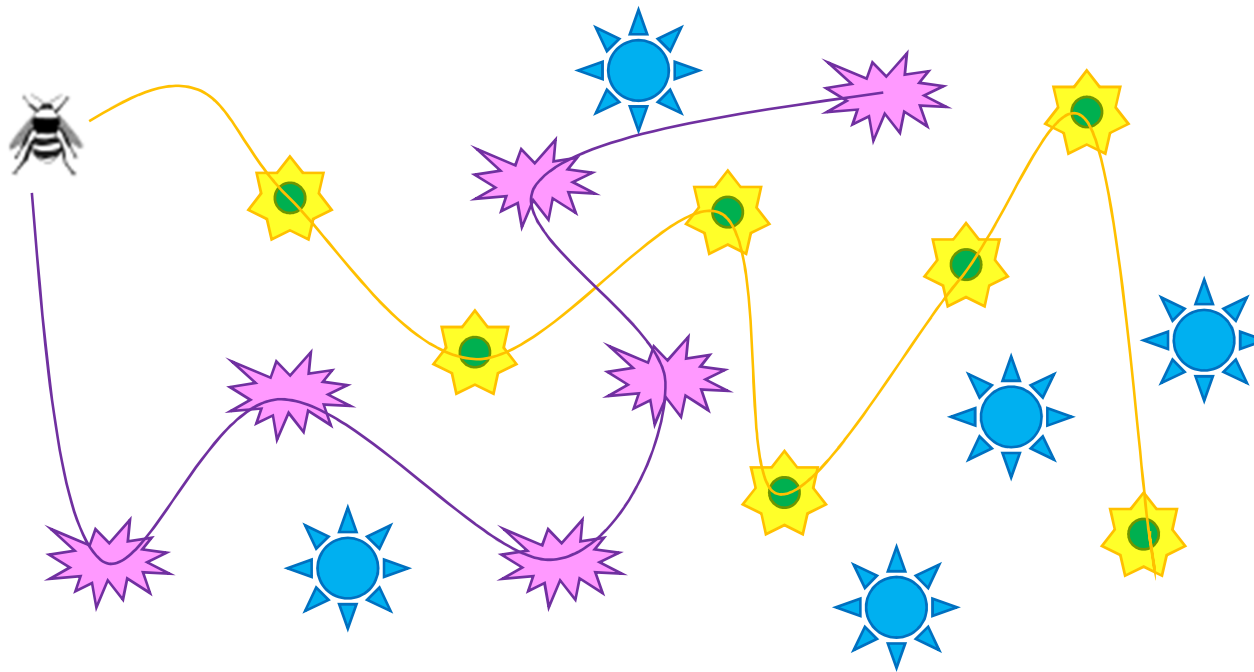
Yucca et papillon pollinisateur

Les pollinisateurs plus efficaces pour récolter des ressources survivent et se reproduisent mieux



