

Spécialisation d'un insecte ravageur des cultures
& approche de biologie évolutive pour la gestion des
populations :
le point des recherches sur les pyrales du genre *Ostrinia*

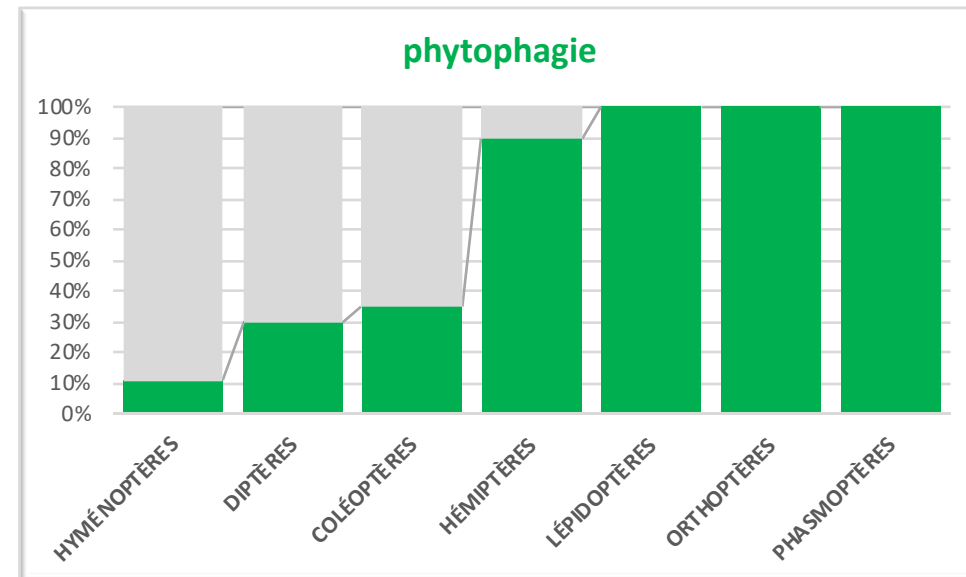
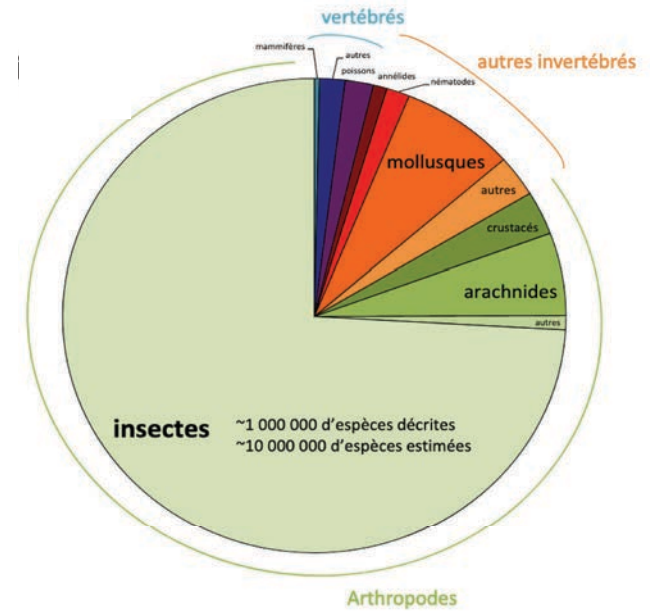
Réjane Streiff

CBGP 16/04/2019



Diversité et spécialisation des insectes

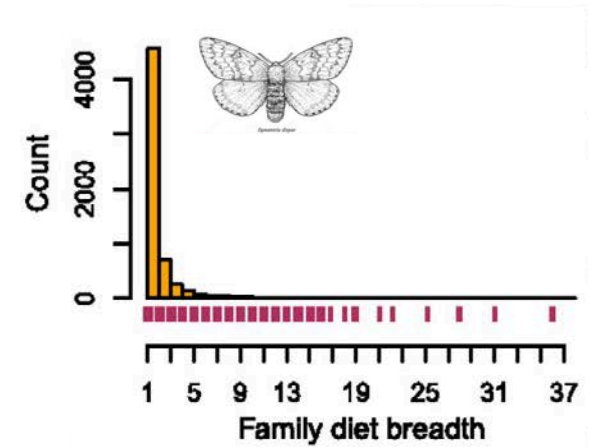
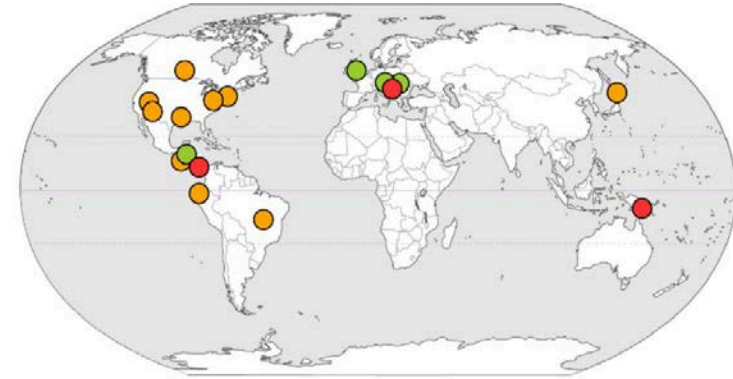
- Les insectes sont le groupe le plus diversifié sur terre
- Une majorité d'insectes est phytophage



Diversité et spécialisation des insectes

- Les insectes sont le groupe le plus diversifié sur terre
- Une majorité d'insectes est phytophage
- La majorité des insectes phytophages est spécialisée

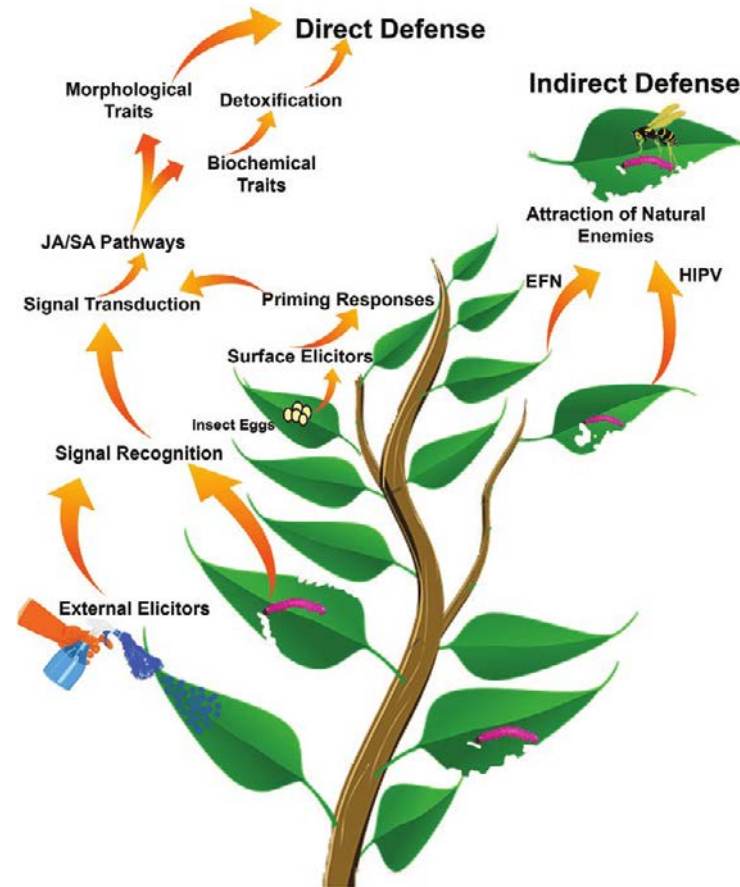
➤ ***La plante hôte à l'origine de la diversification des insectes phytophages***



From: Forister et al. 2015

Interaction plante-insecte

- Une course aux armements côté plantes:
 - cuticule / paroi cellulaire
 - métabolites secondaires
 - résistance induite basale et spécifique



From: Abdul R War

Interaction plante-insecte

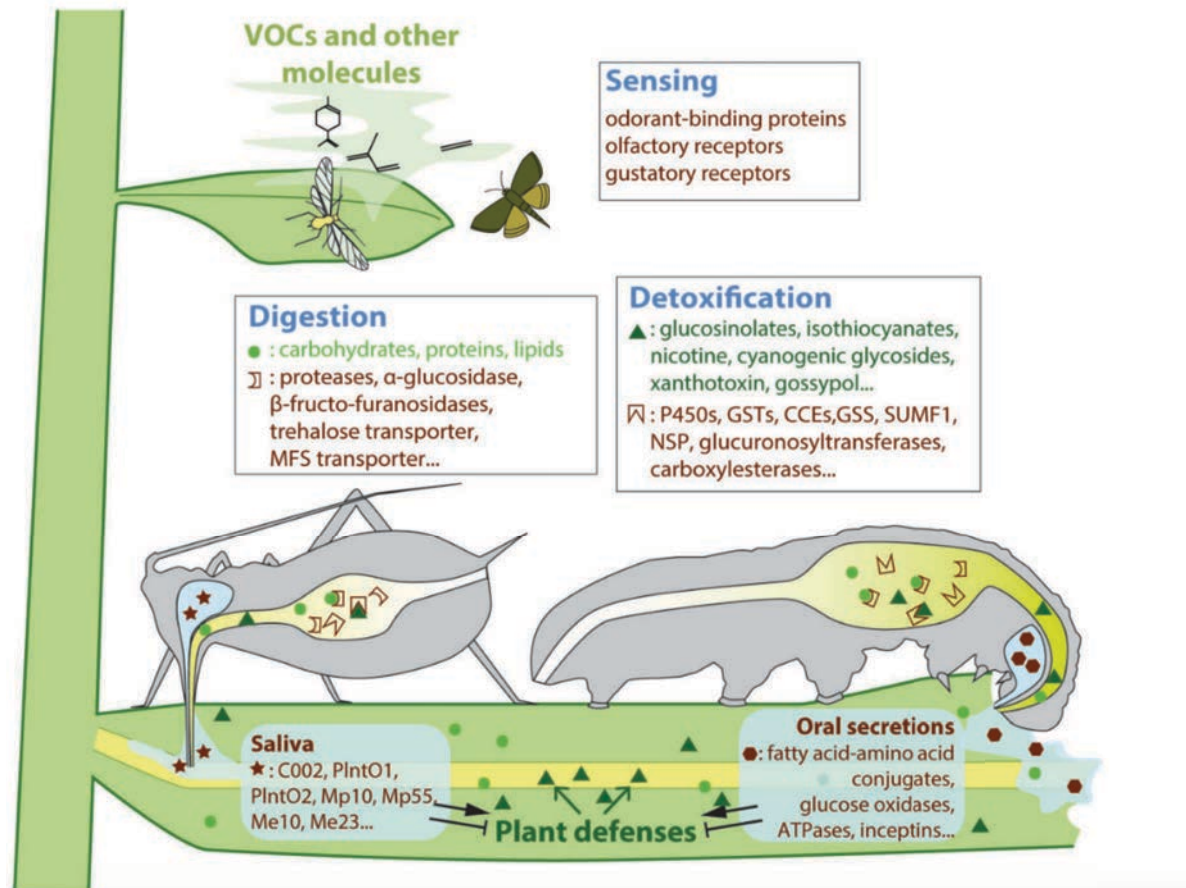
➤ Une course aux armements côté insectes:

