



# Écologie des drosophiles et de leurs symbiotes microbiens en conditions naturelles



Robin Guilhot  
CBGP – 15/09/2020



# Écologie des drosophiles et de leurs symbiotes microbiens en conditions naturelles

Thèse soutenue le 19 mai 2020

Composition du jury :



E. Vercken  
DR, INRAE



L.M. Chevin  
CR, CEFE



E. Jurkevitch  
Prof., HUJI



S. Fellous  
Dir. de thèse



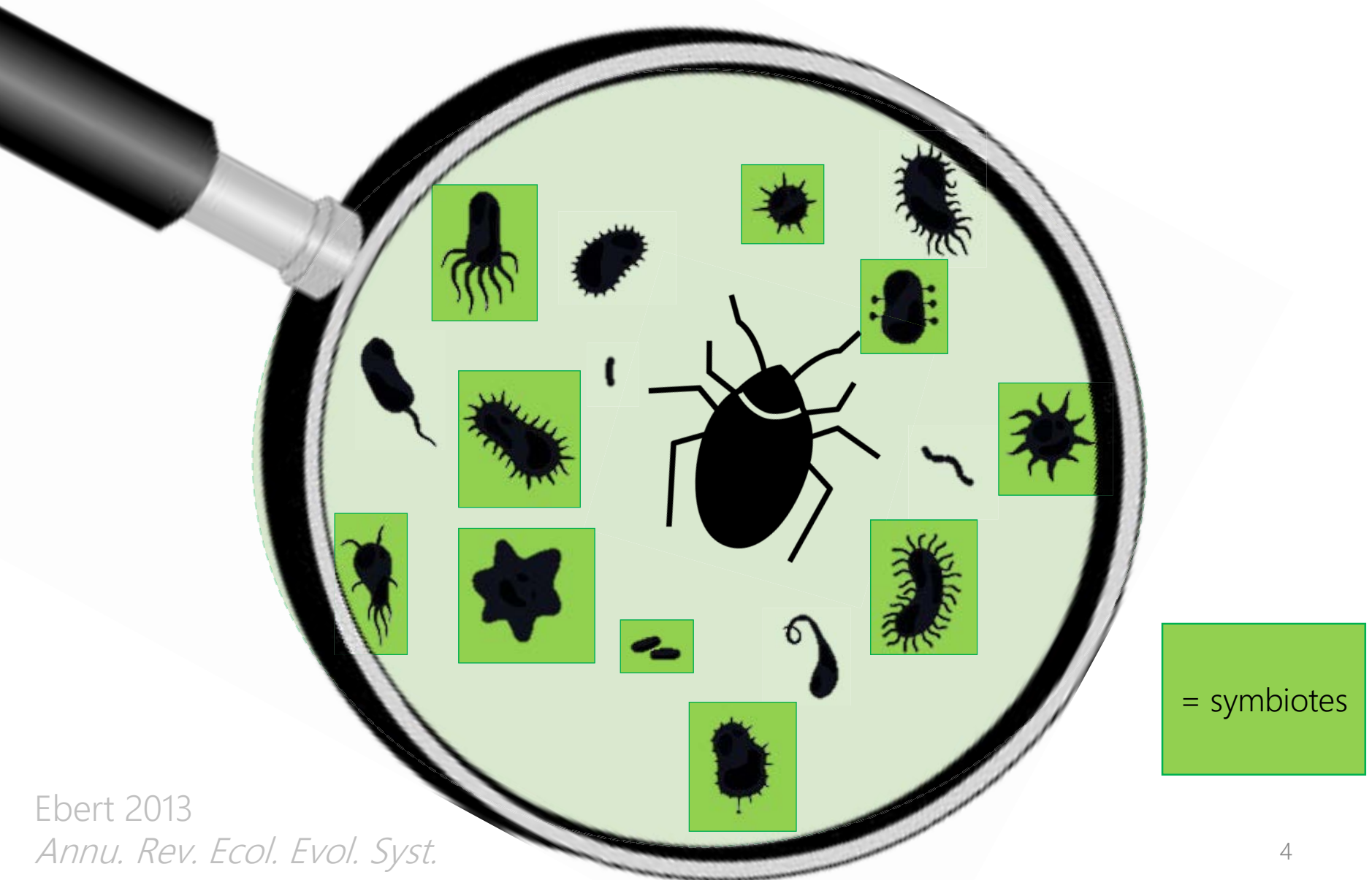
# Interactions hôte - symbiote



Evkamat

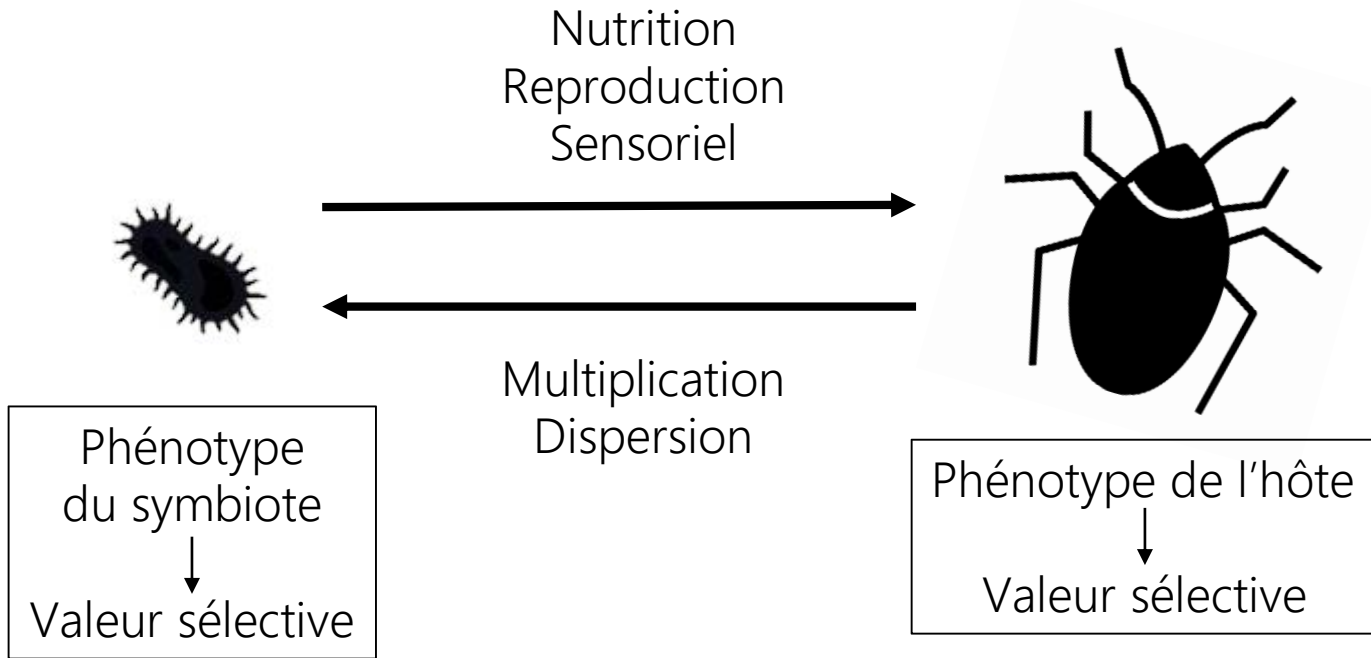


# Interactions hôte - symbiote

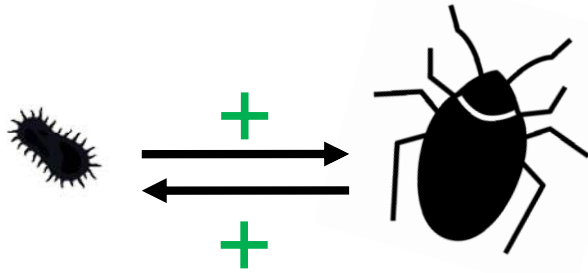


= symbiotes

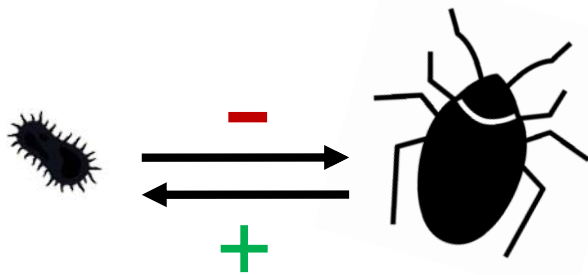
# Interactions hôte - symbiote



# Interactions hôte - symbiote



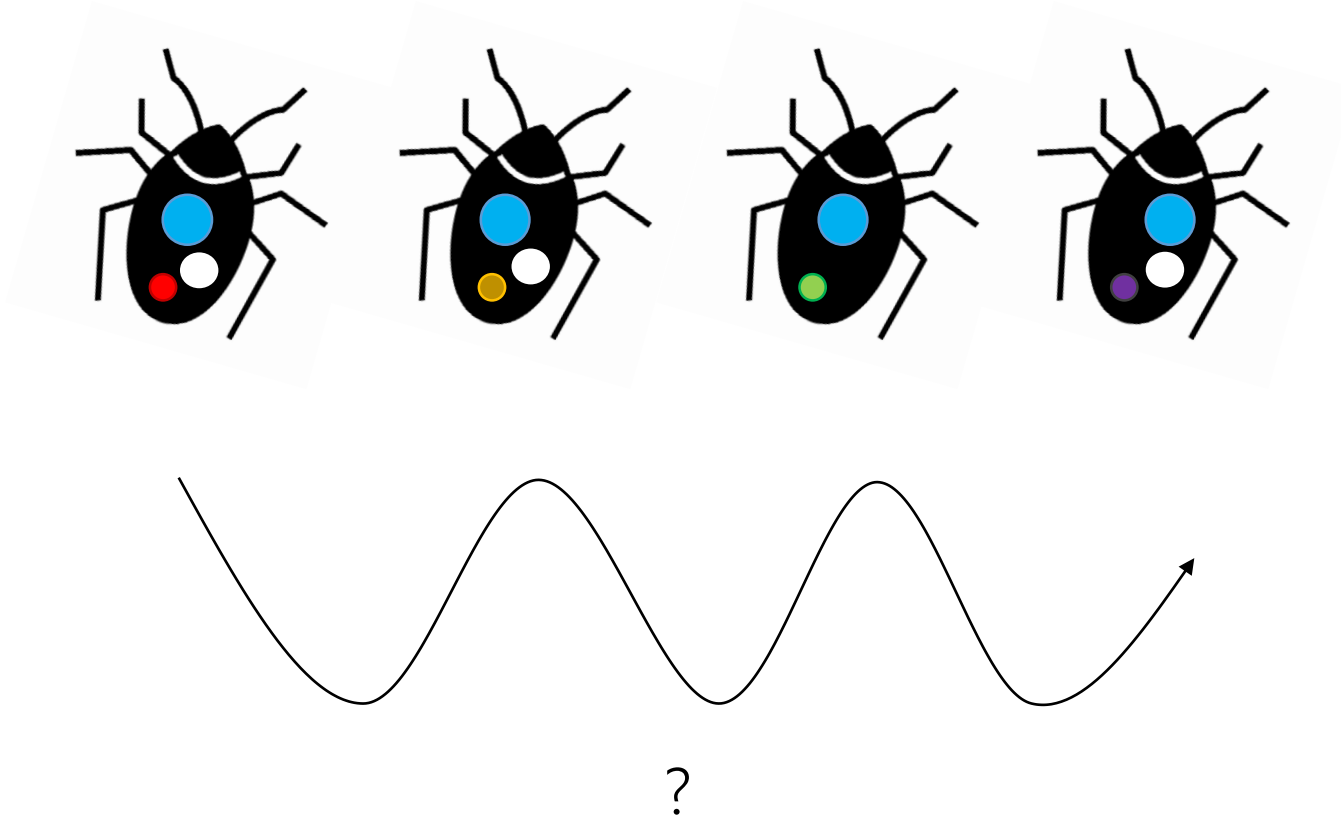
Aulne - *Frankia*



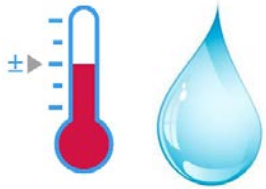
Insecte  
- *Ophiocordyceps* sp.



## Des associations fluctuantes



# Des associations fluctuantes



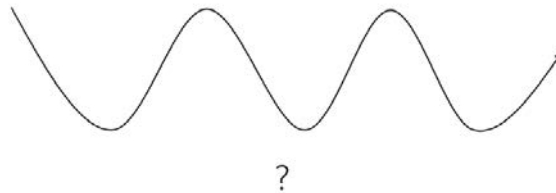
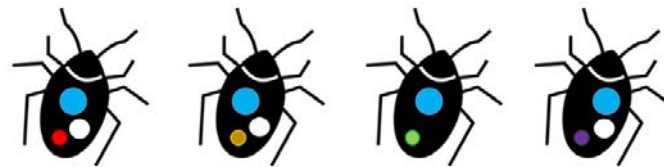
Facteurs  
environnementaux

Moran *et al.* 2019  
*Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*



Interactions  
entre symbiotes

Mathé-Hubert *et al.* 2019 *Mol. Ecol.*



Acquisition et  
maintien du symbiote

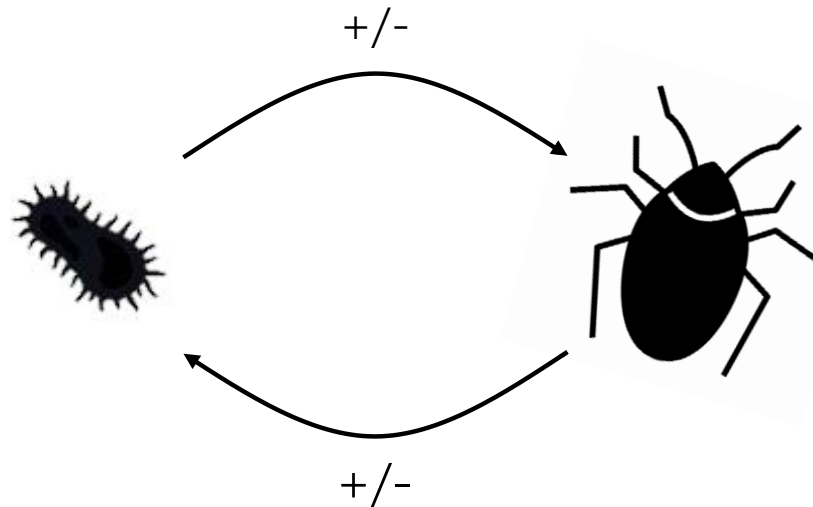
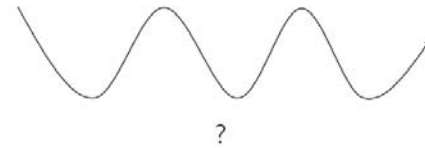
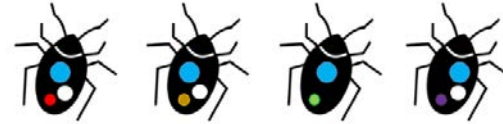
Fukatsu and Hosokawa 2002  
*Appl. Environ. Microbiol.*



# Des associations fluctuantes

Effets réciproques

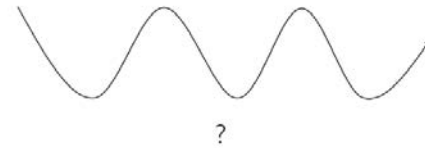
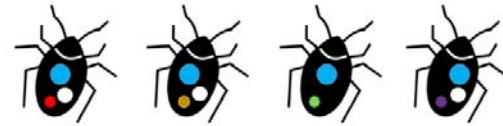
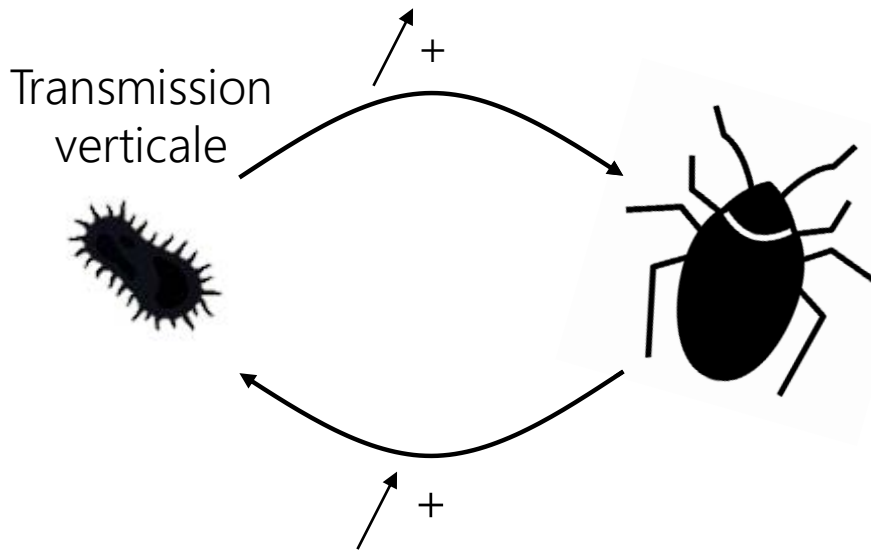
Appariement des valeurs sélectives



assemblage ou non  
(filtration, attraction)

# Des associations fluctuantes

## Effets réciproques



'The evolution of virulence in pathogens with vertical and horizontal transmission'

Lipsitch *et al.* 1996 *Evolution*

## Comprendre les associations naturelles hôte - symbiote : le modèle *Drosophila*

Diptera

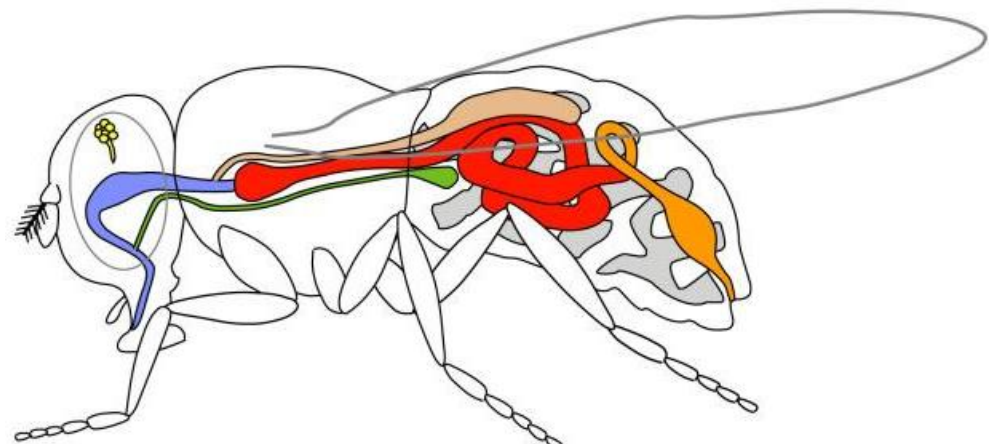
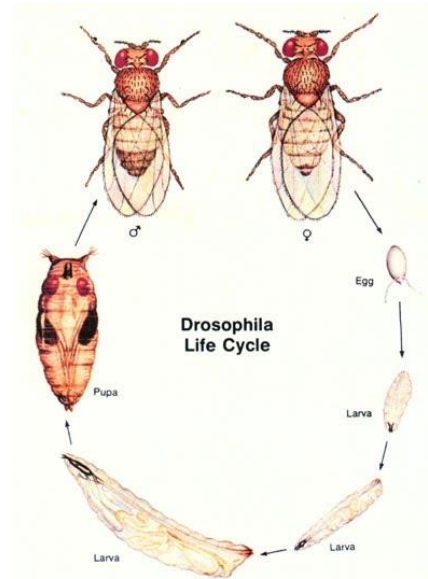
Cycle de vie complexe

Différents symbiotes  
extracellulaires :

- Bactéries
- Levures

Symbioses externes et/ou  
internes

Communautés complexes et  
variables




A. Prokop

# Comprendre les associations naturelles hôte - symbiote : le modèle *Drosophila*

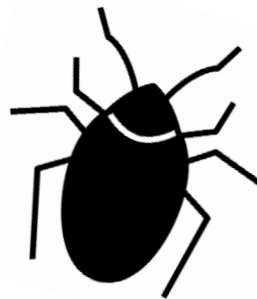


## The *Drosophila* model for microbiome research

Angela E. Douglas 

*Lab Animal* **47**, 157–164(2018)

*Drosophila melanogaster*



Microbiote  
intestinal

- Métabolisme
- Système immunitaire
- Comportement



# Comprendre les associations naturelles hôte - symbiote : le modèle *Drosophila*



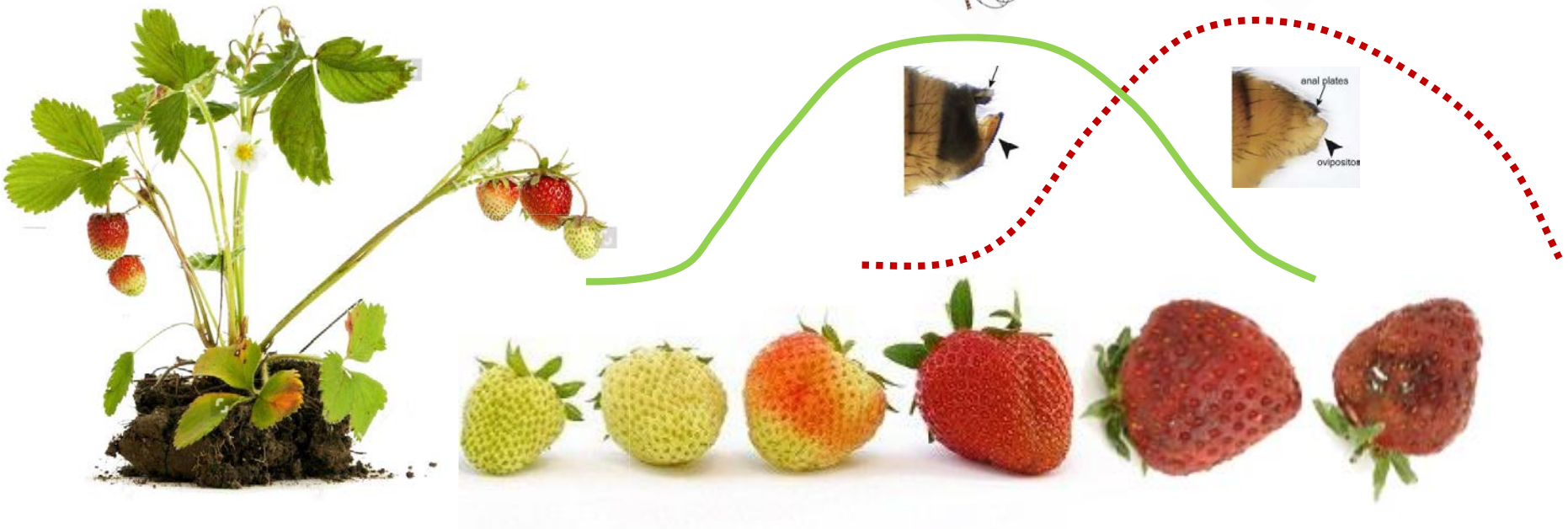
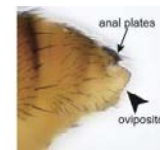
*Drosophila suzukii*

Espèce ravageur de petits fruits, originaire d'Asie

## Comprendre les associations naturelles hôte - symbiote : le modèle *Drosophila*

*D. suzukii*

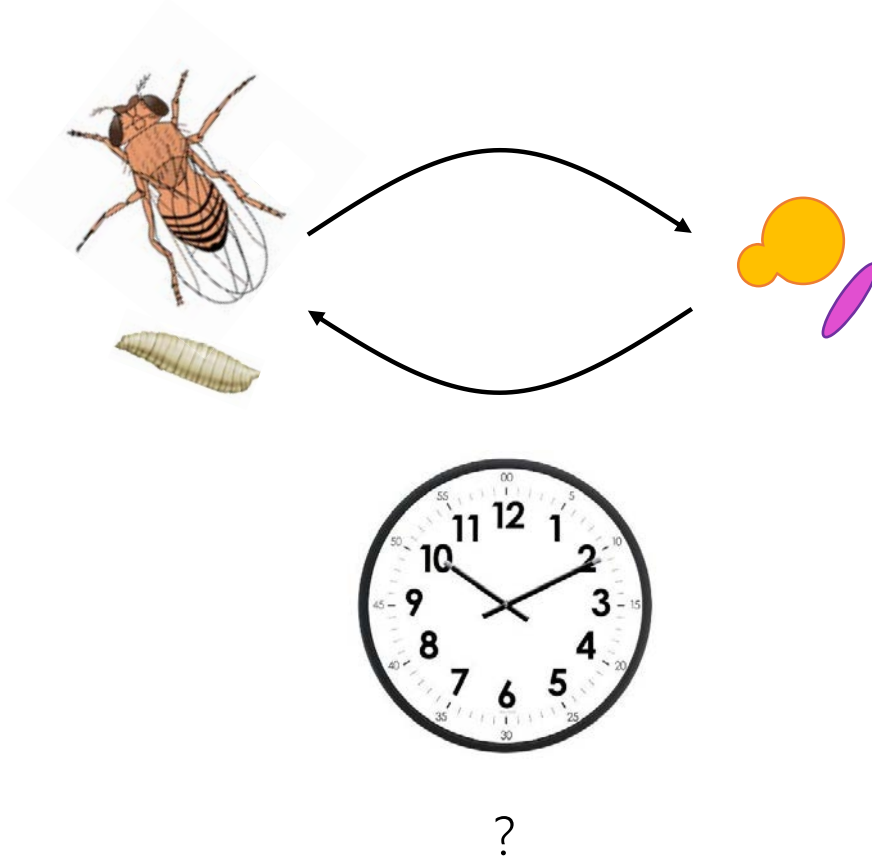
*D. melanogaster*



→ Différents effets réciproques entre symbiotes et Drosophiles ?

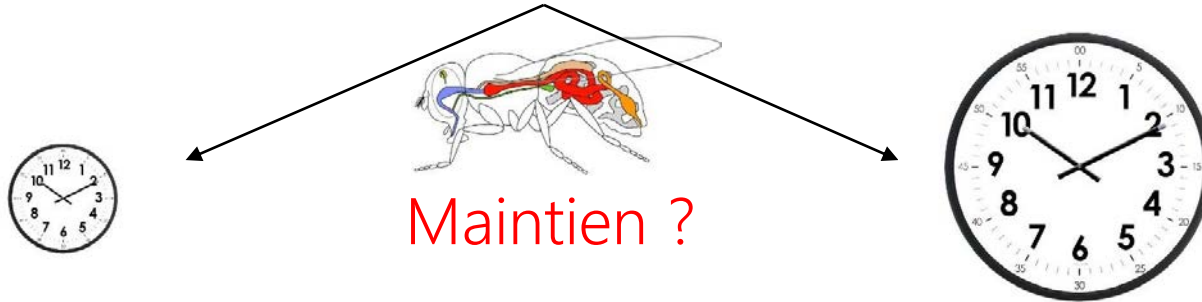
# Comprendre les associations naturelles hôte - symbiote : le modèle *Drosophila*

Des interactions transitoires ou durables ?



# Comprendre les associations naturelles hôte - symbiote : le modèle *Drosophila*

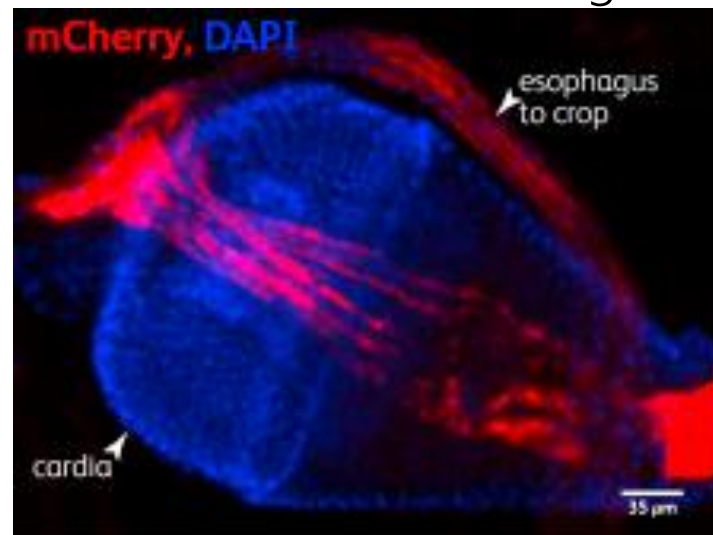
Des interactions transitoires ou durables ?



Remplacement continu

Blum *et al.* 2013 *MBio*

Maintien dans le tube digestif

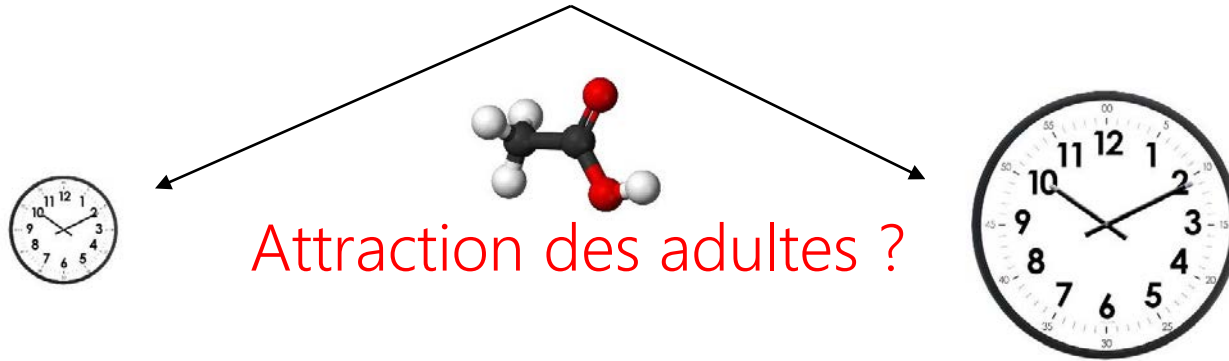


Obadia *et al.* 2017 *Curr. Biol.*  
Pais *et al.* 2018 *PLOS Biol.*



# Comprendre les associations naturelles hôte - symbiote : le modèle *Drosophila*

Des interactions transitoires ou durables ?



Associations aléatoires

Pas d'effets réciproques

Associations répétées

Coopération

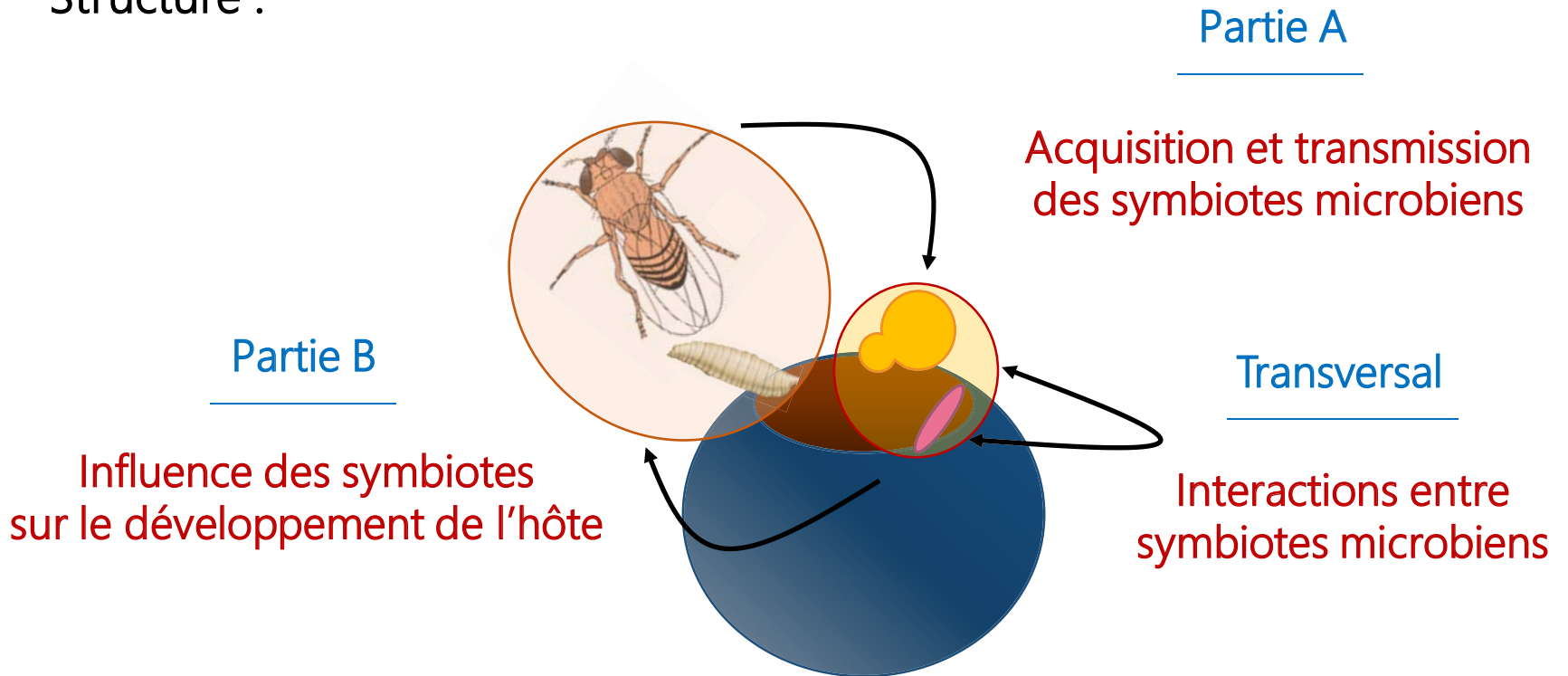
Günther and Goddard 2019 *Fung. Ecol.*

Buser *et al.* 2014 *Ecol. Lett.*

## Objectif de la thèse :

Affiner la connaissance des effets réciproques entre symbiotes extracellulaires et *Drosophiles* dans la nature

## Structure :





## Démarche

Démarche similaire aux recherches sur les interactions symbiotes – mouches des fruits (Téphritides)



Rui Oliveira Santos



James Niland



Alvesgaspar



## Démarche

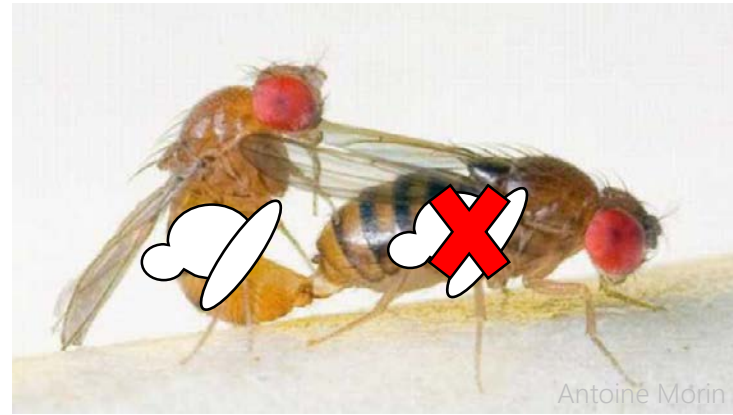
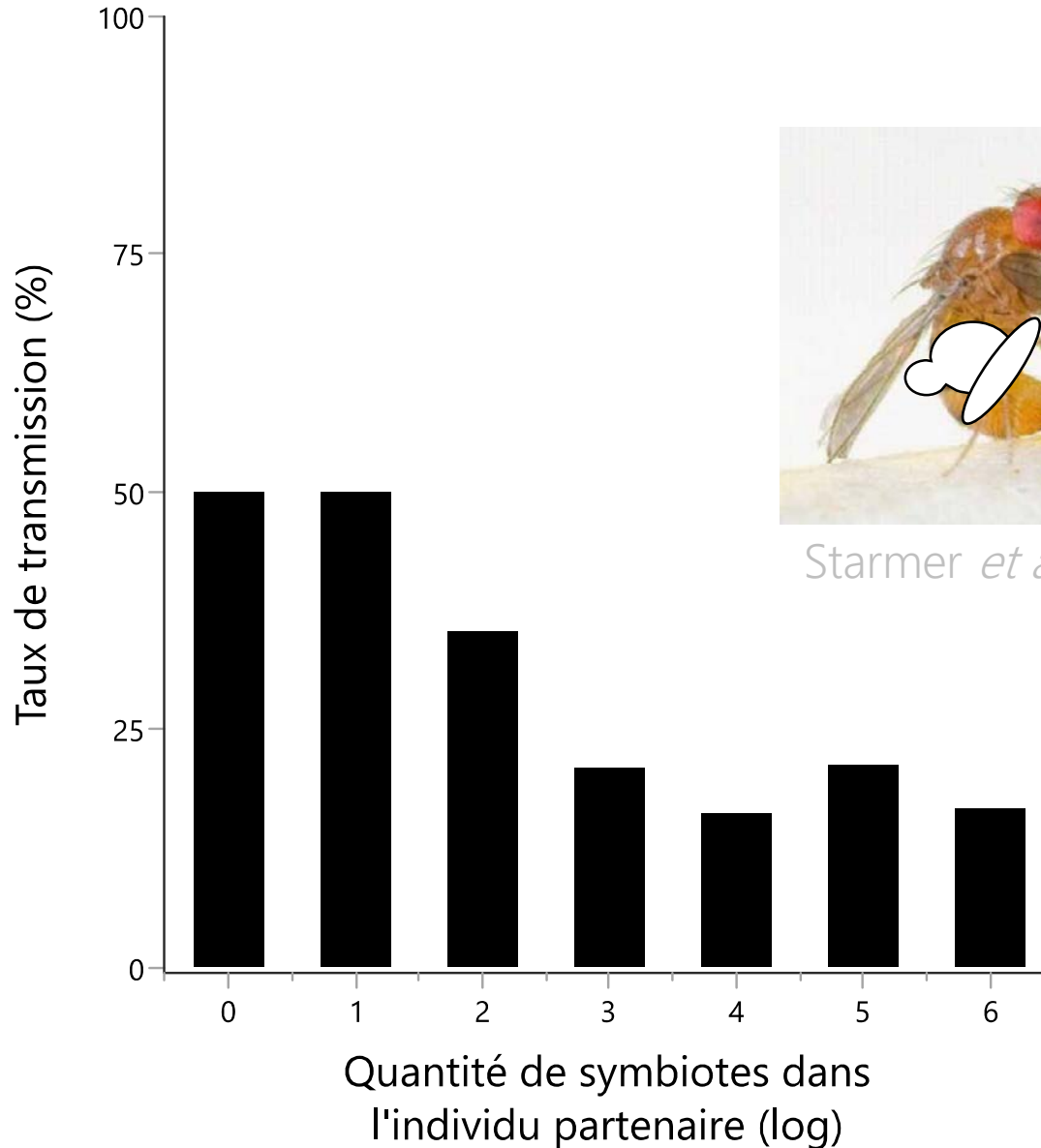
Expériences en conditions écologiquement réalistes à l'échelle des phénomènes étudiés