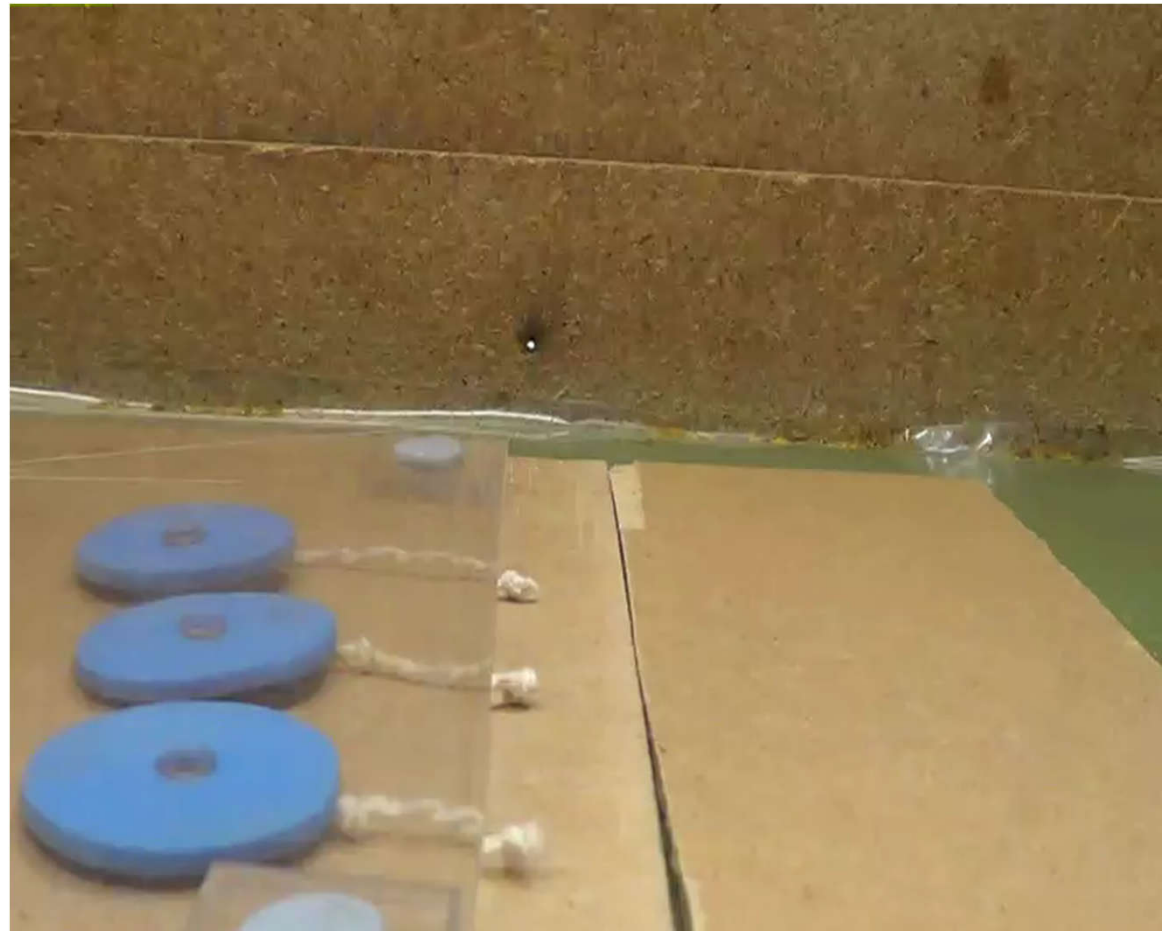
Une bonne capacité d'apprentissage

- Les pollinisateurs ont la mémoire courte
 - A chaque sortie, ils doivent réapprendre comment prélever le pollen/le nectar sur une fleur



Des capacités d'apprentissage surprenantes

- Des bourdons qui tirent des ficelles - Alem et al. (2016)



Des capacités d'apprentissage surprenantes (parfois dopées par les plantes)

- ❑ Des bourdons qui jouent au [ballon](#) - Loukola et al. (2017)