Morphologie

Digestion

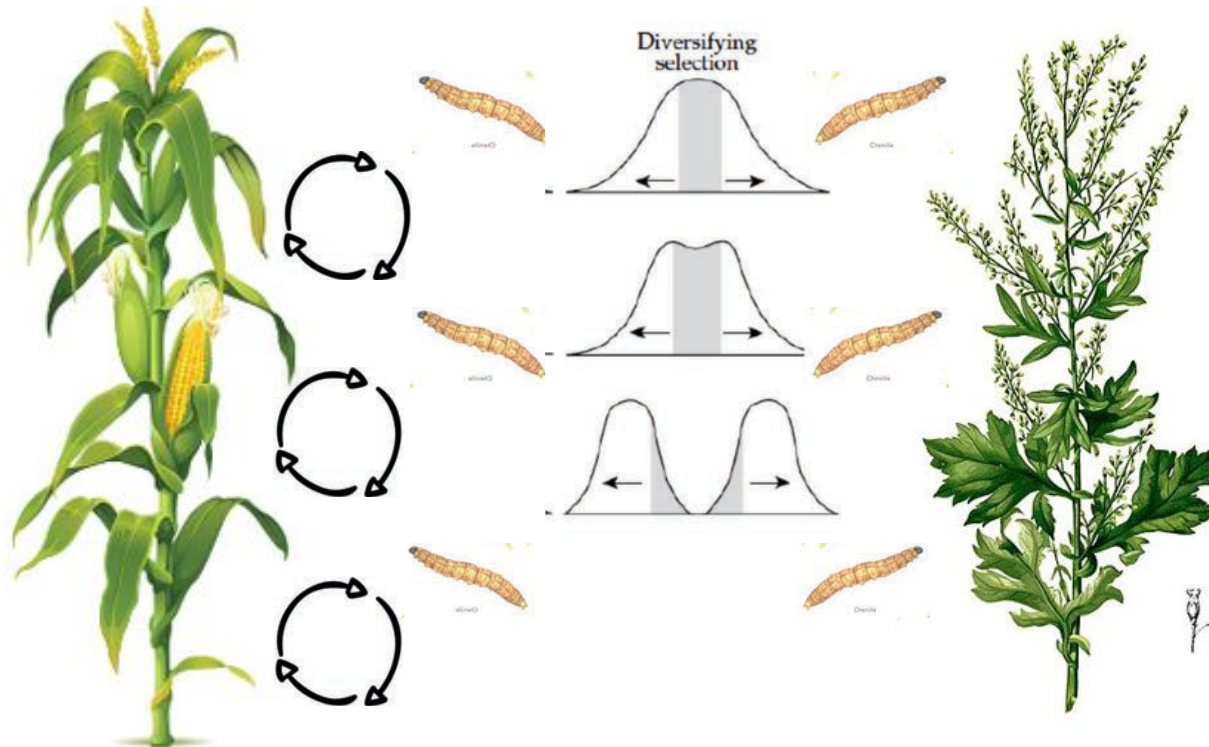
Détoxification

chémodétection



Spécialisation des insectes

- Spécialisation moteur de la divergence des populations/espèces



Spéciation écologique



COMPONENTS OF ECOLOGICAL SPECIATION

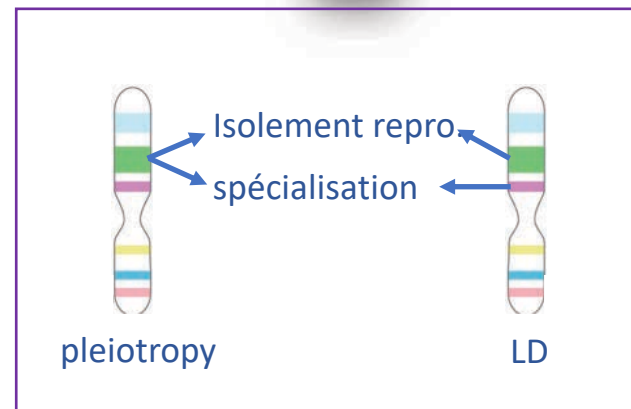
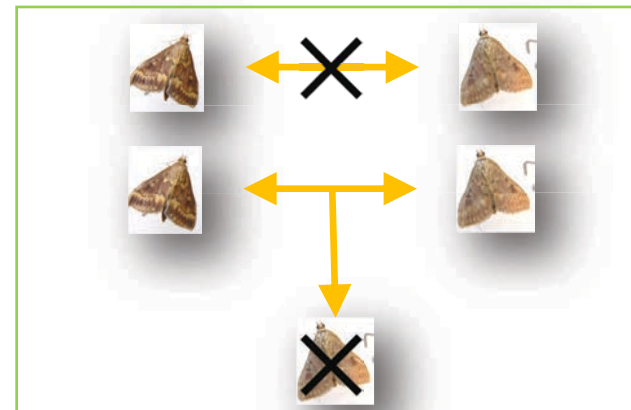
A source of divergent selection.

A form of reproductive isolation.

A genetic mechanism linking the two.

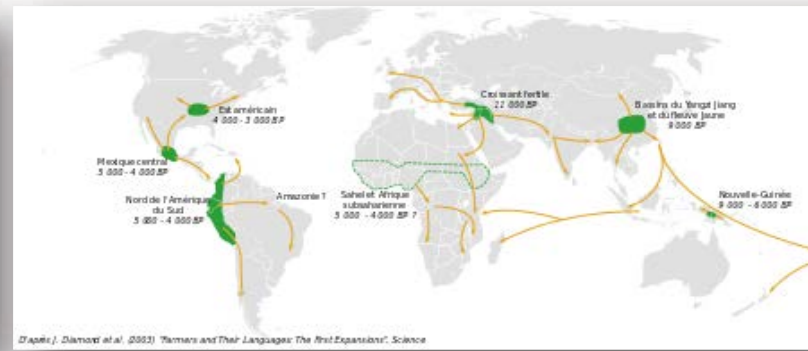
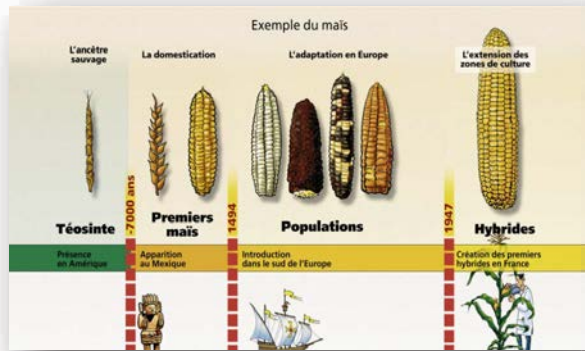
Source: Rundle et Nosil

Les ravageurs des cultures : un cas particulier?



La cas des ravageurs agricoles

➤ L'Homme intervient dans la course aux armements



Domestication, migration, intensification



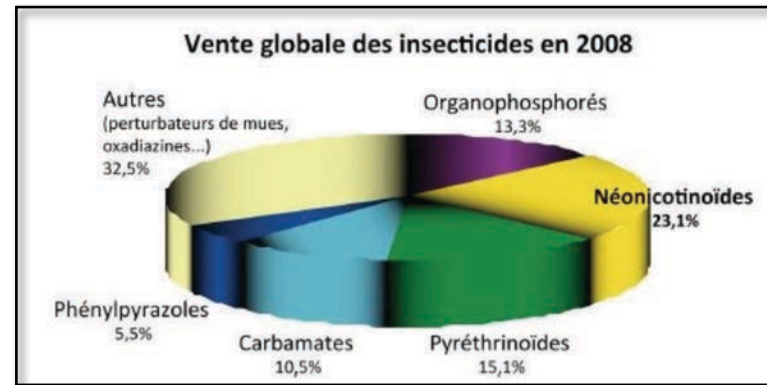
Colonisation des nouveaux habitats par les phytophages

La cas des ravageurs agricoles

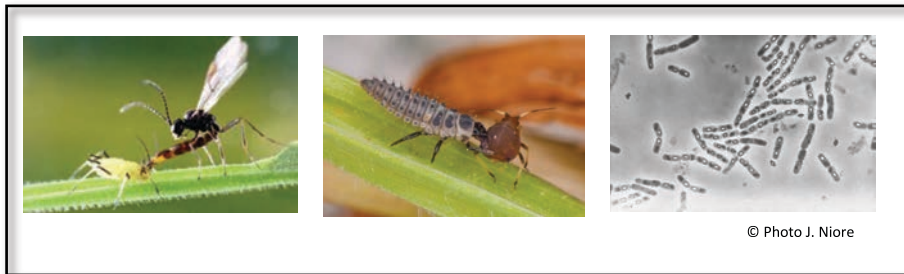
➤ L'Homme développe des moyens de lutte



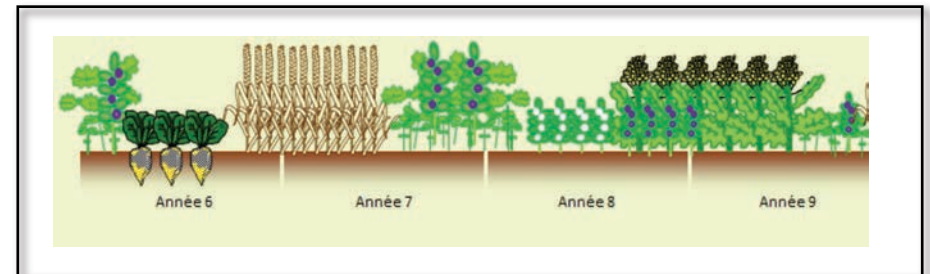
Sélection variétale et OGM



Insecticides



Lutte biologique



Autres: pratiques culturales, lutte biochimique

➤ Insecticides et résistances

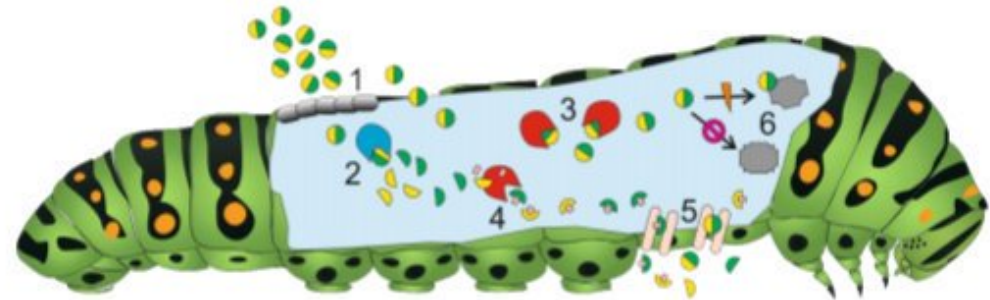
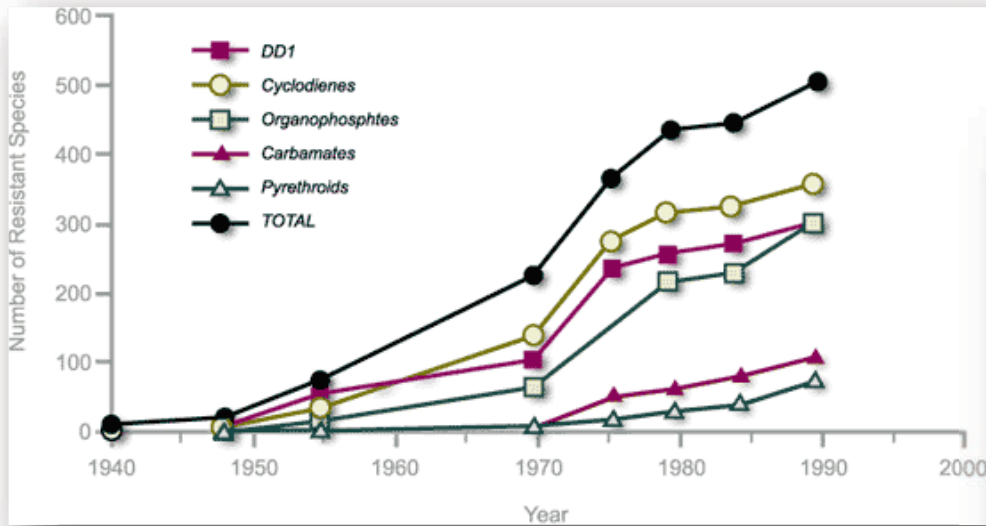
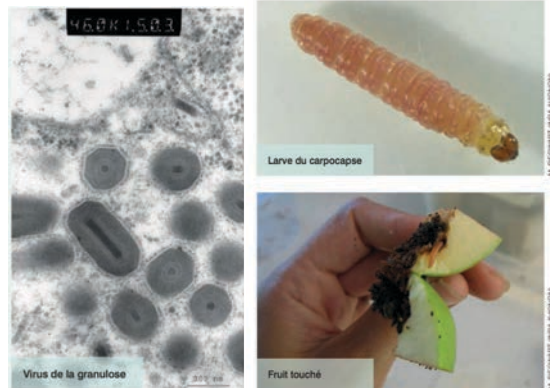


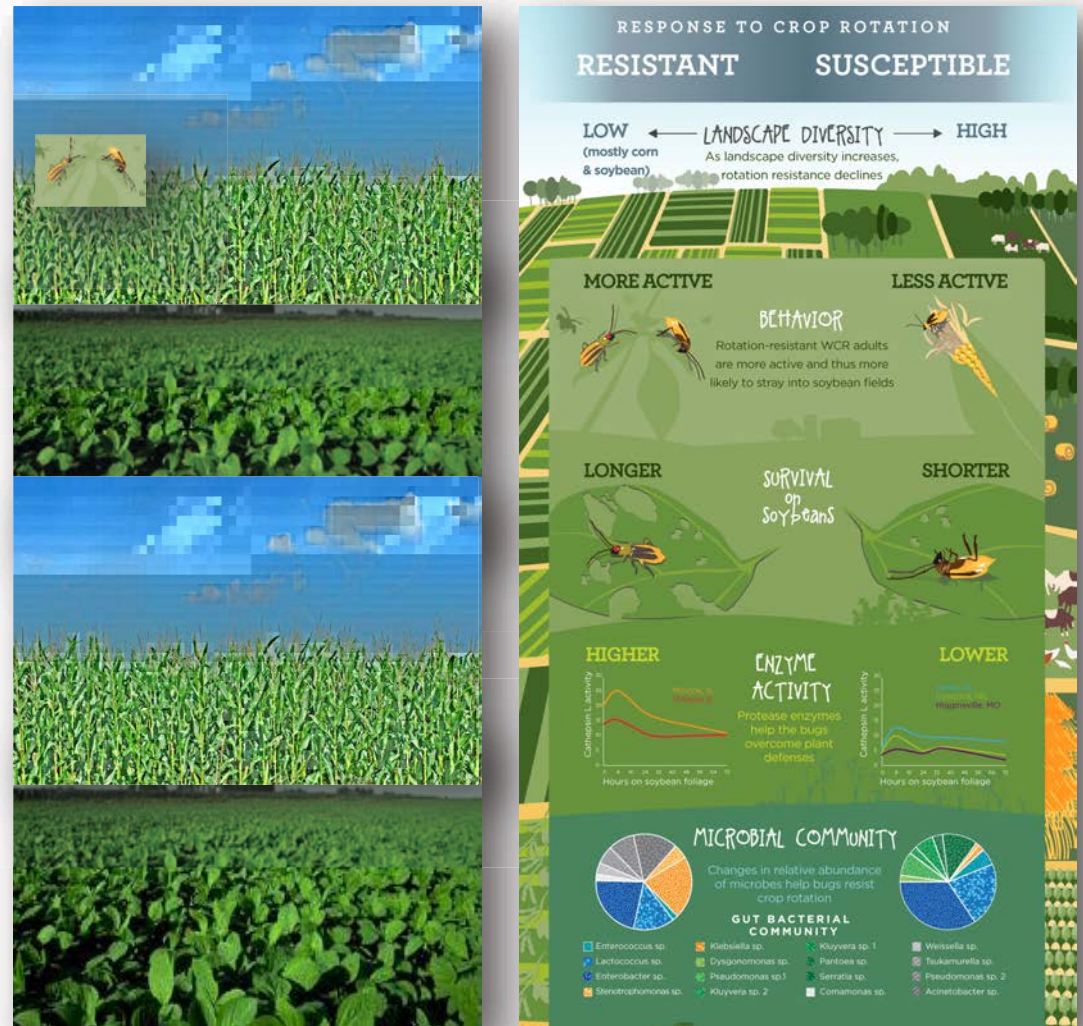
Fig. 2 Schematic illustration of different possible resistance mechanisms known in insects: 1) penetration resistance; 2) enzymatic cleavage; 3) sequestration; 4) conjugation; 5) excretion; 6) target-site modification.