## Démarche



Antoine Morin

Starmer *et al.* 1988 *Anim. Behav.*

$P$  (transmission sexuelle)  
=  $f$  (quantité symbiotique dans le partenaire)



## Démarche

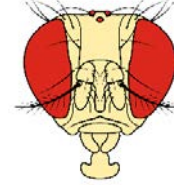
Constitution d'une collection de microorganismes sauvages



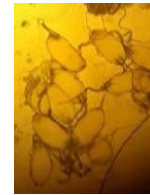
Raisin



Dépôt



Tête



Ovaires

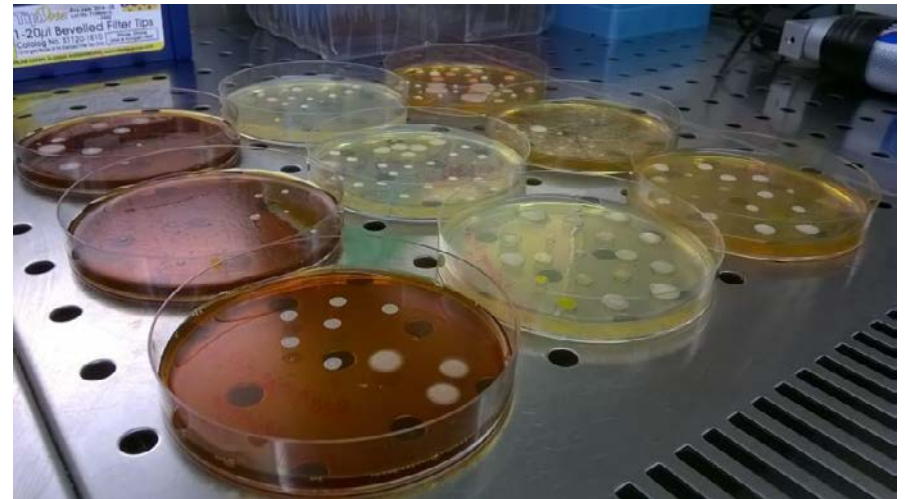
*D. melanogaster*  
*D. suzukii*

- 33 levures

ID : ADN ITS1

- 17 bactéries

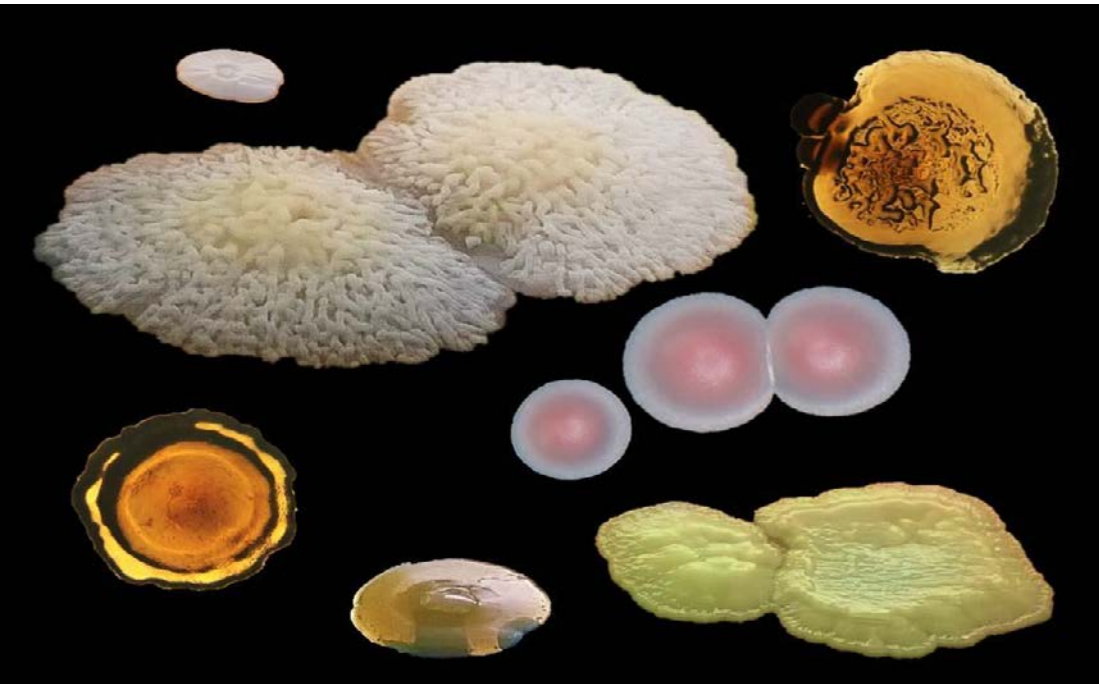
ID : ARN 16S complet et V4





## Démarche

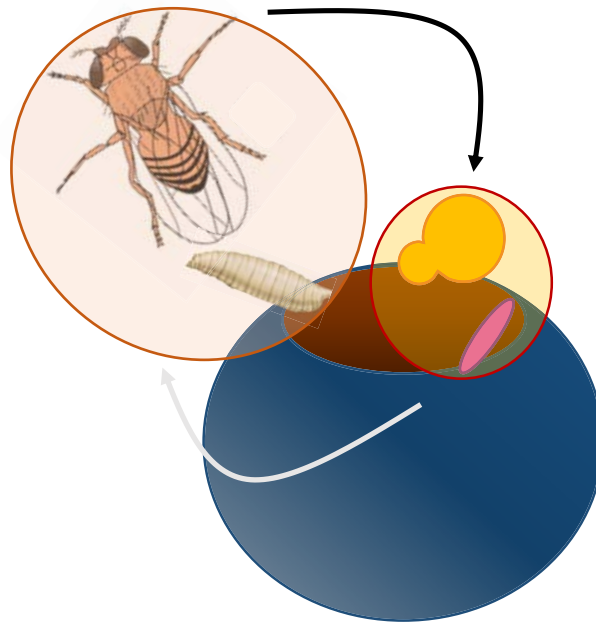
Distinction morphologique des symbiotes microbiens (milieux de croissance sélectifs)



# Partie A

---

## Acquisition et transmission des symbiotes microbiens



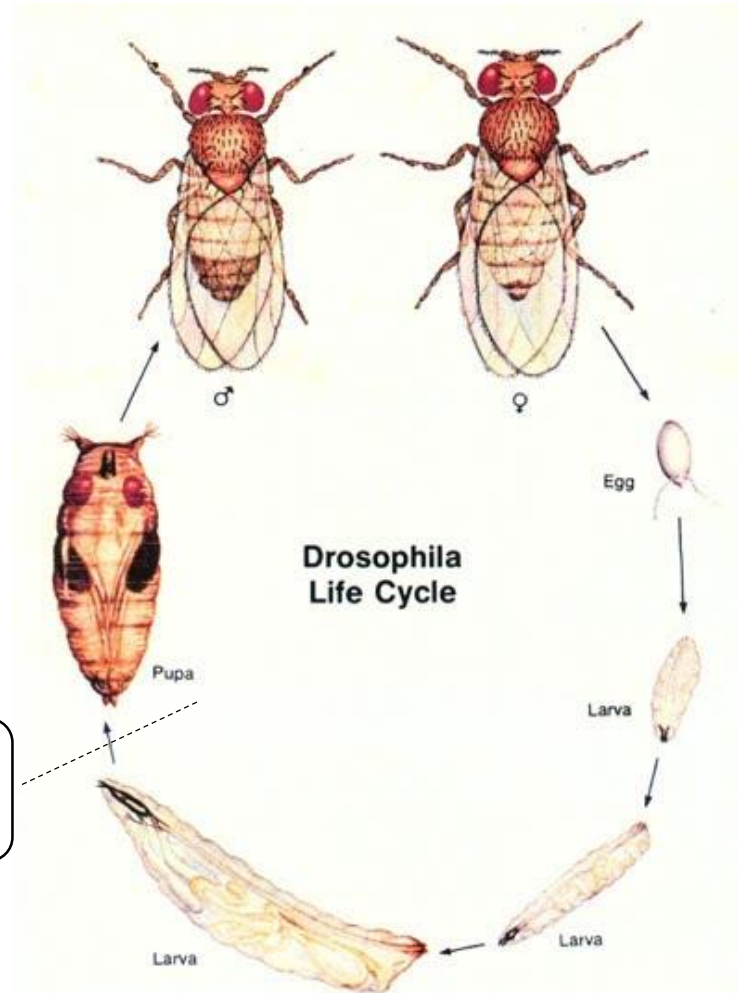
Mécanismes d'appariement des valeurs sélectives :

i) Attraction des adultes



ii) Transmission des symbiotes entre stades de vie et générations

Adultes : maintien  
et acquisition ?



Transmission  
parentale ?

Maintien larve -  
adulte ?

Conséquences pour l'évolution de la symbiose

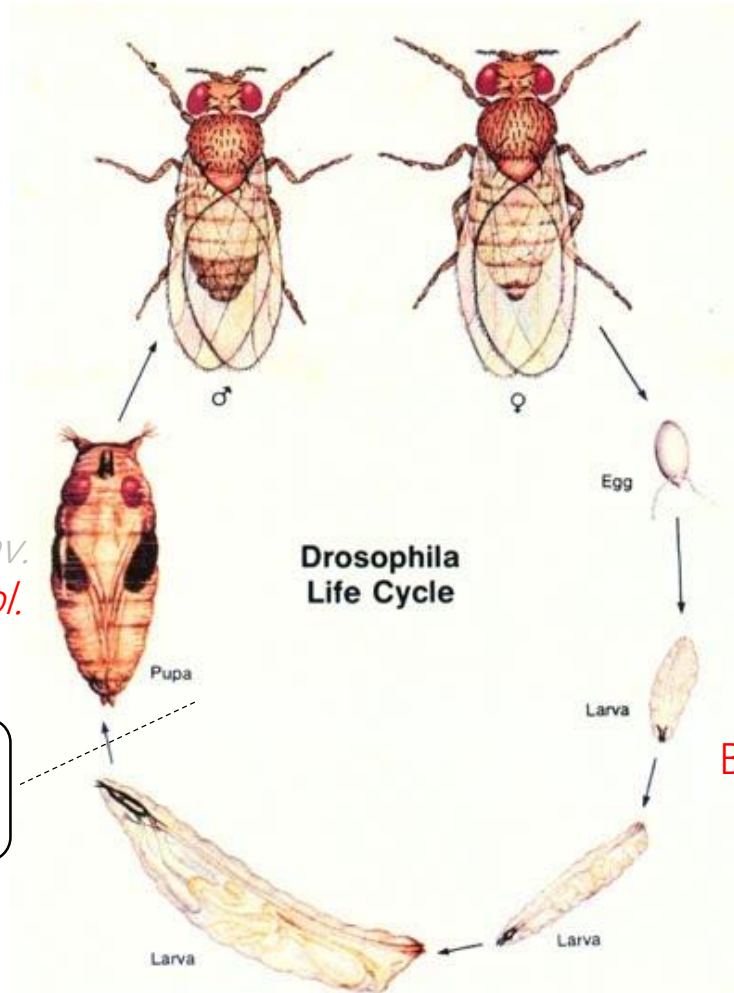


Adultes : maintien  
et acquisition ?

Maintien de levures  
(*D. buzzati*) et de  
bactéries

Starmar *et al.* 1988 *Anim. Behav.*  
Bakula 1969 *J. Invertebr. Pathol.*

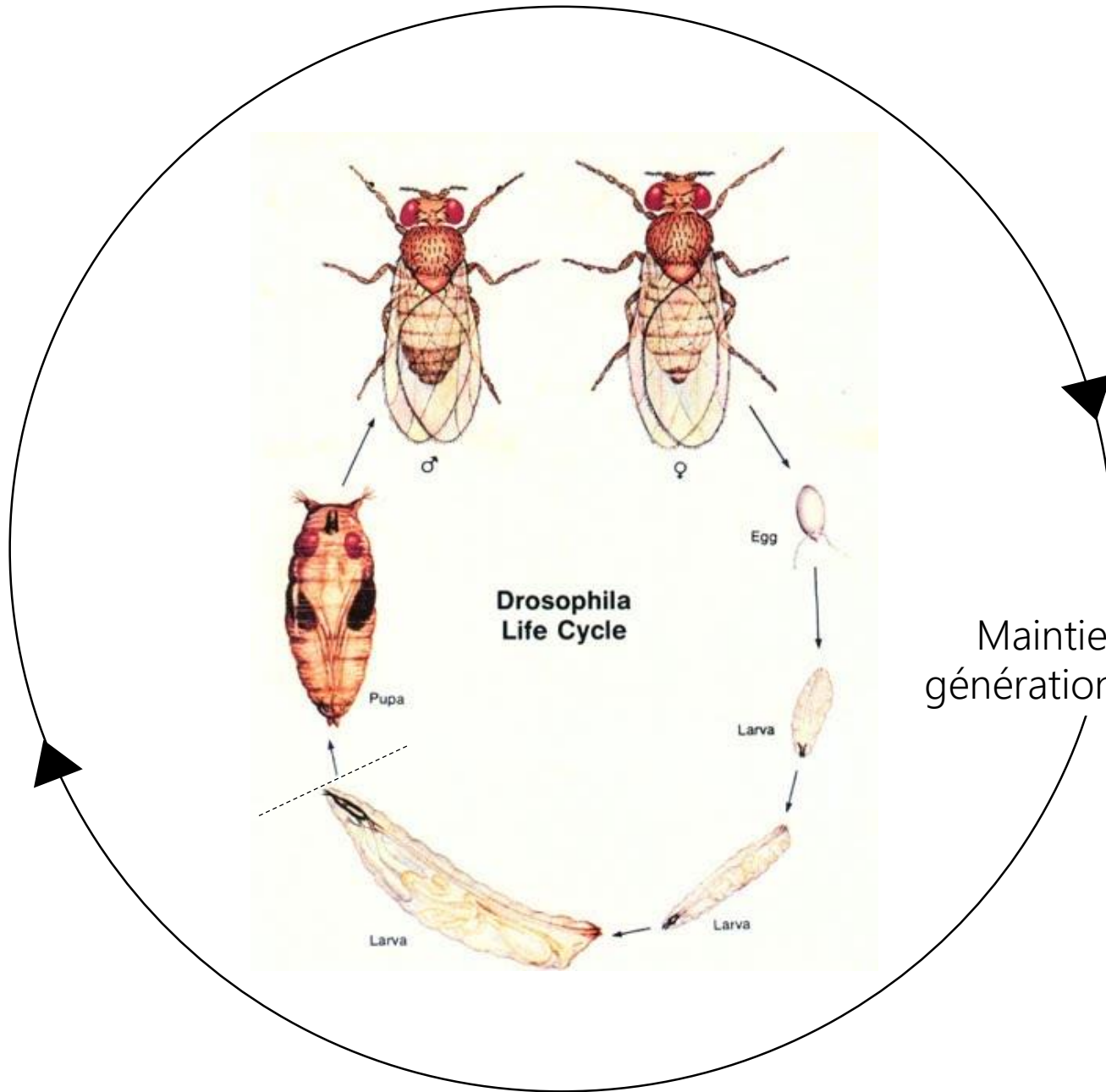
Maintien larve -  
adulte ?



Maintien de bactéries  
Obadia *et al.* 2017 *Curr. Biol.*  
Pais *et al.* 2018 *PLOS Biol.*

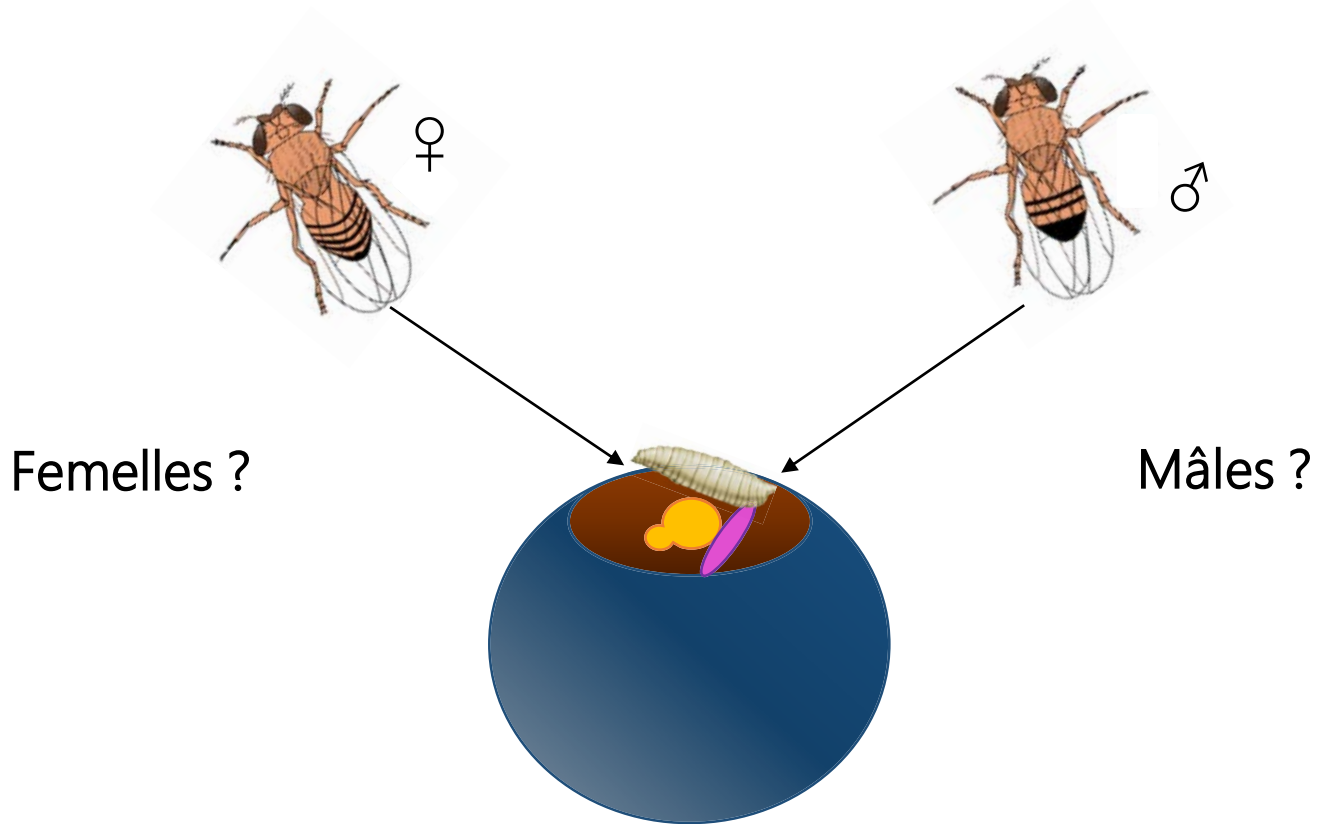
Transmission  
parentale ?

Transmission maternelle  
Becher *et al.* 2012 *Funct. Ecol.*



Maintien sur une génération complète ?

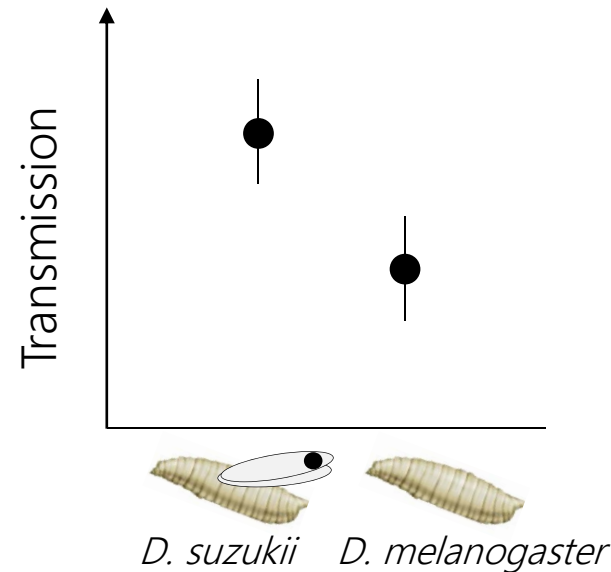
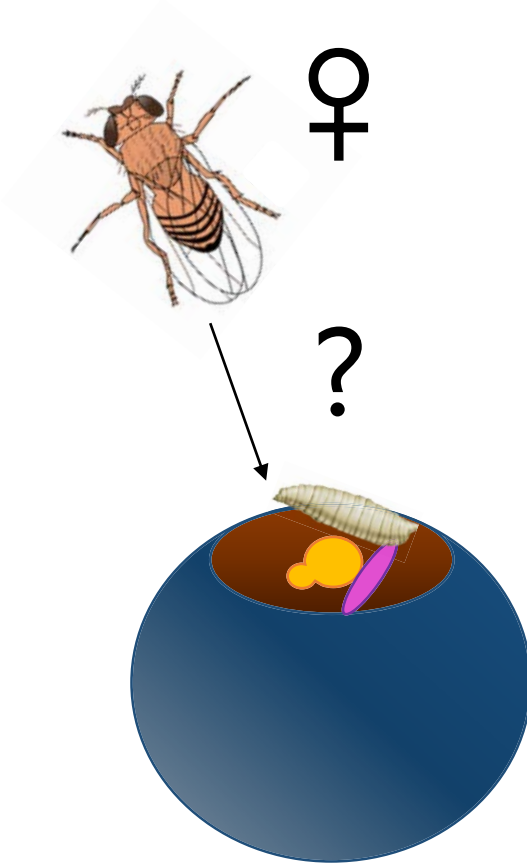
# I. Origine des symbiotes larvaires ?



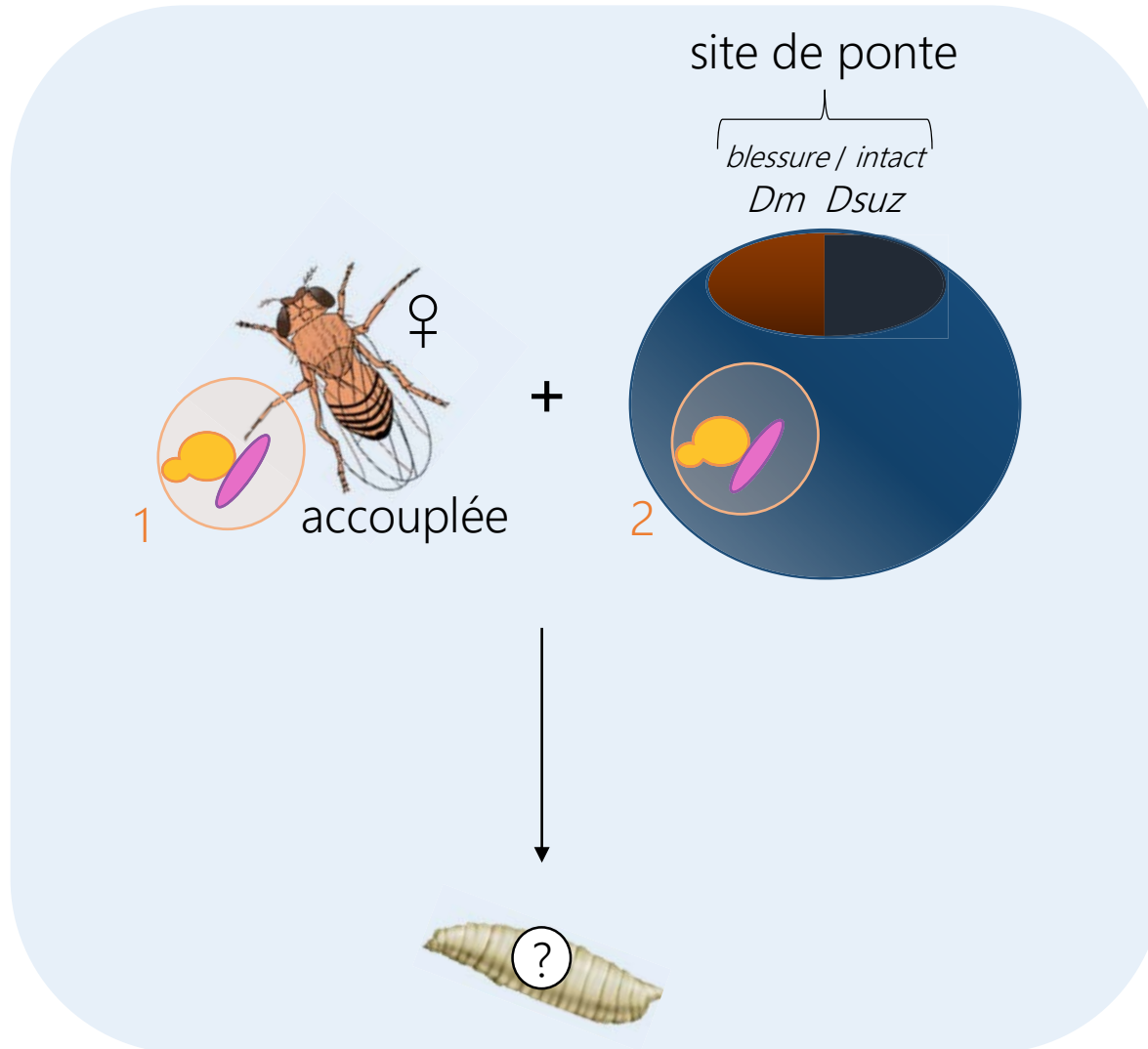
# I. Origine des symbiotes larvaires ?

- Transmission maternelle ?

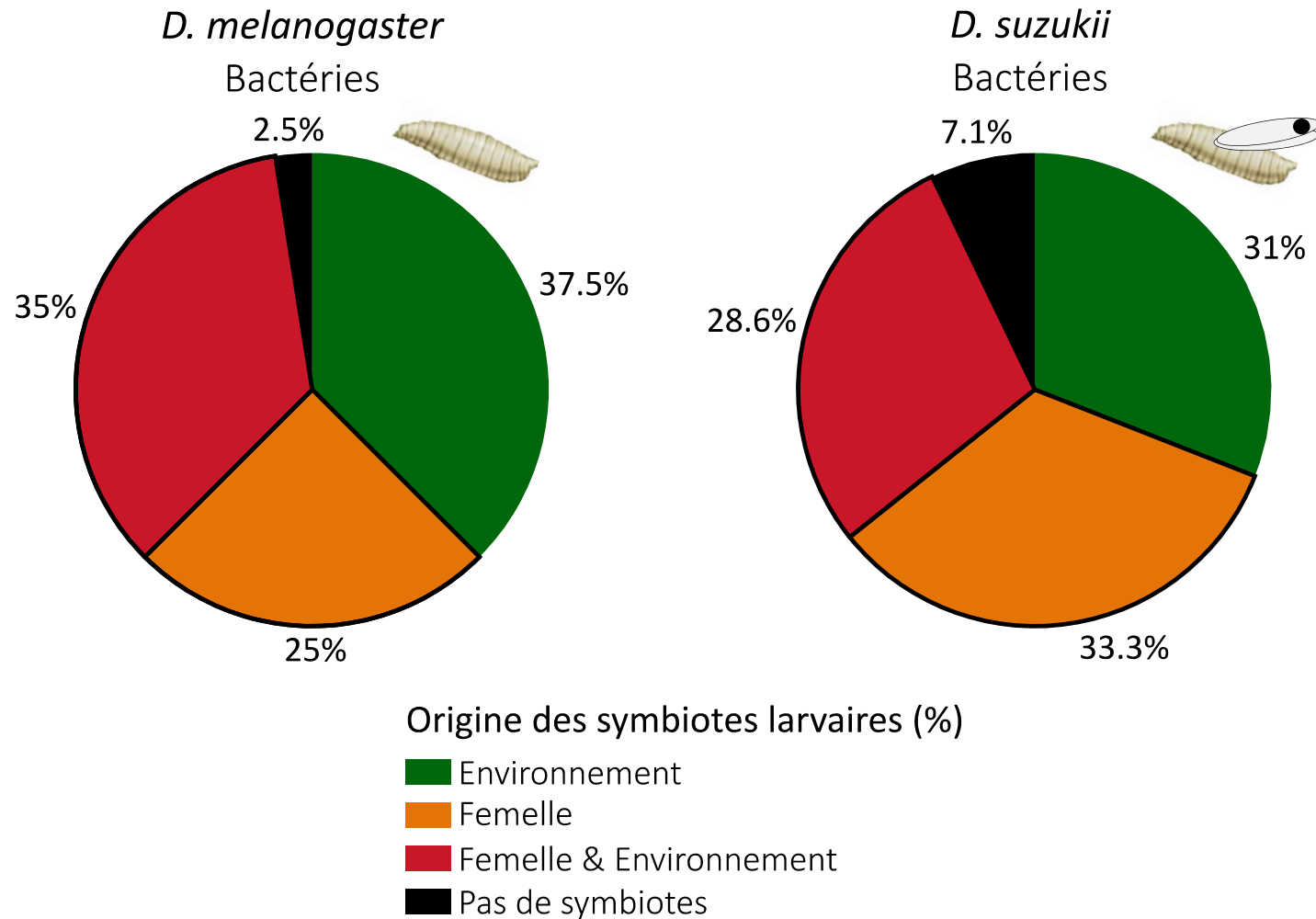
- *D. suzukii* > *D. melanogaster* ?



# I. Origine des symbiotes larvaires ?



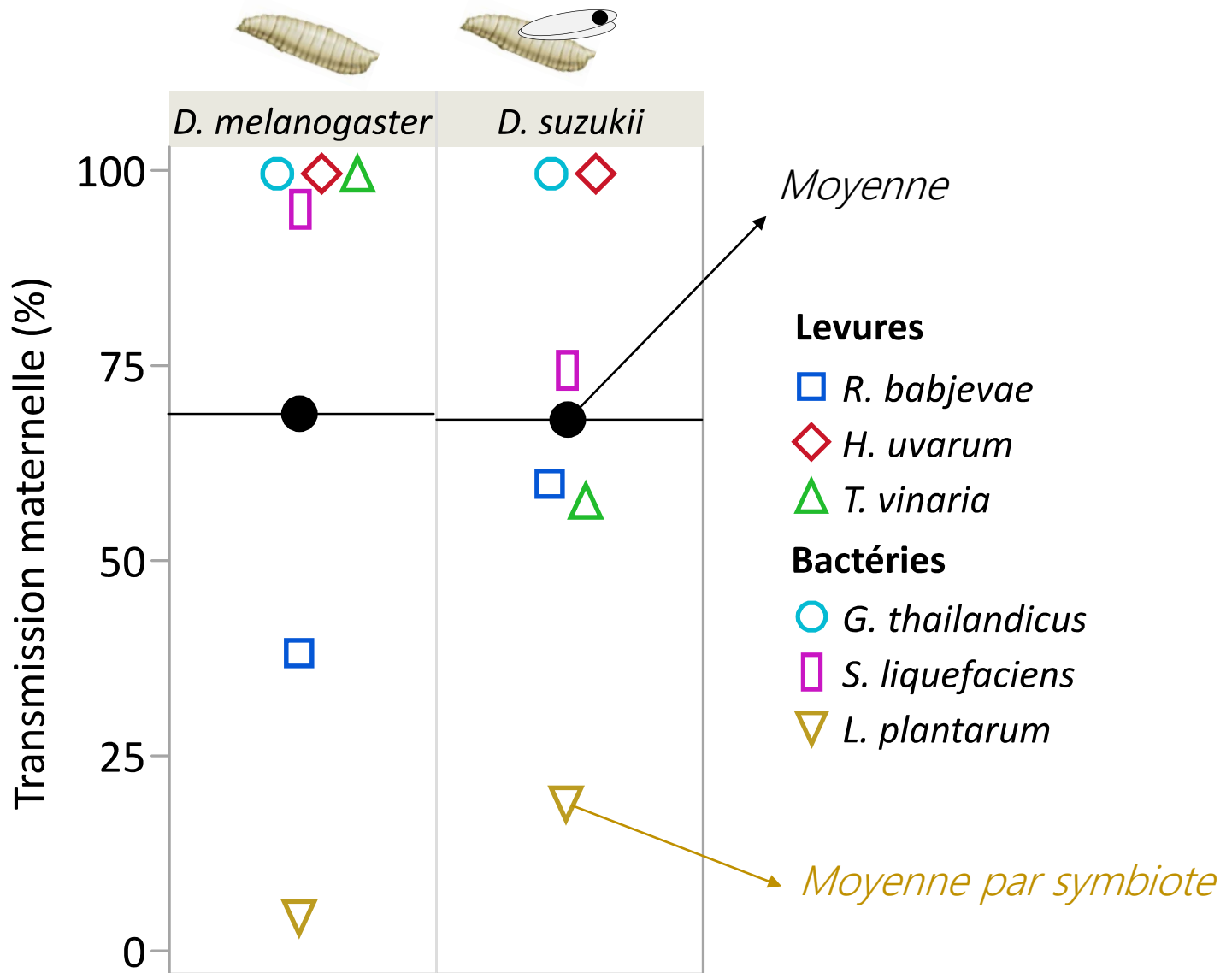
## I. Origine des symbiotes larvaires ?



Les larves acquièrent des symbiotes des femelles, de l'environnement ou des deux



## I. Origine des symbiotes larvaires ?



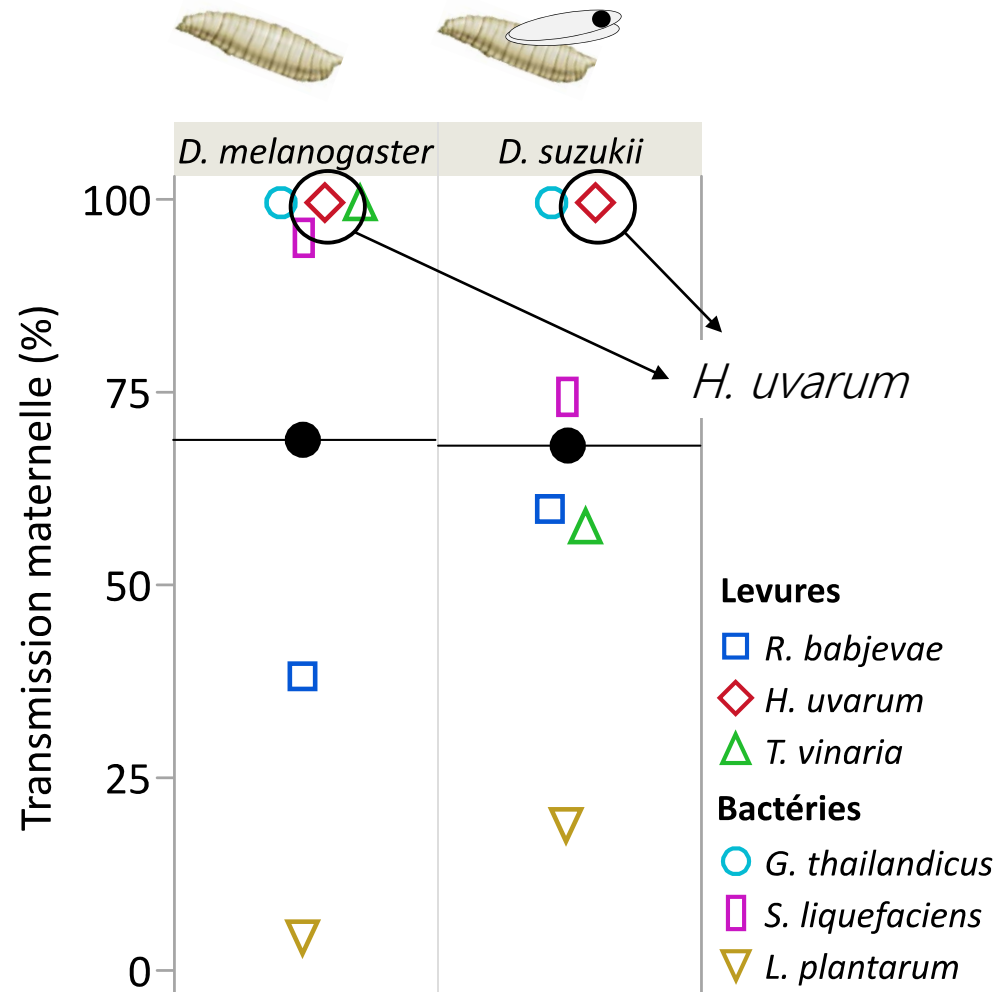
## I. Origine des symbiotes larvaires ?

Les femelles transmettent fréquemment aux larves.