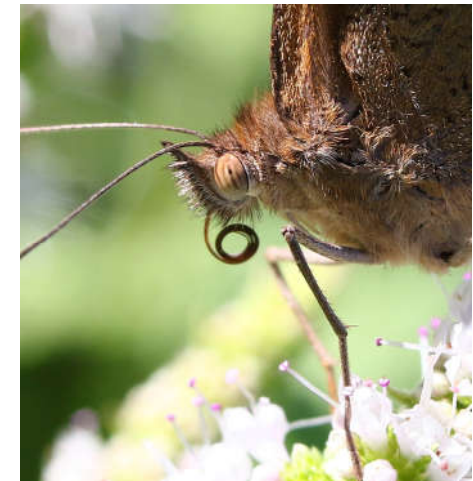
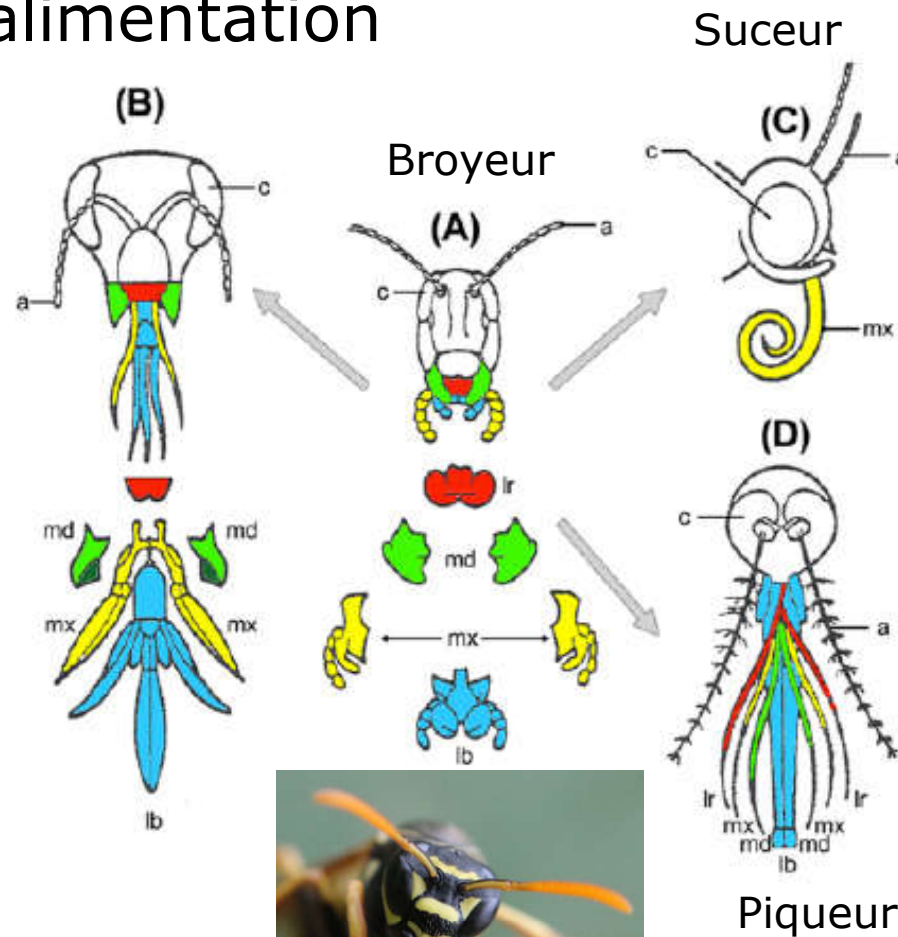
Evolution morphologique des appareils buccaux