➤ Lutte biologique



virus de la granulose du carpocapse

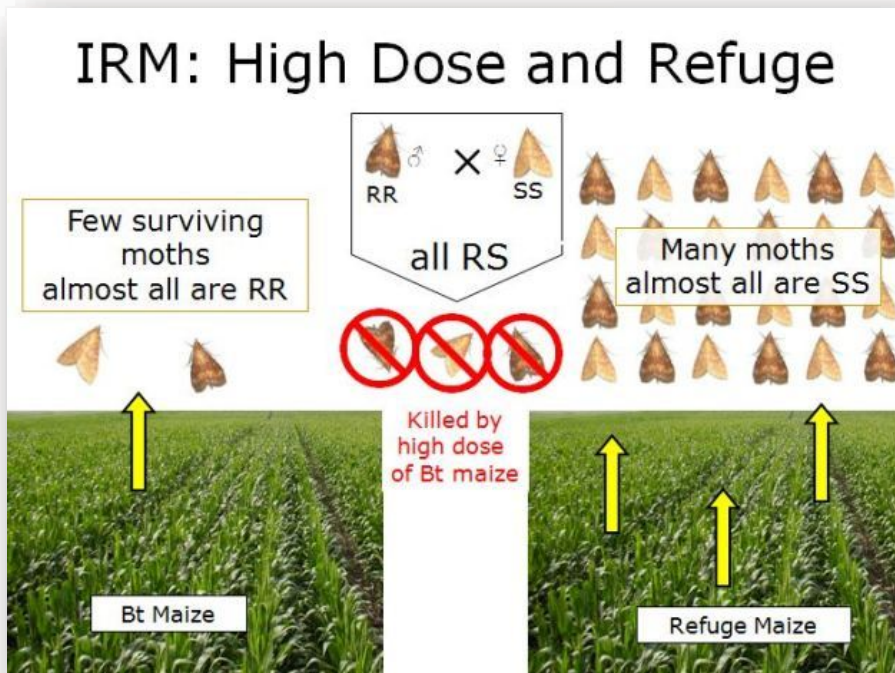
➤ Pratiques culturelles



From: University of Illinois

Chrysomèle et rotation des cultures

➤ Stratégies de gestion des résistances



- Ex: Haute dose / refuge
- Variations spatiale/temporelle des agents de luttés
- Combinaison de plusieurs agents de lutte
- Combinaison de plusieurs méthodes de lutte (IPM)

Moyens de lutte et paramètres évolutifs

- Une course aux armements dans un système **évolutif**
- identifier les cibles et le trait adaptatif: **trait, molécule, gène**
- Estimer la variation populationnelle de l'adaptation: **diversité phénotypique/génétique, architecture génomique**
- Estimer les paramètres populationnels: **flux de gènes, isolement, interaction interspécifique**

Vers une convergence entre la biologie évolutive et l'agronomie

Spécialisation et histoire évolutive des pyrales du genre *Ostrinia*

- Variation génétique des populations/espèces: diversité, structure, flux de gènes, isolement reproductif
- Spécialisation: quels patrons, quels mécanismes
- Quel lien entre spécialisation et divergence des populations et espèces?

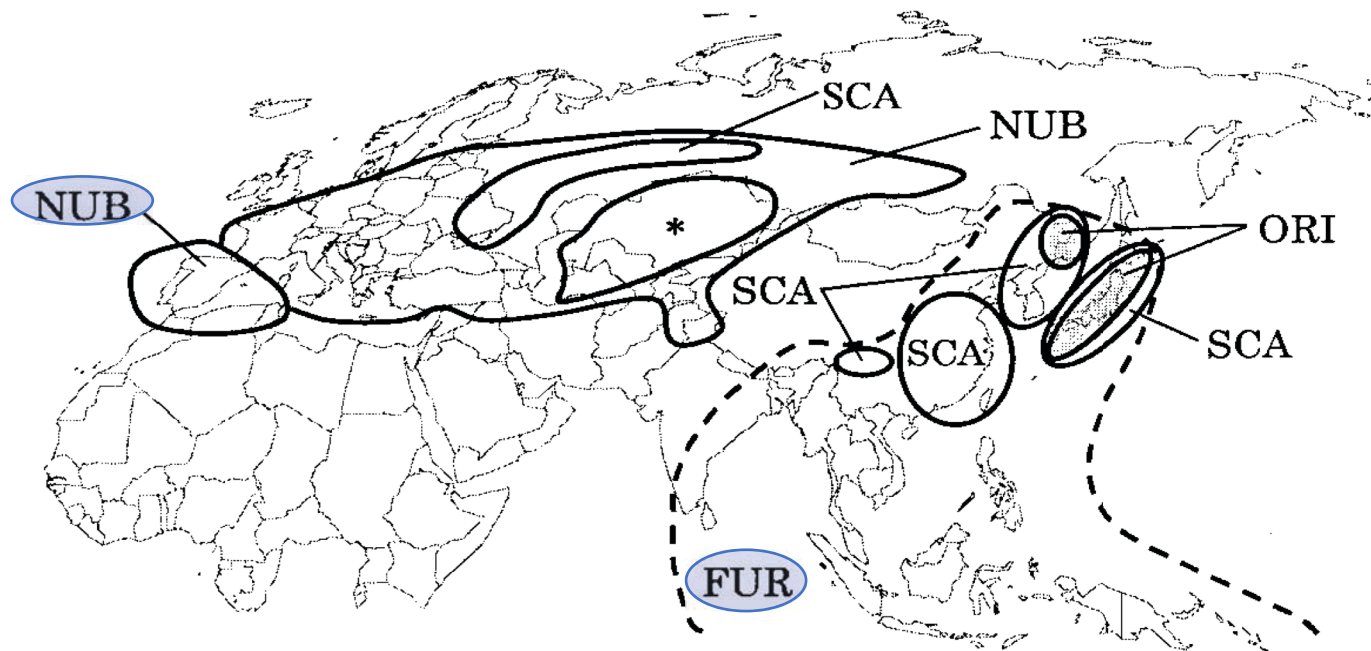
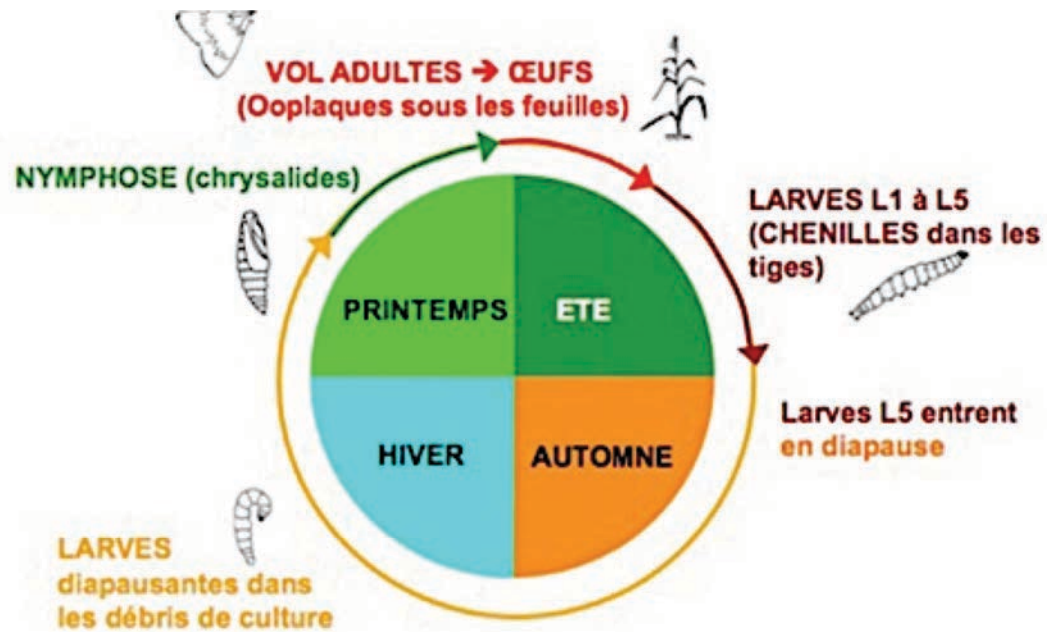


Table 1. Preferred host plants of *Ostrinia* spp. inhabiting Japan^a

Species		Preferred host plants	Plant family ^b
<i>O. latipennis</i>	oligophagous	<i>Polygonum</i> spp. (knotweeds)	Polygonaceae
<i>O. palustralis</i>	oligophagous	<i>Rumex</i> spp. (docks)	Polygonaceae
<i>O. furnacalis</i> (Asian corn borer)	polyphagous	<i>Zea mays</i> , <i>Sorghum bicolor</i> , <i>Zingiber officinalis</i> , <i>Rumex</i> spp. (maize) (sorghum) (ginger) (docks)	Gramineae, Zingiberaceae Solanaceae, Polygonaceae
<i>O. orientalis</i>	oligophagous	<i>Xanthium</i> spp., <i>Senecio</i> sp., <i>Rumex</i> spp. (cocklebur) (docks)	Compositae, Polygonaceae
<i>O. scapularis</i> (adzuki bean borer)	polyphagous	<i>Vigna</i> spp., <i>Humulus lupulus</i> , <i>Xanthium</i> spp., <i>Rumex</i> spp. (legumes) (hops) (cocklebur) (docks)	Leguminosae, Moraceae Compositae, Polygonaceae
<i>O. zealis</i>	oligophagous	<i>Arctium lappa</i> , <i>Cirsium</i> spp., <i>Dahlia</i> spp. (burdock) (thistles) (dahlia)	Compositae
<i>O. zaguliaevi</i>	monophagous	<i>Petacites japonicus</i> (butterbur)	Compositae

D'après Ishikawa *et al* 1999



Développement - -



Verse et fumonisines + +



➤ pyréthrynoïdes



➤ Bt-Cry1



➤ Trichogramme



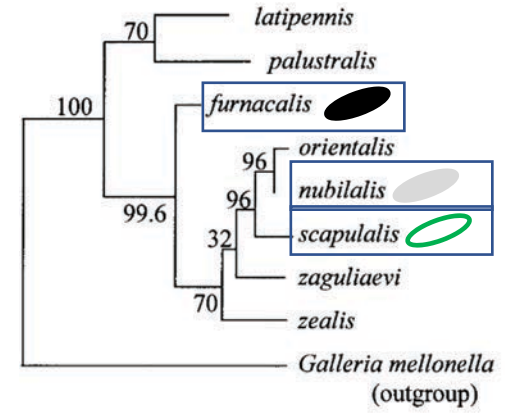
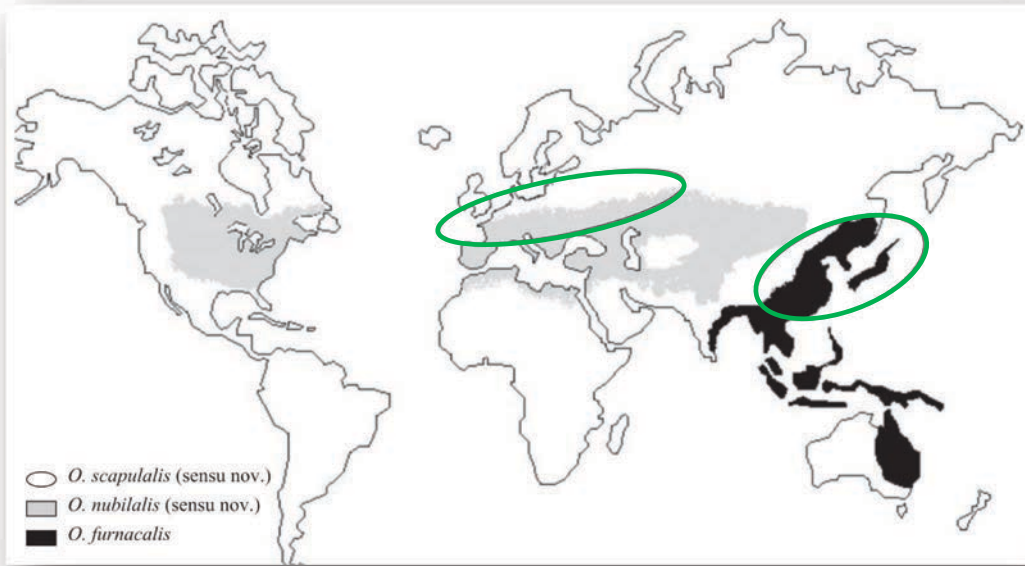
- Manipulation de l'olfaction / immunité
 - Agents pathogènes: virus/bactéries

➤ Variation existante: quelle structure génétique, quels flux de gènes?