~~*D. suzukii* > *D. melanogaster*~~

Variation au sein des symbiotes

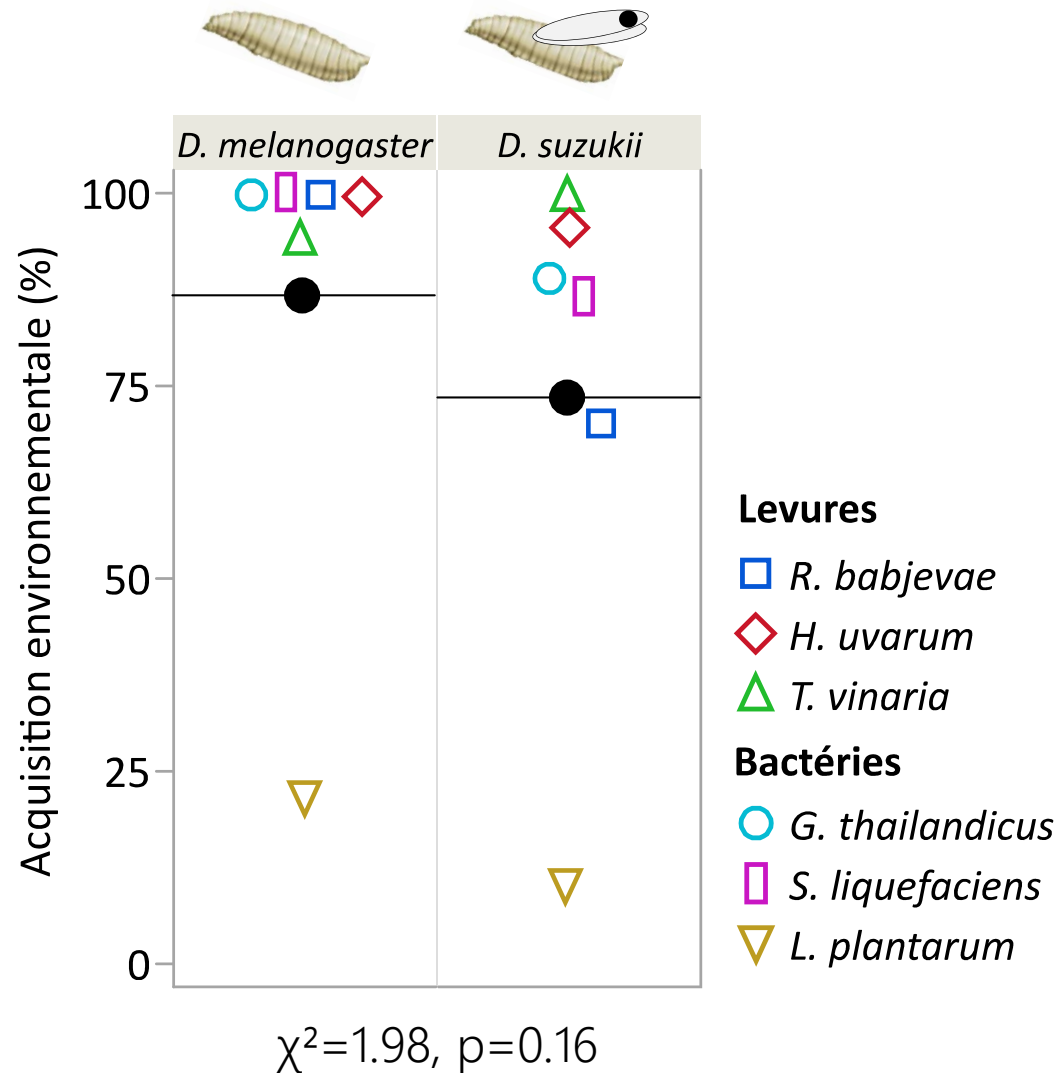
( $\chi^2=83.80$ ,  $p<.005$ )



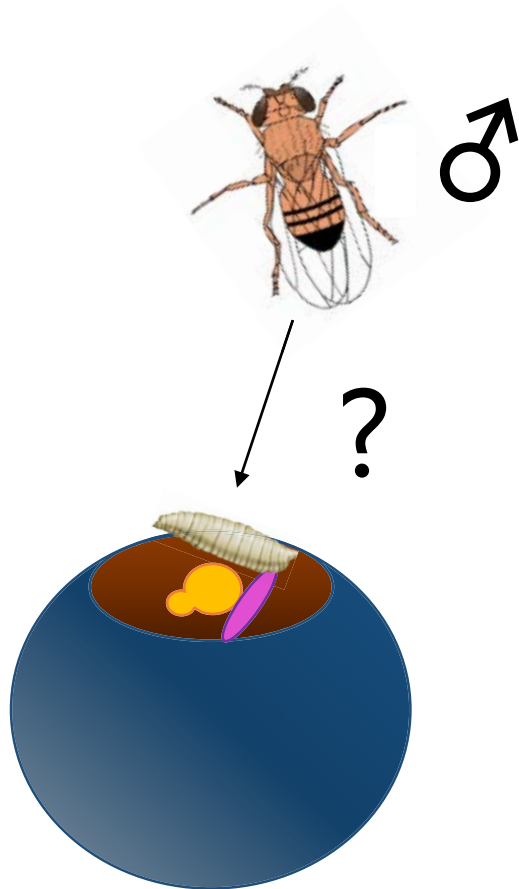
## I. Origine des symbiotes larvaires ?

Les microorganismes de la surface du fruit sont fréquemment acquis.

D'où viennent les microorganismes acquis de la surface du fruit ?



# I. Origine des symbiotes larvaires ?

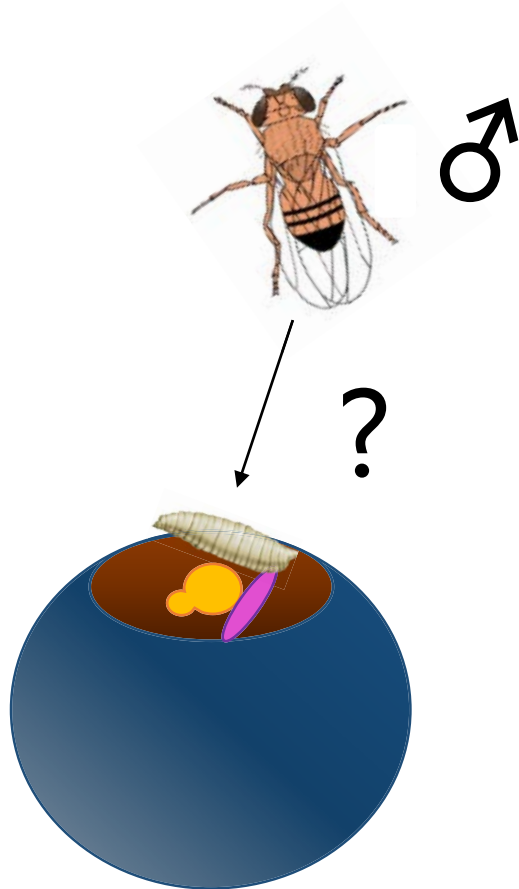


Participation des mâles locaux ?



Présence sur les sites de ponte

# I. Origine des symbiotes larvaires ?



Participation des mâles locaux ?



Mâles territoriaux, formant des leks (*D. melanogaster*)

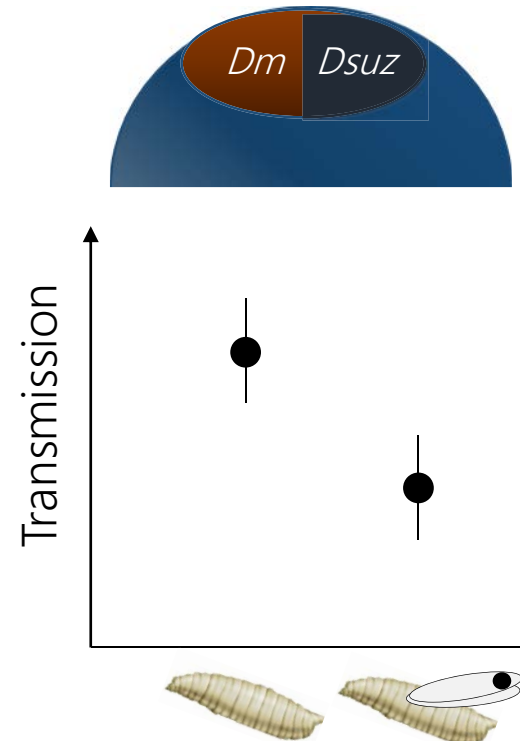
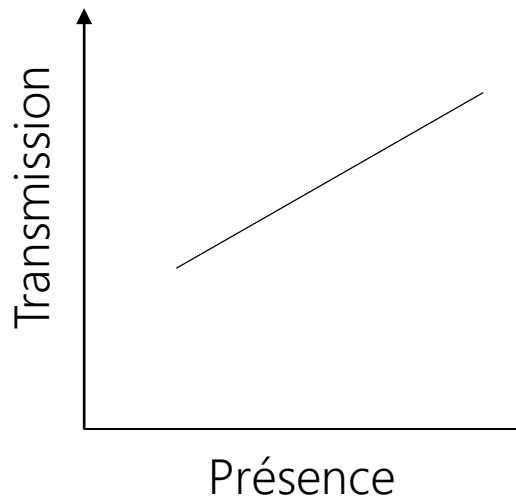
# I. Origine des symbiotes larvaires ?

Participation du mâle local : deux scénarios alternatifs



i) Symbiotes déposés sur le site de ponte

- Les mâles les plus présents transmettent plus fréquemment ?
- *D. melanogaster* > *D. suzukii* ?





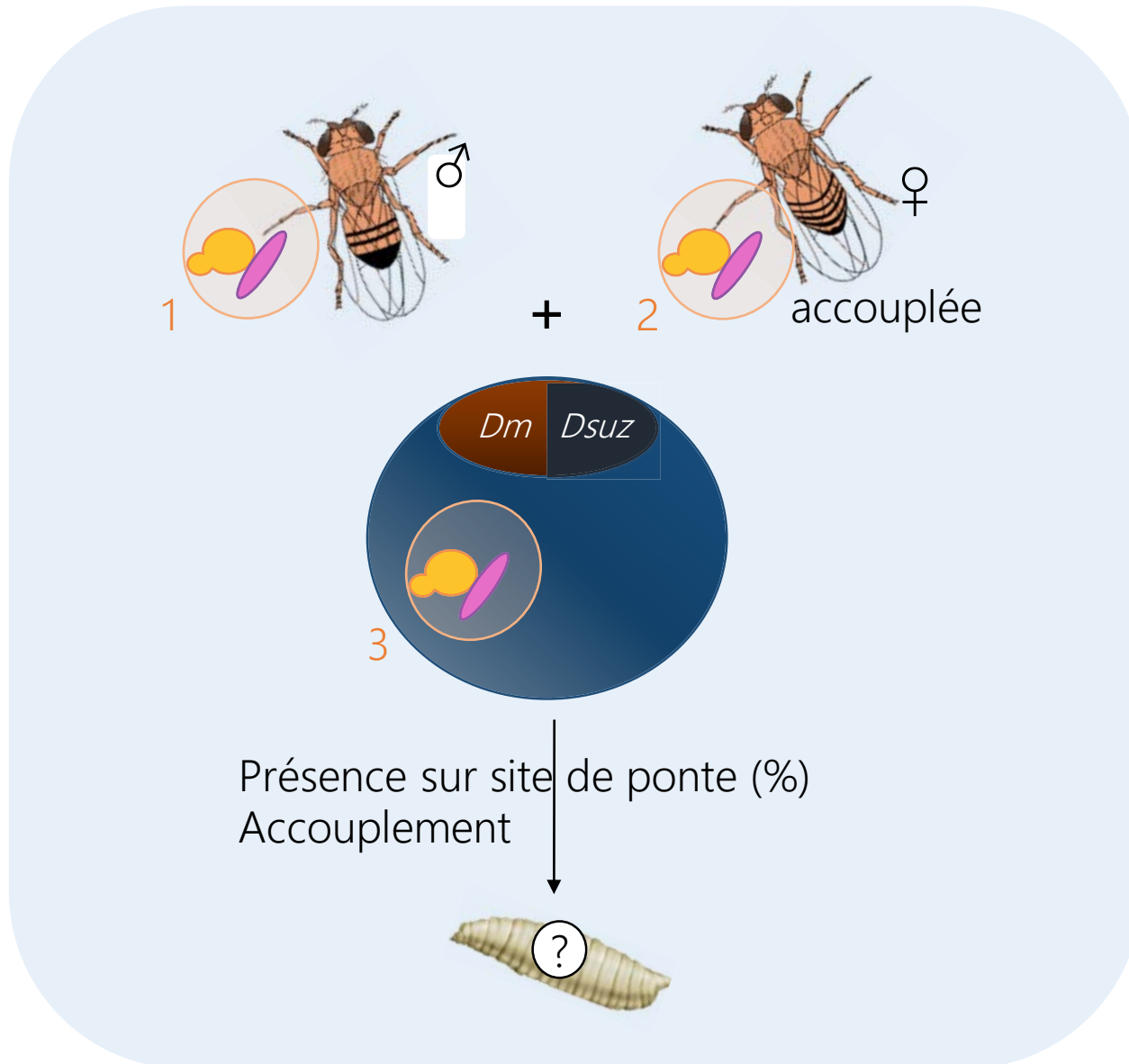
# I. Origine des symbiotes larvaires ?

Participation du mâle local : deux scénarios alternatifs

ii) Transmission sexuelle des symbiotes, puis transmission via la ponte de la femelle



# I. Origine des symbiotes larvaires ?

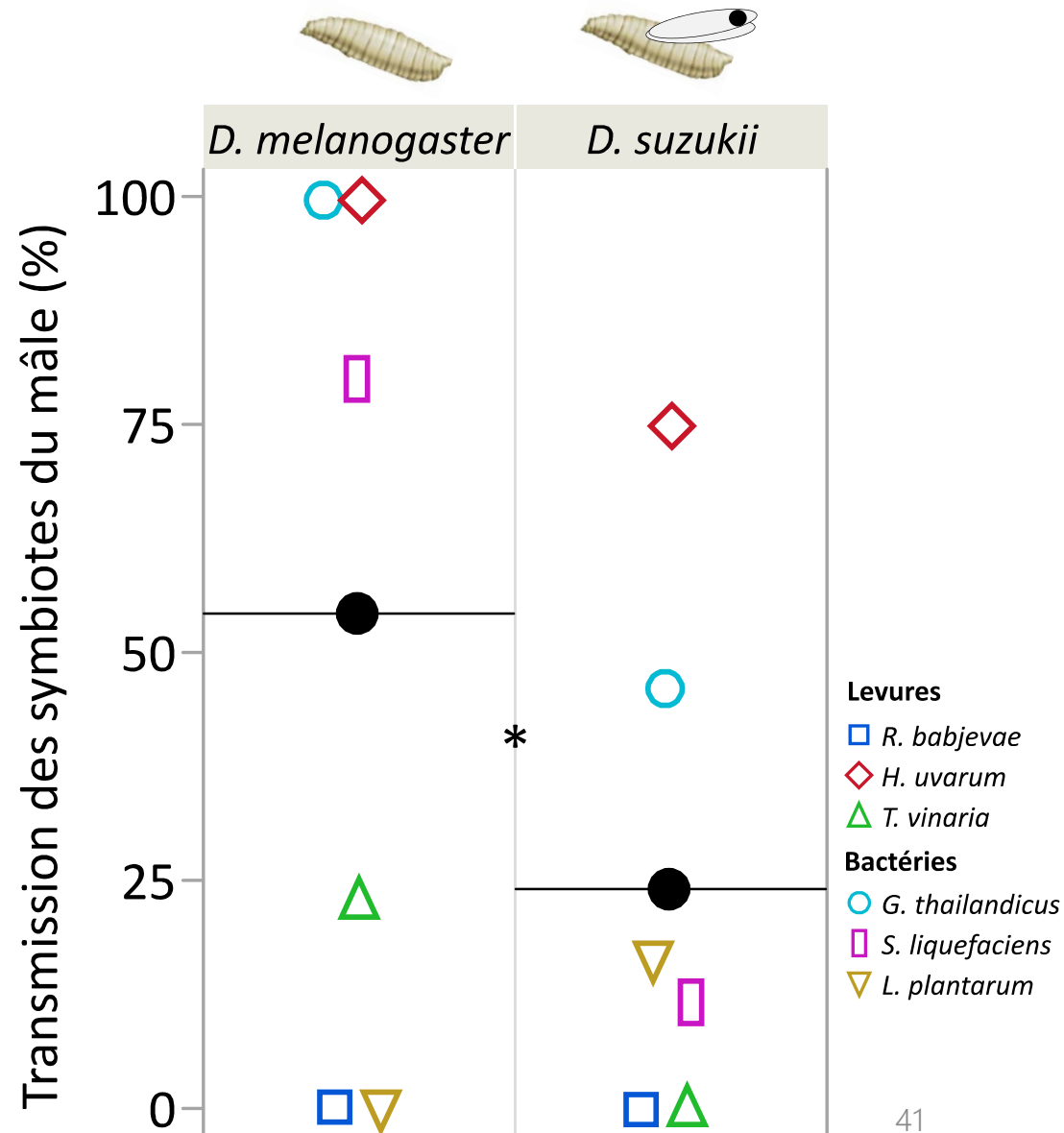


## I. Origine des symbiotes larvaires ?

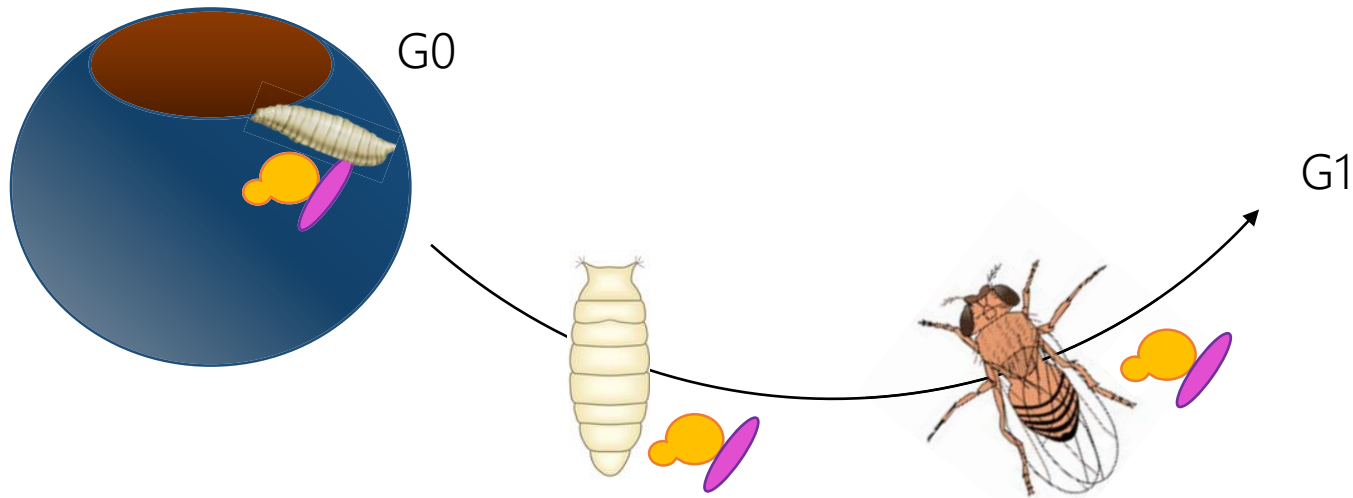
Les mâles locaux transmettent fréquemment aux larves.

*D. melanogaster* > *D. suzukii*  
( $\chi^2=12.10$ ,  $p<.005$ )

Le mécanisme reste inconnu :  
Présence ( $\chi^2=0.35$ ,  $p=0.55$ )  
Accouplement

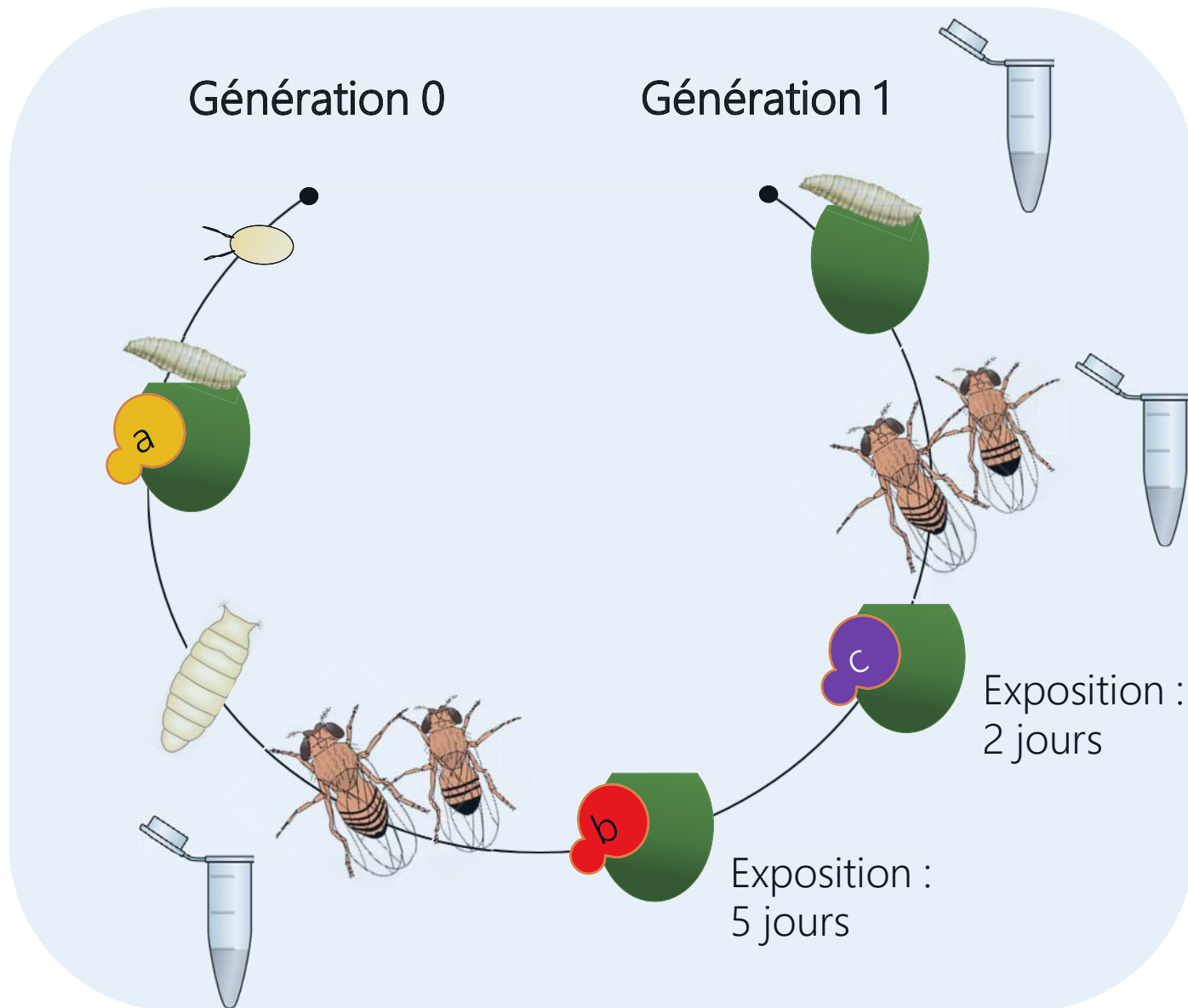


## II. Devenir des symbiotes larvaires



Maintien des symbiotes larvaires  
à travers les stades de vie et les générations ?

## II. Devenir des symbiotes larvaires

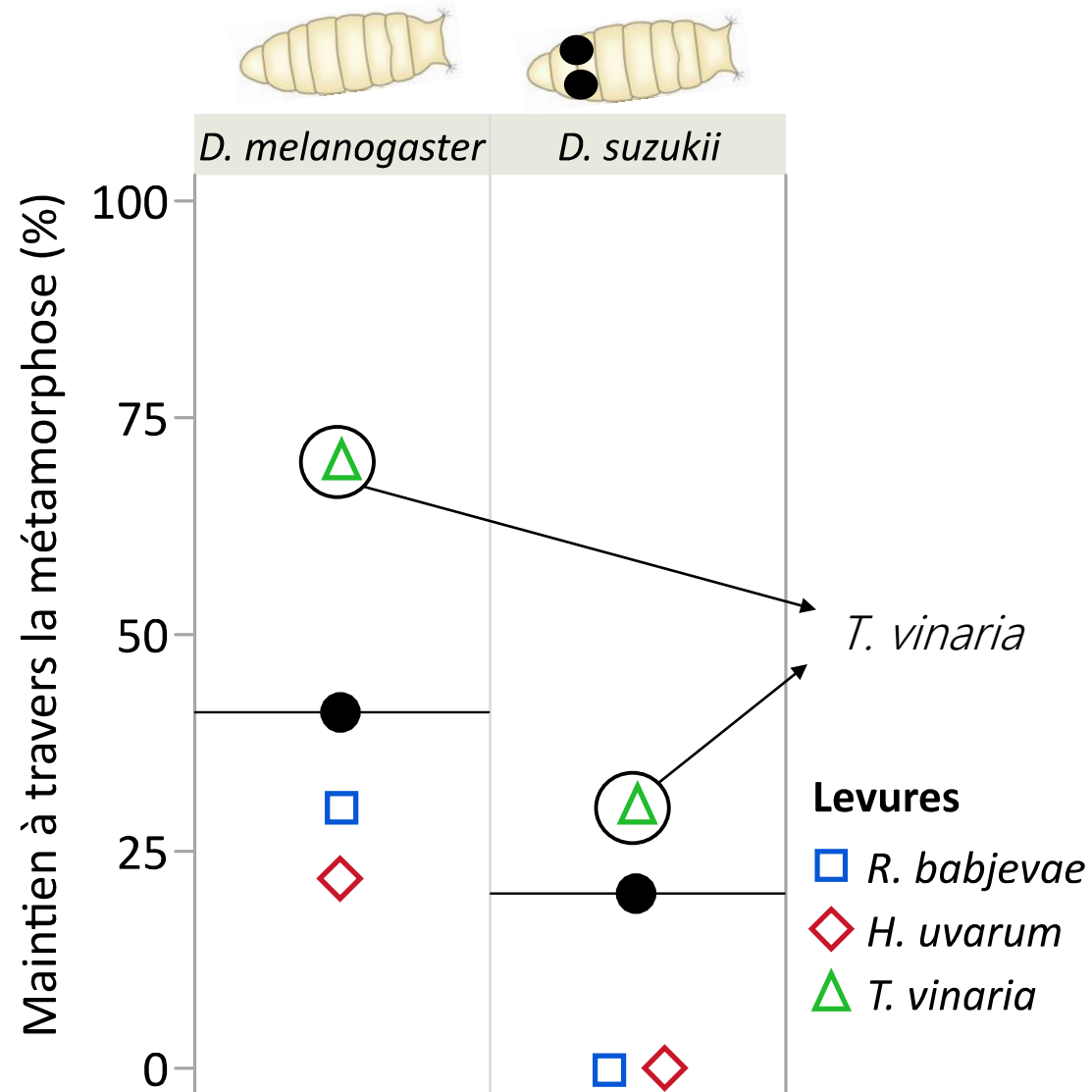


## II. Devenir des symbiotes larvaires

Les levures se maintiennent à travers la **métamorphose**.

Variation au sein des symbiotes

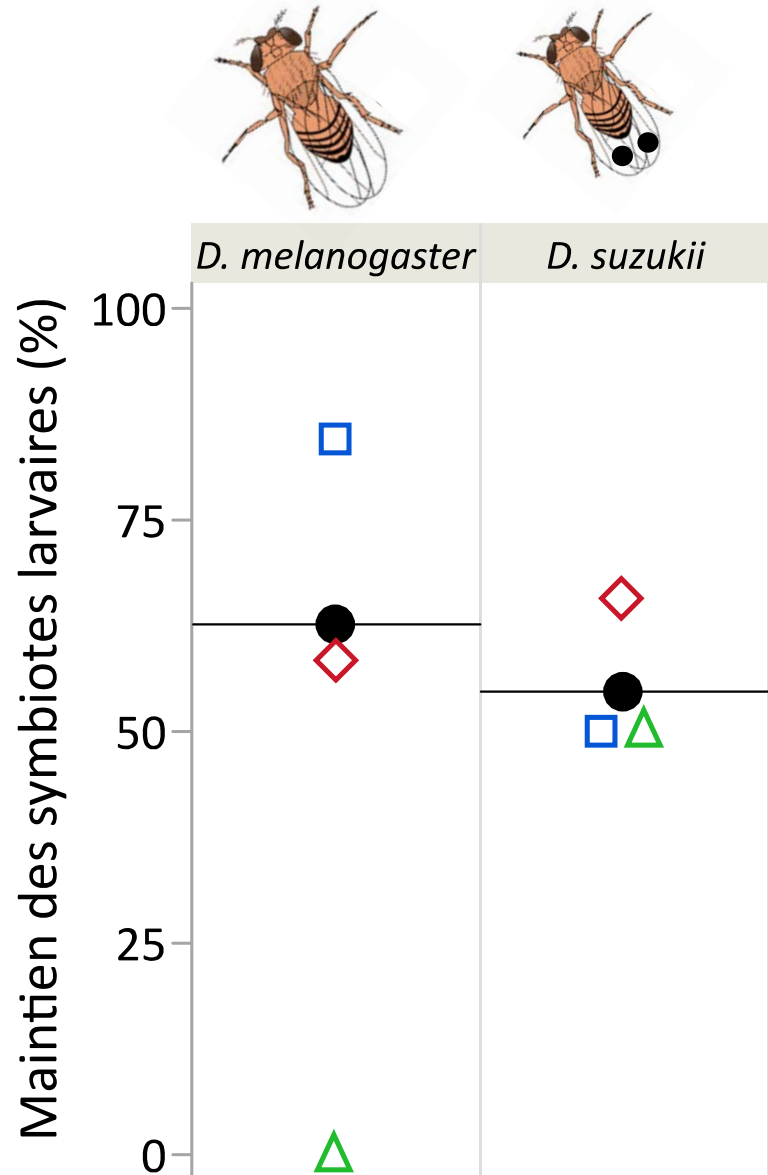
( $\chi^2=7.95$ ,  $p=0.0188$ )





## II. Devenir des symbiotes larvaires

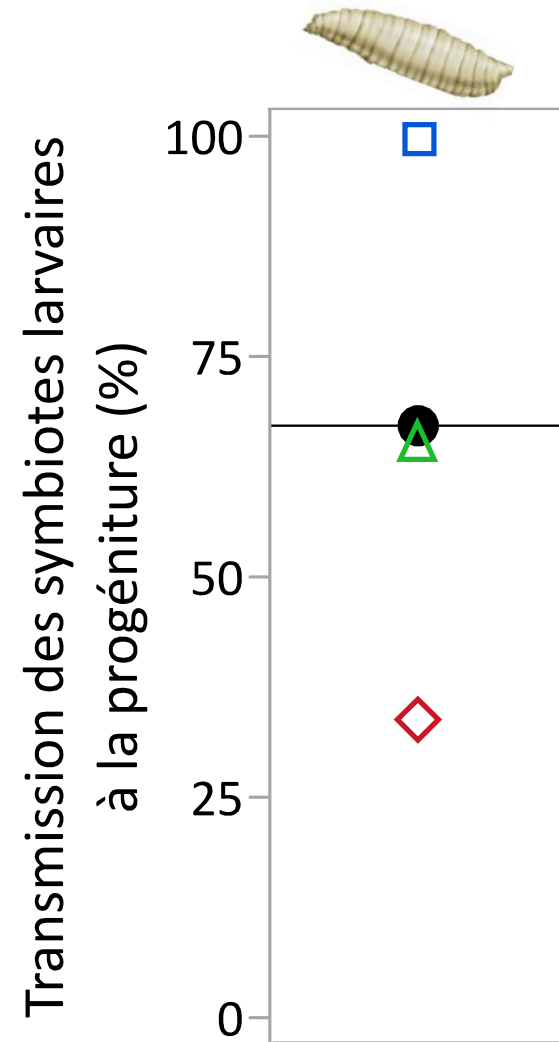
Les levures larvaires se maintiennent au cours de la **vie adulte**, malgré l'exposition des adultes à des levures environnementales.



## II. Devenir des symbiotes larvaires

Les symbiotes larvaires sont fréquemment transmis à la **nouvelle génération** de larves (~ 69%).

Uniquement mesuré pour *D. melanogaster*








# Acquisition et transmission des symbiotes microbiens

**bioRxiv**

THE PREPRINT SERVER FOR BIOLOGY

The origin and maintenance of microbial symbionts in *Drosophila* larvae

 Robin Guilhot,  Auxane Lagmairi,  Laure Olazcuaga,  Anne Xuereb,  Simon Fellous

doi: <https://doi.org/10.1101/2020.09.12.294868>

Sélection vers des interactions mutualistes drosophiles - symbiotes :

Vers différentes stratégies de dispersion ? *Jacob et al. 2019 Am. Nat.*

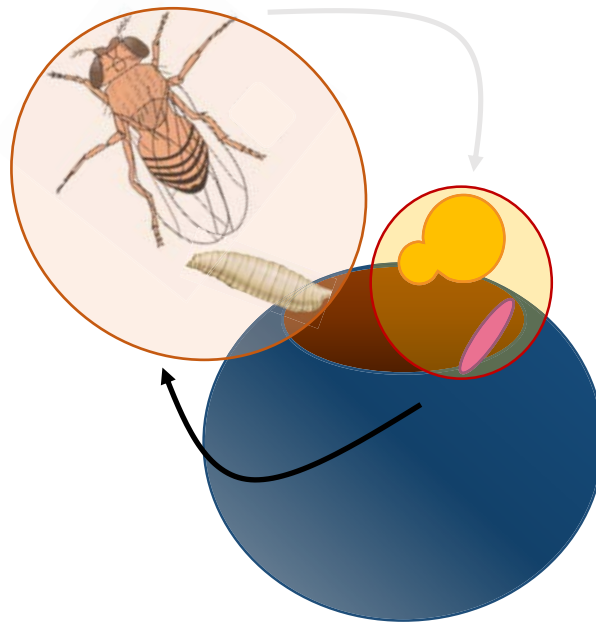
- Des symbiotes très attractifs et transmis entre générations
- Des symbiotes peu attractifs et transmis entre les stades de vie

Des symbiotes héritables : vers une contribution des symbiotes à l'adaptation locale de l'hôte ?

# Partie B

---

## Influence des symbiotes microbiens sur le développement de l'hôte





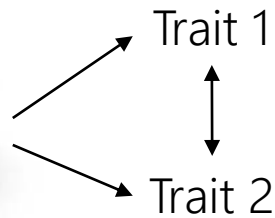
Dans la littérature, les symbiotes des drosophiles influencent la nutrition de deux façons possibles :

- Quantité et qualité de la ressource

*Bellutti et al. 2018 J. Pest. Sci.*



- Physiologie

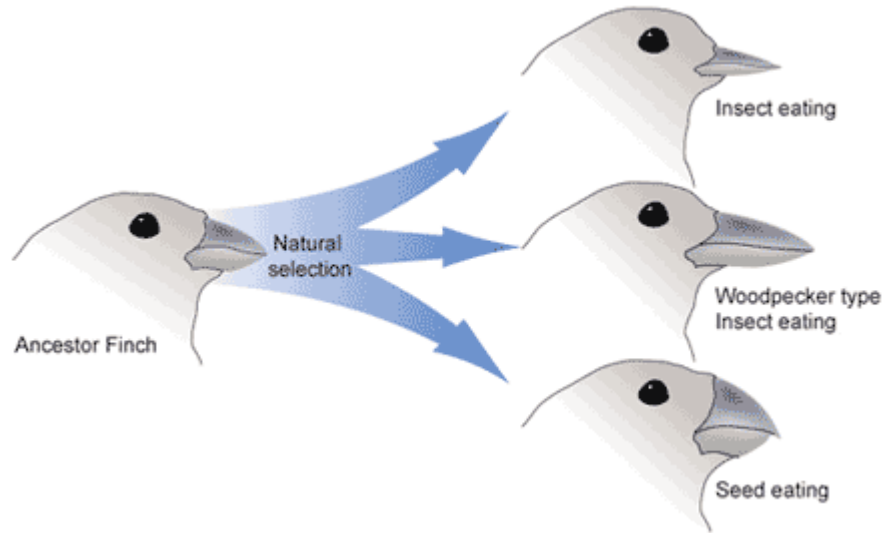


*Shin et al. 2011 Science*



- Quantité et qualité de la ressource ?
- Physiologie ?