▣ Modes d'alimentation

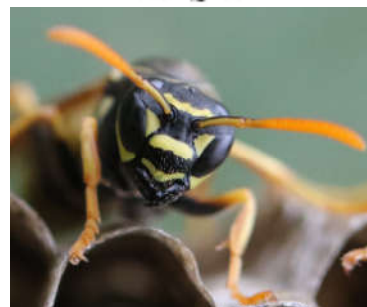
Broyeur/Lécheur



Photos : Didier51 - Spipoll

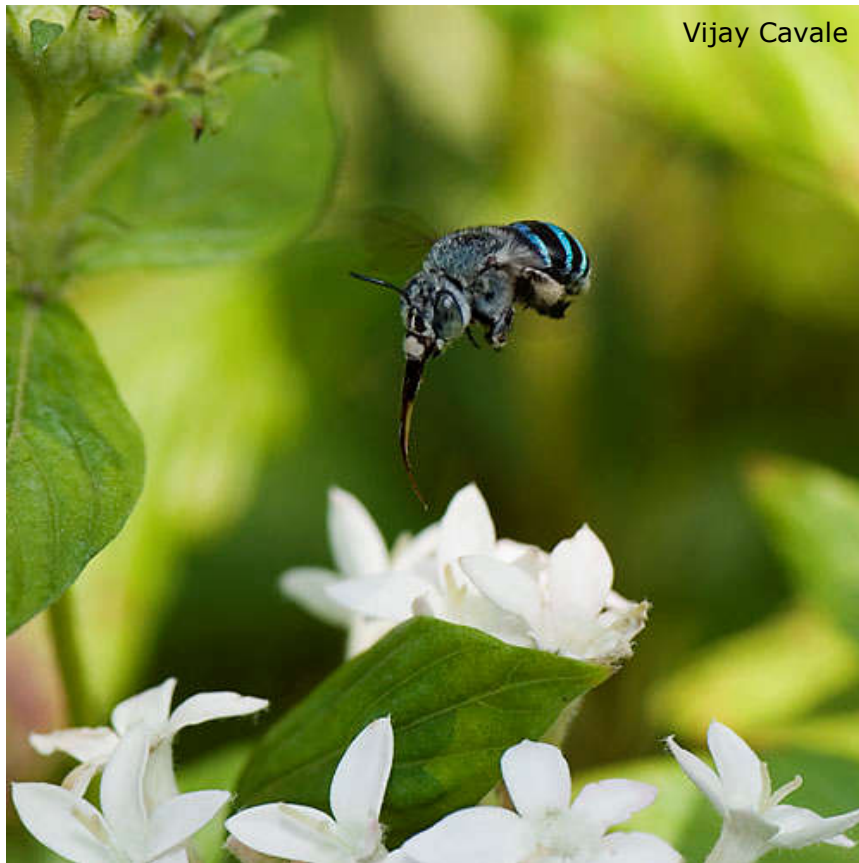


CyclopKIouch - Spipoll



Spécialisation morphologique chez les pollinisateurs aussi

- ▣ Dans tous les groupes, différentes morphologies des parties buccales (trompes, langues...)