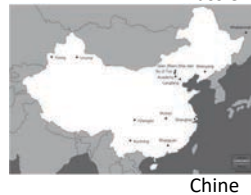
Spécialisation et histoire évolutive des pyrales du genre *Ostrinia*

- Variation génétique des populations/espèces: diversité, structure, flux de gènes, isolement reproductif
- Spécialisation: quels patrons, quels mécanismes
- Quel lien entre spécialisation et divergence des populations et espèces?

➤ Variation génétique des populations/espèces



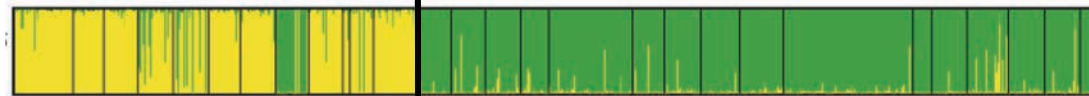
Analyse de clustering STRUCTURE



Midamegbe et al. 2011

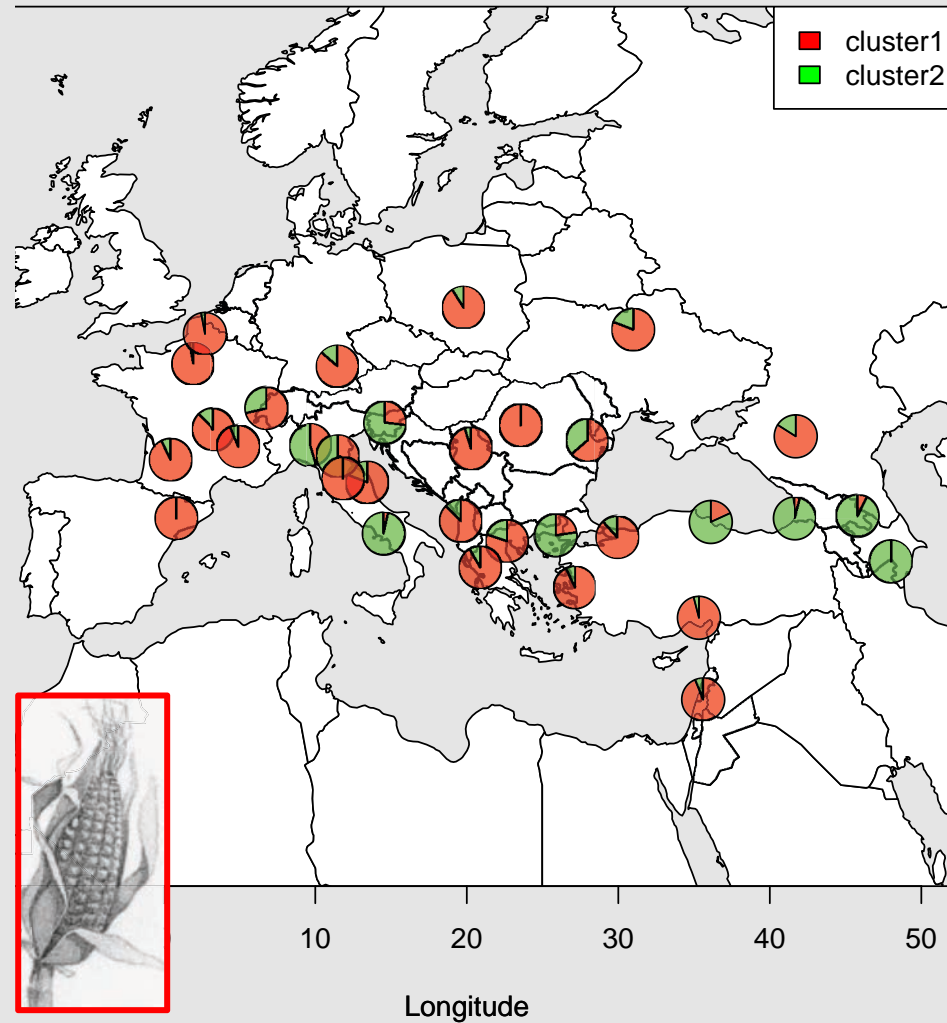
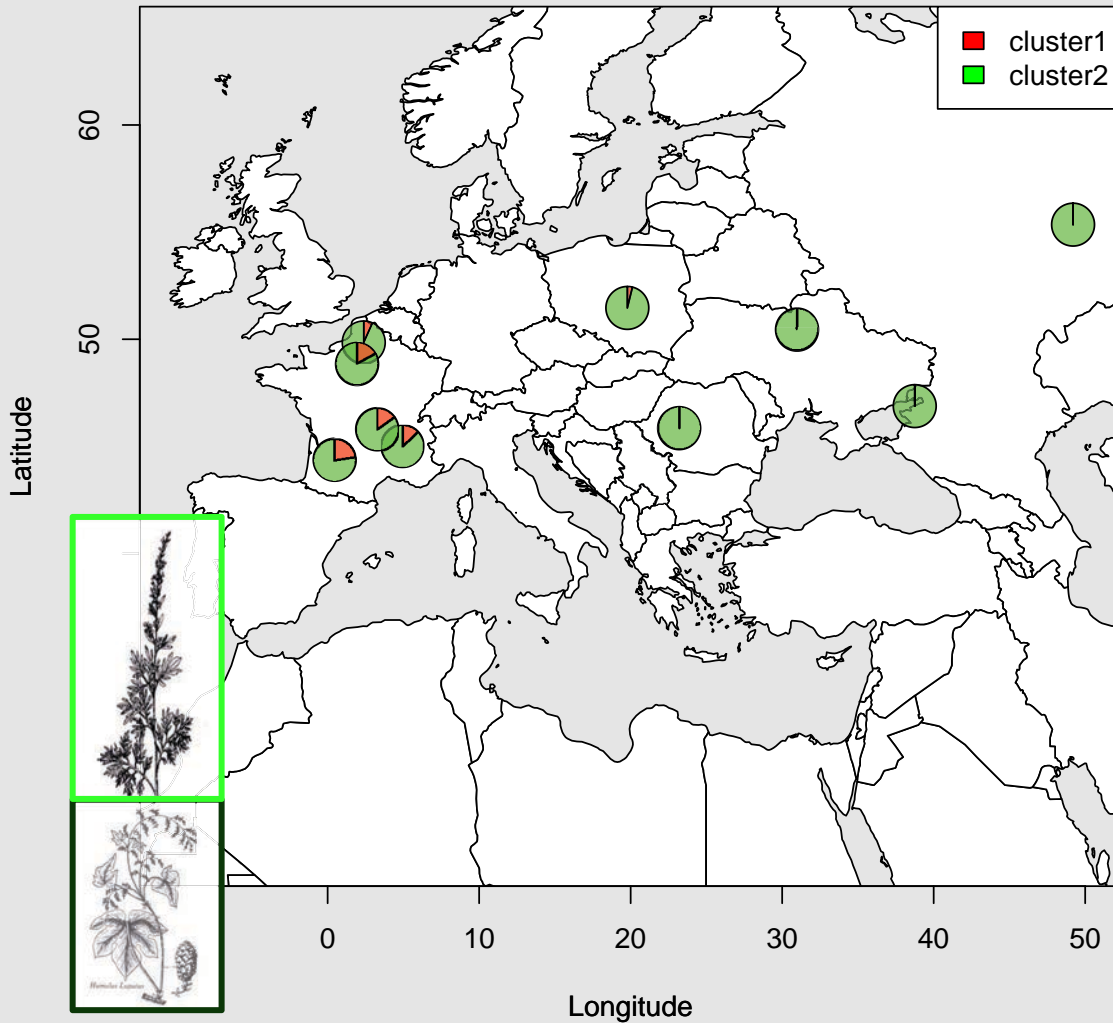