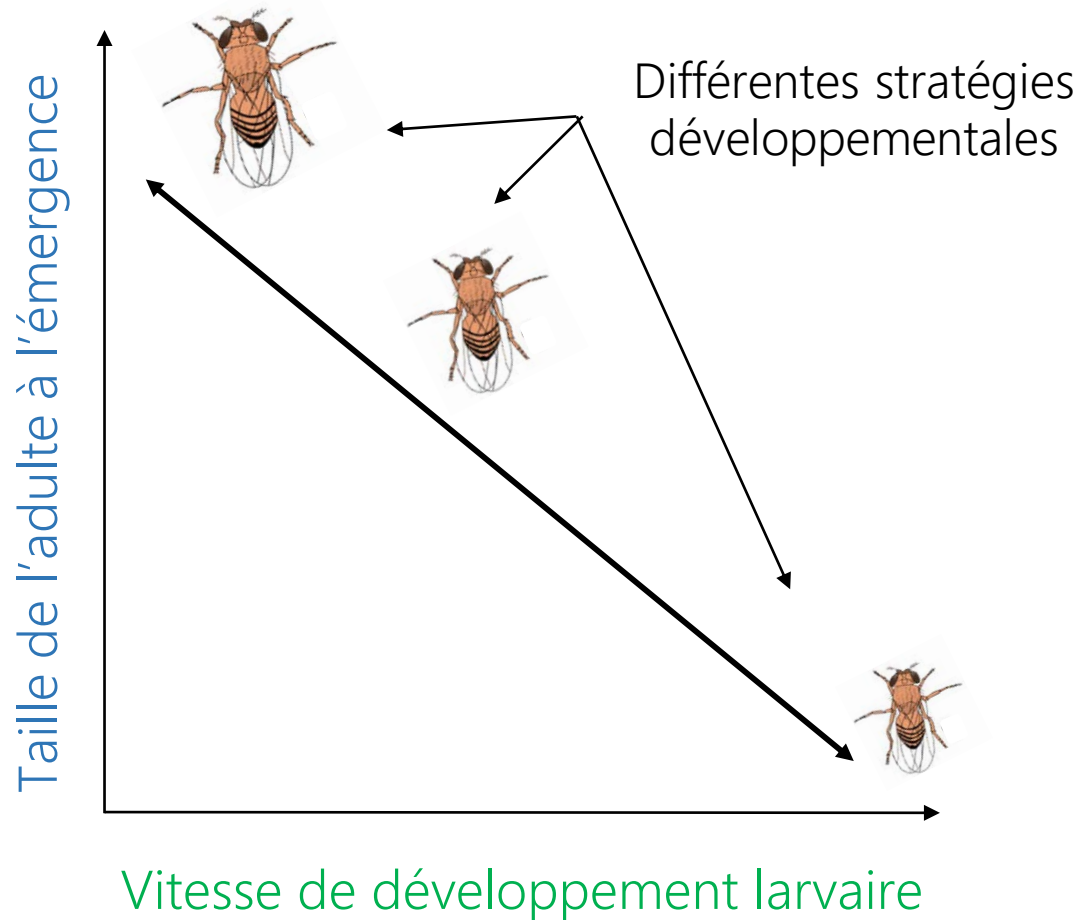
Influence l'évolution de l'hôte et de la symbiose



**Sélection sur traits phénotypiques**

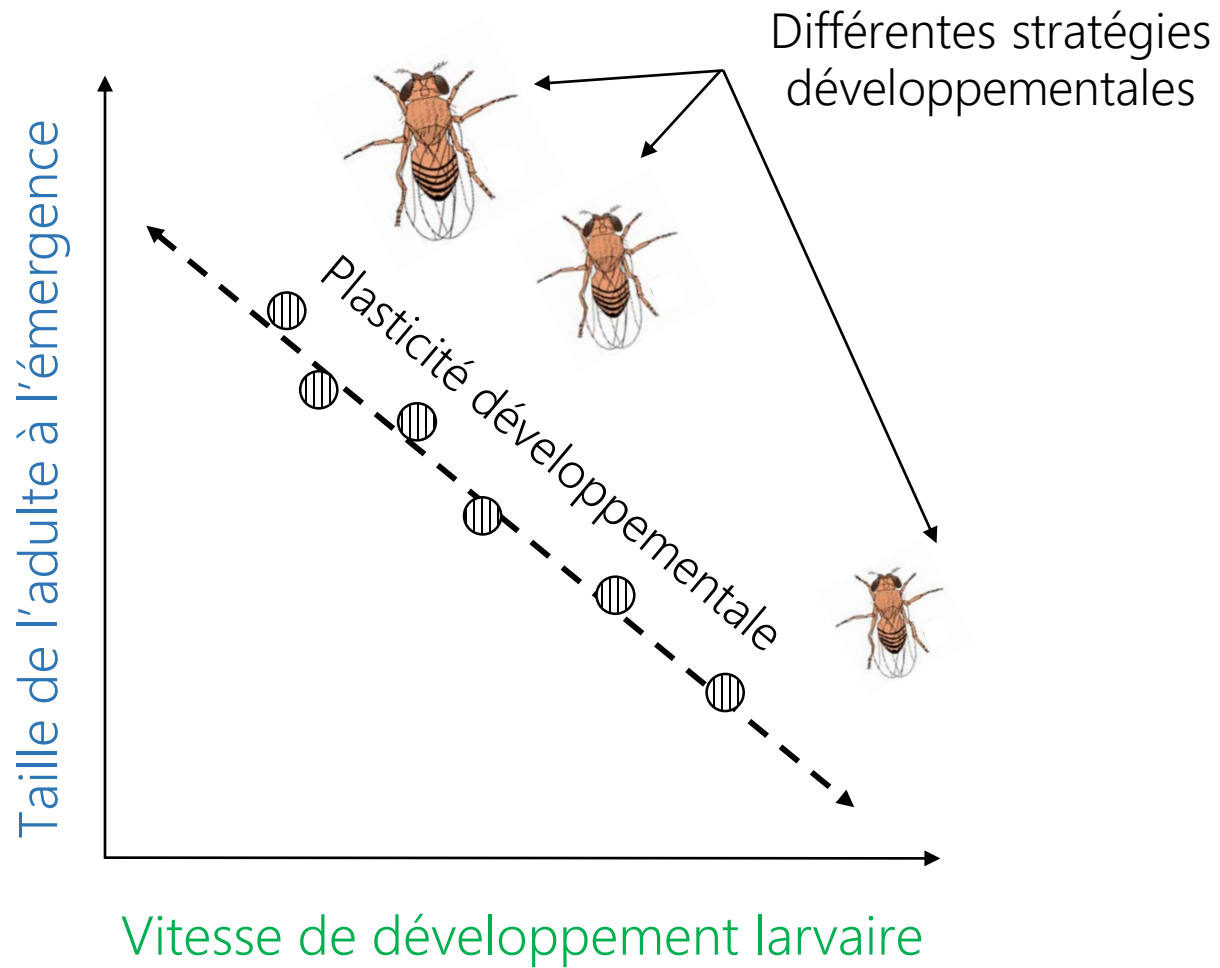
**Valeur sélective dépendant de l'environnement**

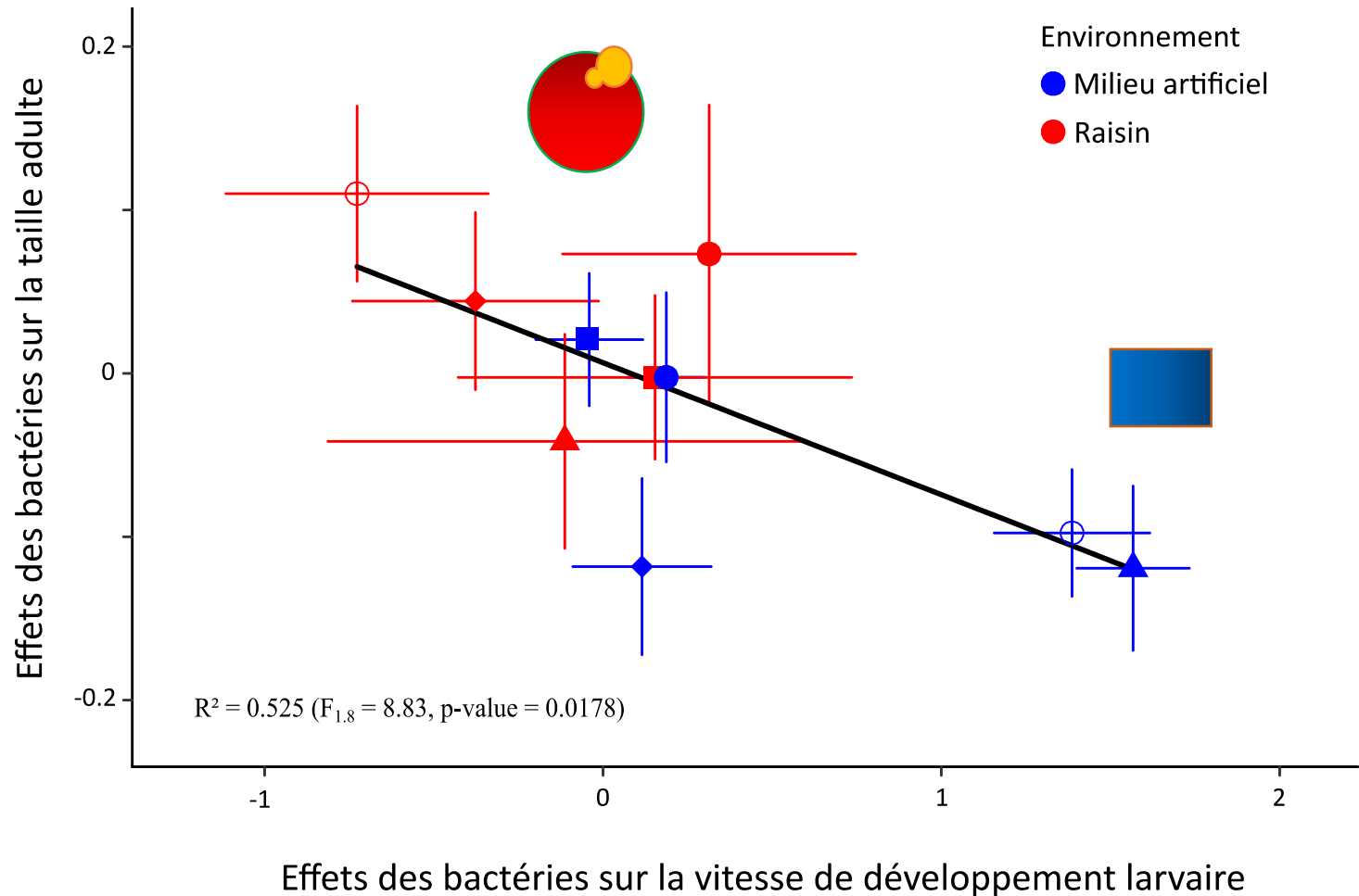
Un **cadre analytique** basé sur le compromis développemental  
*vitesse de développement* - *taille de l'adulte à l'émergence*



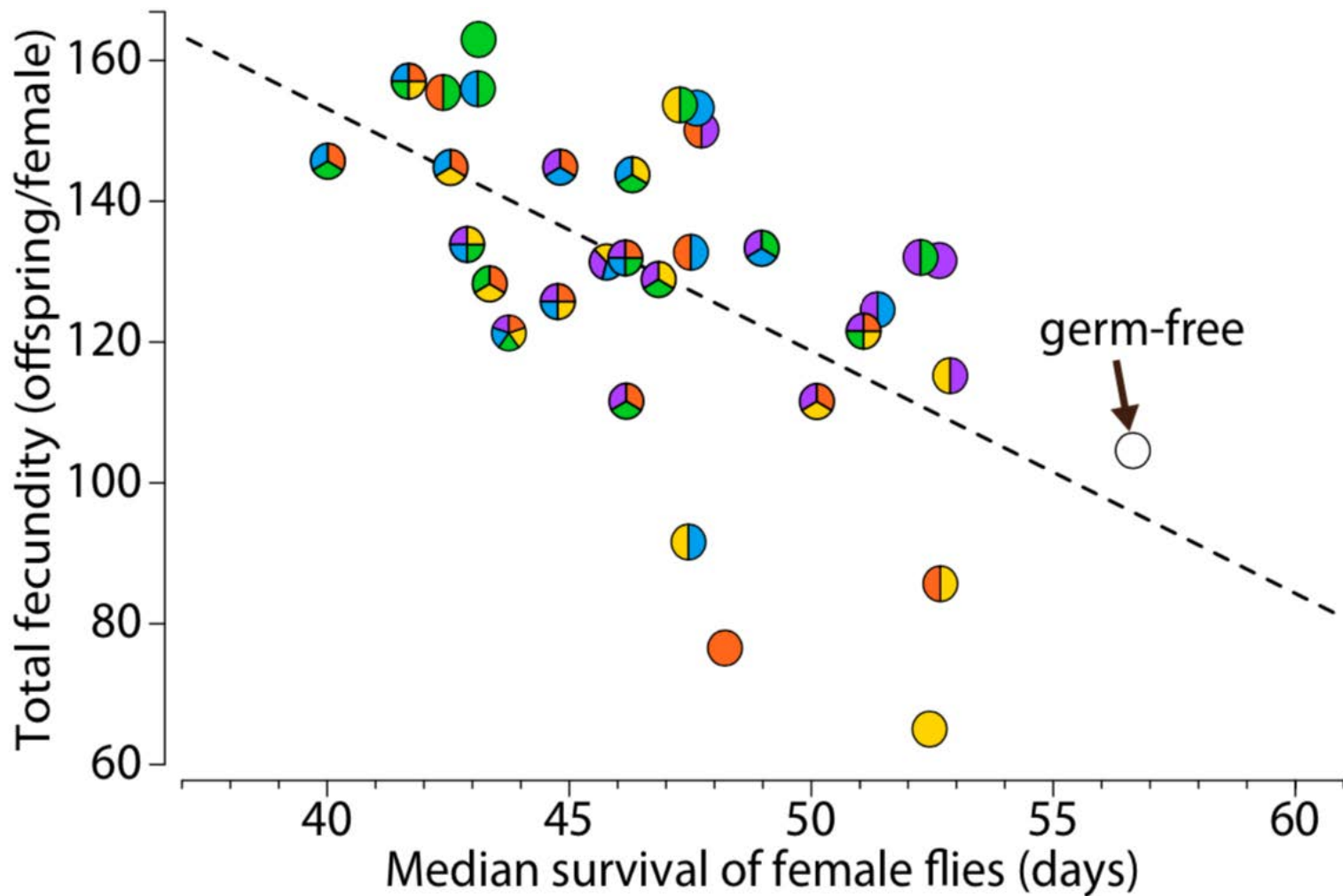
Stearns and Koella 1986 *Evolution*



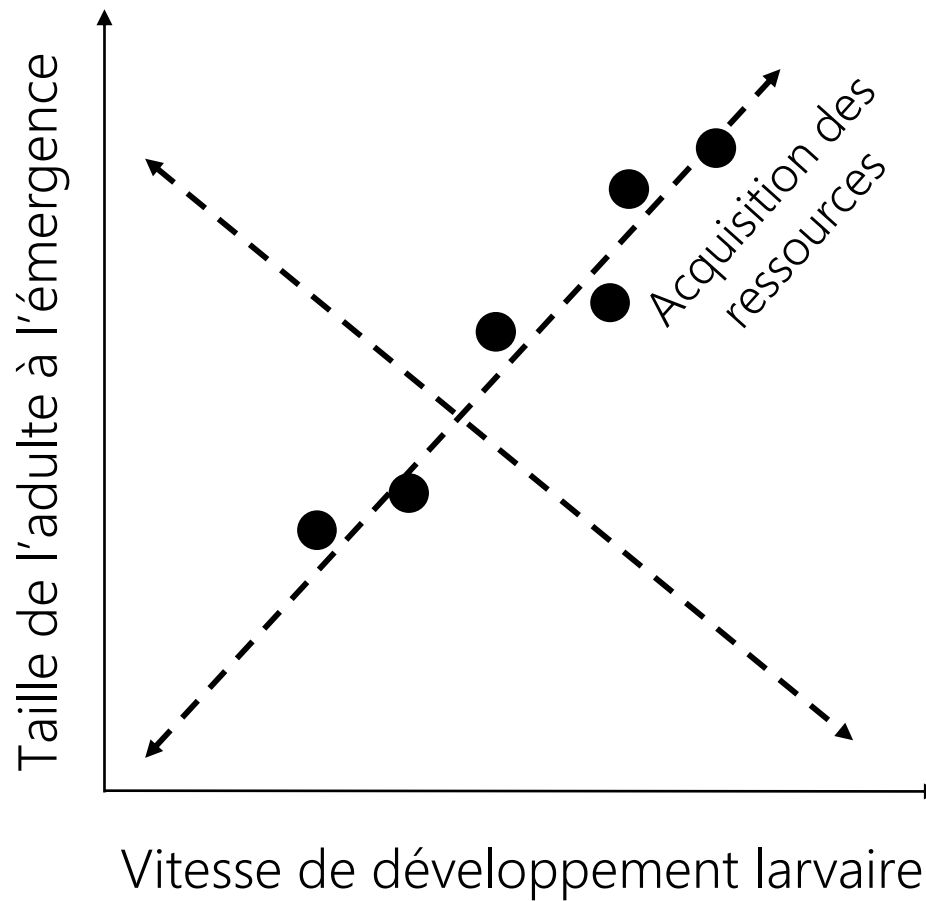




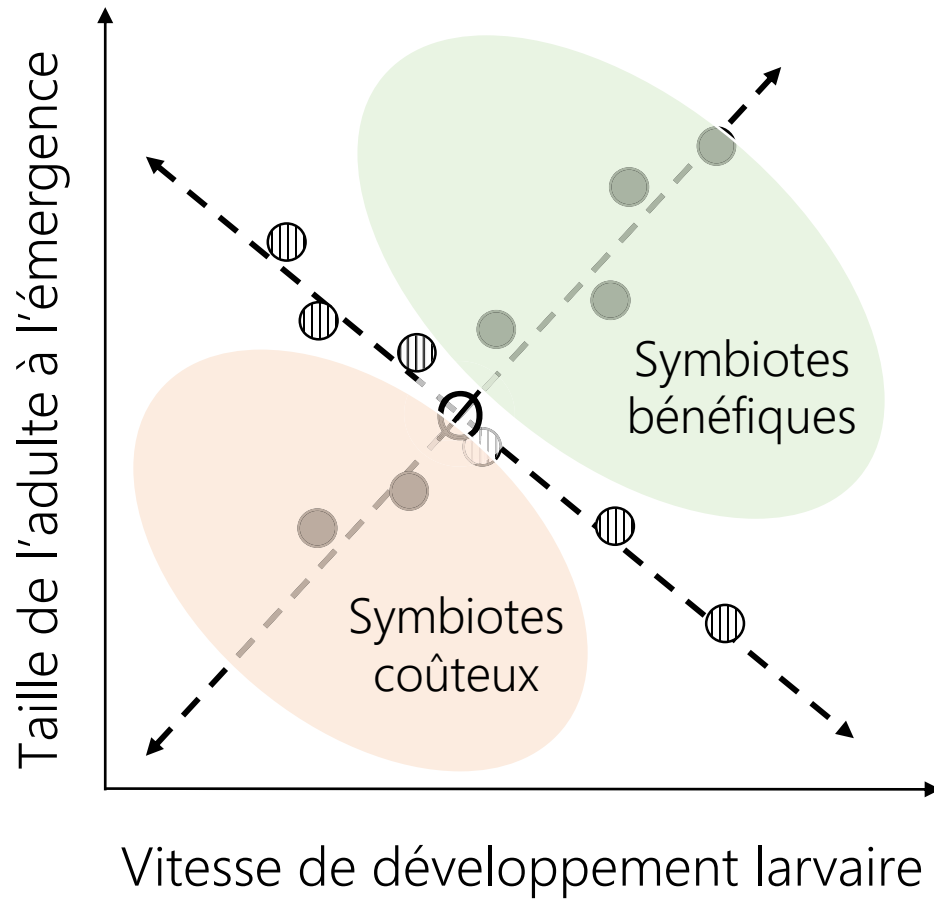
Les bactéries – en interaction avec l’environnement – influencent la plasticité développementale des larves



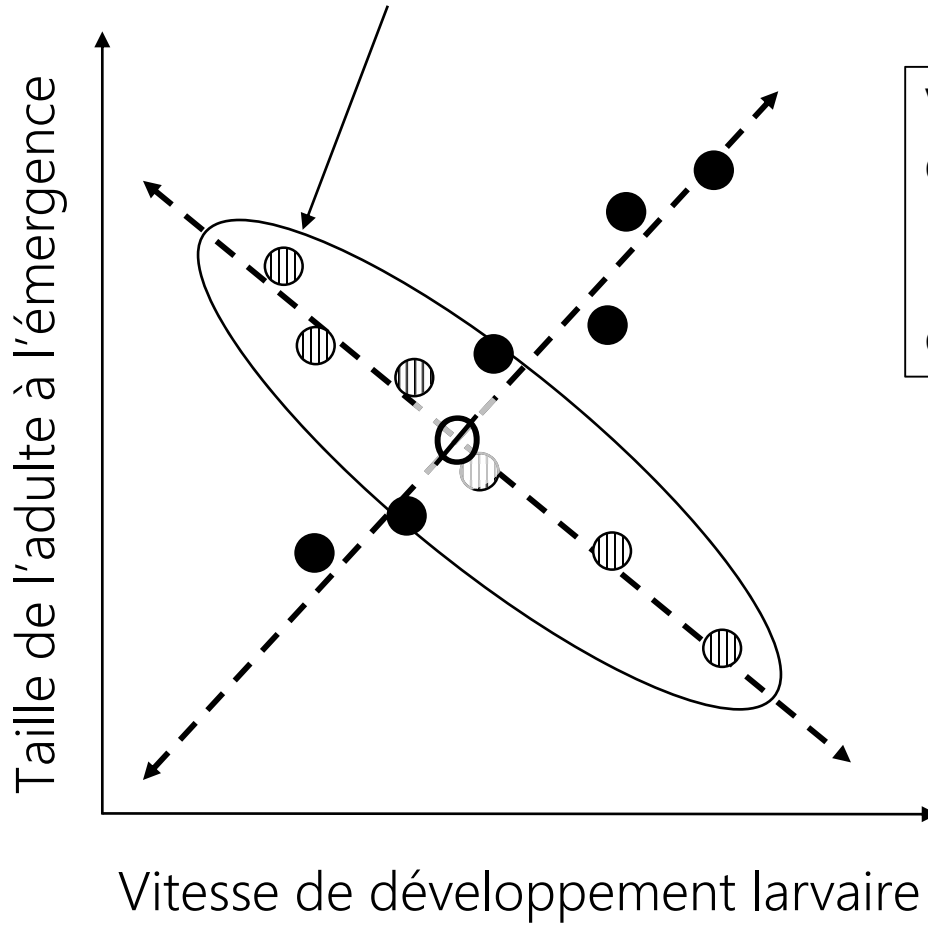
Les combinaisons de bactéries influencent la plasticité des drosophiles le long du compromis entre longévité et reproduction



Et si les symbiotes influençaient principalement l'acquisition des ressources ?

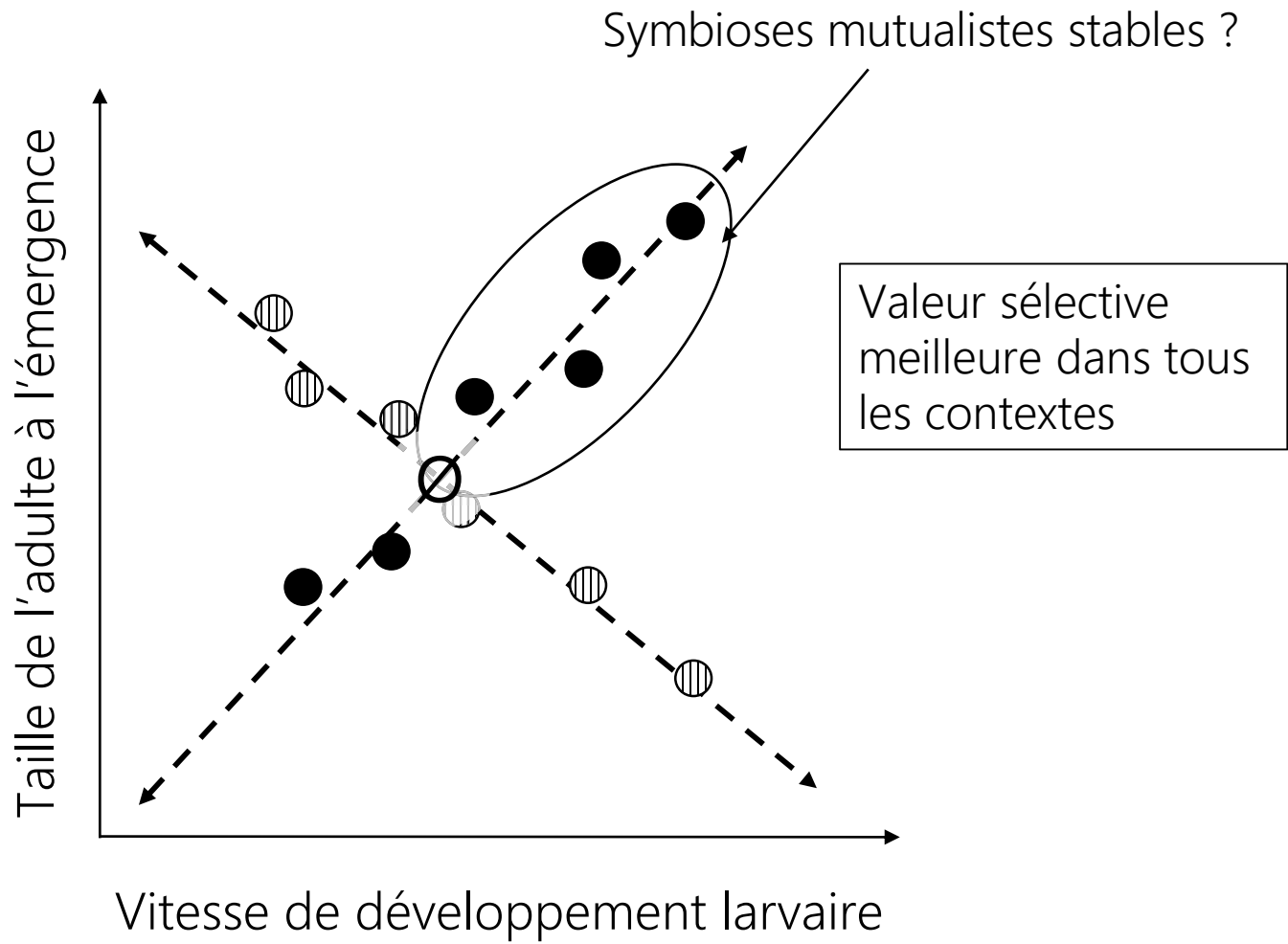


Symbioses mutualistes conditionnelles ?



Valeur sélective dépend  
du contexte

Exemples : populations en  
expansion / compétition





# Développement du cadre analytique

Cas d'étude : influence des levures sur le développement de différentes drosophiles

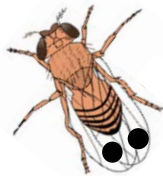
*D. melanogaster et simulans*



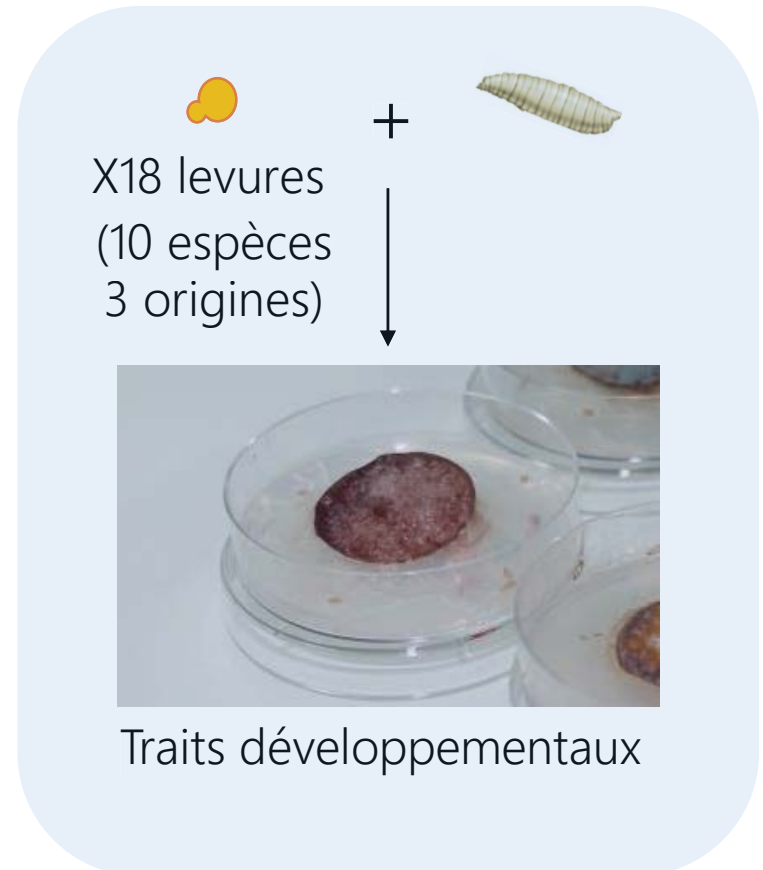
3 génotypes



*D. sukuzii*



2 génotypes



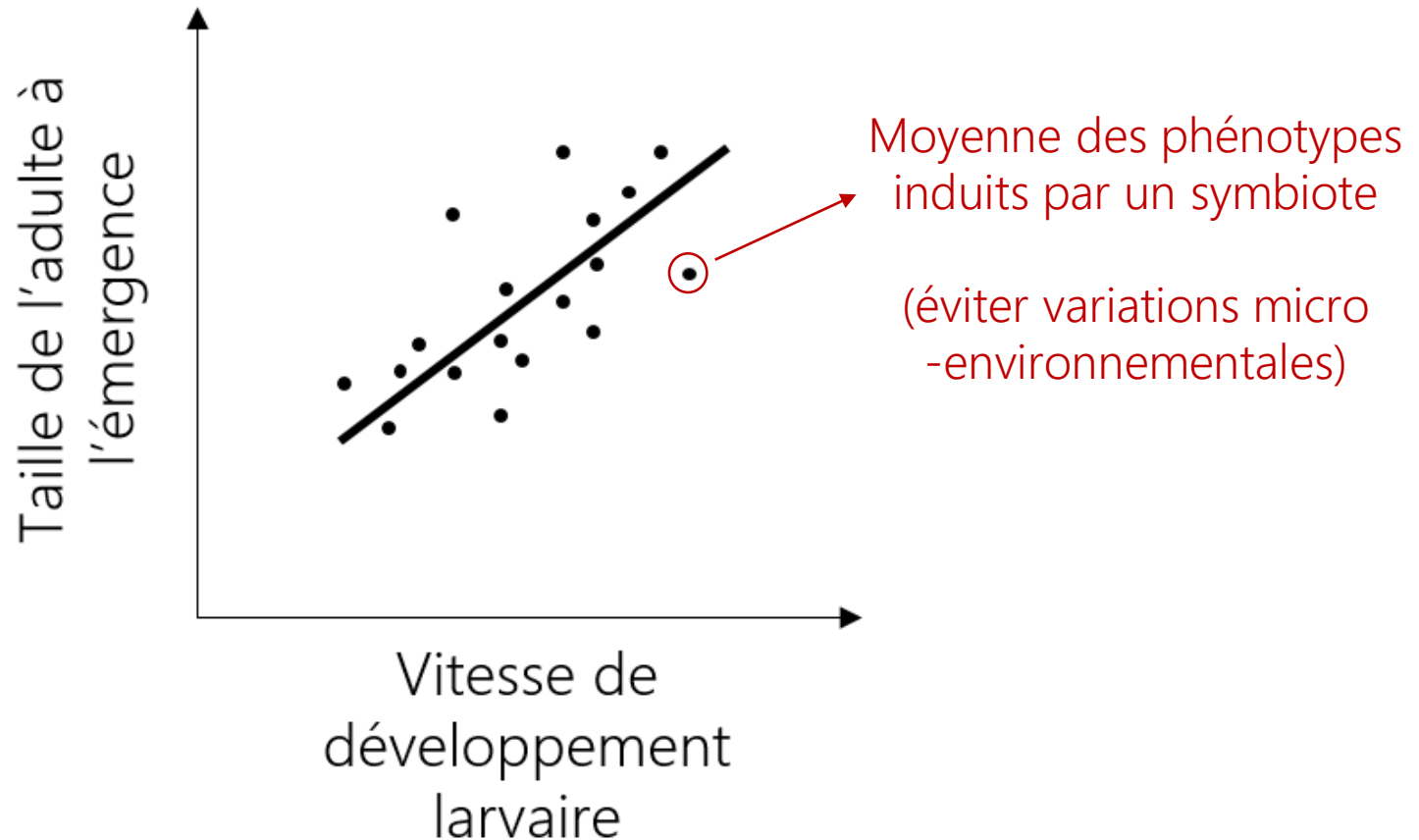
bioRxiv

THE PREPRINT SERVER FOR BIOLOGY

The partitioning of symbionts effects on host resource acquisition and developmental plasticity

# Démarche analytique

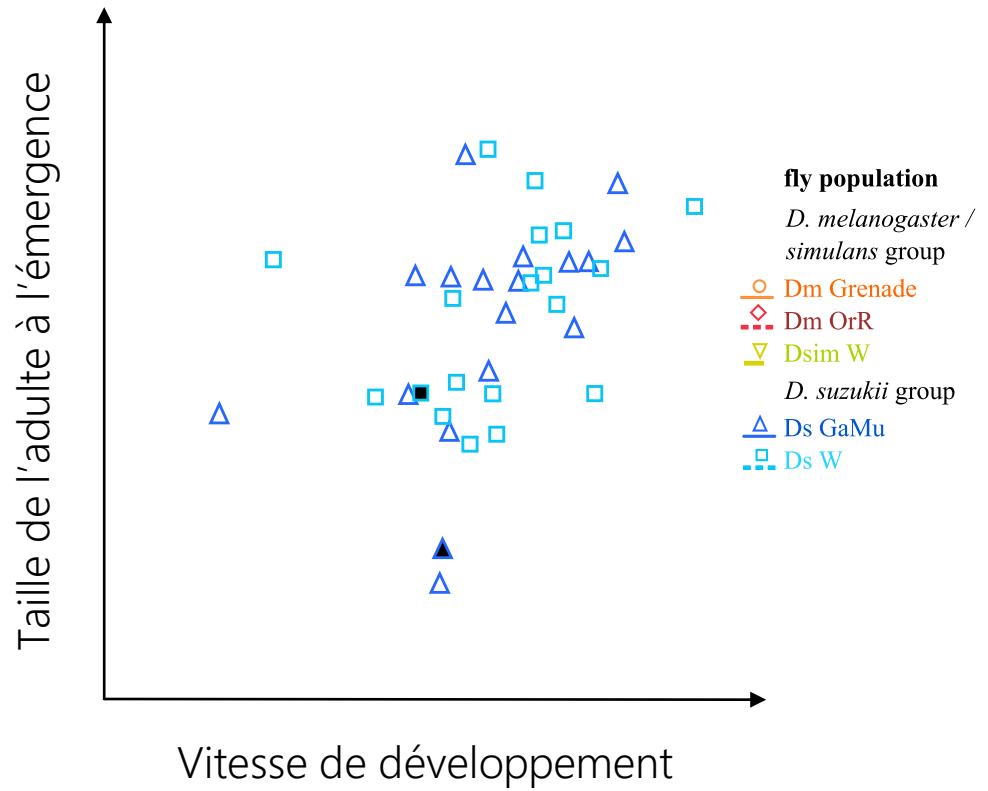
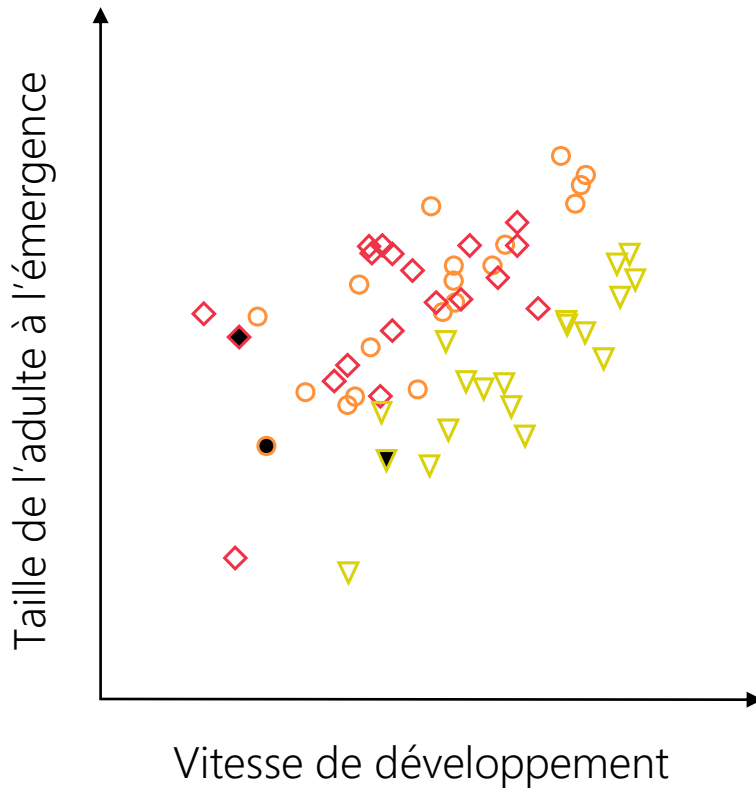
Analyse simultanée des levures  
sur les deux traits développementaux