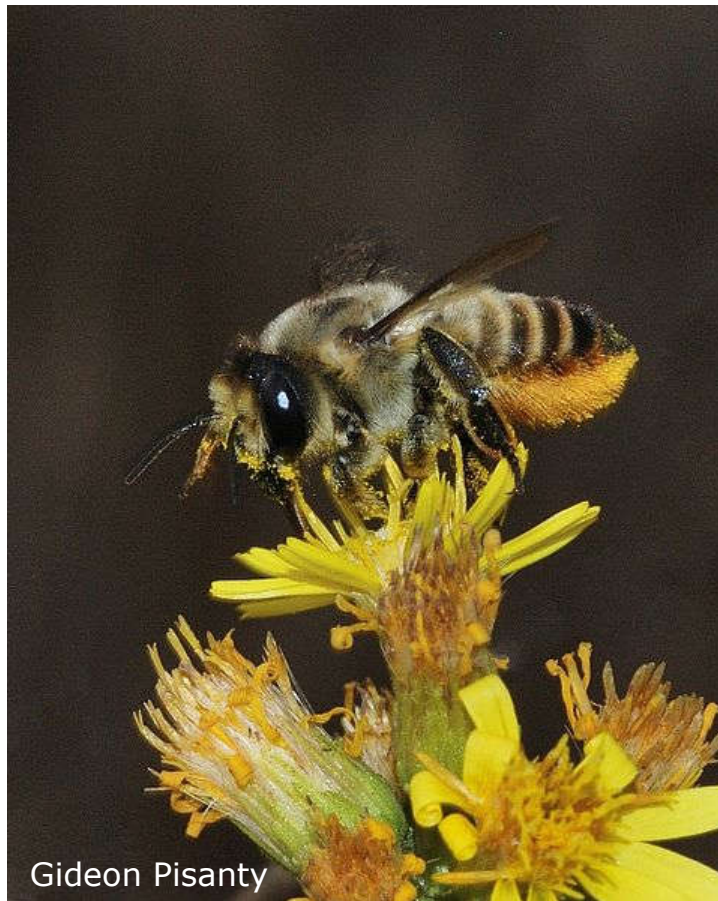
Abeille à longue langue



Abeille à langue courte

Spécialisation pour la récolte du pollen

- ❑ Brosse abdominale chez les abeilles mégachiles



- ❑ Corbeilles à pollen chez certaines abeilles et bourdons

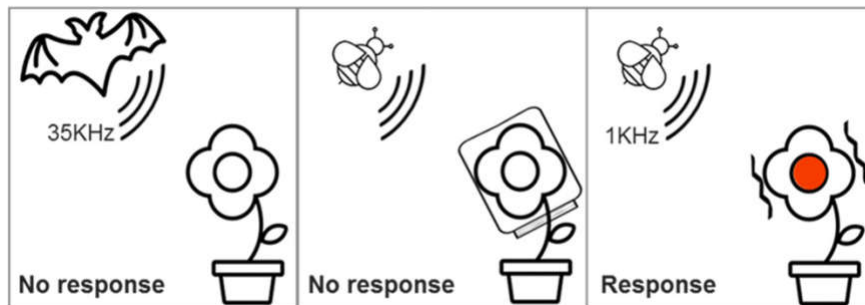


Les insectes arrivent à communiquer avec certaines plantes

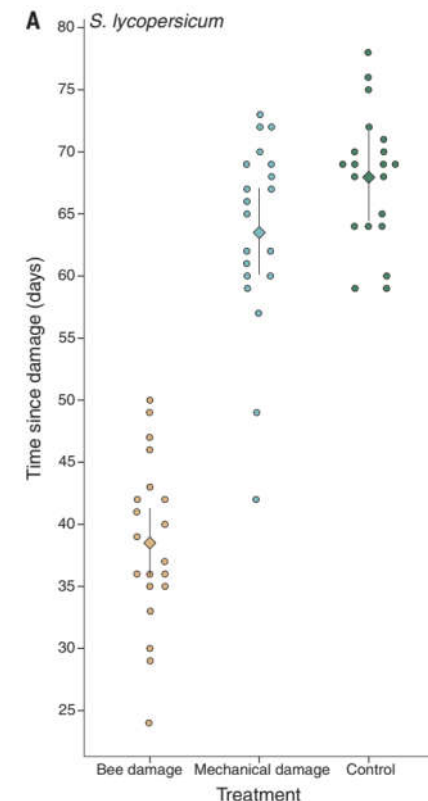
- Via les vibrations de l'air
 - Augmentation de la concentration en sucres du nectar en quelques minutes



Oenothera drummondii
Veits et al. 2019



- Via des morsures sur les feuilles
 - Accélération de la floraison



Pashalidou et al. 2020

Mais l'histoire n'est pas toujours aussi belle

- Jusqu'ici, je vous ai montré
 - Des bénéfices réciproques entre plantes et pollinisateurs (mutualisme)
 - Une relation forte entre plantes et pollinisateurs (spécialisation)



Une situation intermédiaire : la pollinisation « nursery »

- Parfois, il faut sacrifier une partie de ses graines
 - Exemple des figuiers et leurs guêpes pollinisatrices