Frolov et al. 2012

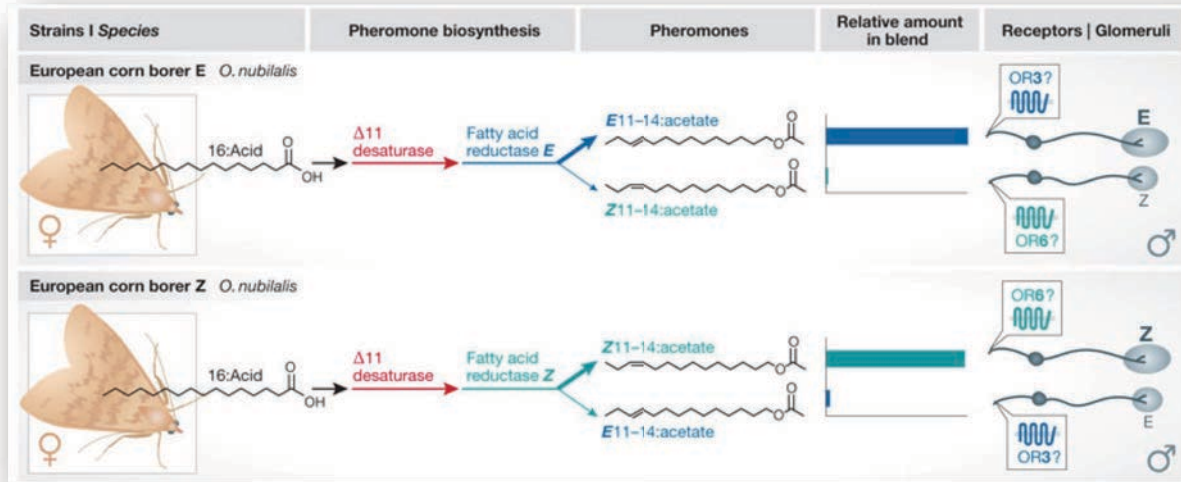


Bourguet et al 2014

➤ Variation génétique des populations/espèces



➤ Variation phéromonale des populations/espèces



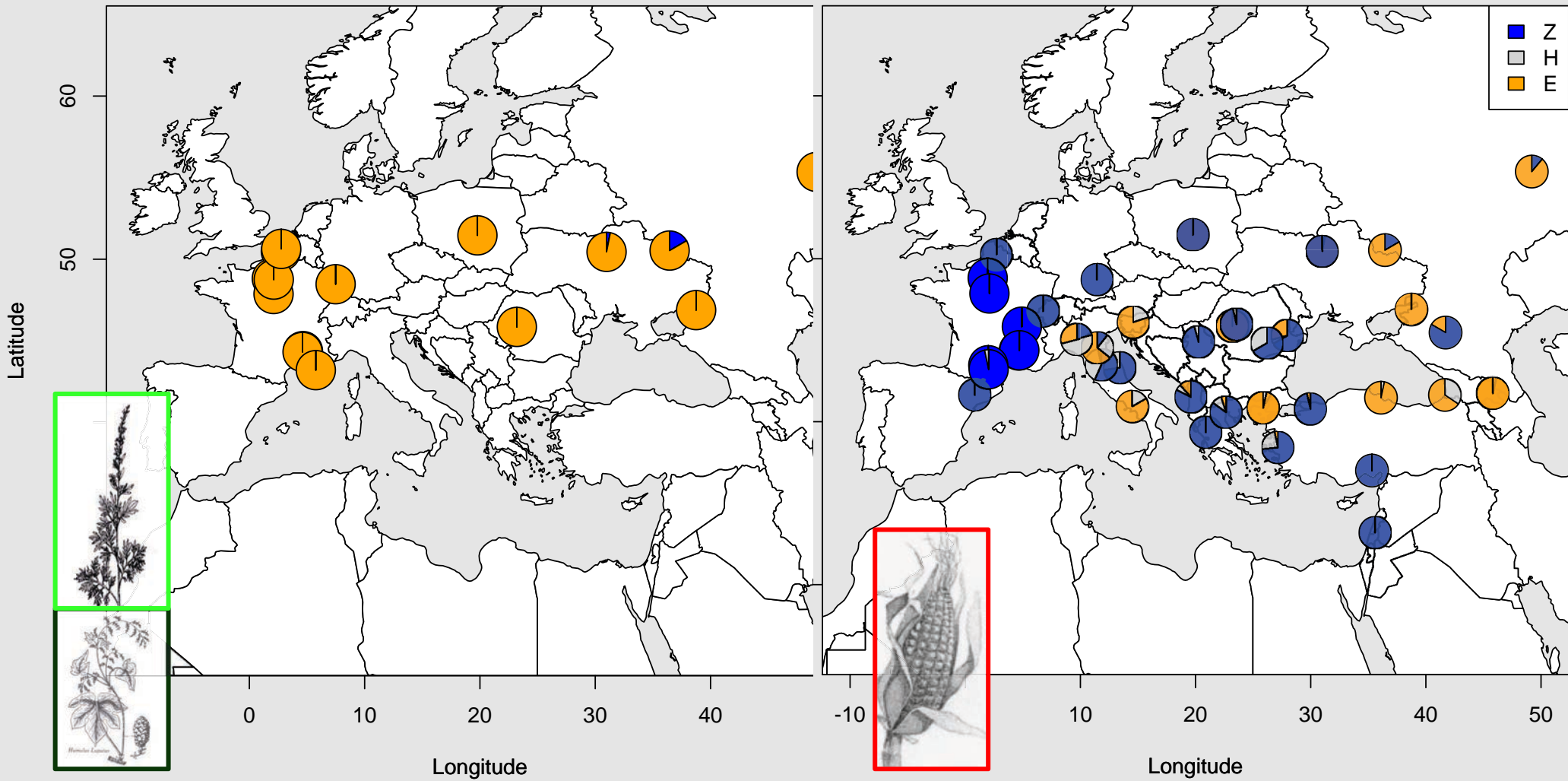
Gomez-Diaz & Benton 2013

➤ race phéromonale E

➤ race phéromonale Z

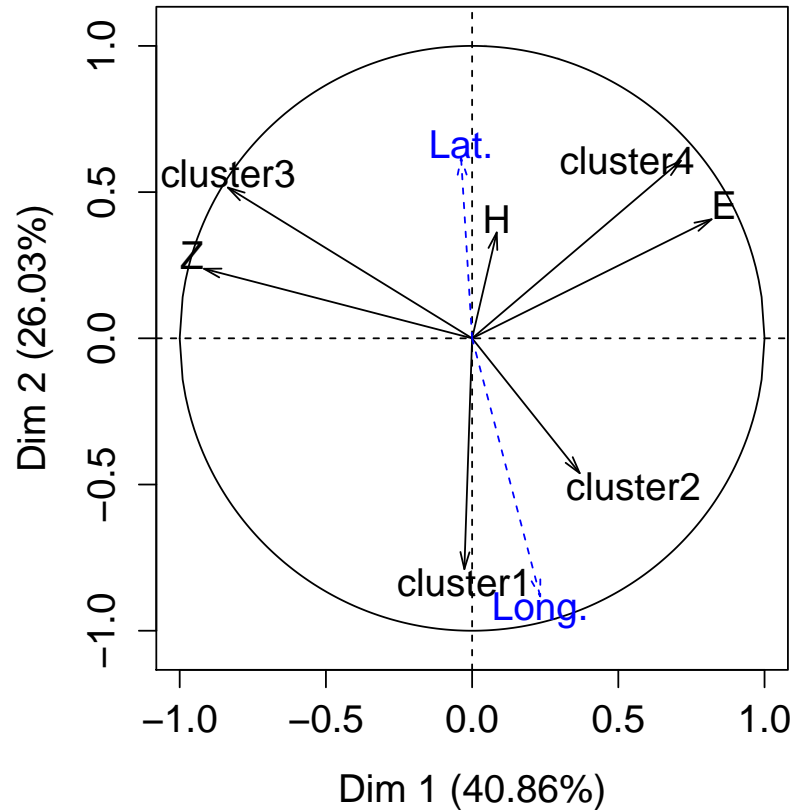
- Les deux lignées E et Z sont connues sur maïs et dicots
- Il existe un choix de partenaire lié à ce système phéromonale
- Ce choix est variable selon les populations: spéciation écologique en cours?

➤ Variation phéromonale des populations/espèces

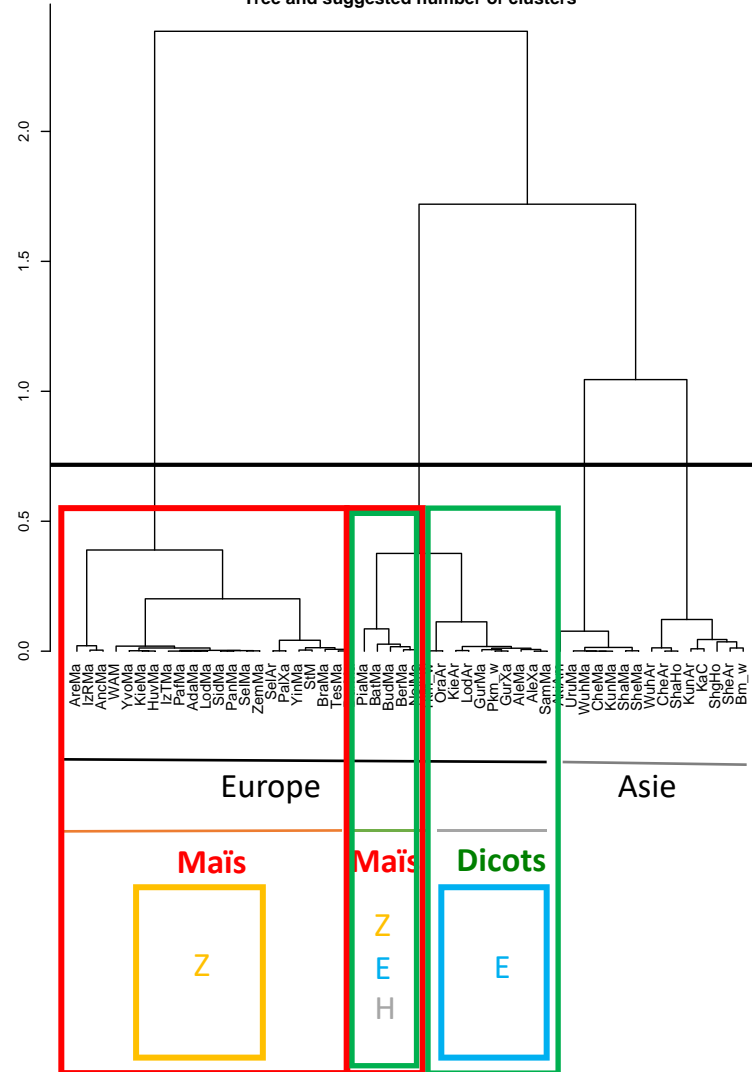


➤ Co-variation plante / phéromone

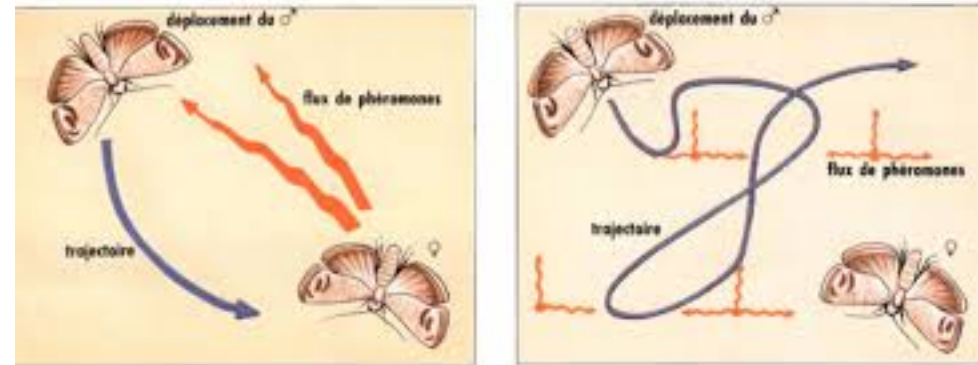
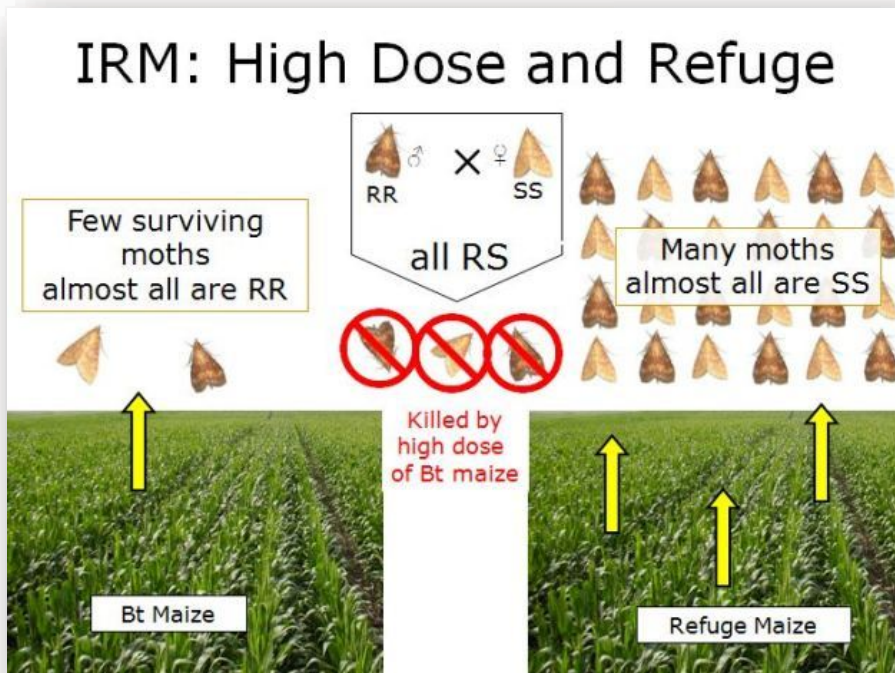
Variables factor map (PCA)



Tree and suggested number of clusters



➤ Stratégies de gestion des résistances / mating disruption



Variations géographique chez la pyrale du maïs de:

- % races E et Z
 - divergence E/Z avec la pyrale de l'armoise
- => impact sur l'efficacité du 'mating disruption'

Variations géographique chez la pyrale du maïs de:

- fond génétique
 - divergence génétique avec la pyrale de l'armoise
- => impact sur l'apparition et l'évolution de résistances

Spécialisation et histoire évolutive des pyrales du genre *Ostrinia*

- Variation génétique des populations/espèces: diversité, structure, flux de gènes, isolement reproductif
- **Spécialisation: quels patrons, quels mécanismes**
- Quel lien entre spécialisation et divergence des populations et espèces?

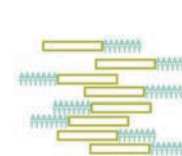
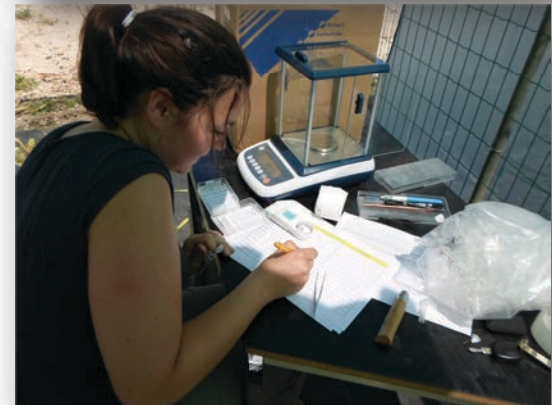
✓ Spécialisation au stade larvaire



Dispositif expérimental



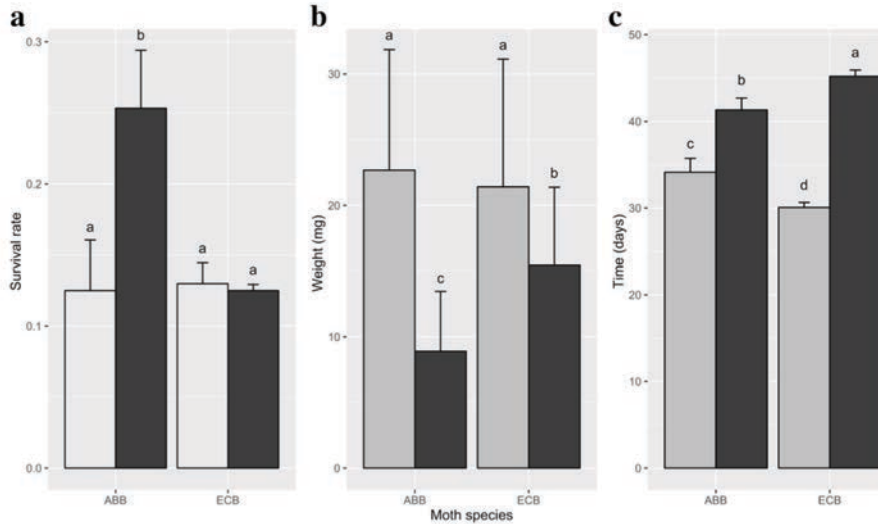
Infestation contrôlée



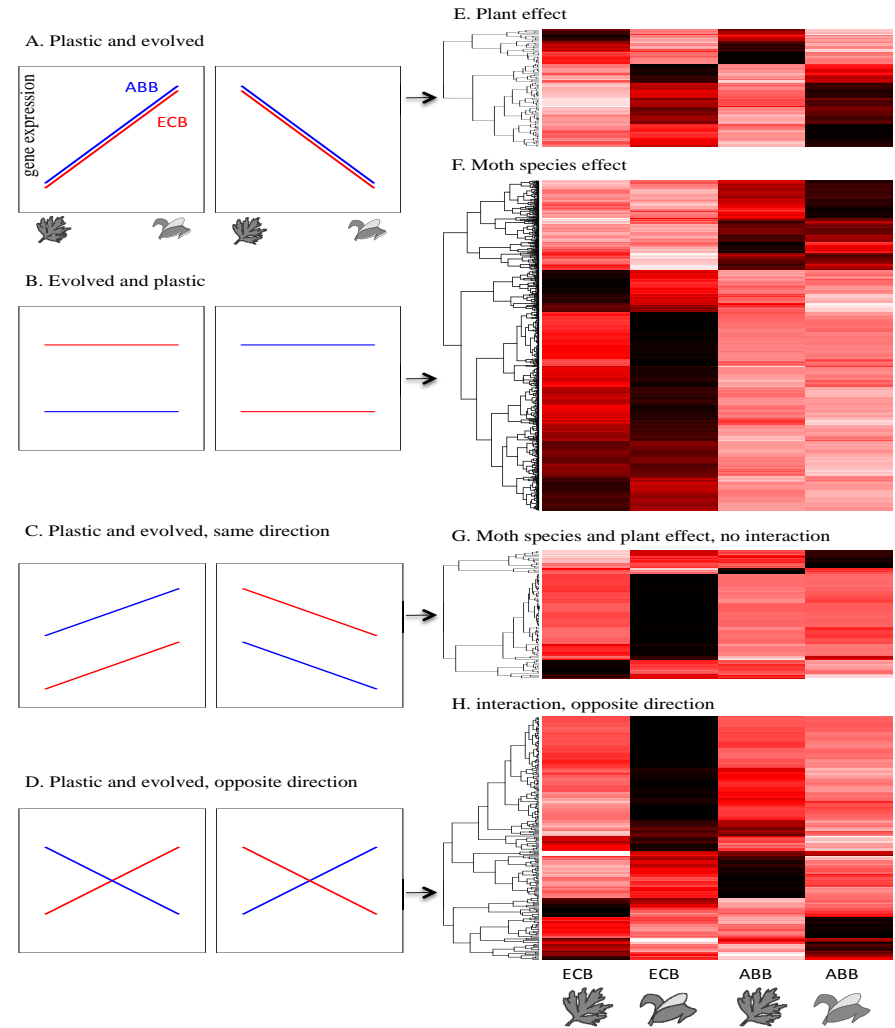
```
aacgtccaaaggagt  
gttacctacggctaa  
aacgtccaaaggagt  
ttcgcagcatcagact  
cacgtcgaatgagt  
attacgtacgggtaa  
tacgtgcttacgagt  
tacgtgcttacgagt  
atcgaaggctagctat  
atcgaaggctagctat
```