♀ *D. melanogaster* et *simulans*



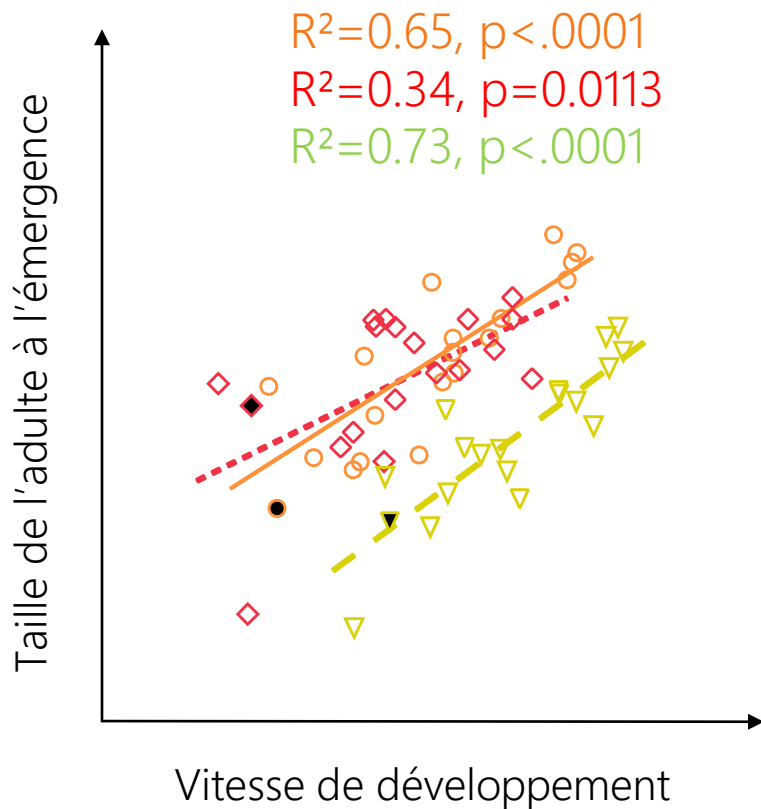
♀ *D. sukuzii*



♀ *D. melanogaster et simulans*

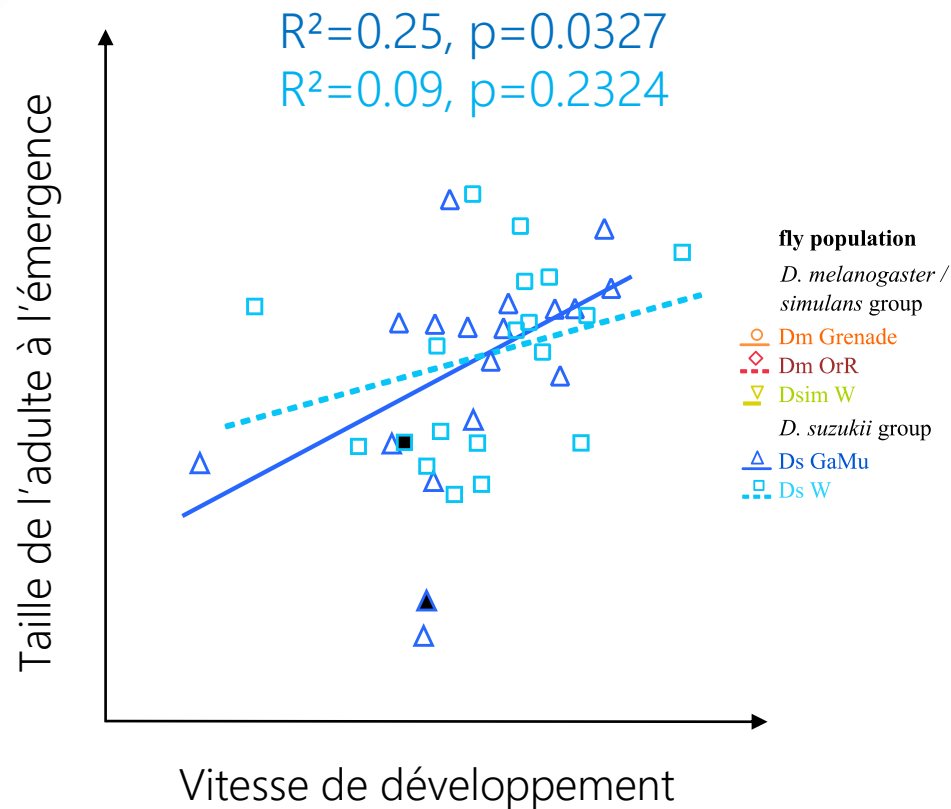


♀ *D. sukuzii*



Corrélations positives

Effets similaires des levures sur les deux traits



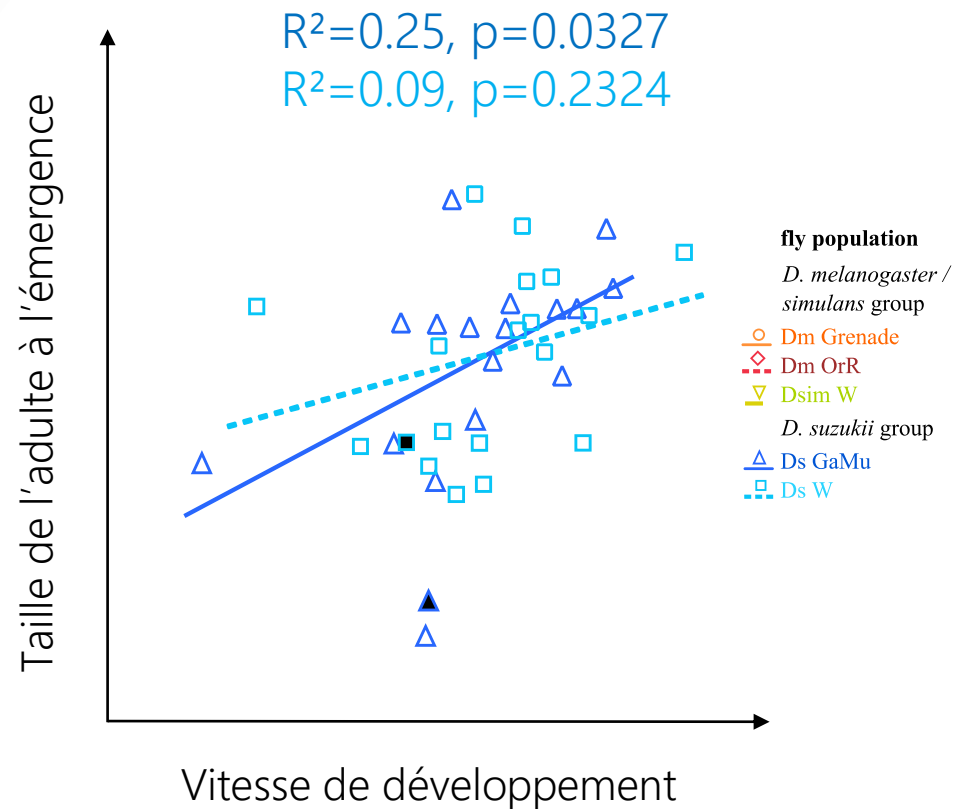
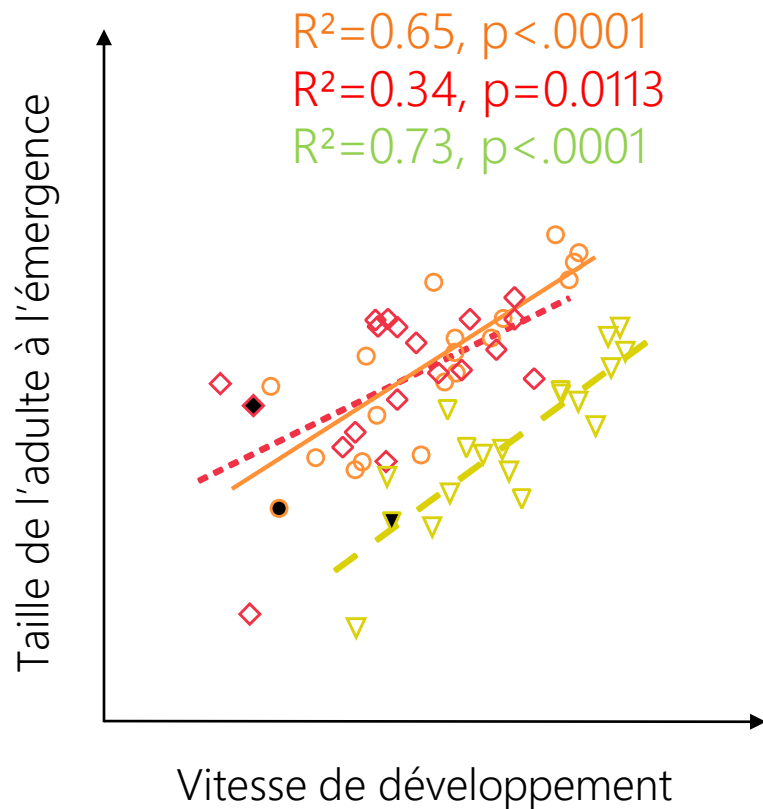
Corrélations marginales ou absentes

Effets différents des levures sur les deux traits

♀ *D. melanogaster et simulans*



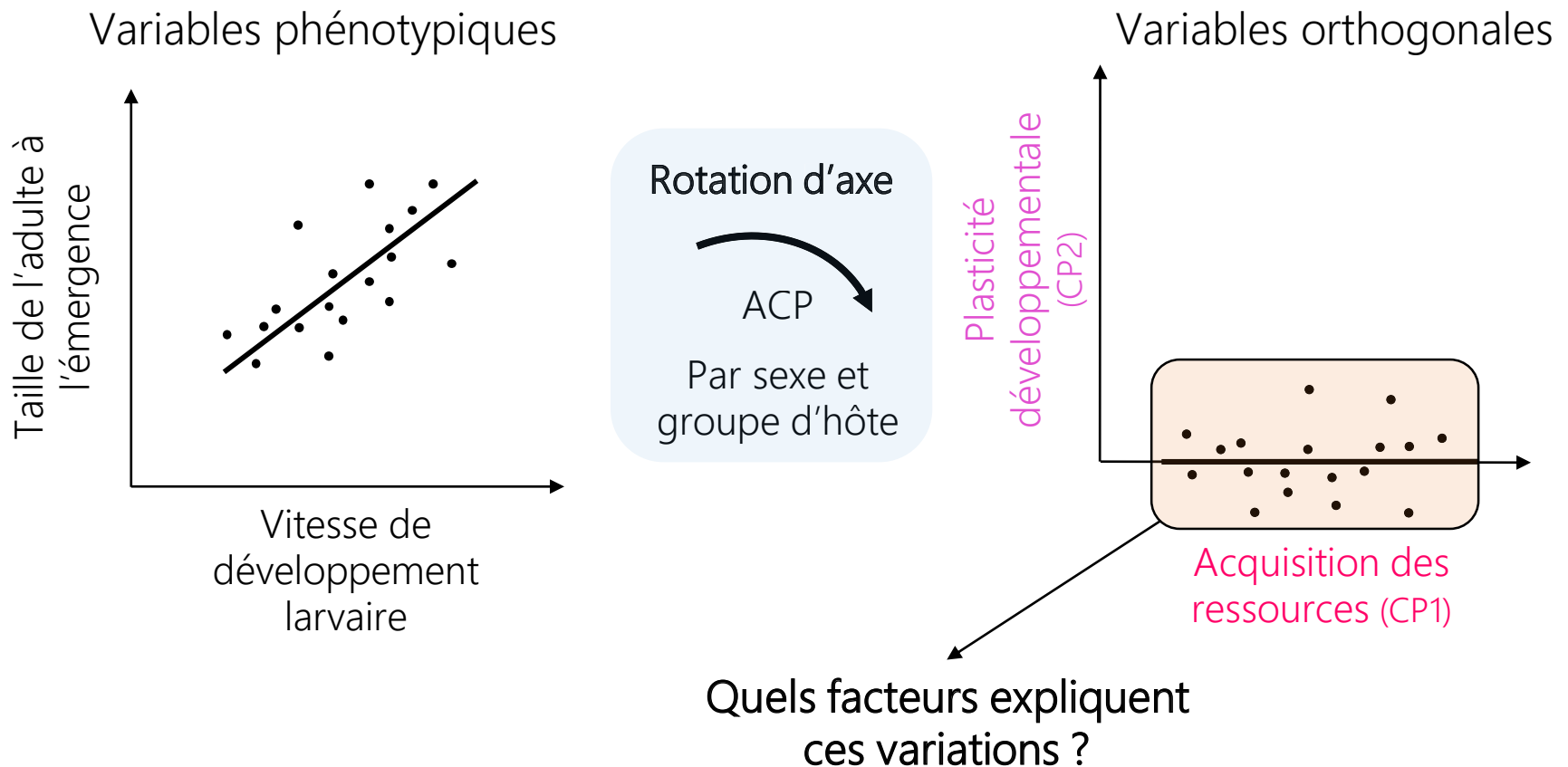
♀ *D. sukuzii*



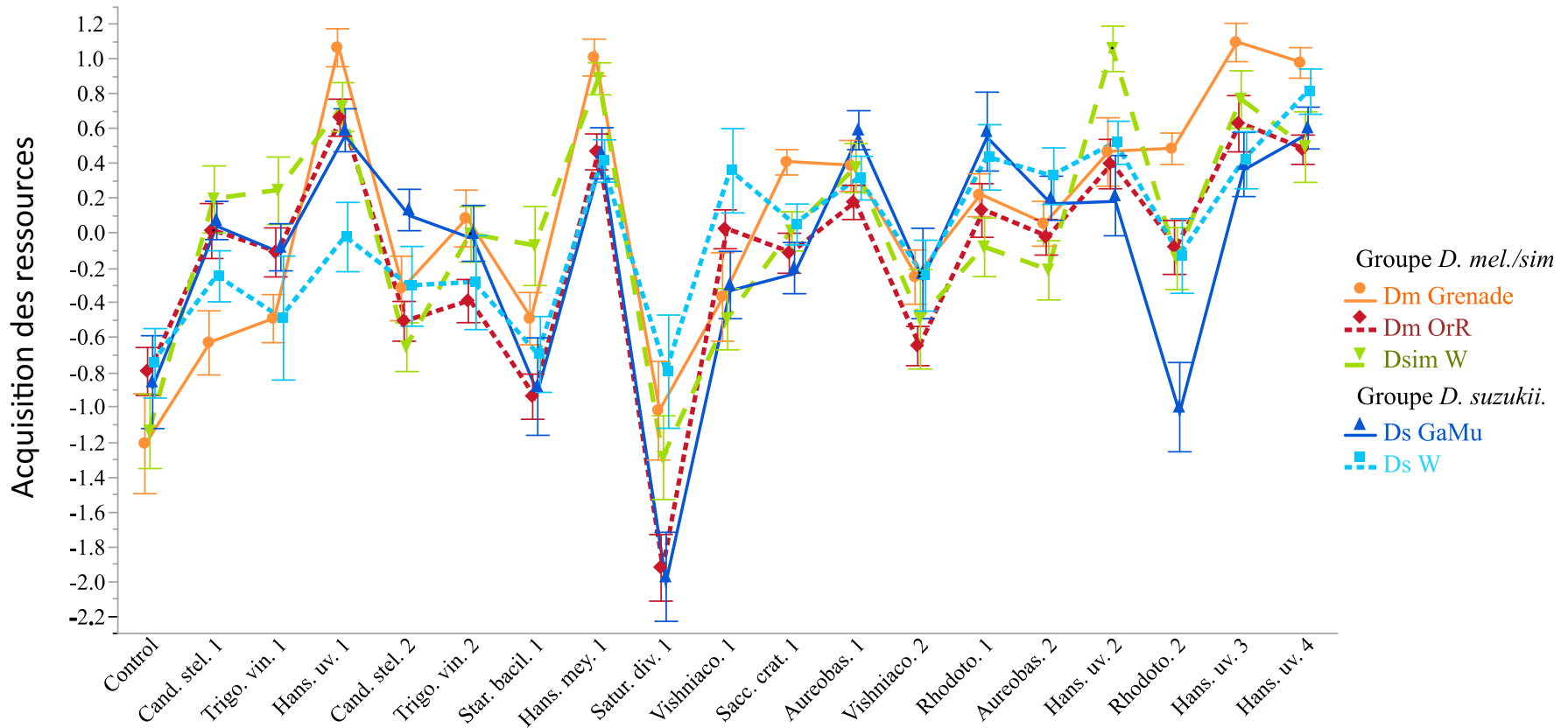
Les levures influencent simultanément l'acquisition et la plasticité des ressources : quantifier ces variations ?

# Démarche analytique

Création de deux **nouvelles variables composites** qui décrivent respectivement les effets des levures sur l'acquisition et la plasticité développementale



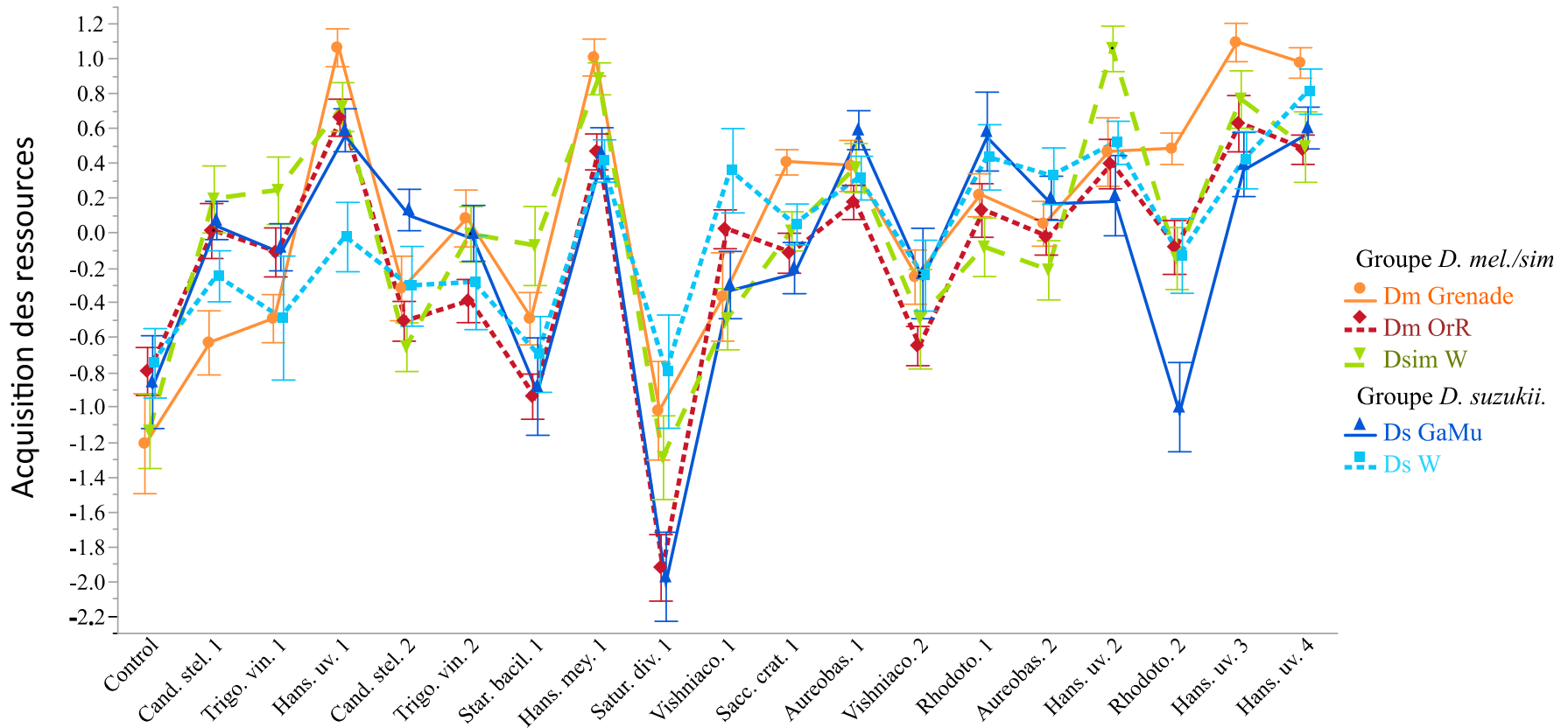
## Variable composite (CP1) : Acquisition des ressources



Les souches de levures influencent de manière similaire tous les génotypes



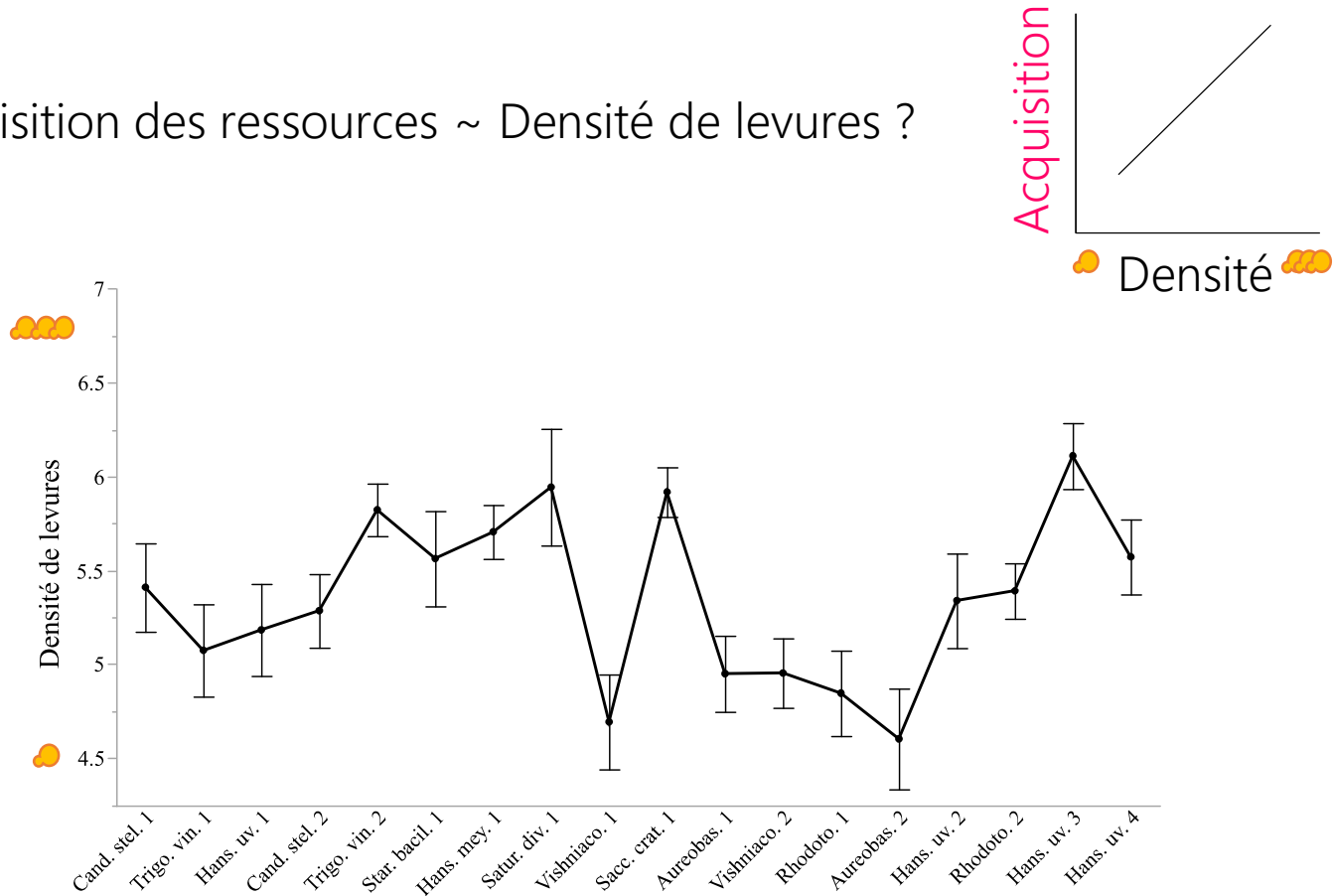
## Variable composite (CP1) : Acquisition des ressources



Les effets des levures varient ( $F_{18,551}=20.85$ ;  $p<.0001$ )

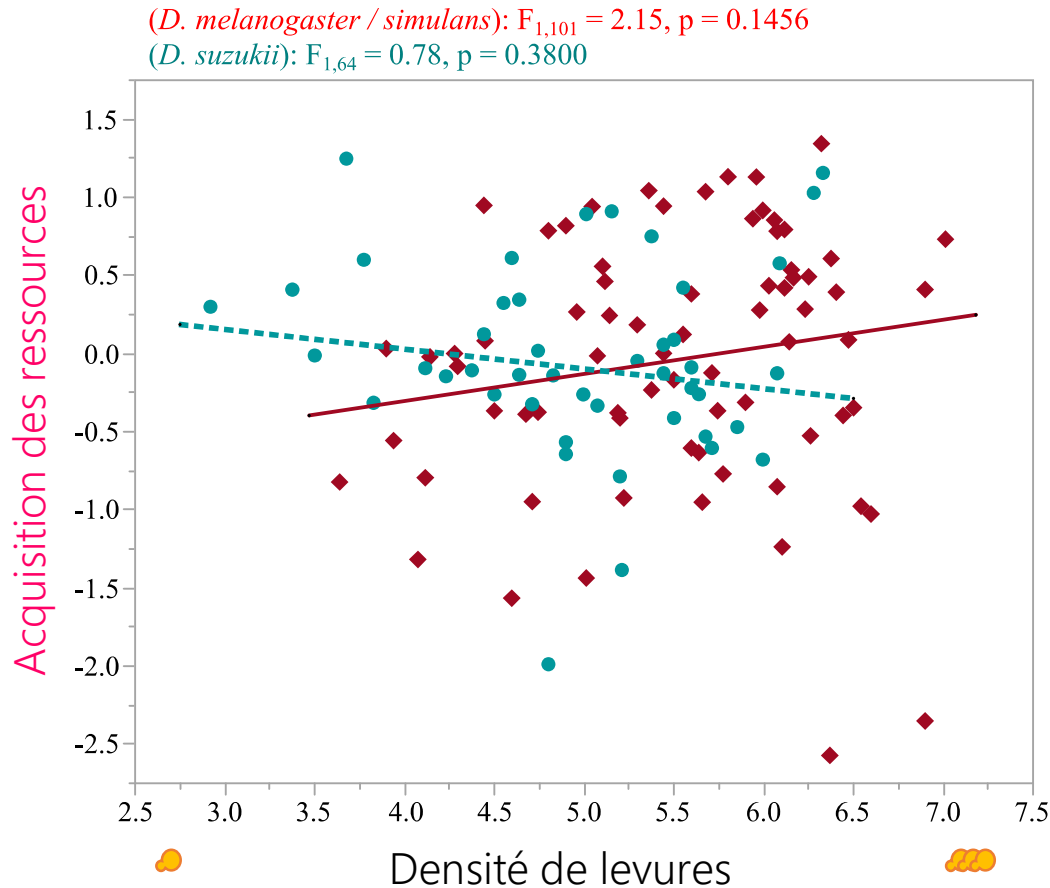
## Variable composite (CP1) : Acquisition des ressources

Acquisition des ressources ~ Densité de levures ?






Les densités des différentes levures varient ( $F_{17,147}=4.39$ ;  $p<.0001$ )

## Variable composite (CP1) : Acquisition des ressources



... mais n'affectent pas l'acquisition des ressources (et les autres traits)

Des variations qualitatives entre levures ?

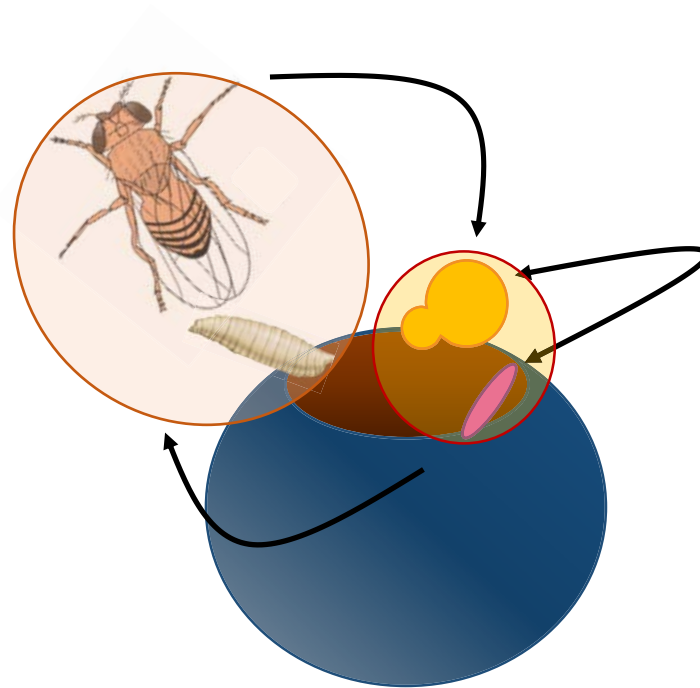
-  synthèse de nutriments
-  concentration de nutriments
-  taux de croissance

# Influence des symbiotes microbiens sur le développement de l'hôte

Un cadre analytique original :

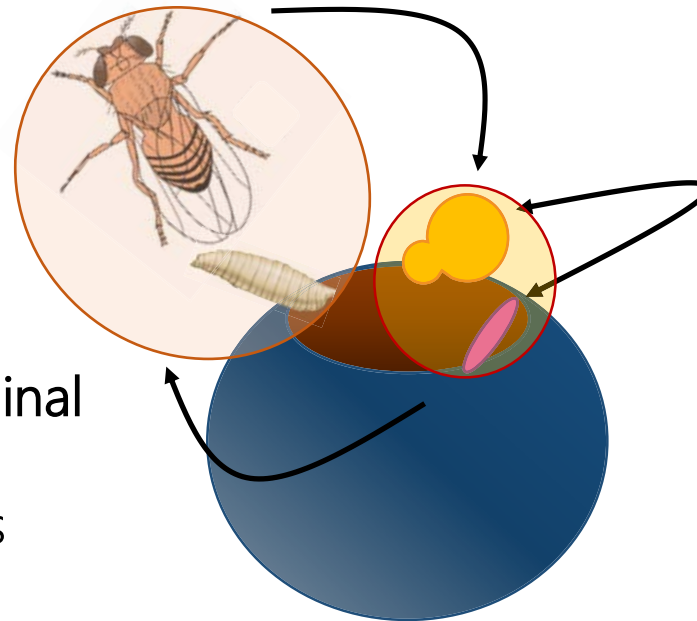
- Découper les effets simultanés des symbiotes sur l'acquisition et la plasticité développementale et obtenir des informations inédites
- Compréhension de l'influence des symbiotes sur les traits et des conséquences potentielles pour l'évolution de l'hôte et de la symbiose
- Cadre à développer (forme du compromis, dimensionnalité)

# Conclusion et perspectives



Des symbiotes non seulement attractifs, mais aussi **héritables** (entre stades de vie et entre générations)

Des interactions durables ?  
Un moteur évolutif des hôtes ?



Un **cadre analytique original** qui permet de décrypter l'influence des symbiotes microbiens sur les traits développementaux

Des interactions symbiotiques complexes, notamment sur la transmission des symbiotes

Différentes influences pour différentes symbioses ?



## Des méthodes fiables ?

- Contrôles : absence de contaminants cultivables

## Complémentaire à la biologie moléculaire ?

- Low-tech et économique
- Détection des flux de symbiotes vivants en temps réel
- S'affranchir des limites de résolution taxonomique

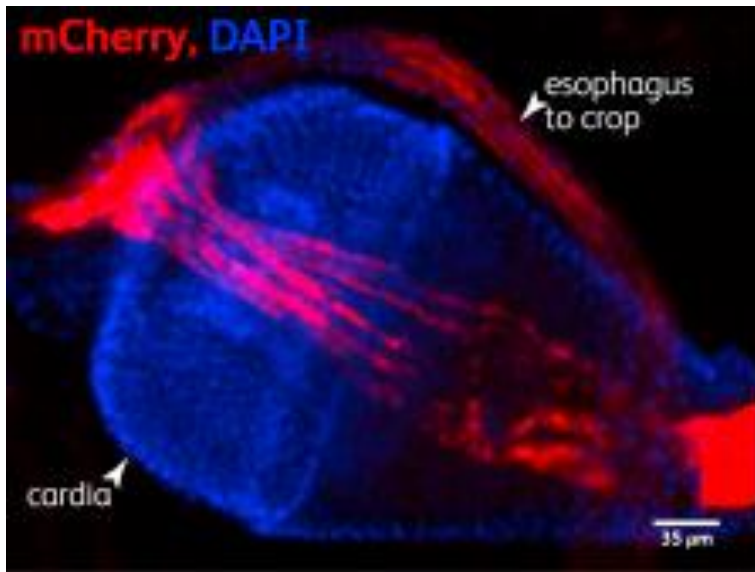


*G.* type A



*G.* type B





Obadia *et al.* 2017 *Curr. Biol.*

## Limites des méthodes

Vers une compréhension mécanistique des phénomènes détectés :

- Dissections
- Fluorescent In Situ Hybridization (FISH)

E.g. localisation de *Trigonopsis vinaria* dans les ovaires ?

Vers la naturalité : du qualitatif au quantitatif

Valider les résultats qualitatifs en conditions écologiquement réalistes

Suivre les flux de symbiotes et d'hôtes dans des environnements qui varient selon plusieurs axes de complexité :

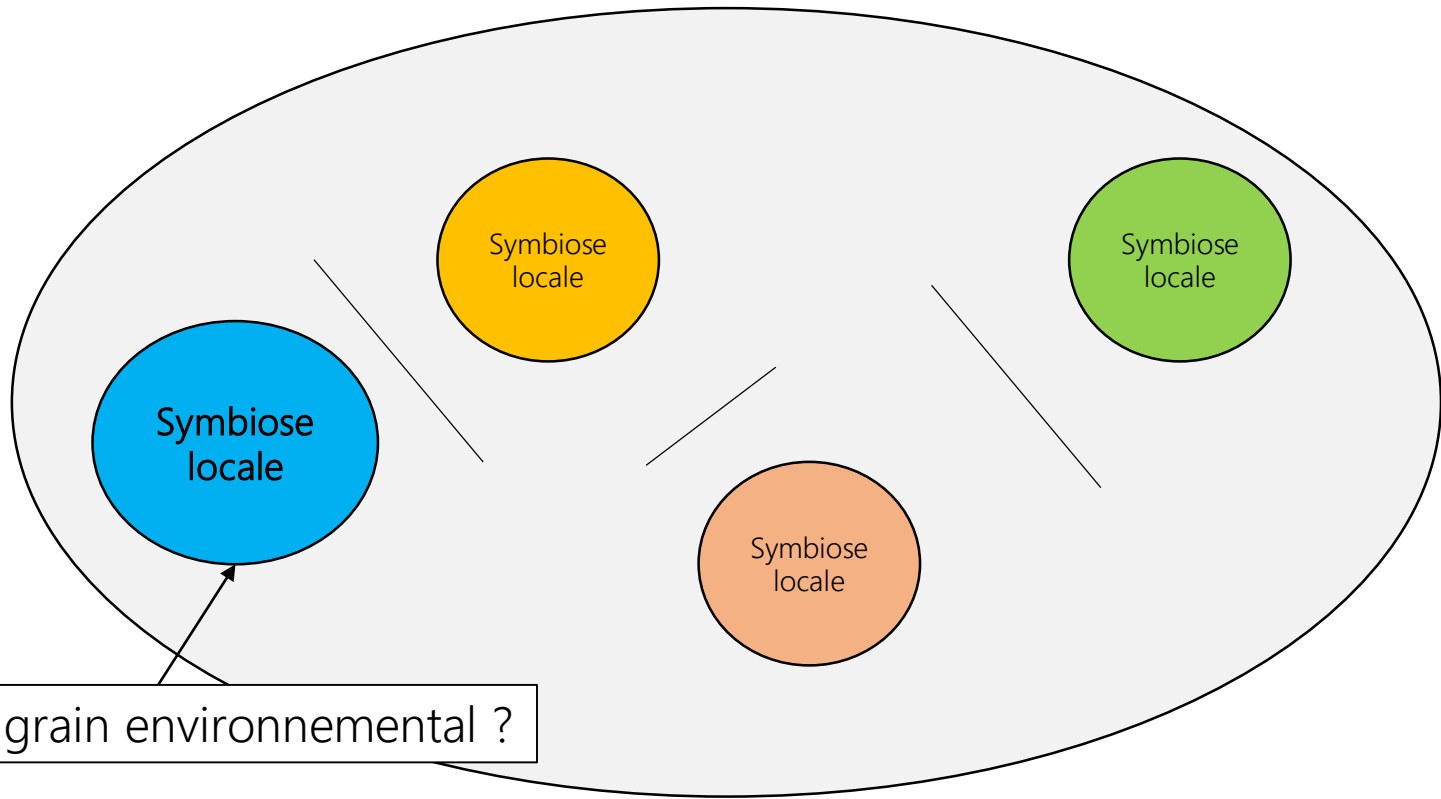
- Nombre de générations
- Nombre et nature des patchs environnementaux disponibles
- Présence d'hôtes autres que drosophiles
- Présence d'autres symbiotes non pris en compte jusqu'alors (e.g. champignons filamenteux)

Comment s'assemblent drosophiles et symbiotes microbiens ?

Vers la naturalité : du qualitatif au quantitatif

Exemple :

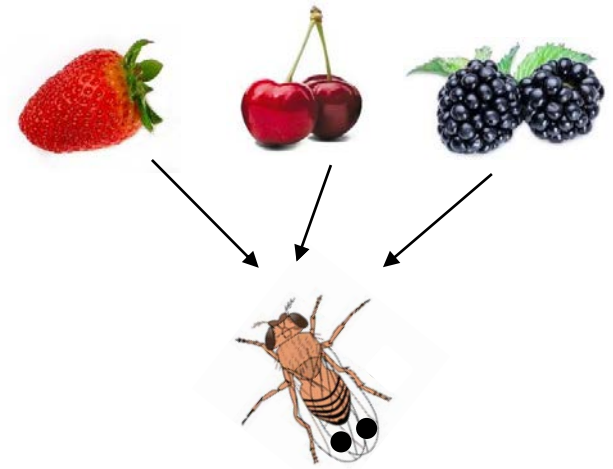
Symbiose généraliste



Définir le grain environnemental ?

## Perspectives pour la lutte contre *D. suzukii*

Lien environnement fruit / Drosophiles



Détecter réservoirs / Anticiper les dommages

Biocontrôle

Technique de l'Insecte Stérile (TIS)

# Perspectives pour la lutte contre *D. sukuzii*



## STERILE INSECT TECHNIQUE (SIT)

A method of biological insect control



Mass-rearing of insects takes place in special facilities.

Male and female insects are separated. Ionizing radiation is used to sterilize the male insects.

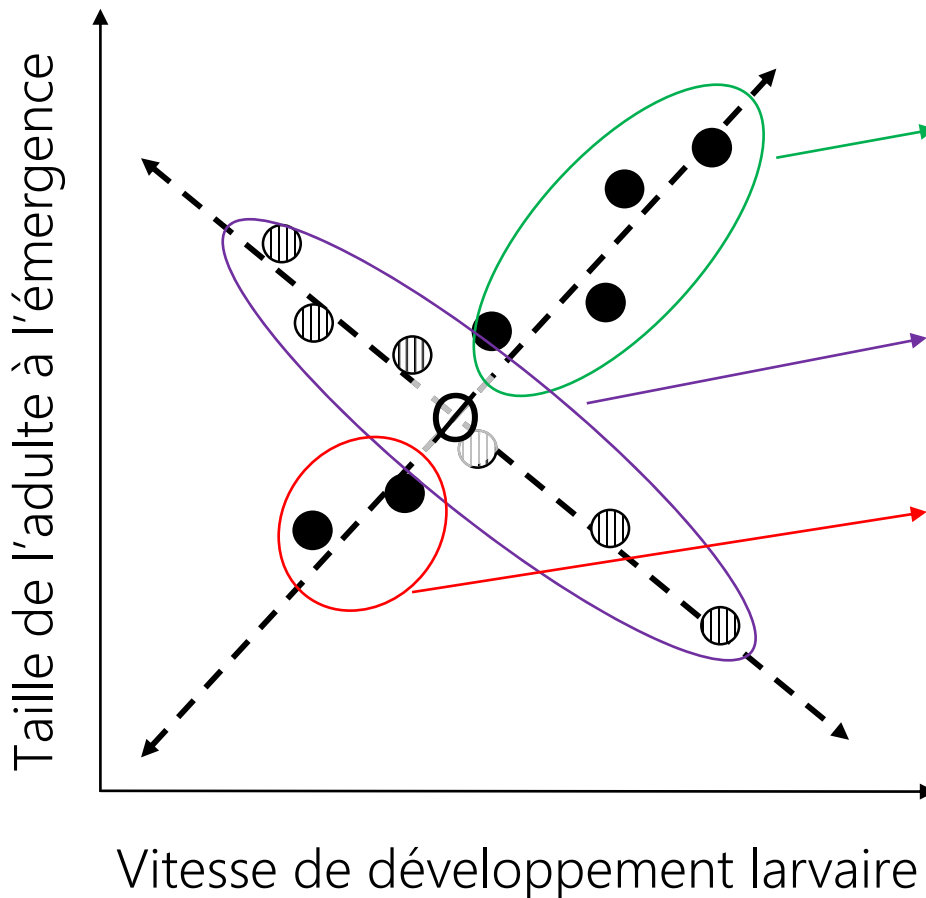
The sterile male insects are released over towns or cities...