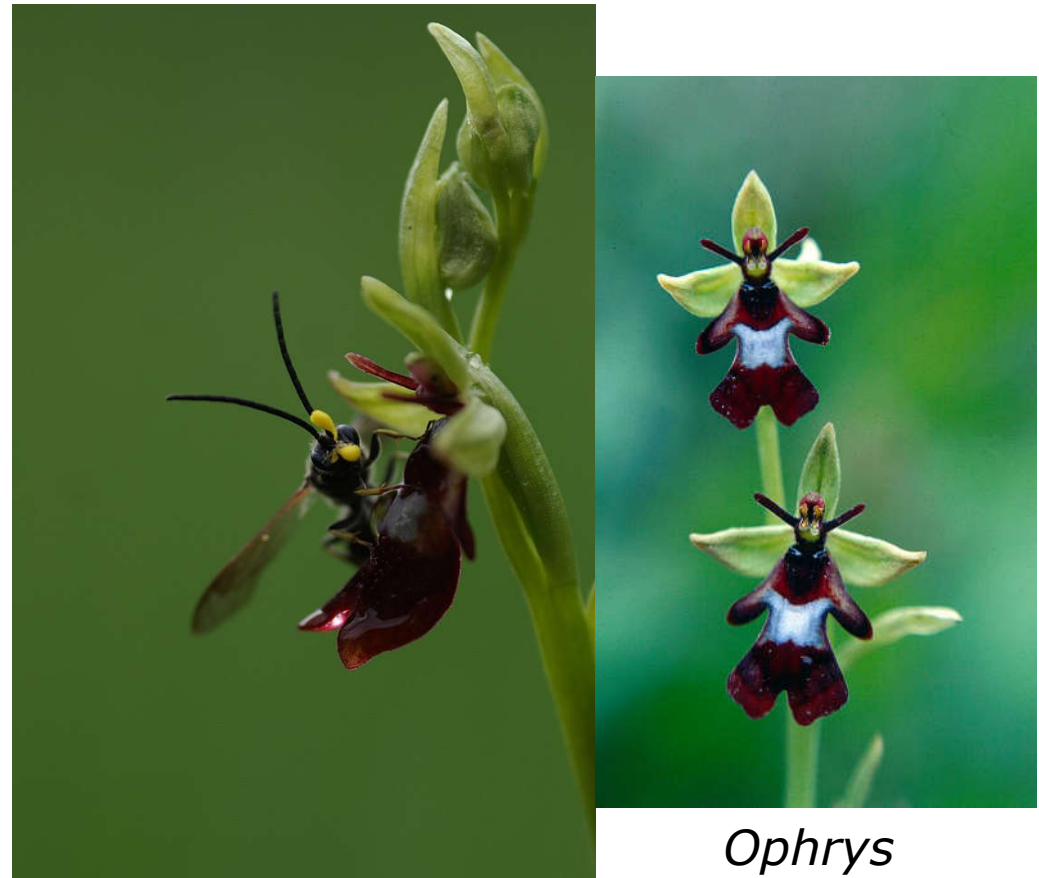


Et il existe de « vrais » tricheurs

▣ Chez les plantes



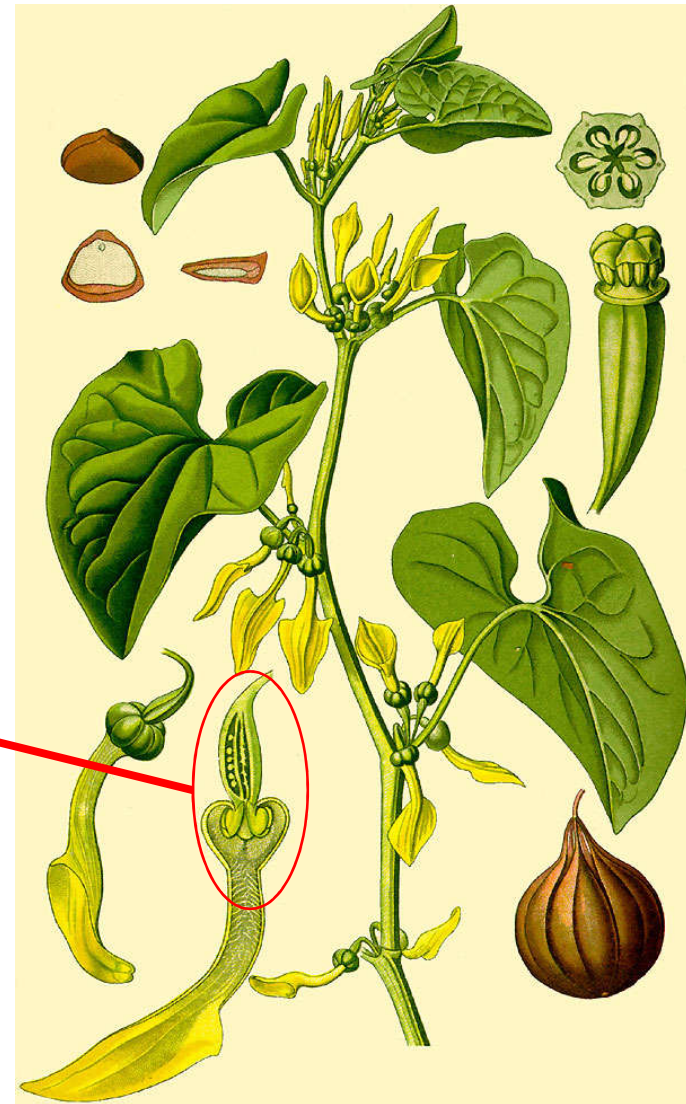
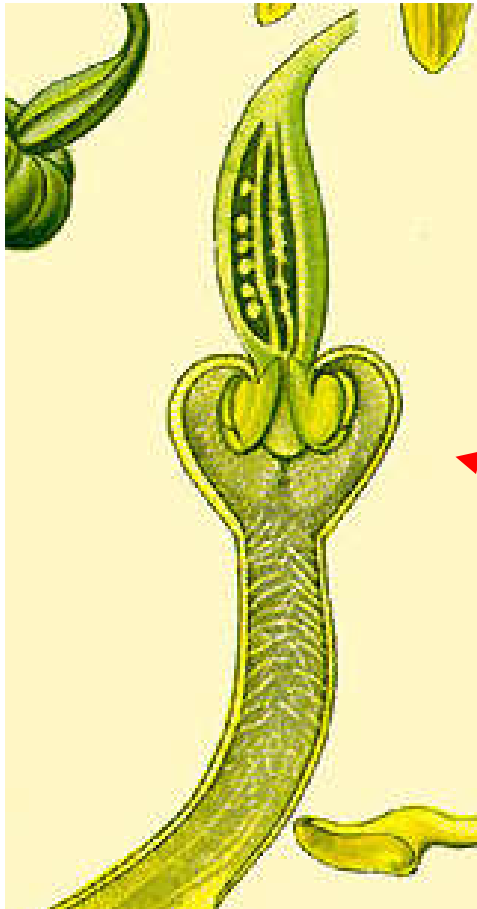
Dactylorhiza sambucina



*Ophrys
insectifera*

Certaines plantes forcent un peu la main aux pollinisateurs

- Aristoloche clématite (*Aristolochia clematitis*)



Certains pollinisateurs trichent aussi...

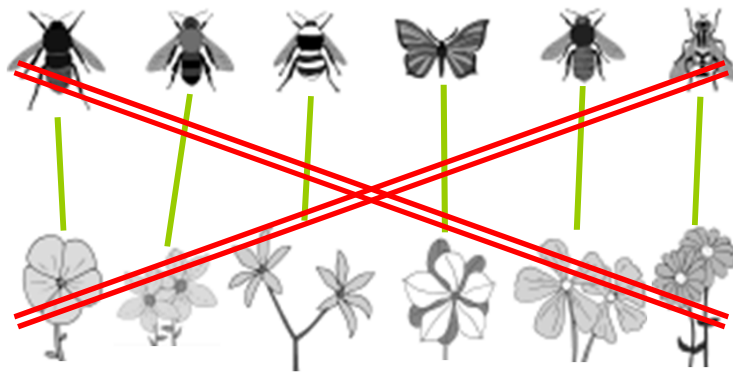
Vol de nectar par certains bourdons ou abeilles