Développement larvaire -- mesures survie, poids -- RNAseq

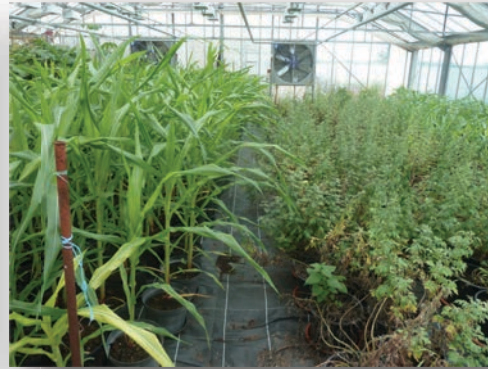


- serine endopeptidases, α amylase olfactory receptors
- PGRP, CTL, Serine Protease, Serine protease inhibitor, immunolectin, chitinase
 - Glutathione S-transferase, P450



- La survie est significativement affectée pour la pyrale de l'armoise élevée sur maïs
- Le poids est plus important et le développement plus rapide sur maïs
- Les gènes dont l'expression est liée à la plante de développement sont impliqués dans le **développement**, la **digestion**, l'**olfaction**, la **détoxification** et l'**immunité**

✓ Spécialisation au stade adulte:



Dispositif expérimental



Production et lâcher des adultes

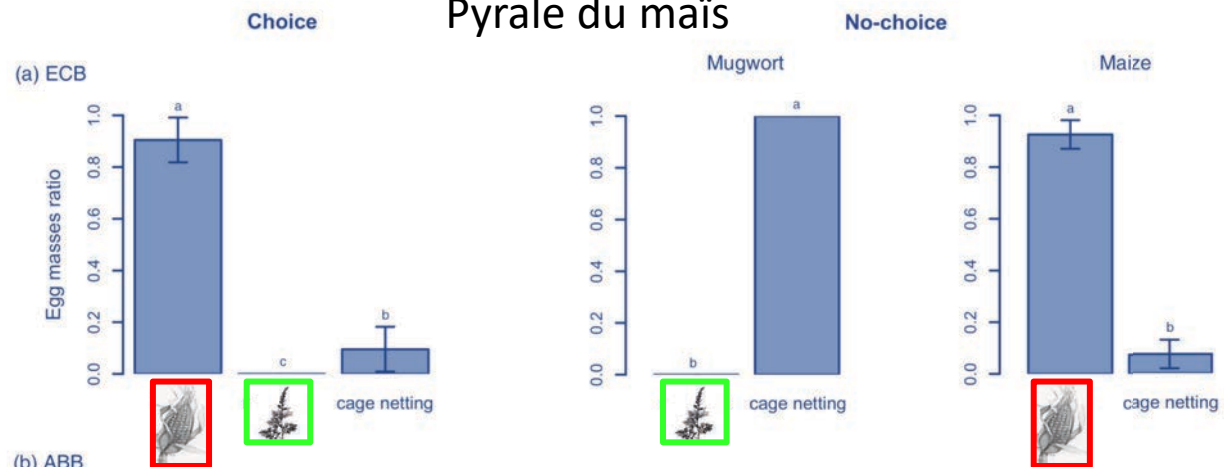


```
aacgtccaaaggagt  
gttacctacggctaa  
aacgtccaaaggagt  
ttcgagcatacgact  
cacgtcgaatgagt  
attacgtacgggtaa  
tacgtgcttacgagt  
tacgtgcttacgagt  
atcgaaggctagctat  
atcgaaggctagctat
```

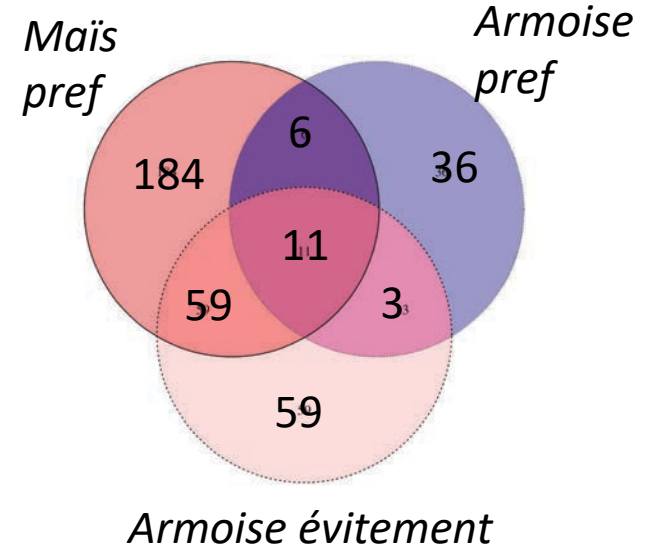
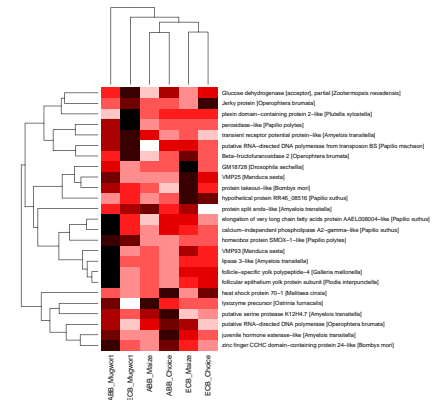
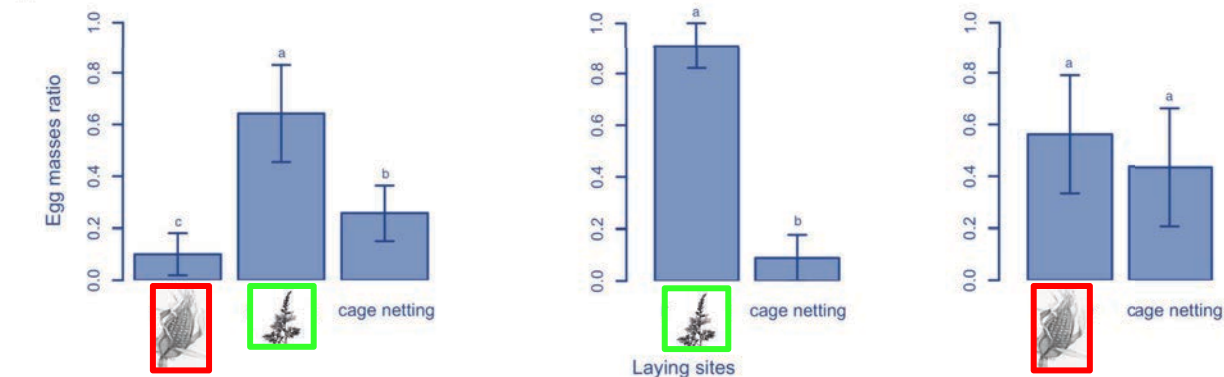


Comptage des ooplaques sur plante et cage – RNAseq des femelles

Pyrale du maïs



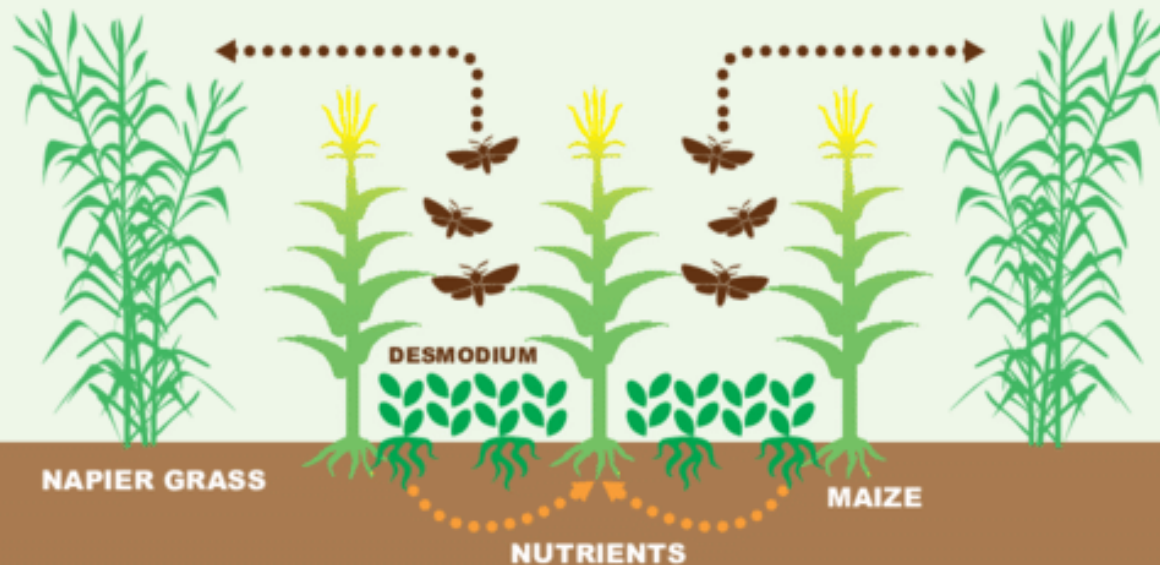
Pyrale de l'armoise



- préférence pour son hôte chez pyrale de l'armoise et pyrale du maïs
- évitement de l'armoise chez la pyrale du maïs
- Base génomique propre à chaque trait
- Fonctions : olfaction, la gustation, métabolisme des sucres et protéines, la détoxification et l'immunité

Moyens de lutte et paramètres évolutifs

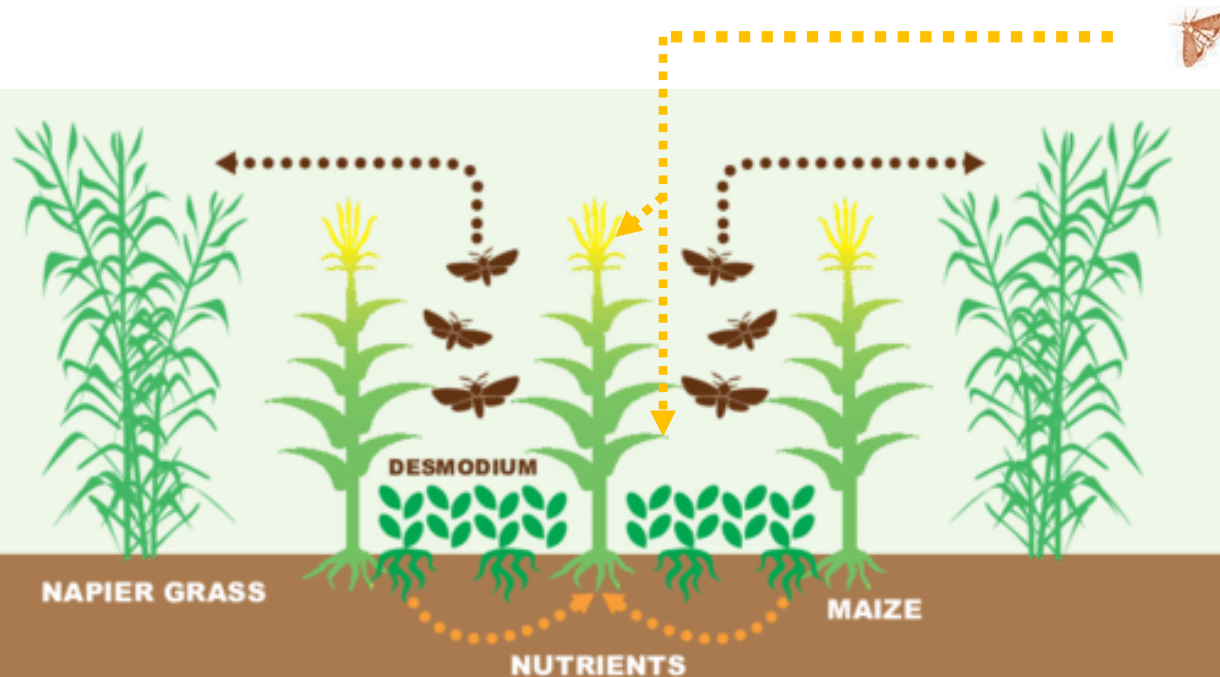
➤ Push-pull strategy



Volatile chemicals from intercropped Desmodium (push) repel corn borer moths away from maize while volatile chemicals from a border of Napier Grass (pull) attract moths to lay eggs in it instead of maize.