...where they compete with wild males to mate with females.

These females lay eggs that are infertile and bear no offspring, reducing the insect population.



# Perspectives pour la lutte contre *D. suzukii*



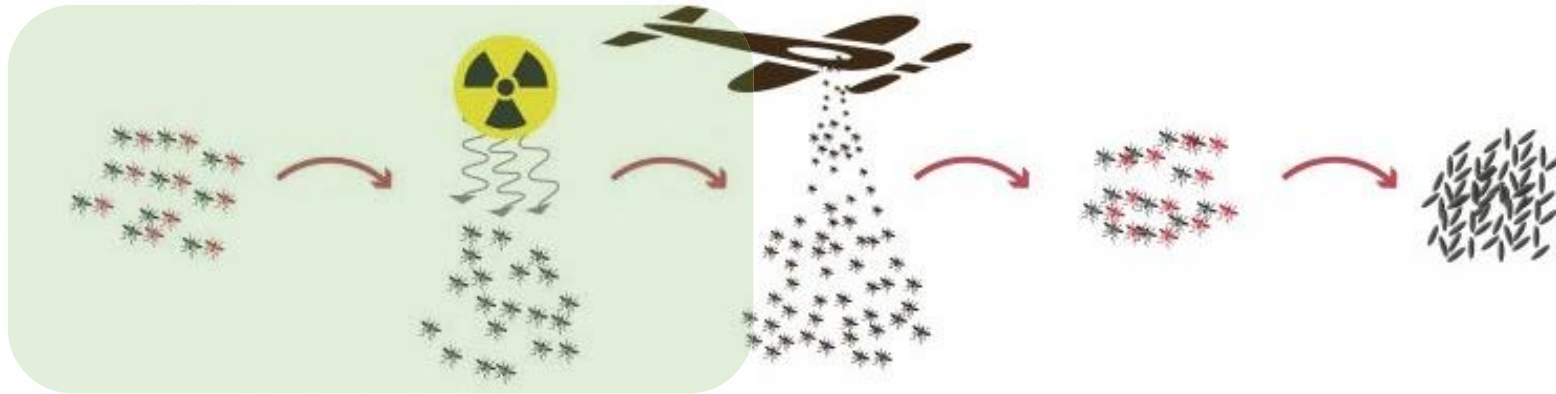
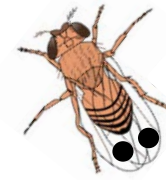
Améliorer la qualité des mâles

Accélérer leur développement ou augmenter leur taille

Disperser des symbiotes parasites par le biais des mâles lâchés



# Perspectives pour la lutte contre *D. suzukii*



**Joint FAO/IAEA Programme**  
Nuclear Techniques in Food and Agriculture

















# Début de thèse : expériences en cage

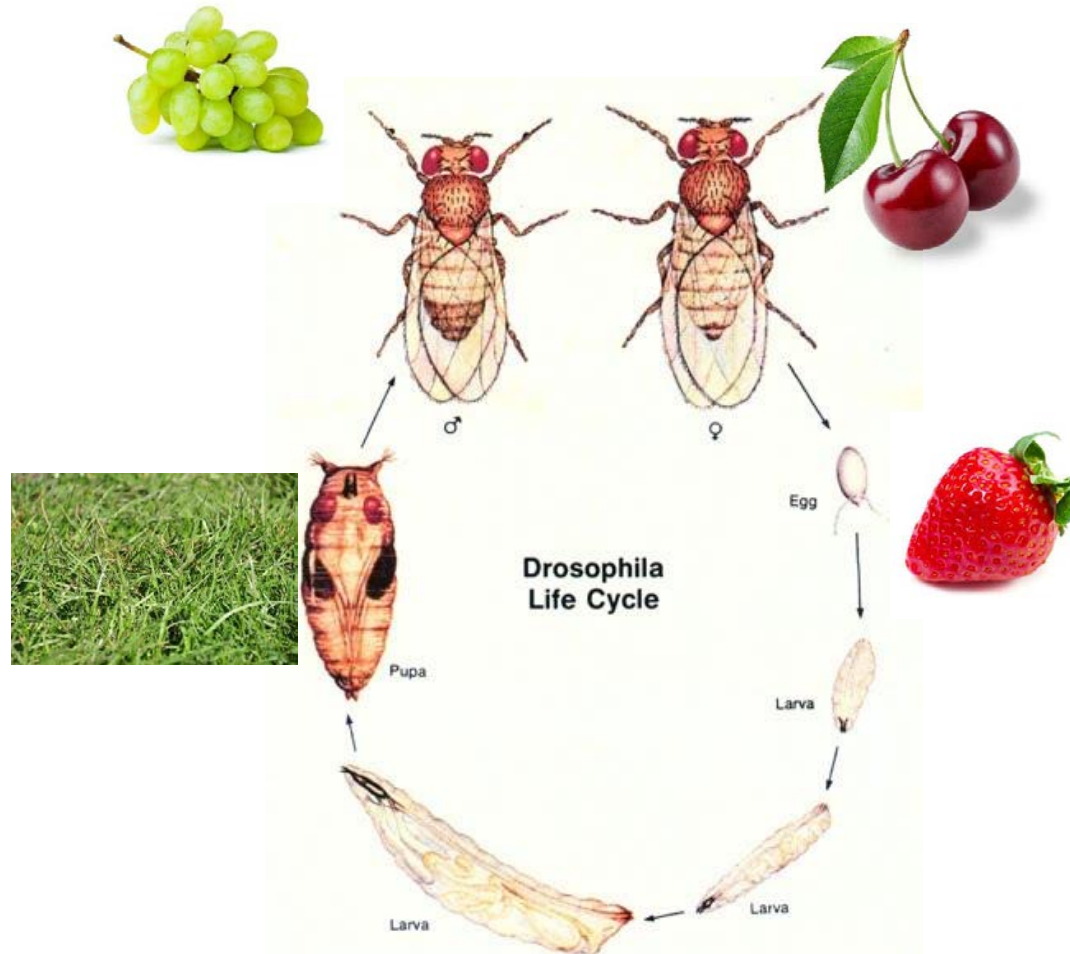


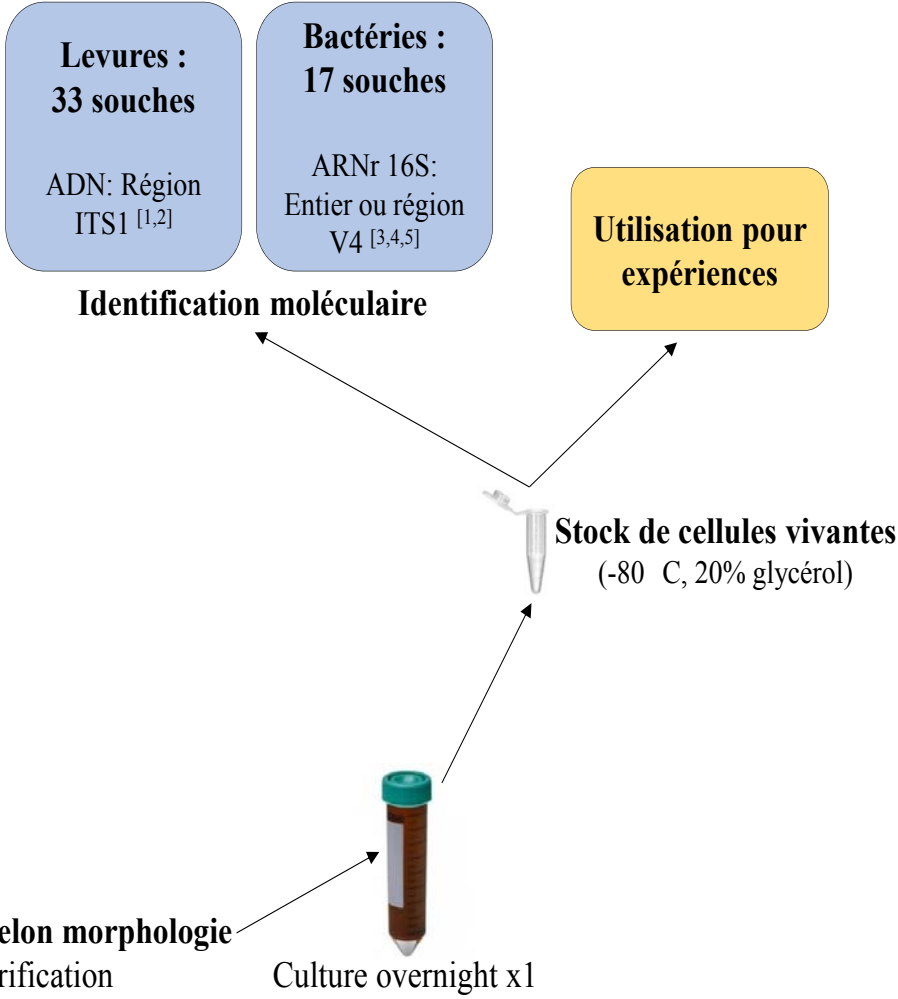
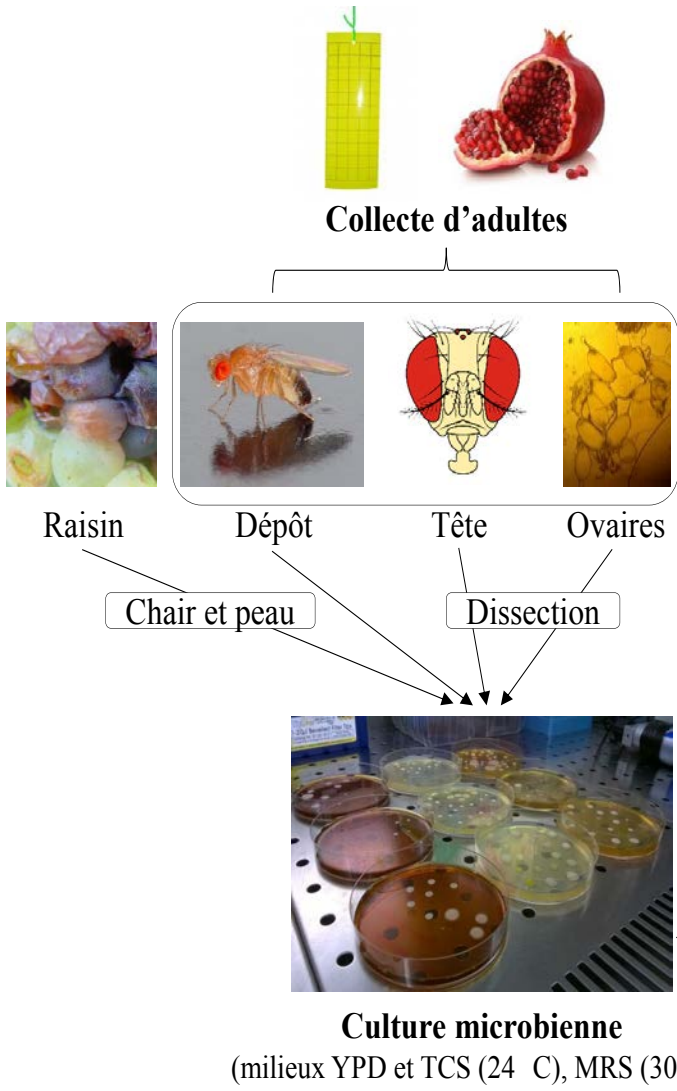
ponte *D. melanogaster*



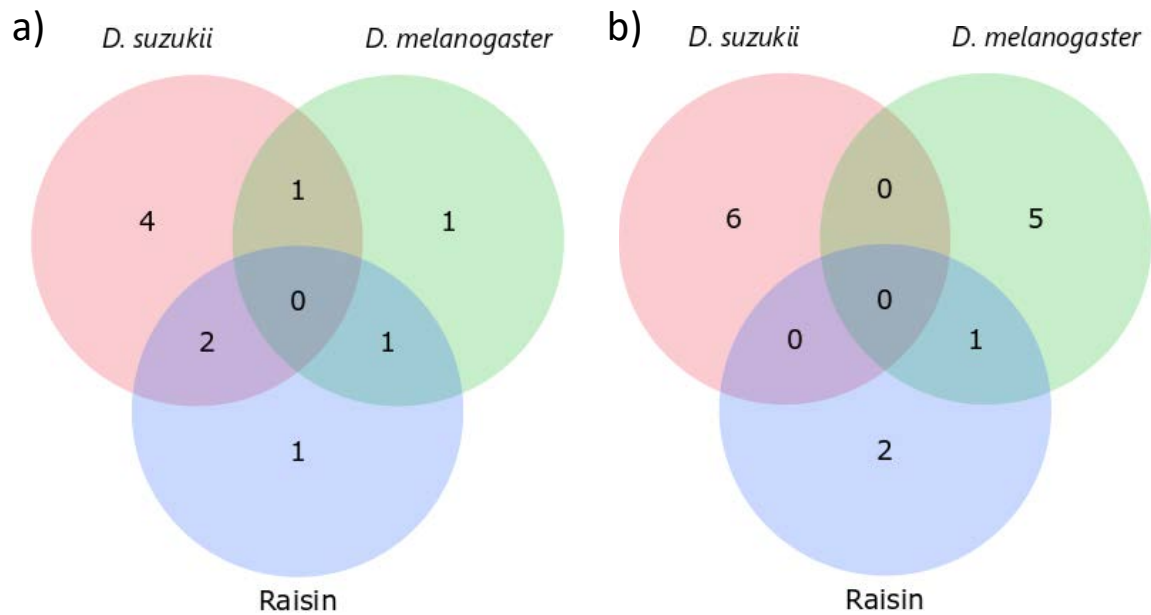
ponte *D. suzukii*

# Les symbioses microorganismes - *Drosophila*





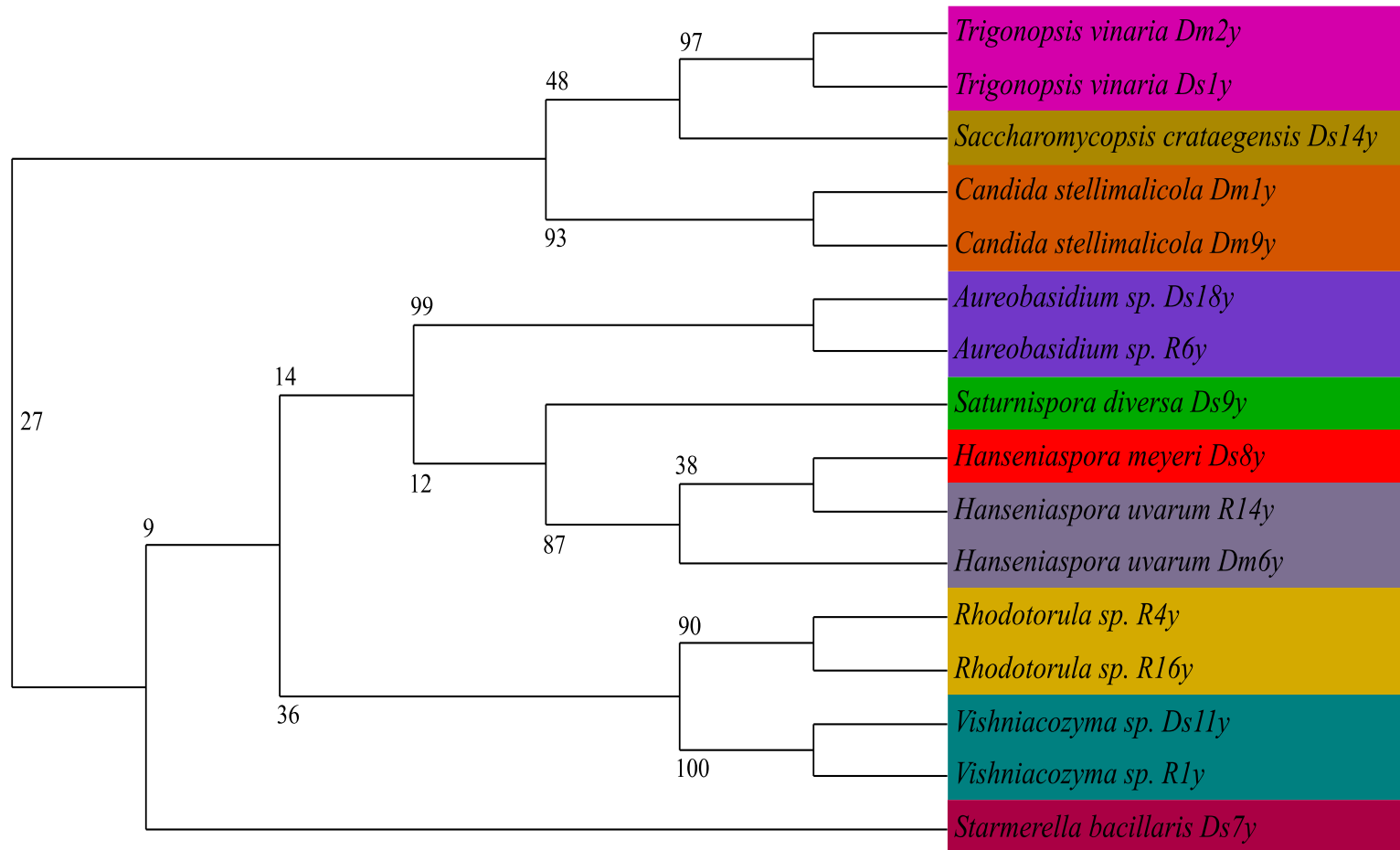




Diagrammes de Venn illustrant l'origine des souches de levures (a) et bactéries (b) étudiées.

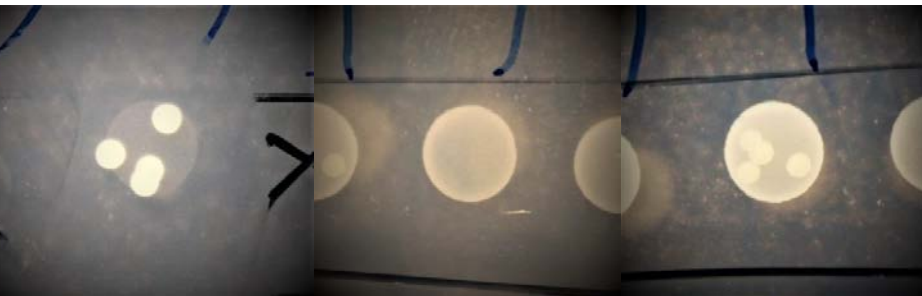
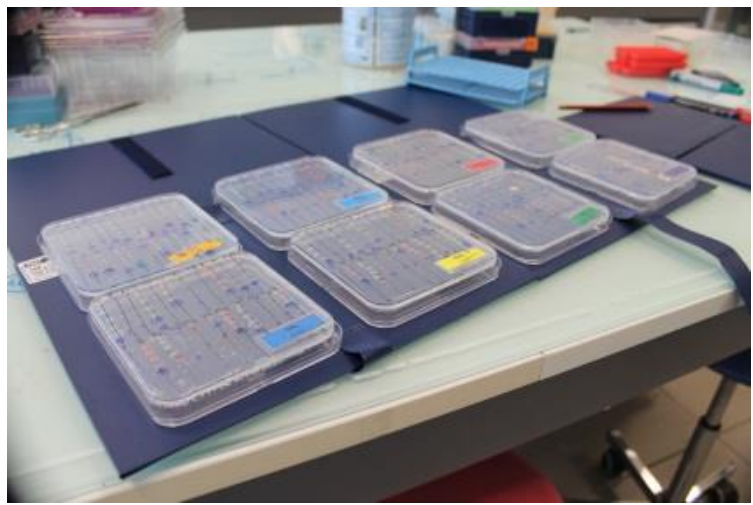
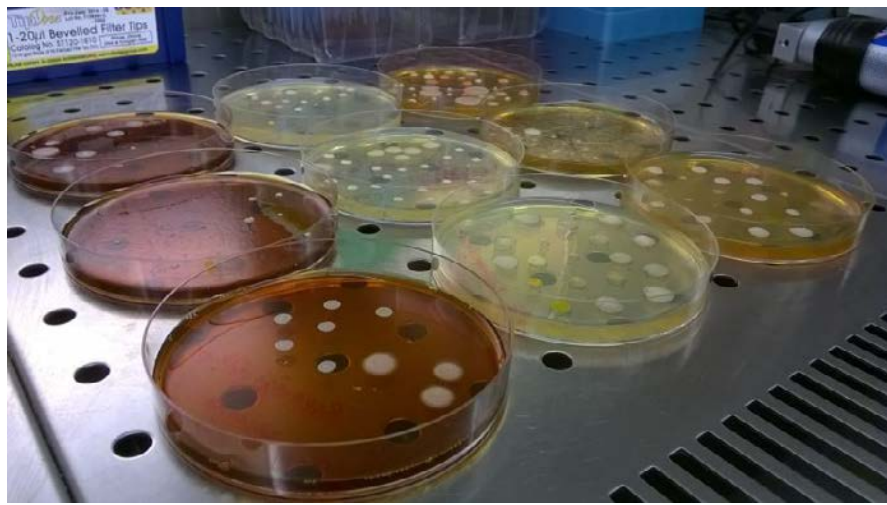
Souche	Espèce	Origine	GenBank accession number
Ds9y	<i>Saturnispora diversa</i>	D. suzukii (dépôt)	<a href="#">MN684811</a>
Dm1y	<i>Candida stellimalicola</i>	D. melanogaster (dépôt)	<a href="#">MN684812</a>
Dm9y	<i>Candida stellimalicola</i>	D. melanogaster (dépôt)	<a href="#">MN684813</a>
Ds7y	<i>Starmerella bacillaris</i>	D. suzukii (dépôt)	<a href="#">MN684814</a>
Dm2y	<i>Trigonopsis vinaria</i>	D. melanogaster (ovaire)	<a href="#">MN684815</a>
Ds1y	<i>Trigonopsis vinaria</i>	D. suzukii (ovaire)	<a href="#">MN684816</a>
Ds11y	<i>Vishniacozyma</i> sp.	D. suzukii (dépôt)	<a href="#">MN684817</a>
R1y	<i>Vishniacozyma</i> sp.	Raisin (broyat)	<a href="#">MN684818</a>
R4y	<i>Rhodotorula</i> sp.	Raisin (broyat)	<a href="#">MN684819</a>
R16y	<i>Rhodotorula</i> sp.	Raisin (broyat)	<a href="#">MN684820</a>
Ds18y	<i>Aureobasidium</i> sp.	D. suzukii (dépôt)	<a href="#">MN684821</a>
R6y	<i>Aureobasidium</i> sp.	Raisin (broyat)	<a href="#">MN684822</a>
Ds14y	<i>Saccharomycopsis crataegensis</i>	D. suzukii (dépôt)	<a href="#">MN684823</a>
Ds8y	<i>Hanseniaspora meyeri</i>	D. suzukii (dépôt)	<a href="#">MN684825</a>
Dm6y	<i>Hanseniaspora uvarum</i>	D. melanogaster(dépôt)	<a href="#">MN684824</a>
R14y	<i>Hanseniaspora uvarum</i>	Raisin (broyat)	<a href="#">MN684826</a>

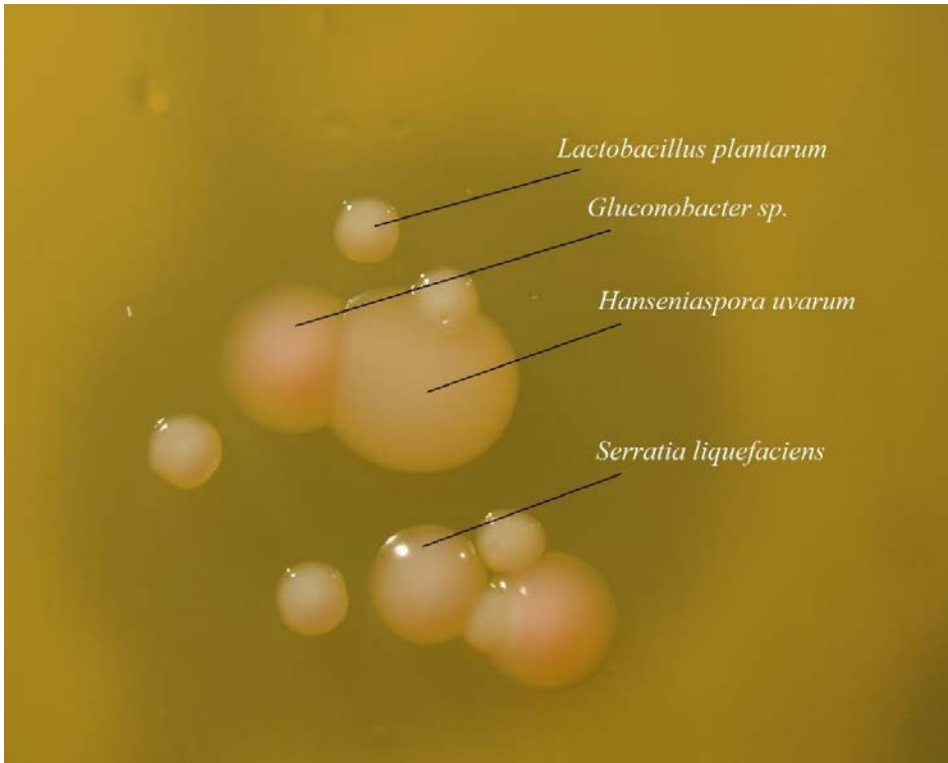




Diversité phylogénétique des souches de levures étudiées. Cladogramme réalisé avec SeaView 5.0 (Maximum Likelihood, méthode GTR, robustesse des branches évaluée par bootstrap (100 replicates)).

Souche	Espèce	Famille	Origine
R3b	Gluconobacter sp.	Acetobacteraceae	Raisin (broyat)
Dm5b	Gluconobacter sp.	Acetobacteraceae	D. melanogaster (dépôt)
R8b	Gluconobacter thailandicus	Acetobacteraceae	Raisin (broyat)
Ds4b	Gluconobacter kondonii	Acetobacteraceae	D. suzukii (dépôt)
R6b	Staphylococcus sp.	Staphylococcaceae	Raisin (broyat)
Dm6b	Escherichia coli	Enterobacteriaceae	D. melanogaster (dépôt)
Ds3b	Serratia fonticola	Enterobacteriaceae	D. suzukii (dépôt)
Ds27b	Serratia liquefaciens	Enterobacteriaceae	D. suzukii (ovaire)
Ds6b	Lelliottia jeotgali	Enterobacteriaceae	D. suzukii (dépôt)
Ds10b	Lelliottia jeotgali	Enterobacteriaceae	D. suzukii (dépôt)
Ds25b	Lelliottia jeotgali	Enterobacteriaceae	D. suzukii (dépôt)
Ds28b	Lelliottia sp.	Enterobacteriaceae	D. suzukii (ovaire)
Ds9b	Erwinia injecta	Enterobacteriaceae	D. suzukii (dépôt)
Dm10b	Erwinia sp.	Enterobacteriaceae	D. melanogaster (tête)
Dm8b	Enterobacter sp.	Enterobacteriaceae	D. melanogaster (dépôt)
Dm2b	Yersinia sp.	Enterobacteriaceae	D. melanogaster (dépôt)
Dm11b	Enterobacteriaceae	Enterobacteriaceae	D. melanogaster (dépôt)





Adultes : maintien  
et acquisition ?

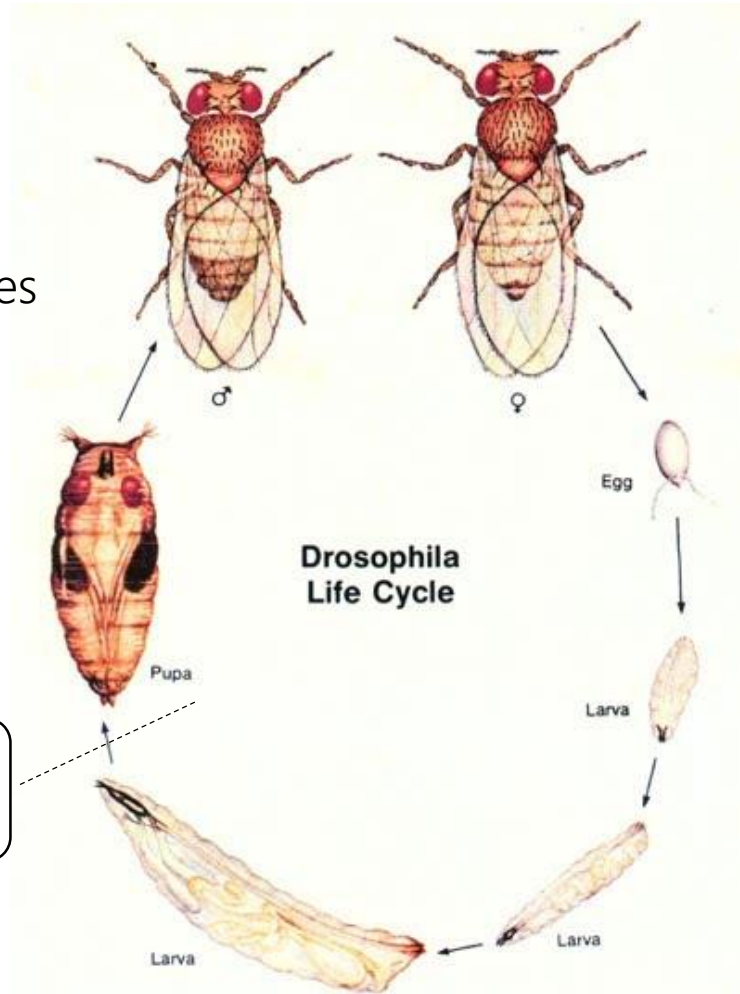
Exemple :

 + Bénéfices aux larves

 + Dispersion

↗ Coopération

Maintien larve -  
adulte ?



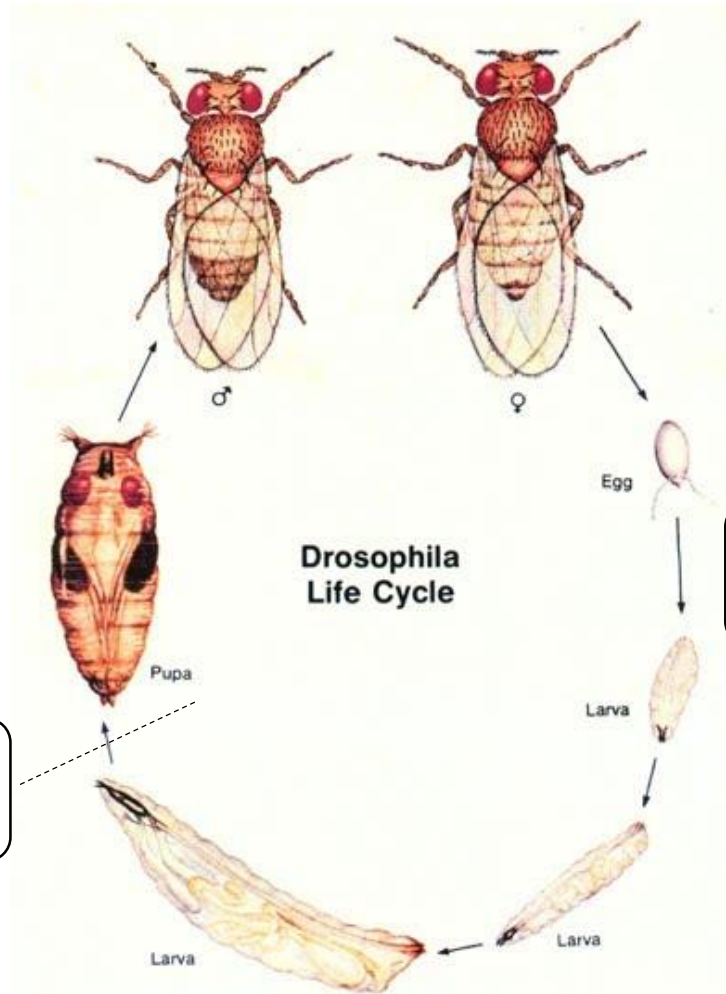
Transmission  
parentale ?

Conséquences pour l'évolution de la symbiose



Adultes : maintien  
et acquisition ?

- + Bénéfices aux larves
- + Dispersion
- ↗ Coopération



- + Dispersion
- + Transmission à la femelle
- ↗ Coopération

Transmission  
parentale ?

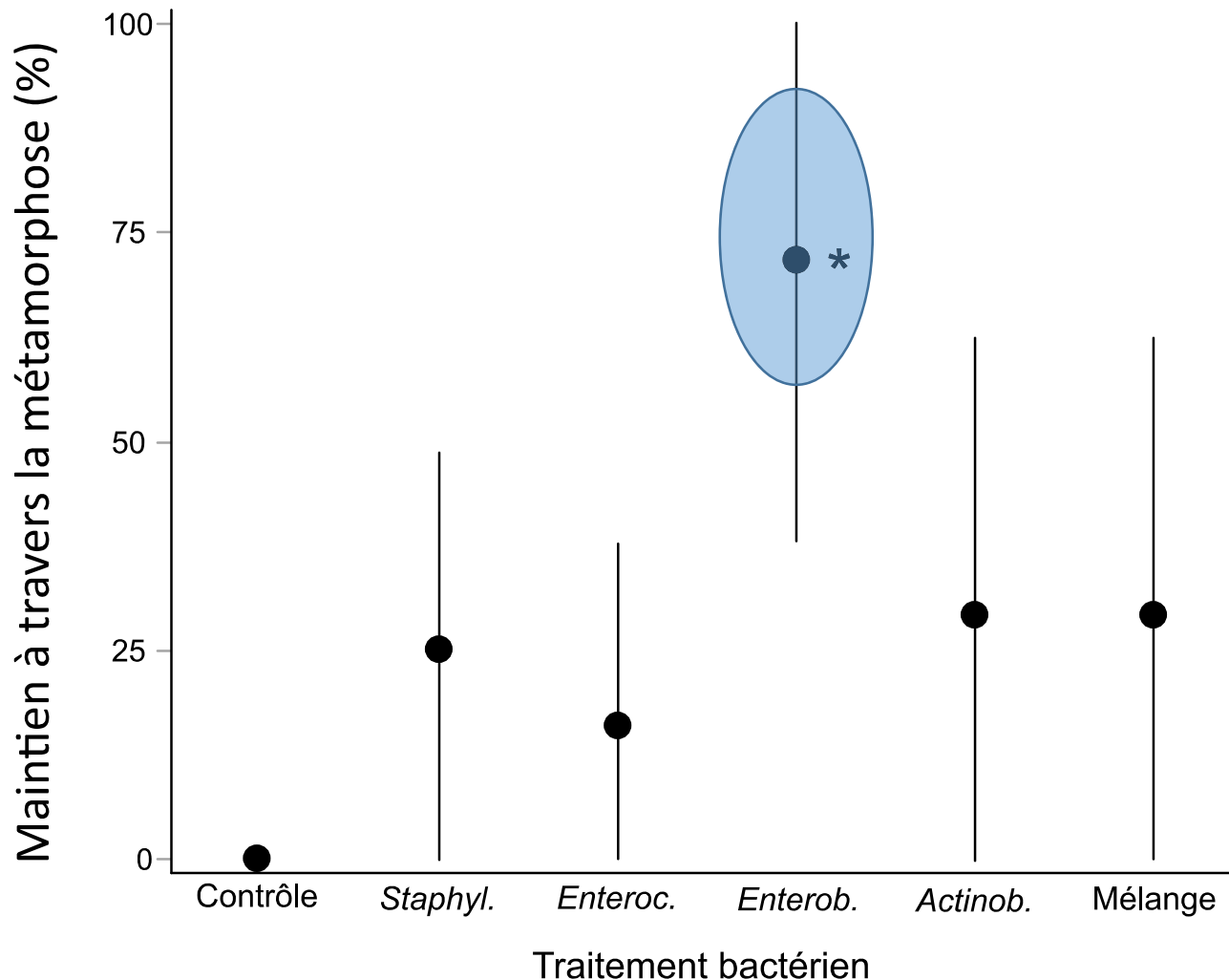
Maintien larve -  
adulte ?

- + dispersion
- + nutrition et protection  
des larves
- ↗ Coopération

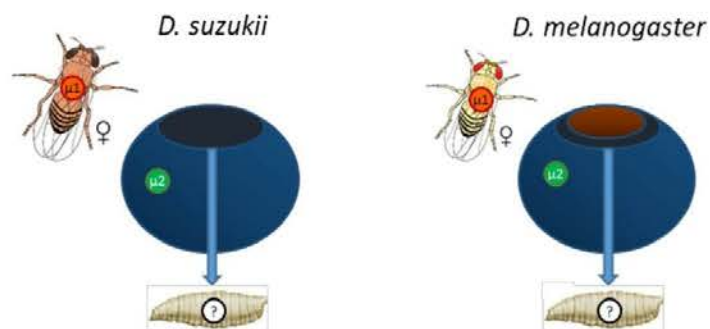
Conséquences évolutives ?