Bourdon et ancolie

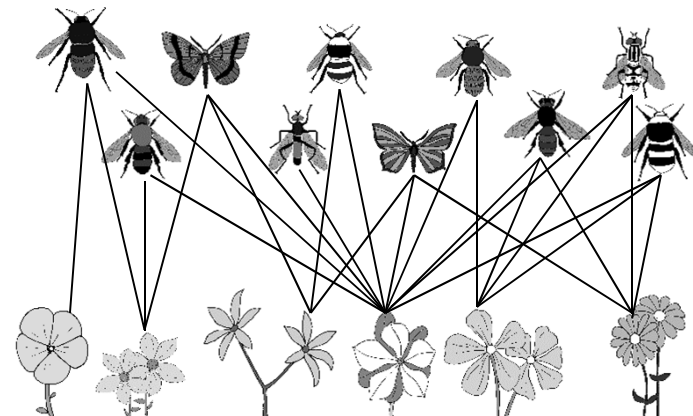
De plus, la fidélité n'est pas la règle

- Ce qu'on pensait pendant longtemps :

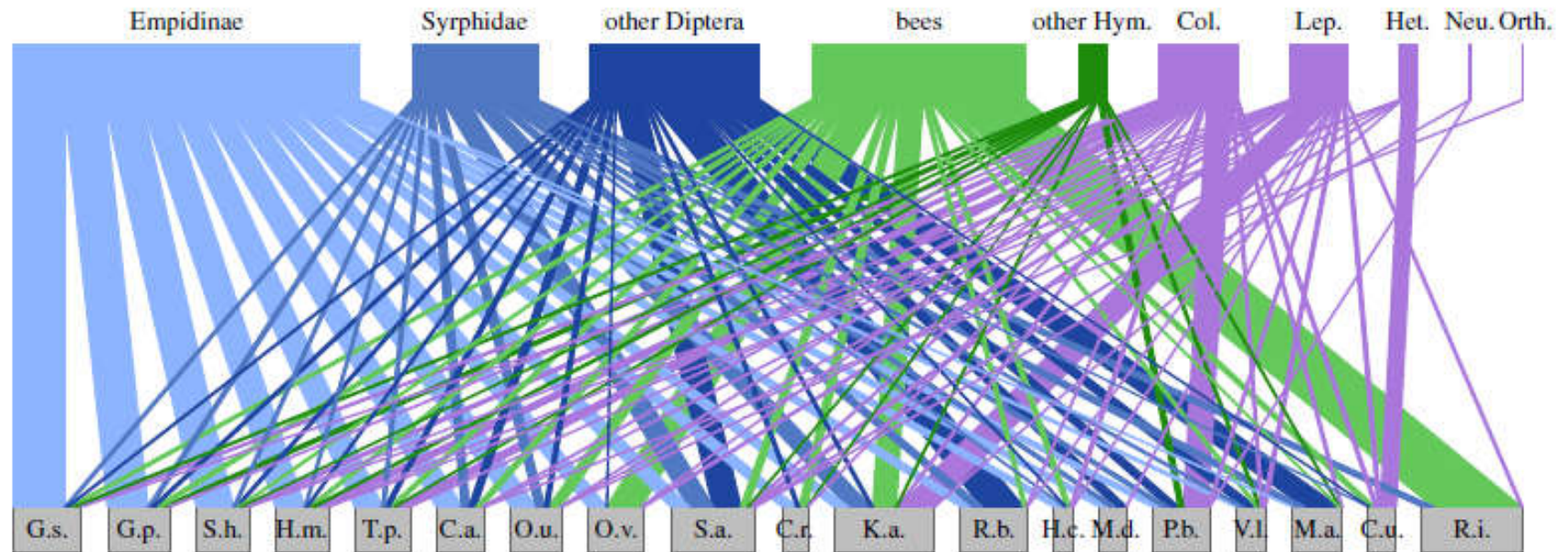


- ~~Très grande spécialisation~~

- Ce qu'on observe



Réseaux d'interactions plantes-pollinisateurs



- Conséquences de la diversité et de la structure des réseaux d'interaction
 - Efficacité de la pollinisation
 - (Co)évolution des plantes et des pollinisateurs