Moyens de lutte et paramètres évolutifs

➤ Push-pull strategy



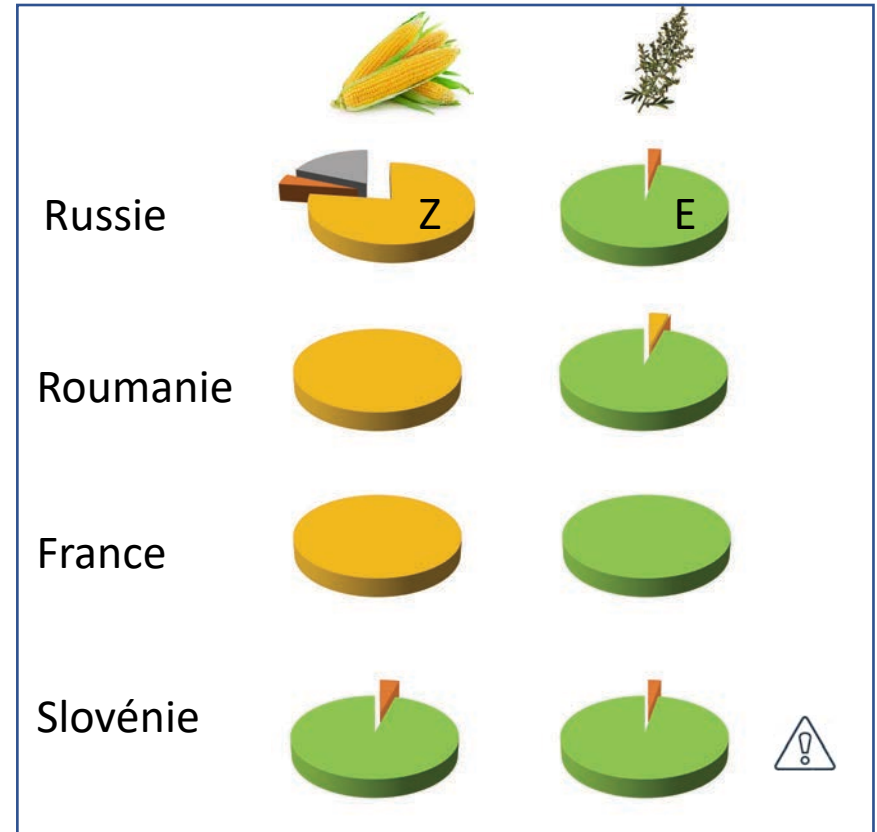
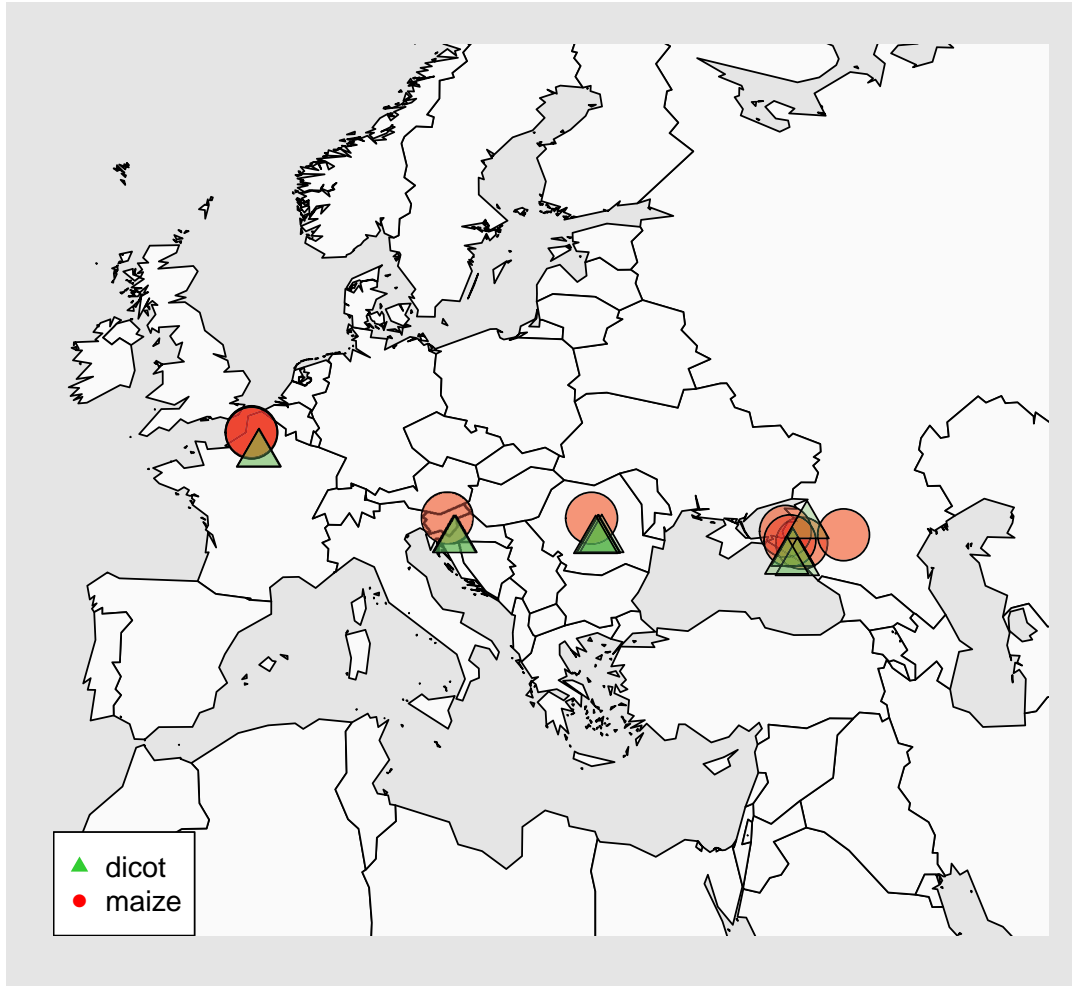
Volatile chemicals from intercropped Desmodium (push) repel corn borer moths away from maize while volatile chemicals from a border of Napier Grass (pull) attract moths to lay eggs in it instead of maize.

✓ **Analyse pangénomique de l'association à la plante hôte:
Vers les bases génétiques de la spécialisation**

✓ **Poolseq analysis: DNaseq genomes complets**

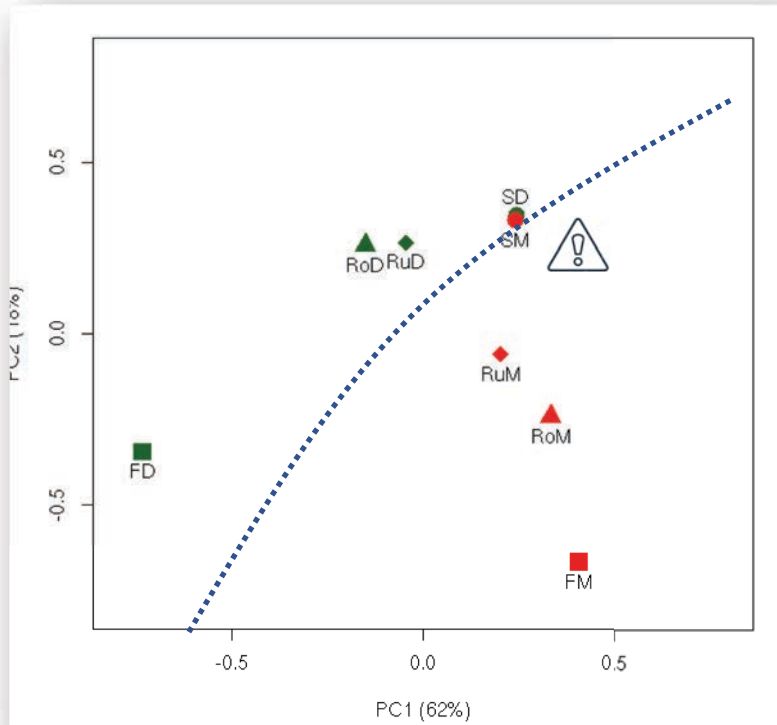
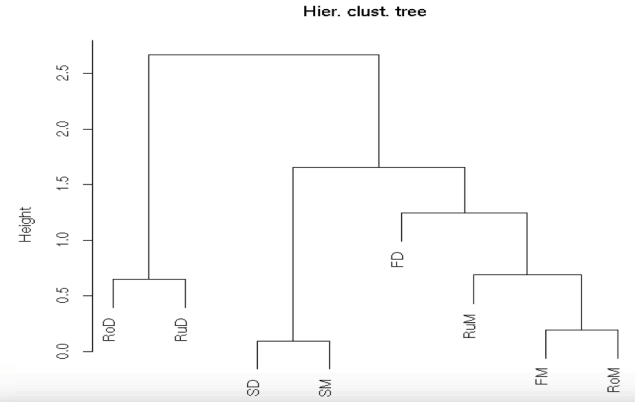
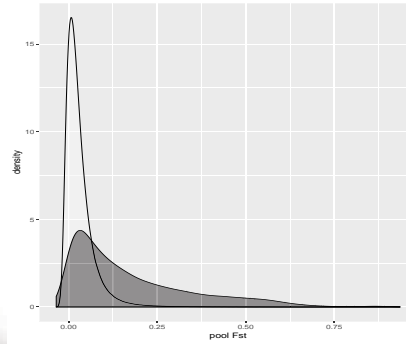
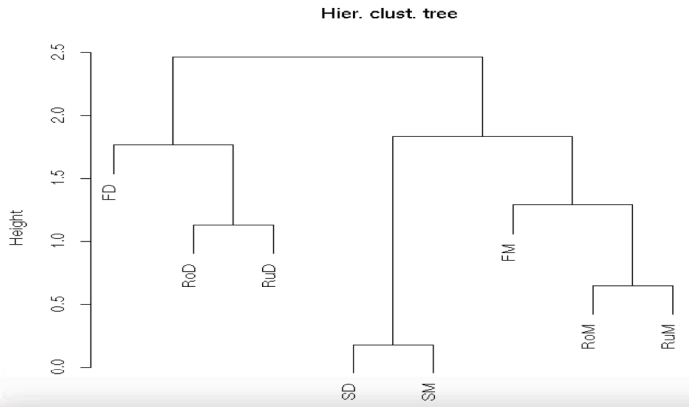
✓ **Génome de référence : 419Mb, 26 120 gènes prédits**

✓ Analyse pangénomique de l'association à la plante hôte: vers les bases génétiques de la spécialisation

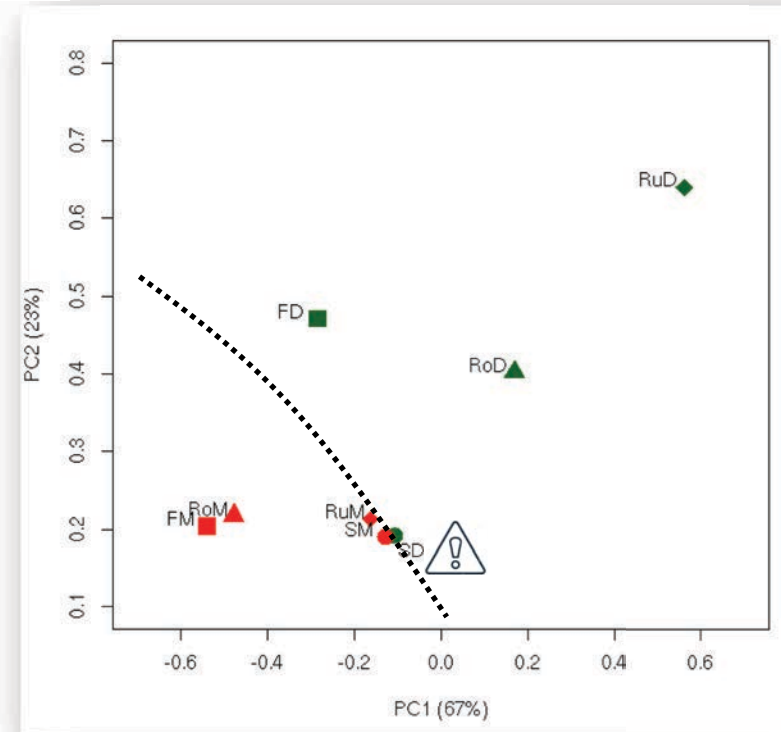


- ✓ 8 pools de 70 éch. Hiseq 2x150nt
- ✓ SNP calling filtering:
 - 3.272.724 SNP autosomes
 - 117.780 SNP hétérosome

✓ Structuration génomique pangénomique



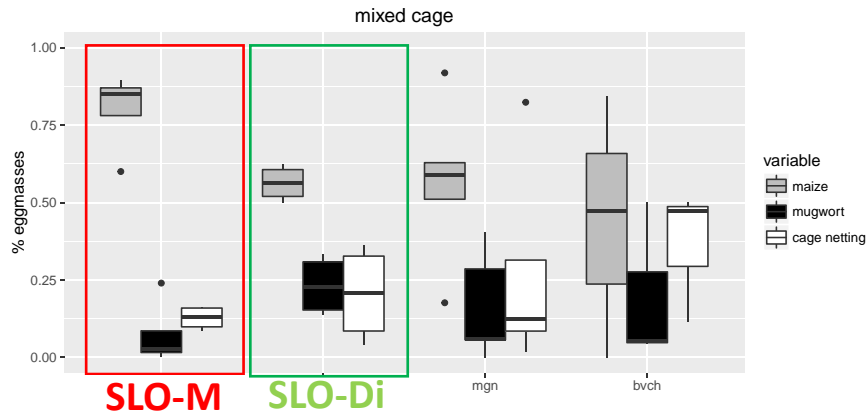
$pool F_{st} \text{ autosomes} = 0.03$
 $pool F_{st} \text{ hétérosome} = 0.17$