## II. Devenir des symbiotes larvaires

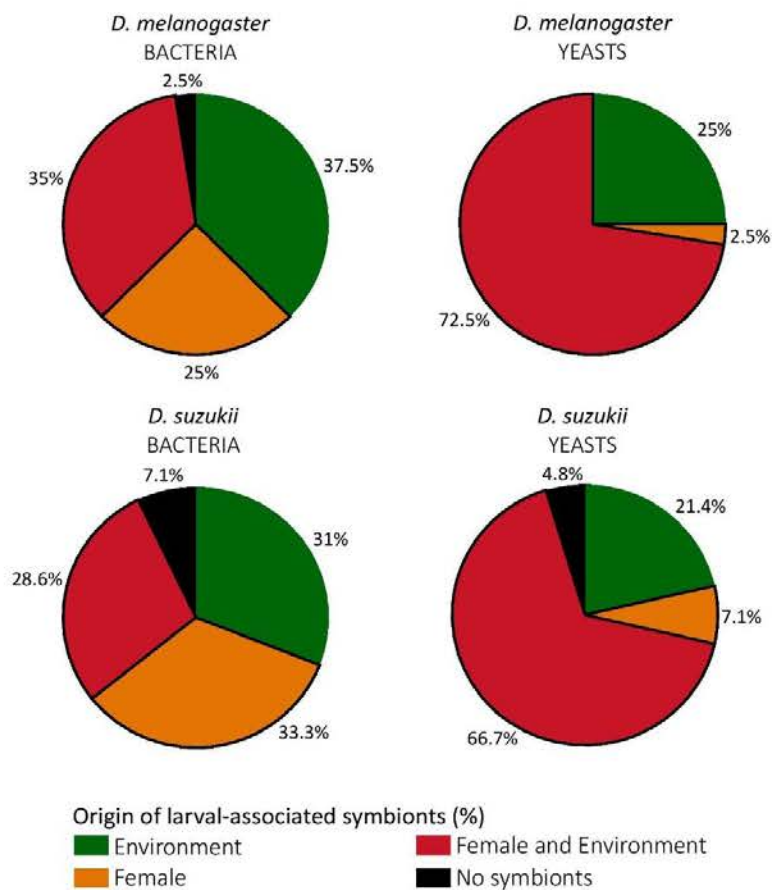
Une expérience indépendante : le maintien peut être influencé par d'autres symbiotes (bactériens).



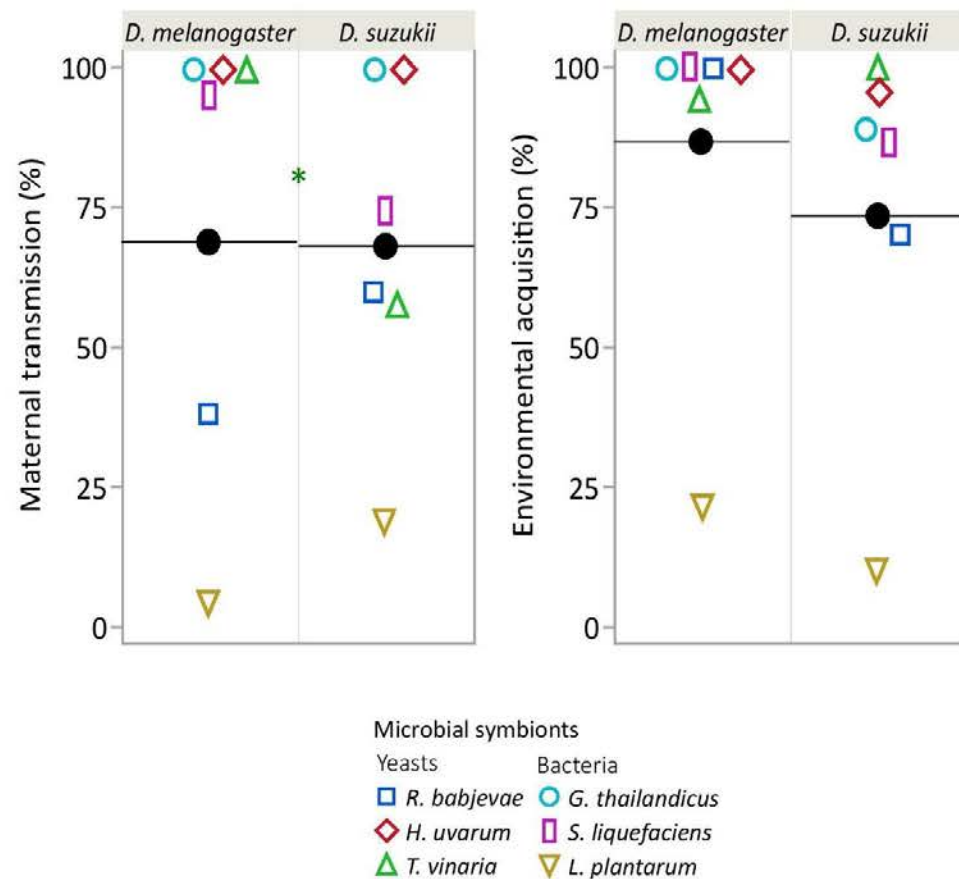
A



B



C





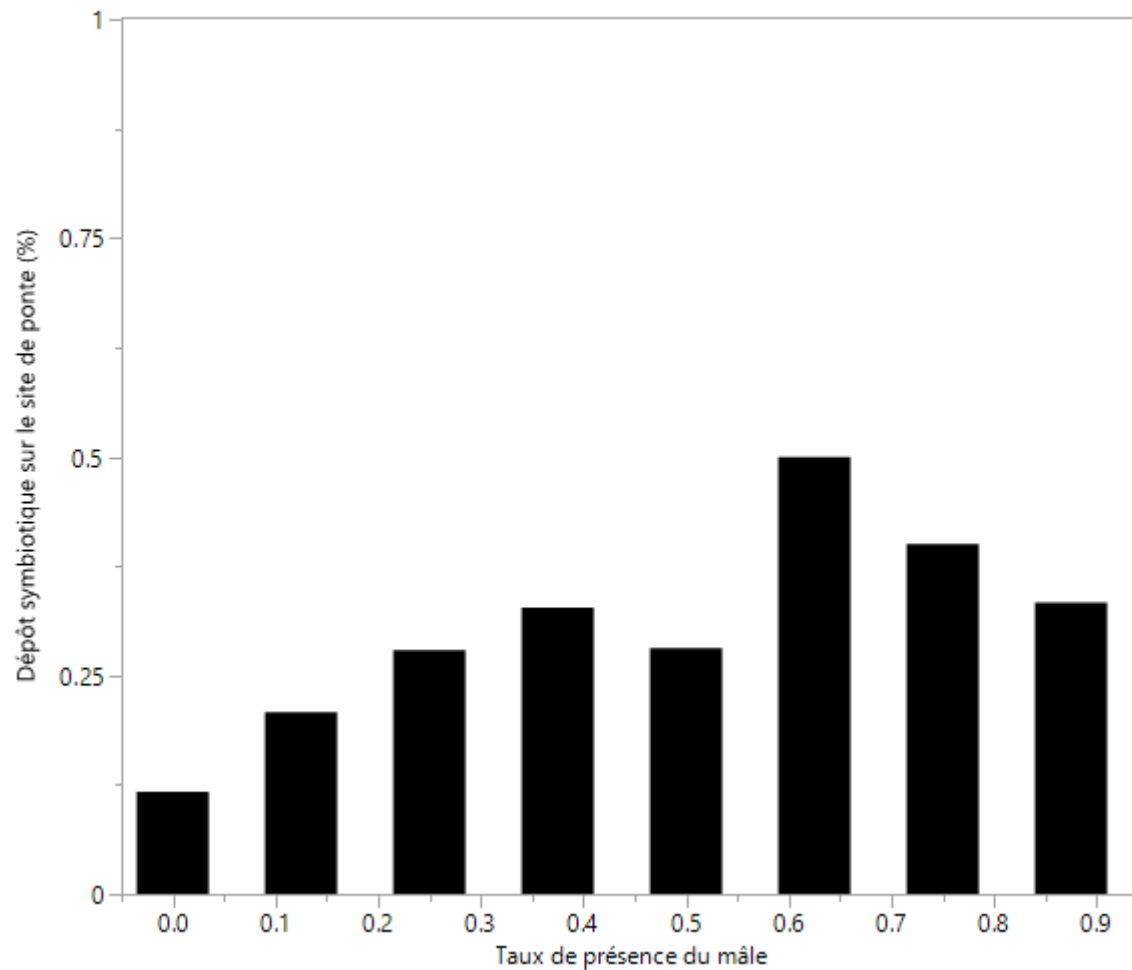
*D. sukuzii*

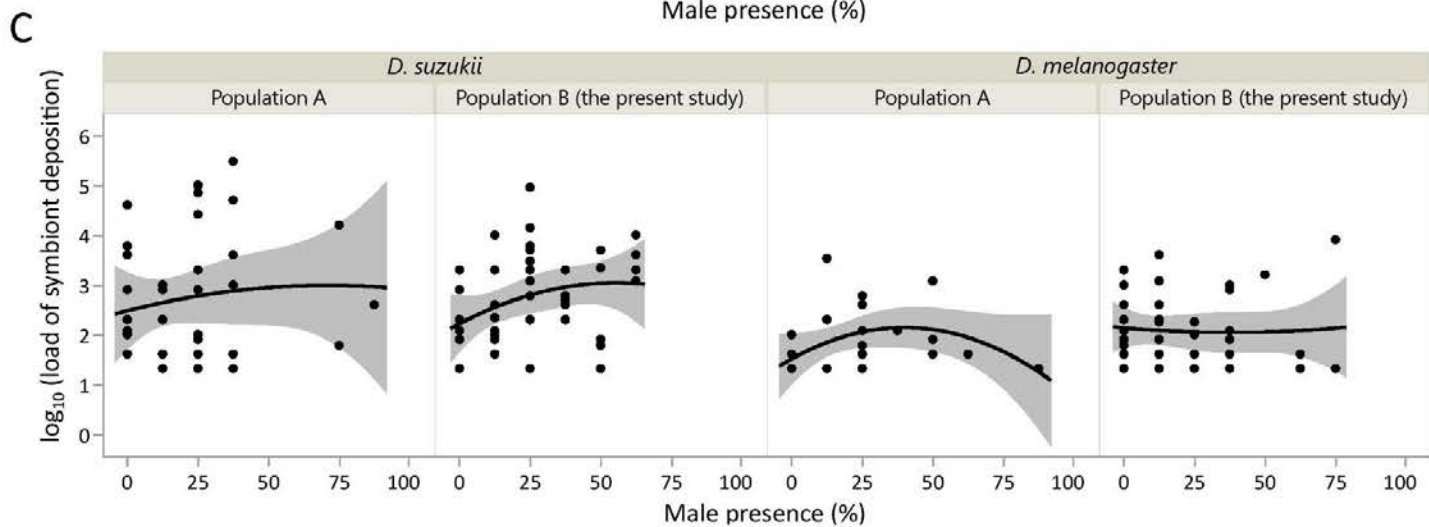
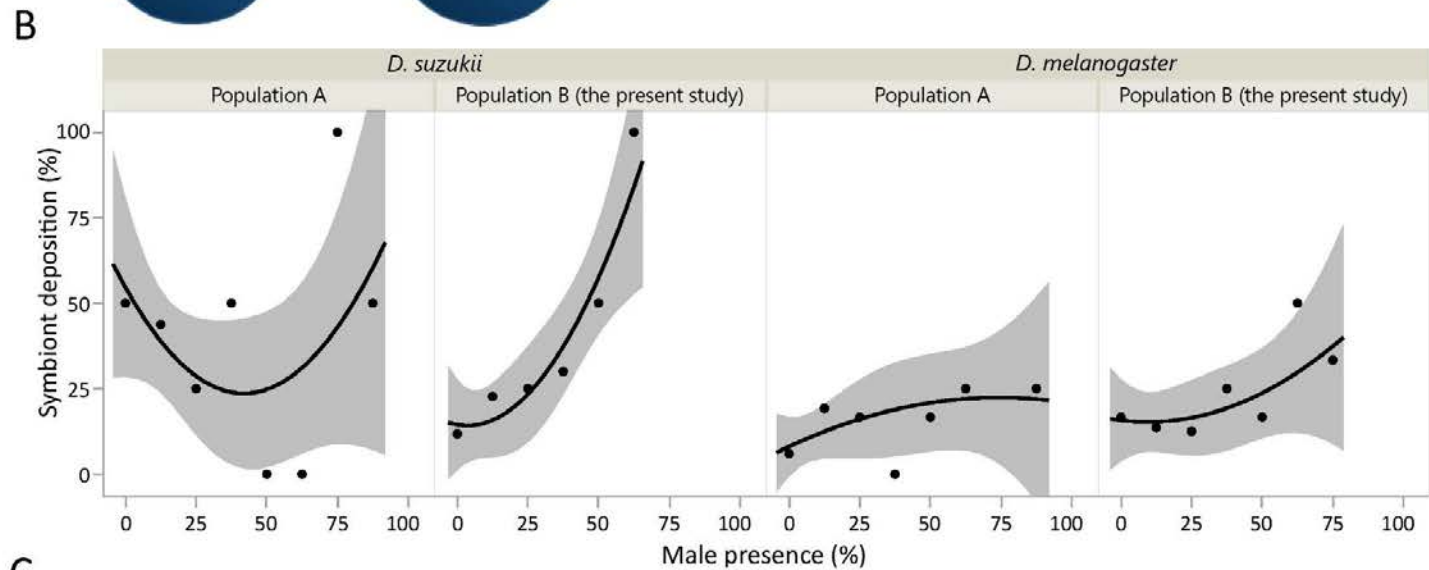
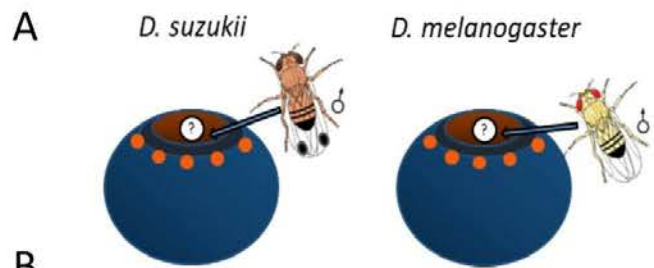


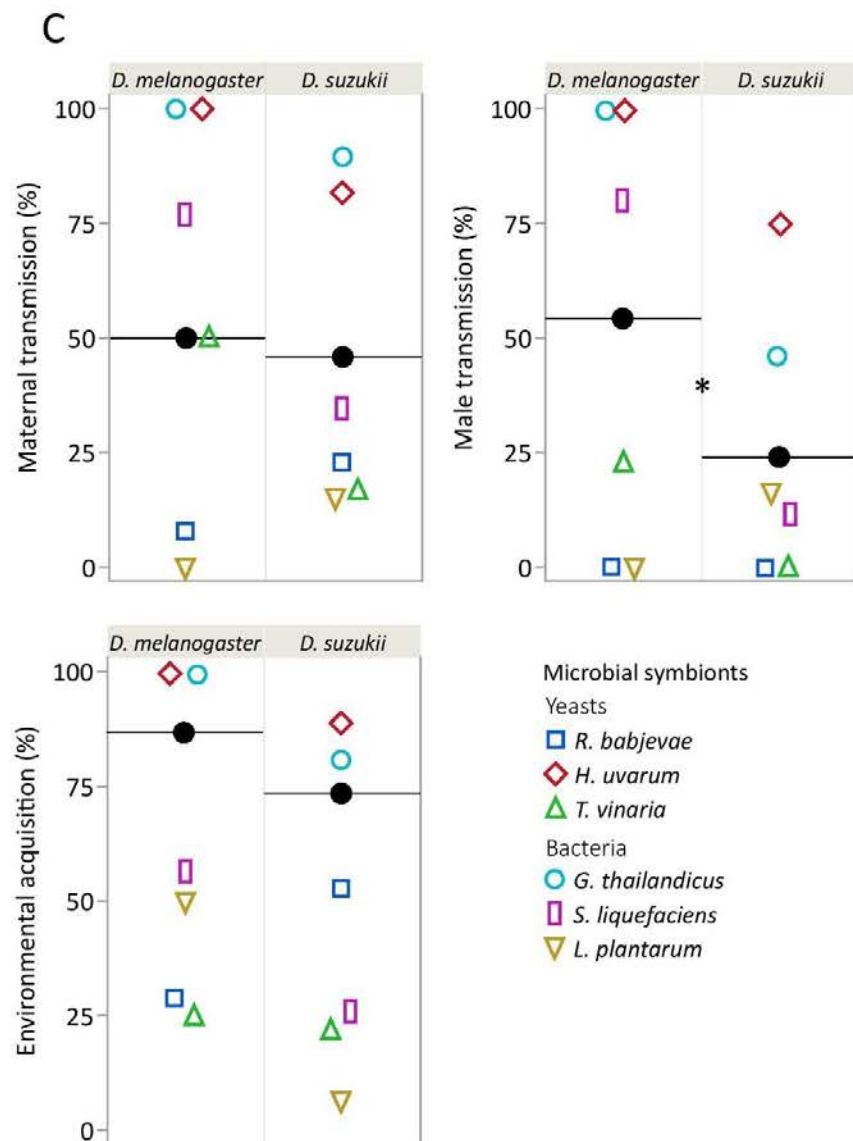
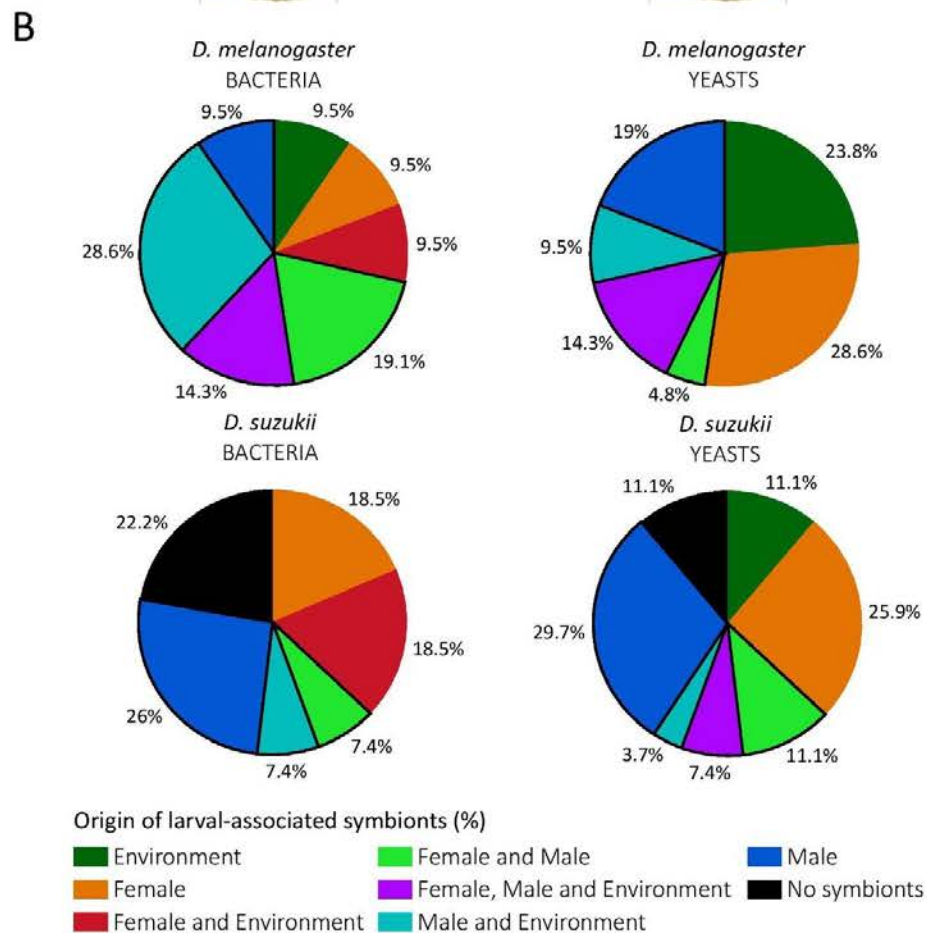
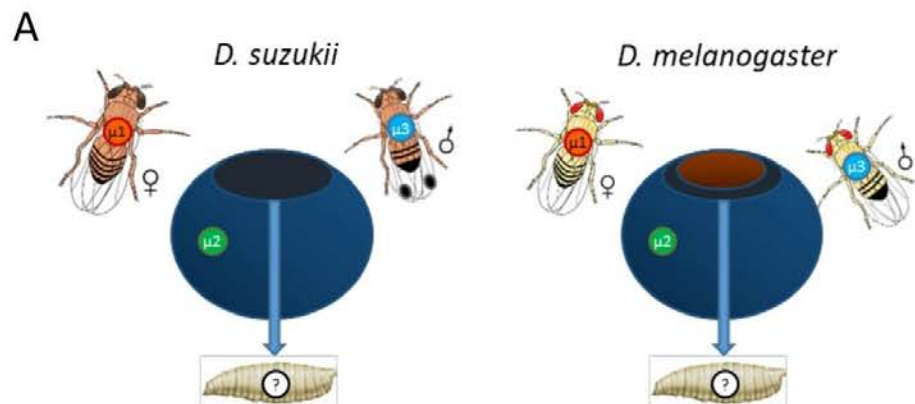
*D. melanogaster*



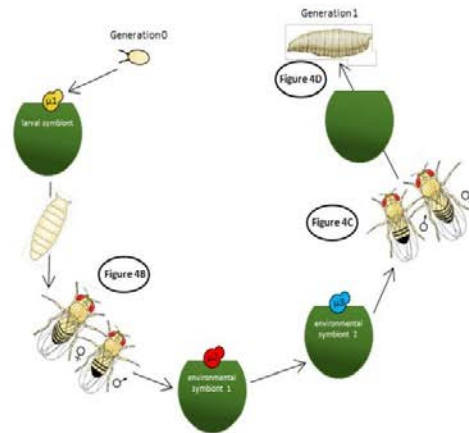
Effect Tests			
Source	DF	ChiSquare	Prob>ChiSq
Taux de présence	1	25.845756	<.0001*



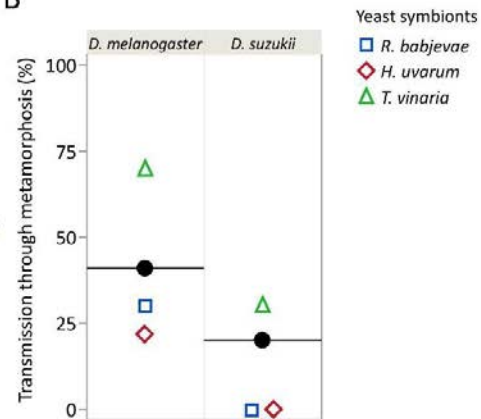




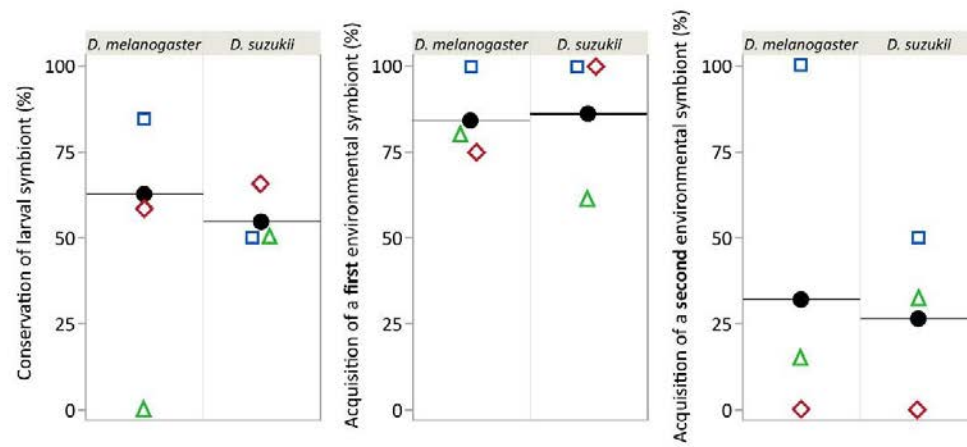
A



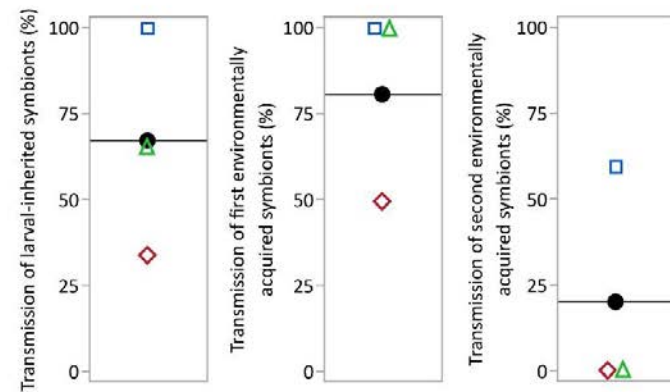
B



C

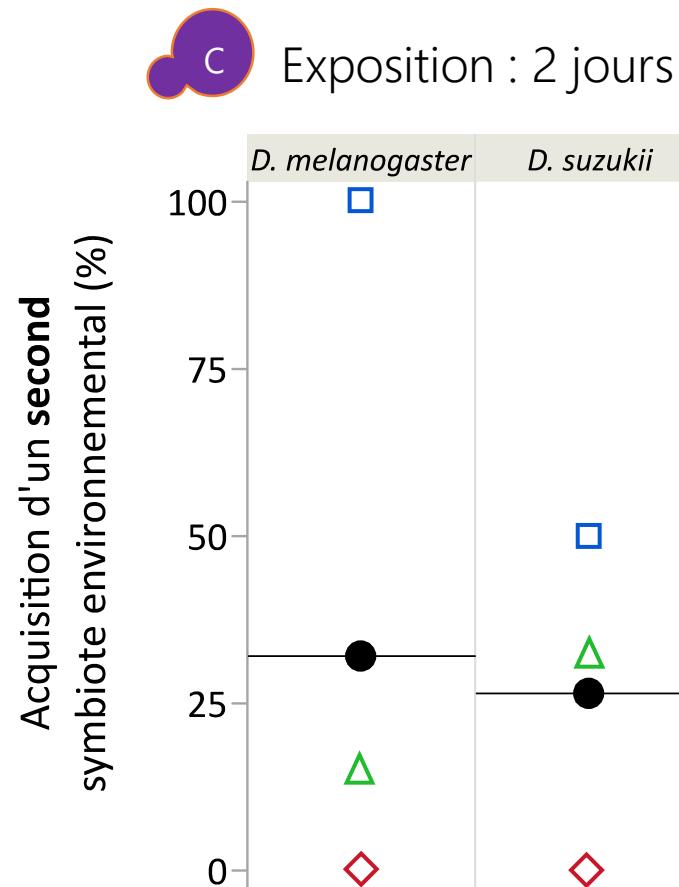
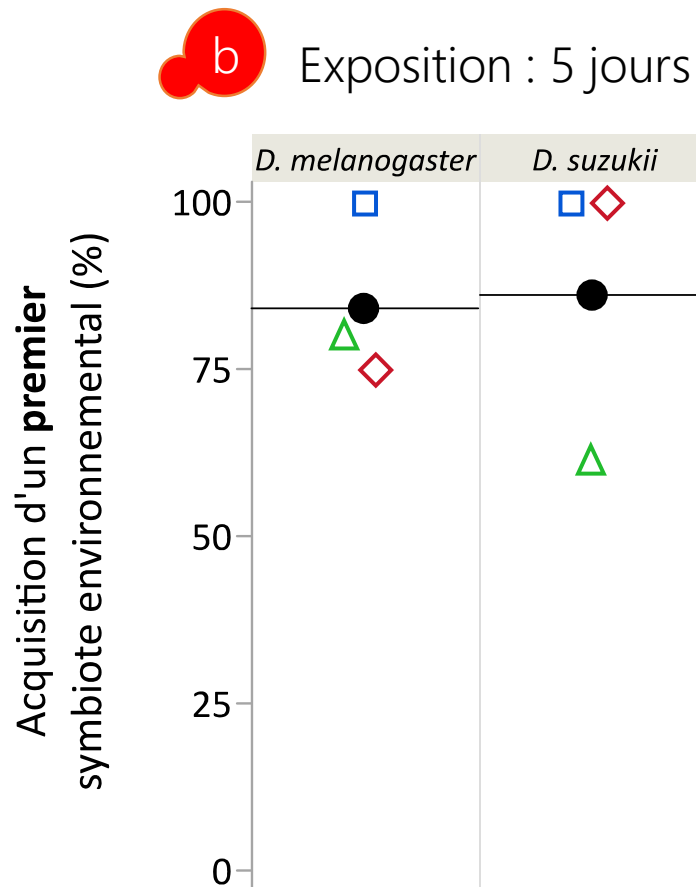


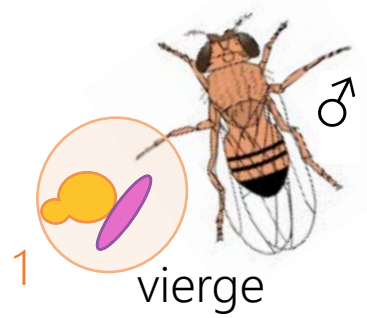
D



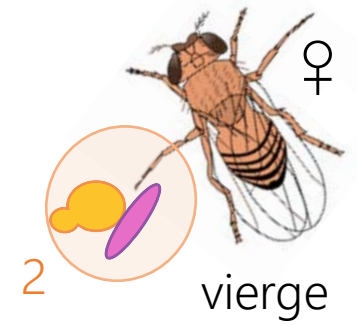
Les symbiotes environnementaux sont acquis et se maintiennent au cours de la vie d'adulte.

Leur maintien semble proportionnel au temps d'exposition avec l'hôte.





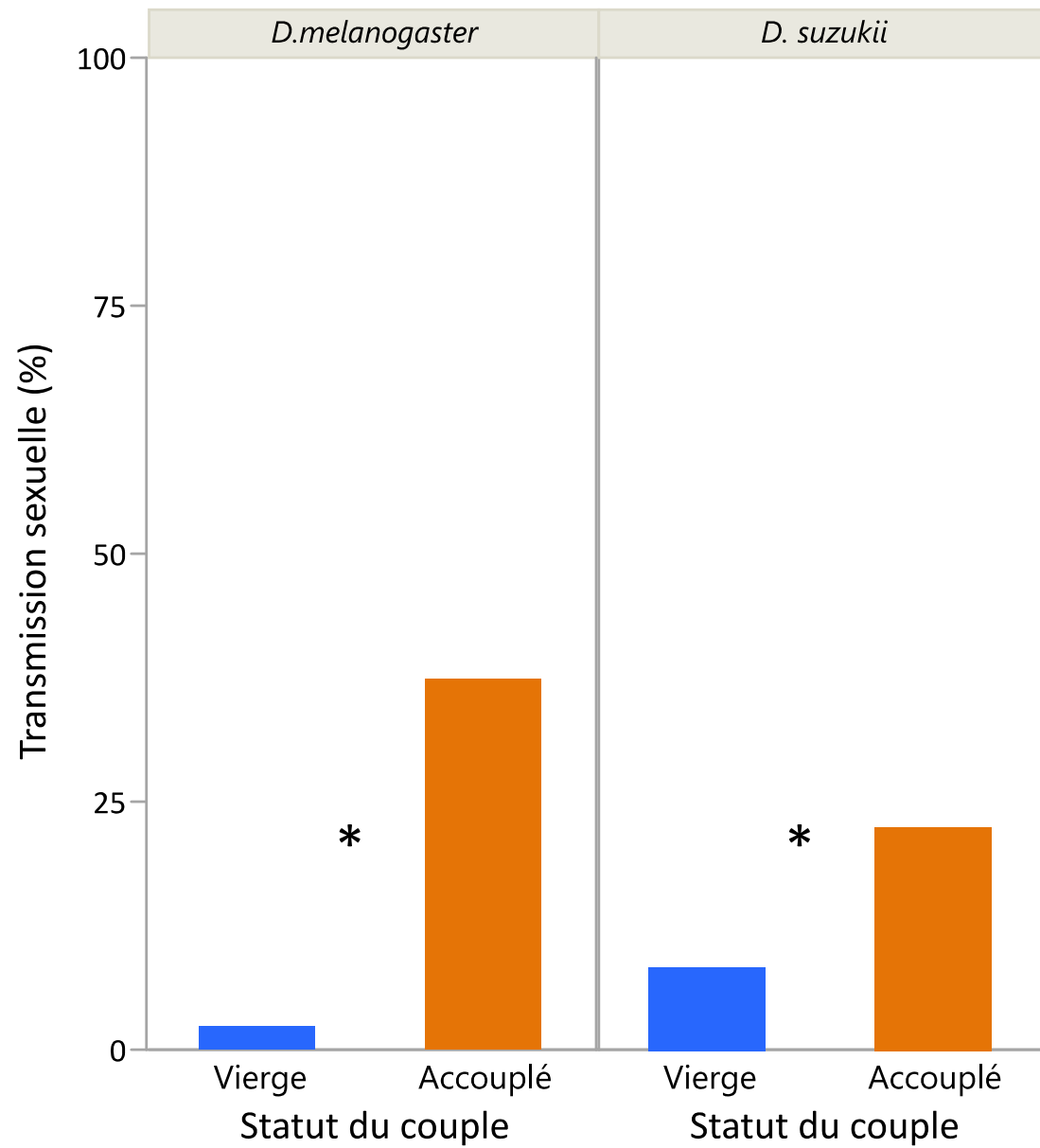
+

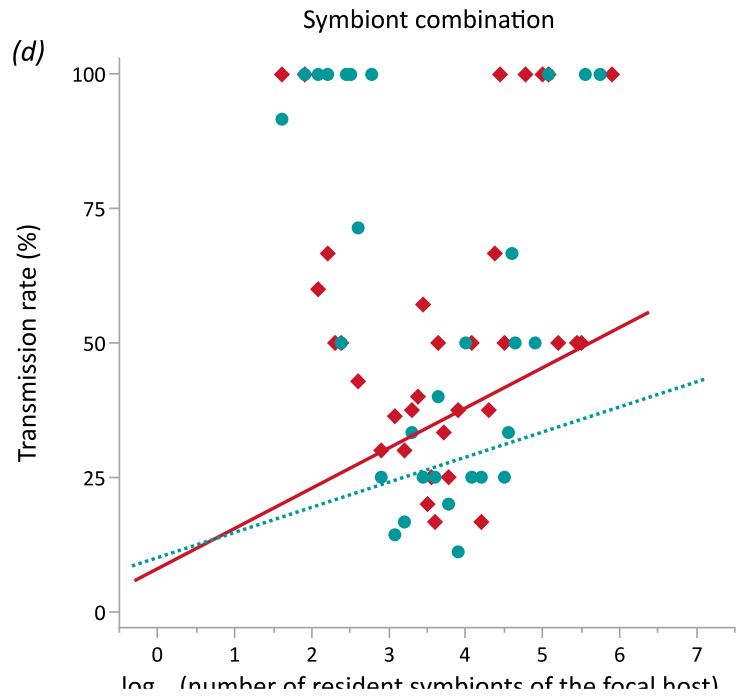
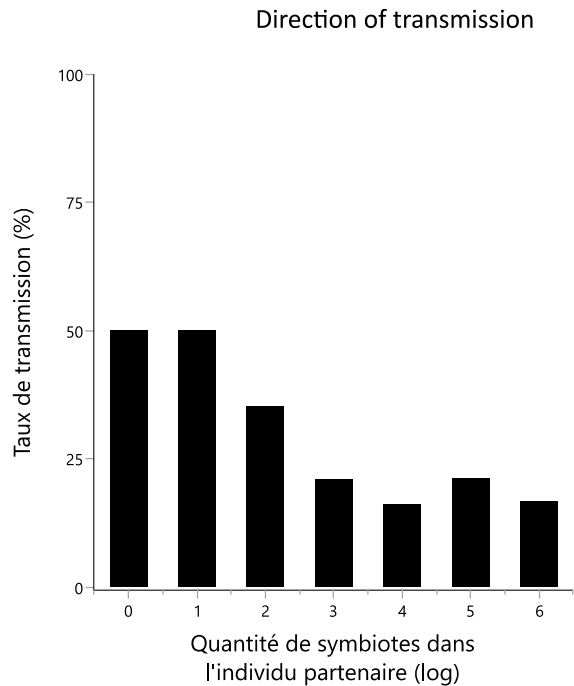
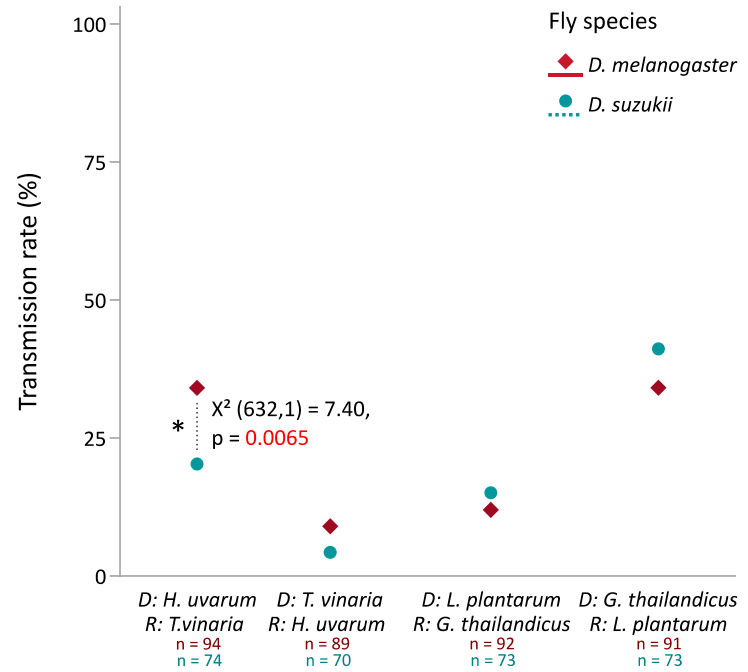
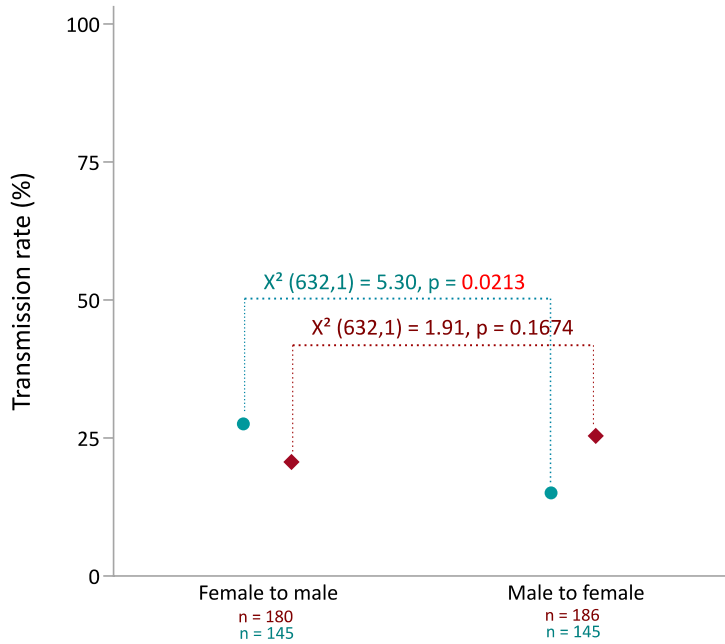


Accouplement ?