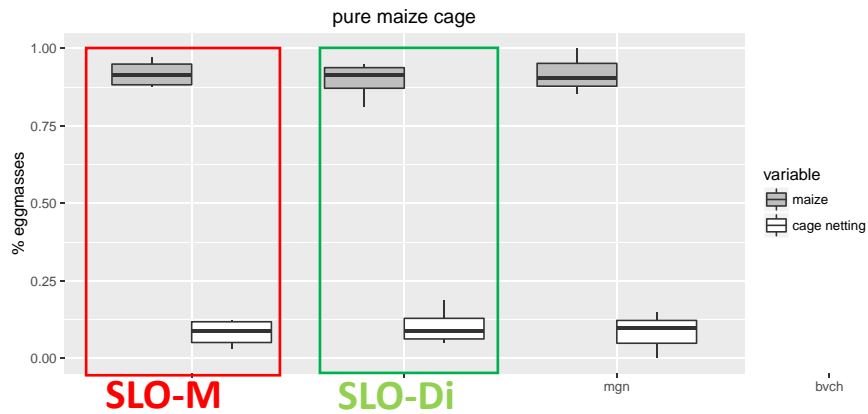
autosomes

hétérosome

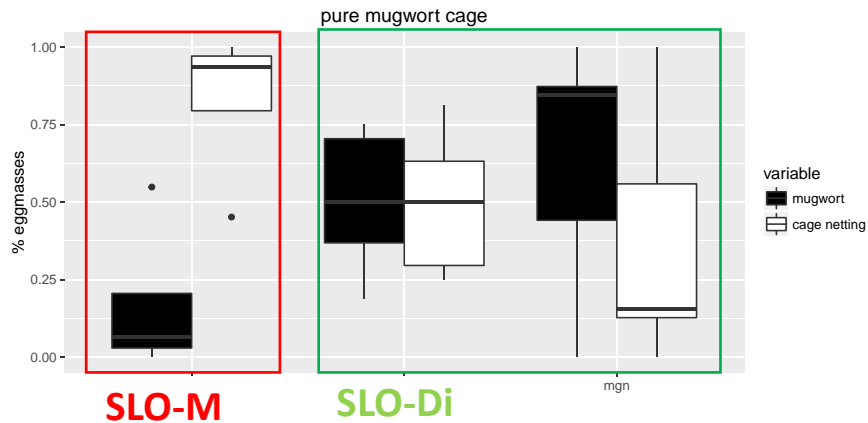
choix



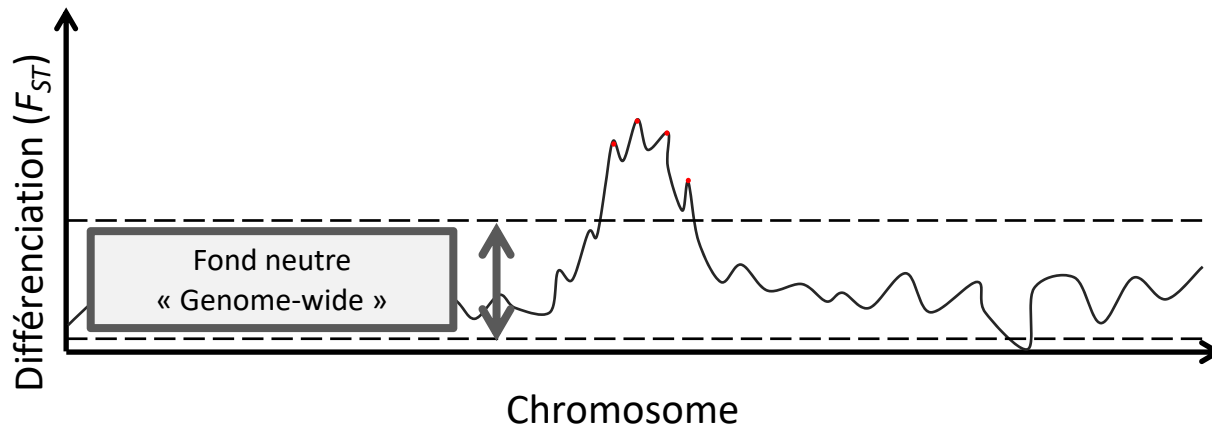
maïs



armoïse

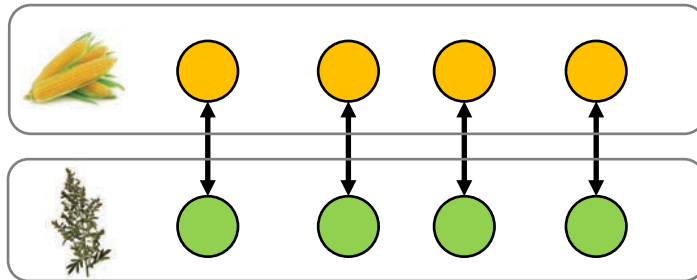


- ✓ Variation géographique de la spécialisation
- ✓ Variation géographique des composantes de la spécialisation



Région génomique
déviante de l'évolution
neutre des
populations

Algorithme BayPass



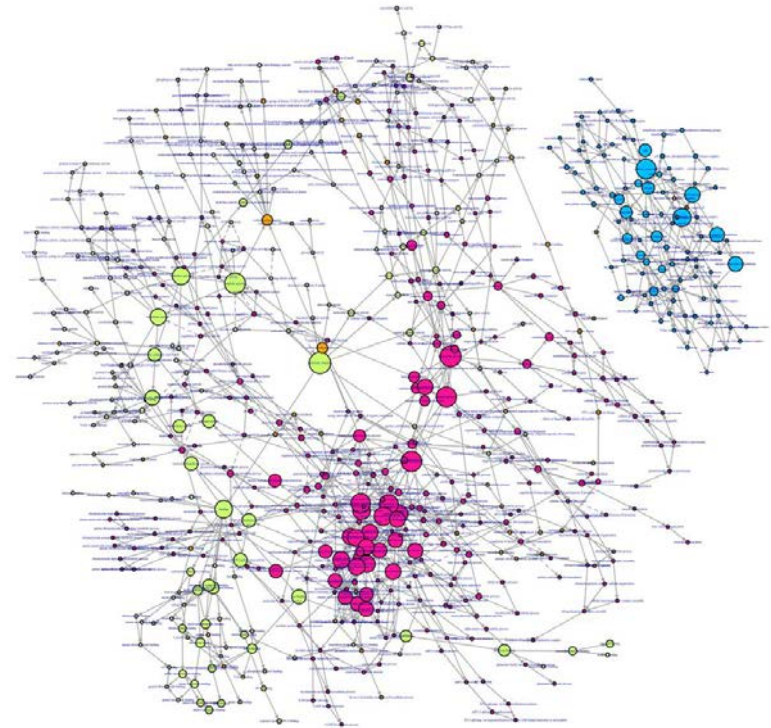
Région génomique
associée à la
différenciation plante
hôte de façon
répétée

Contraste plantes

- ✓ **0.1% du génome sous sélection liée à la plante, en régions dispersées et autosomales**

- ✓ **Régions génomiques sous sélection et gènes**
 - **556 gènes prédits au voisinage immédiat des SNPs outliers: fonction, réseau métabolique, famille ontologique**
 - fonction sensorielle
 - digestion/métabolisme/développement
 - détoxification/immunité

 - **82 transcripts différentiellement exprimés aux stades larvaires et adultes**

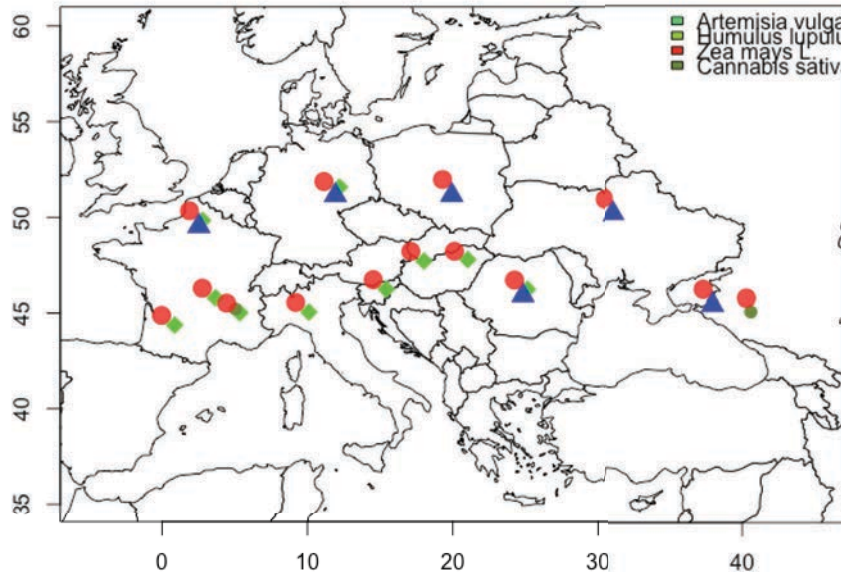


*Réseau termes GO
Gènes au voisinage d'outliers*

Spécialisation et histoire évolutive des pyrales du genre *Ostrinia*

- Variation génétique des populations/espèces: diversité, structure, flux de gènes, isolement reproductif
- Spécialisation: quels patrons, quels mécanismes
- Quel lien entre spécialisation et divergence des populations et espèces?

➤ Quel lien entre spécialisation et divergence des populations et espèces? approche phylogéographique



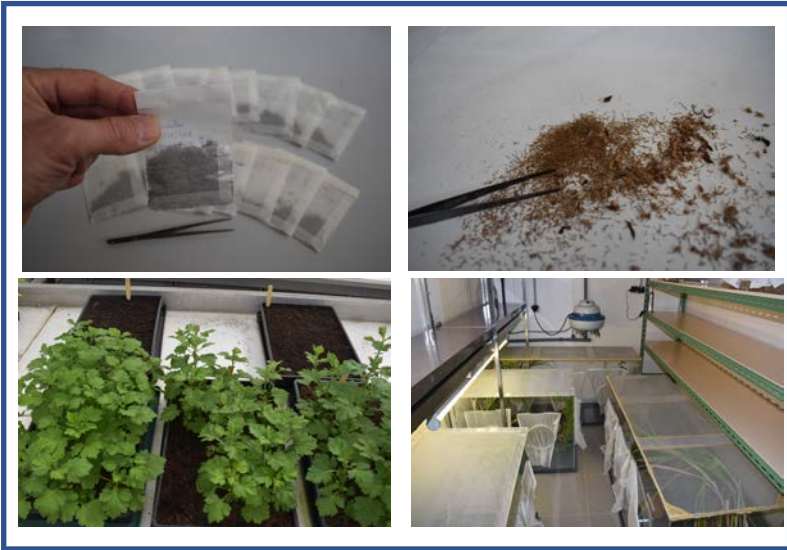
- Capture SNPs
- 650 librairies individuelles
- 30 populations
- 3 jeux de SNPs:
 - autosomes, hétérosome, outliers
- Typage phéromonal

➤ divergence / flux de gènes à l'échelle de l'Europe

➤ Divergence neutre / gènes liés à la plante / phéromone

➤ Scénarios de divergence par spécialisation

➤ Quel lien entre spécialisation et divergence des populations et espèces? approche phénotypique

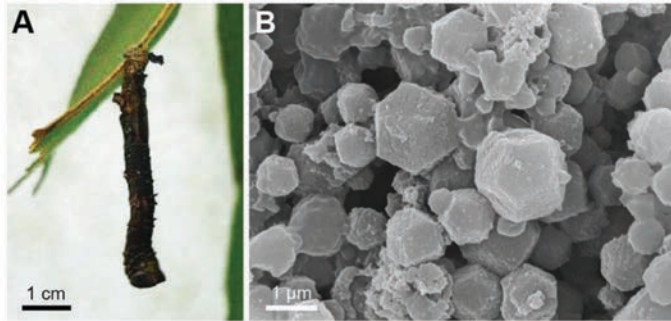


- Optimisation expérimentale / miniaturisation
- Développement larvaire
- Choix d'oviposition
- Criblage populationnel



- Composantes de la spécialisation
- Variations géographiques

- Quel lien entre spécialisation et divergence des populations et espèces? Echelle pluritrophique



Lepidoptera
cyovirus

Horta et al. 2018

- Communautés microorganismes en populations
- Variations géographiques / entre espèces
- Réponse immunitaire

Spécialisation d'un insecte ravageur des cultures & approche de biologie évolutive pour la gestion des populations : un travail collaboratif et de longue haleine...

Piliers historiques et plus récents

Denis Bourguet (CBGP)

Réjane Streiff (CBGP)

Serge Meusnier (CBGP)

Philippe Audiot (CBGP)

Sabine Nidelet (CBGP)

Les collaborateurs récurrents

Renaud Vitalis (CBGP)

Sergine Ponsard (U. Toulouse)

Bernhard Gschloessl (CBGP)

Franck Dorkeld (CBGP)

Mathieu Gauthier (CBGP)

Carole Smadja (ISEM)

Les étudiants, post-doctorants, contractuels

Afiwa Midamegbe Emmanuelle Beyne

Alexandra pommier Thibault Verchère

Cécile Triay Cécile Molinier

Aude Cayzergues Clémentine mitoyen

Candice Deschamps

Louise Brousseau

Marion Orsucci

Le DGIMI

E. d'Alençon (DGIMI)

Nicolas Nègre (DGIMI)

Sylvie Gymenez

Mylène Ogliastro (DGIMI)

Bernard Duvic (DGIMI)

Diascope

Anne Zanetto

MarinVabre

Christophe Reynaud