Echantillonnage  
des adultes

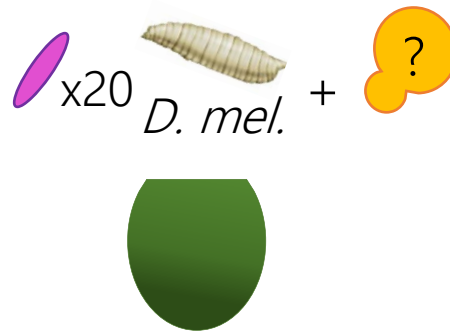




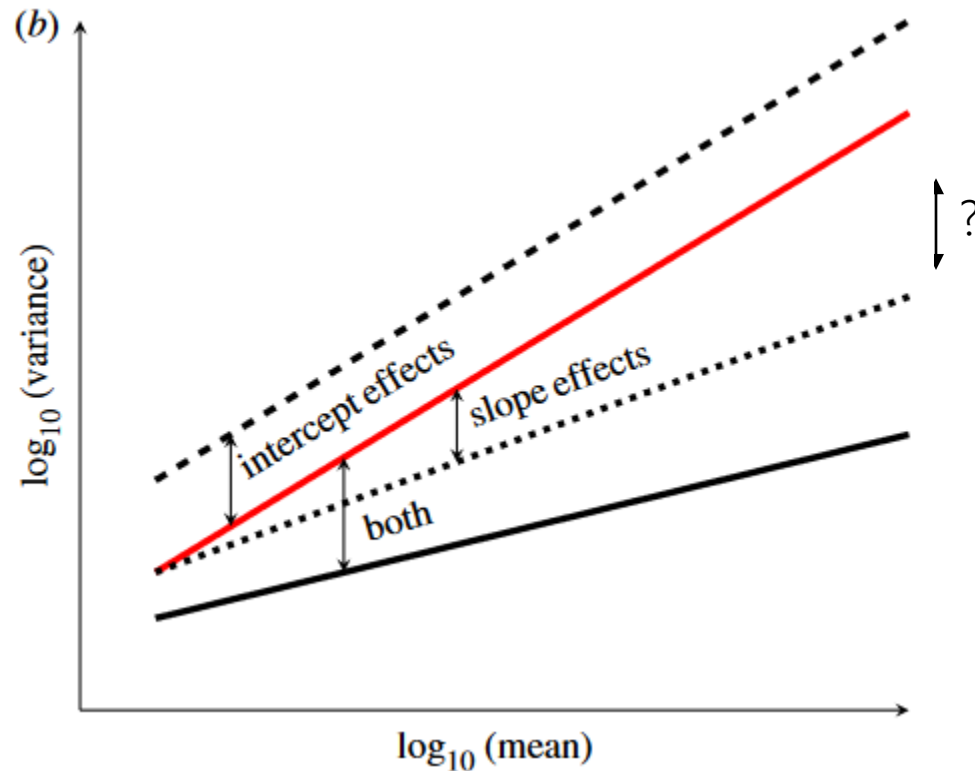




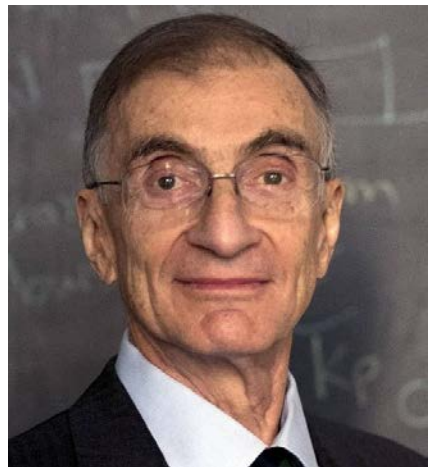
# Interactions microbiennes et multiplication locale



# Interactions microbiennes et multiplication locale

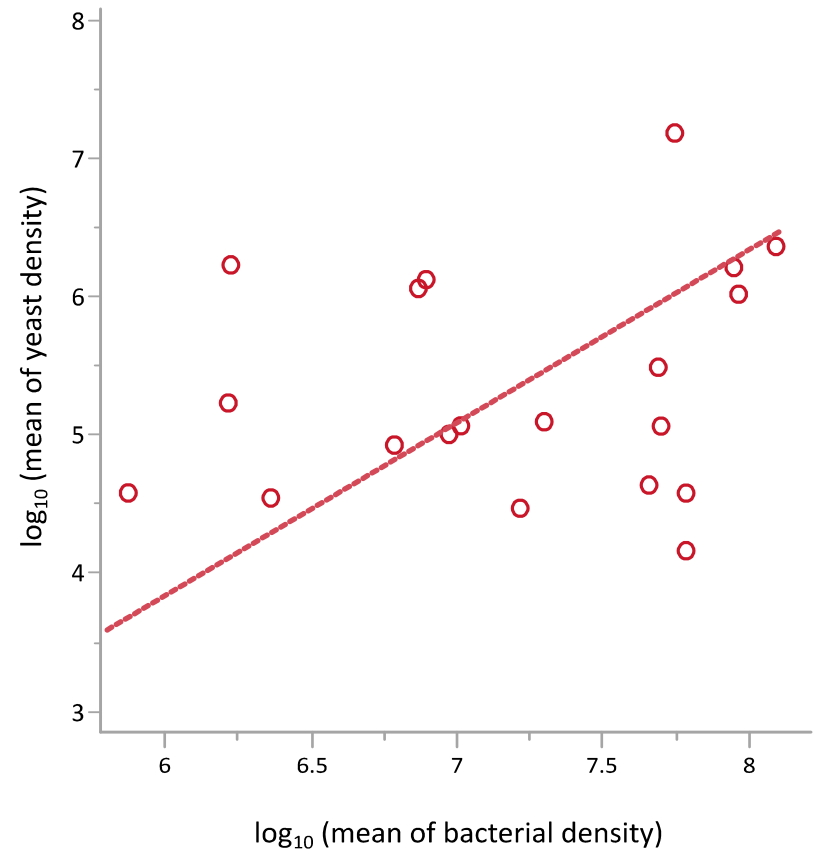
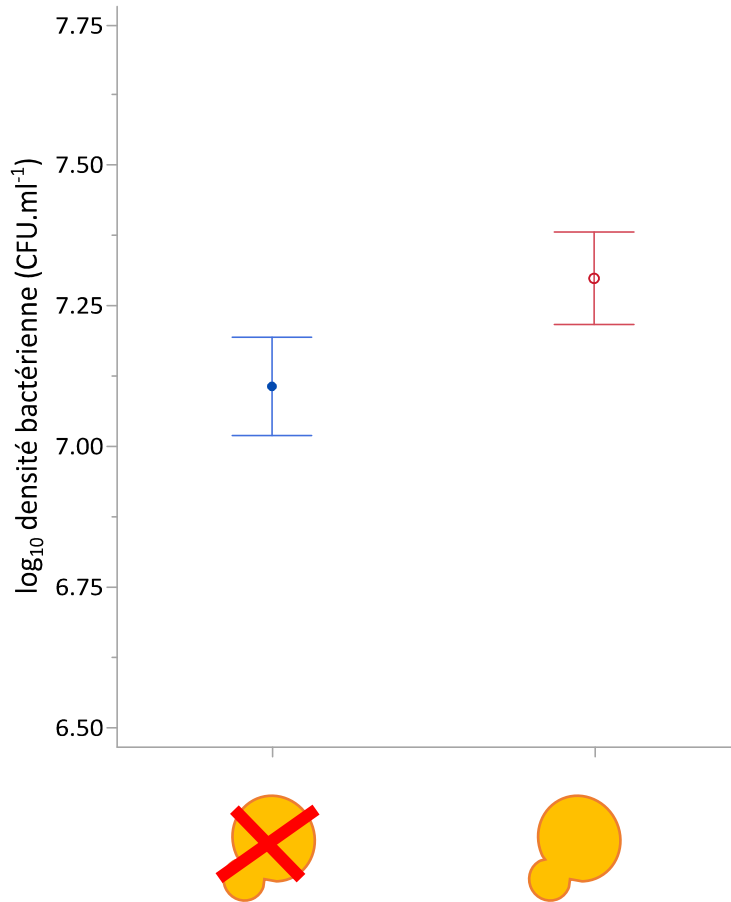


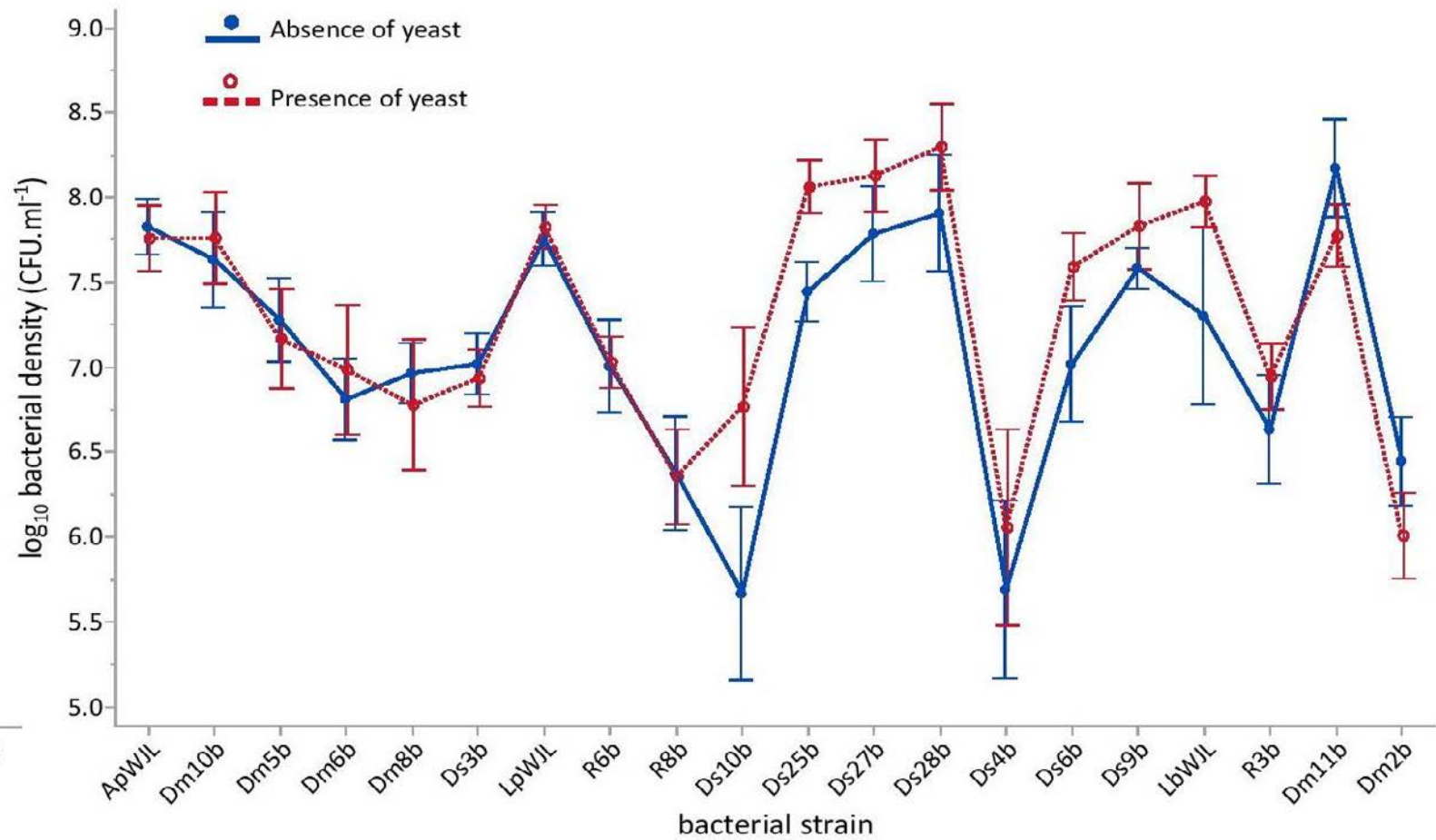
Joel E. Cohen



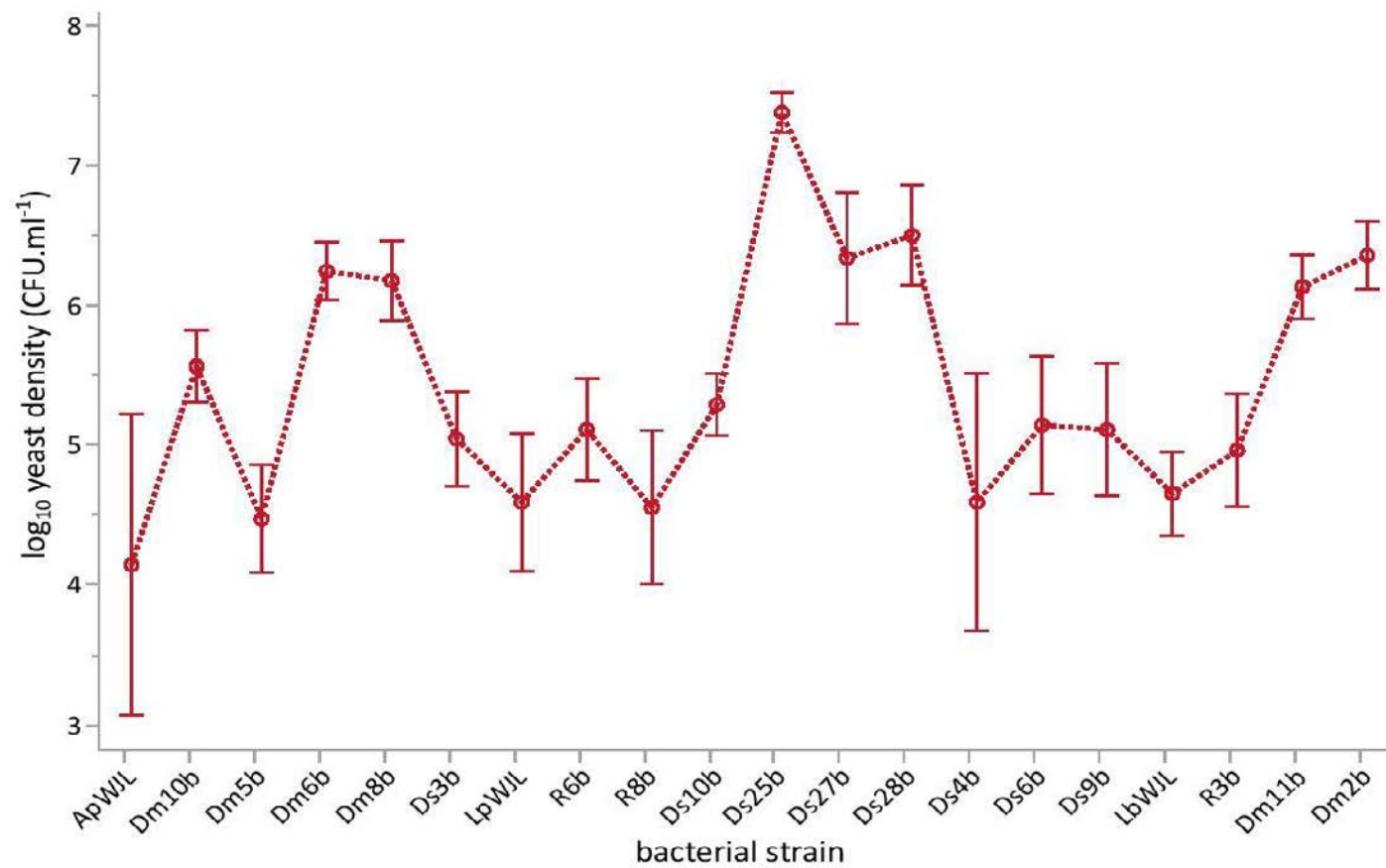
$$\log_{10}(\text{variance}) = a + b \cdot \log_{10}(\text{mean})$$

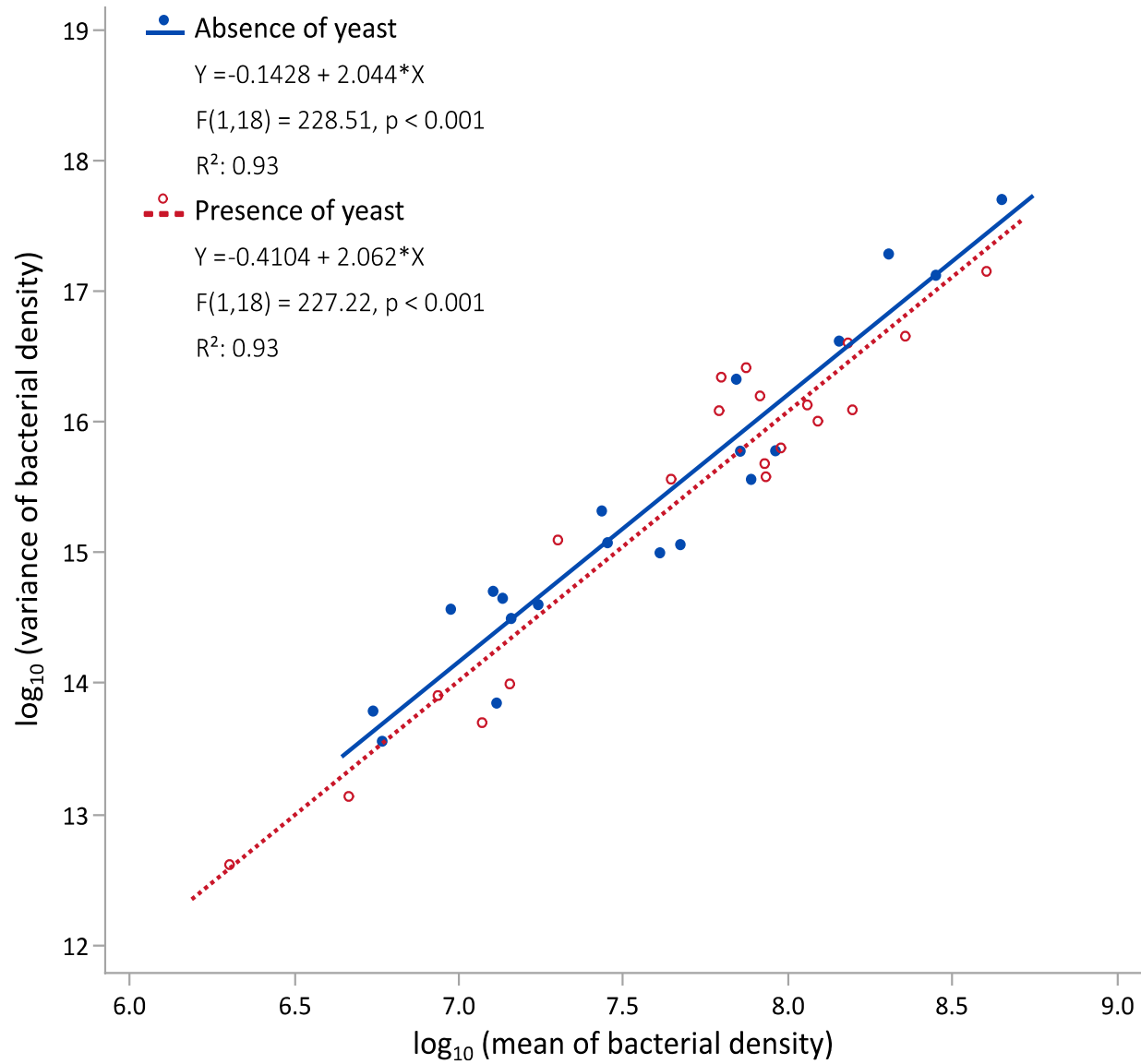
Johnson and Wilber 2017 *Proc. R. Soc. Lond.*



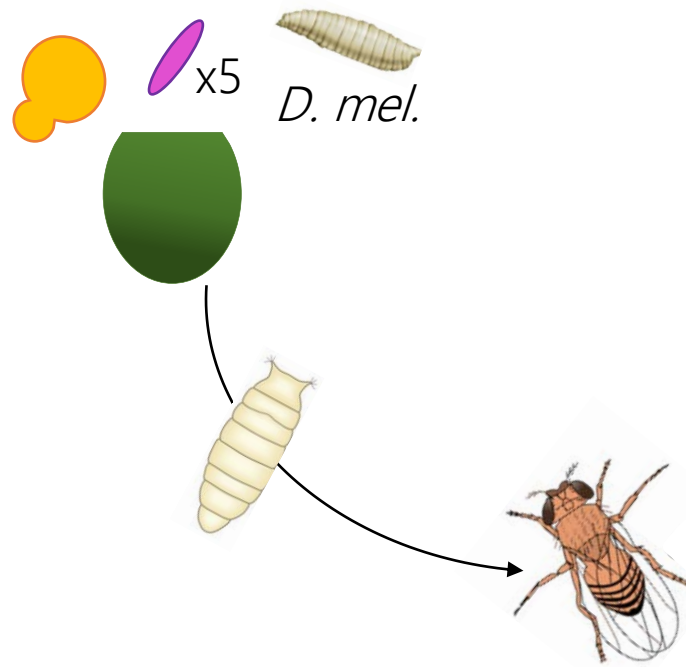


a)

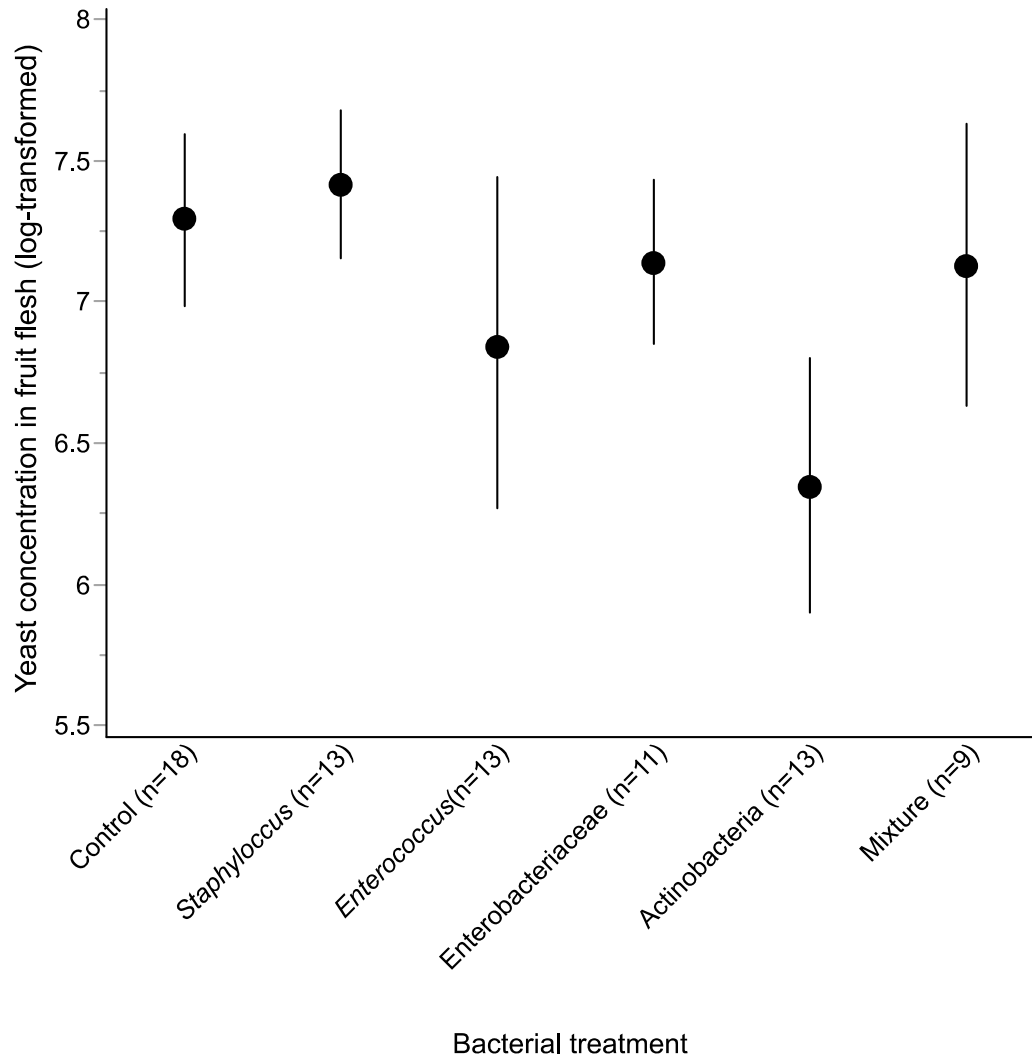




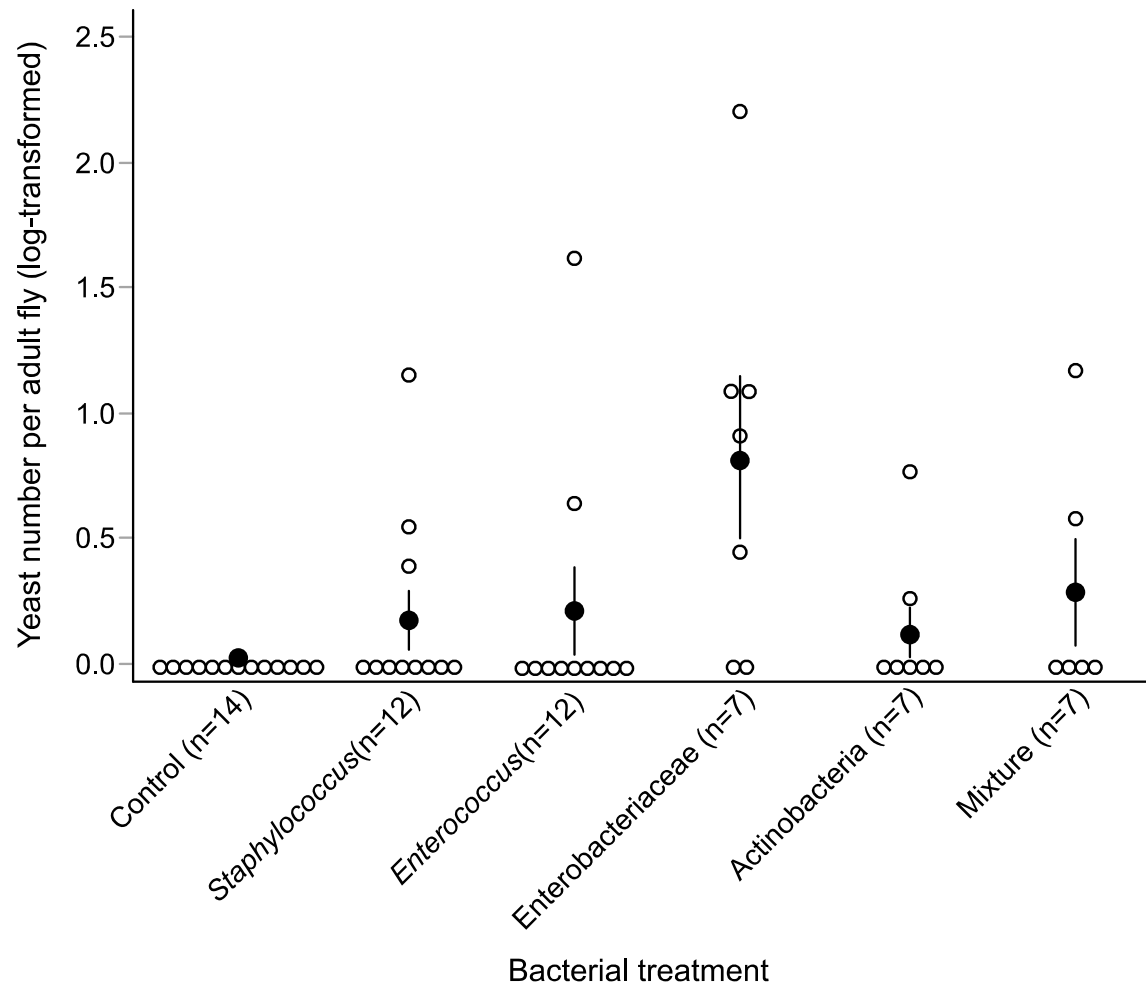
# Interactions microbiennes et maintenance à travers la métamorphose

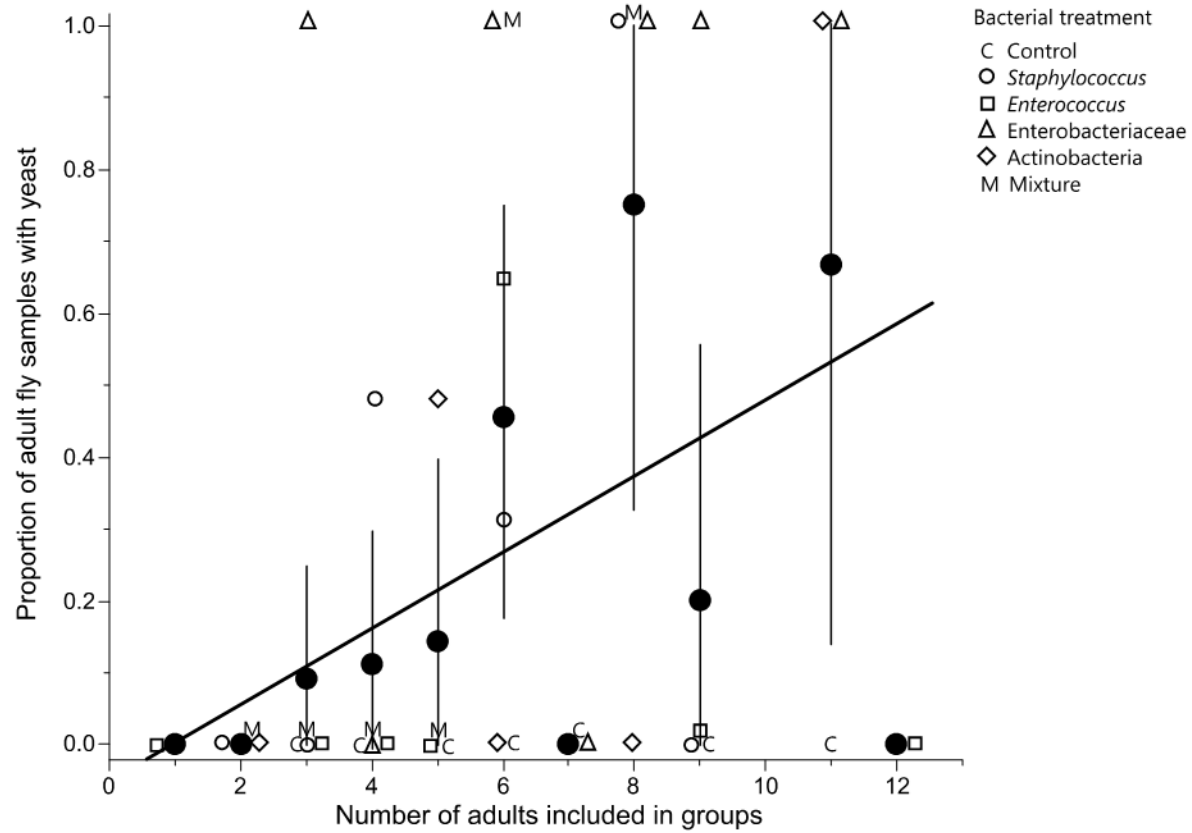






The bacterial treatment had no significant effect on the yeast concentration in the medium two days after the formation of the last pupa ( $F_{5,49} = 1.18$ ,  $p = 0.33$ ) (Fig. 2). Yeast presence in fruit flesh was detected in all replicates but one.

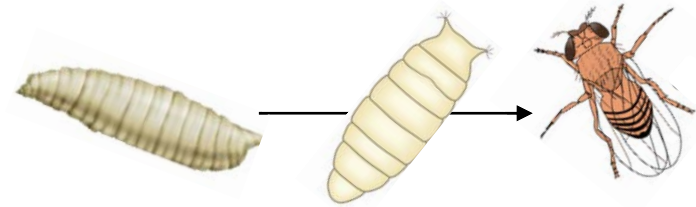




# Interactions et maintenance à travers la métamorphose

## Interaction inédite

Un unique exemple à notre connaissance

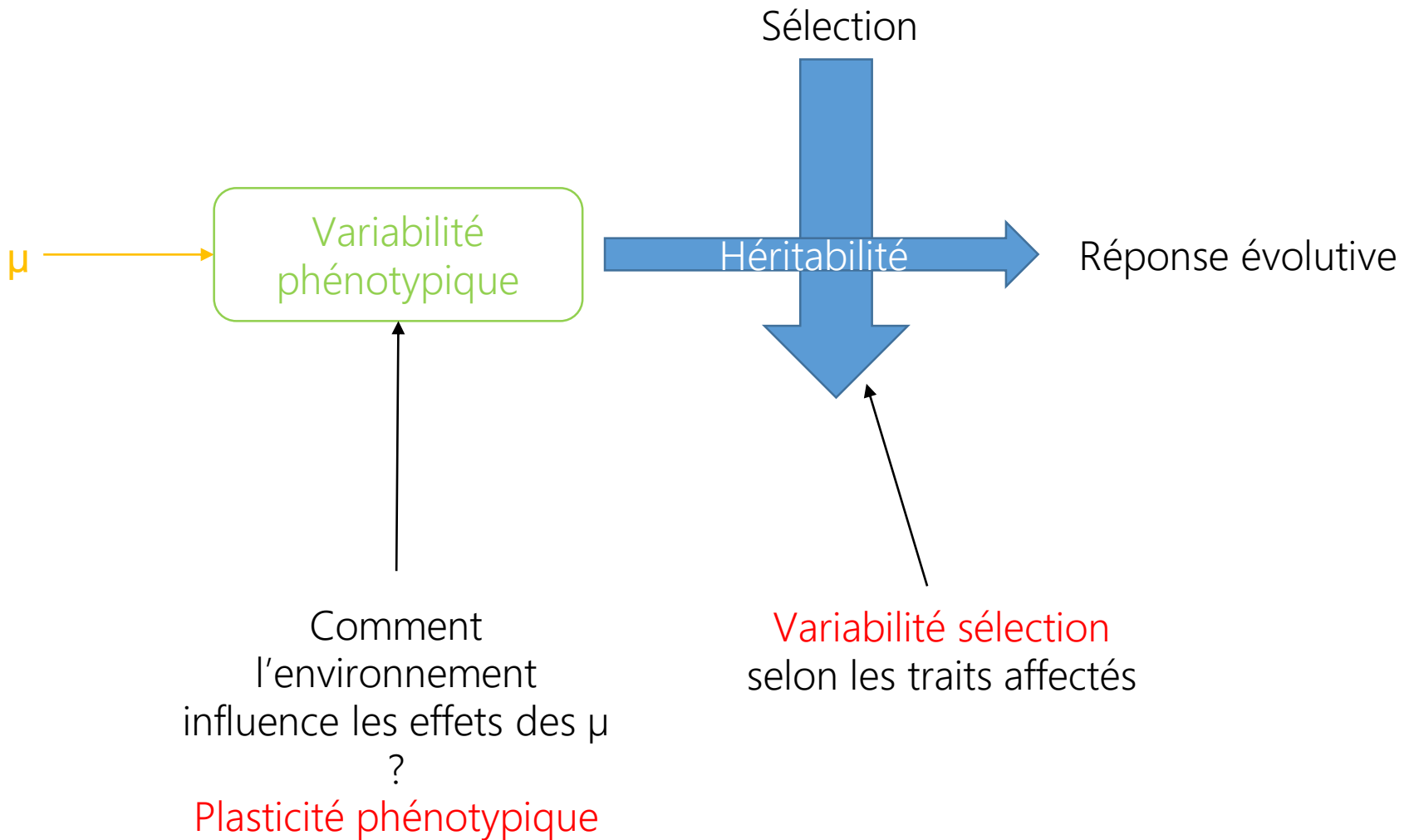


## Mécanisme sous-jacent

Physiologie ?

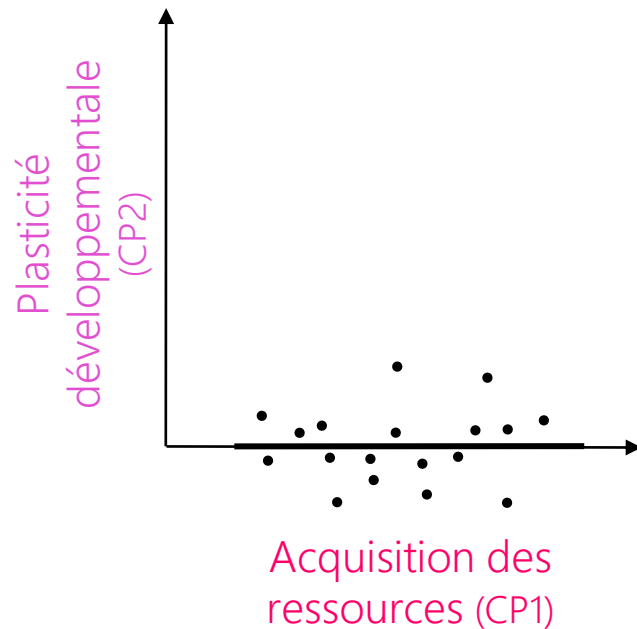
## Conséquences évolutives ?

Un maintien plus fréquent peut améliorer la dispersion de la levure, et donc sa b n volence : en améliorant la transmission des levures, une symbiose entre *Droso* et bactéries peut bénéficier indirectement   l'hôte via les effets entre symbiotes



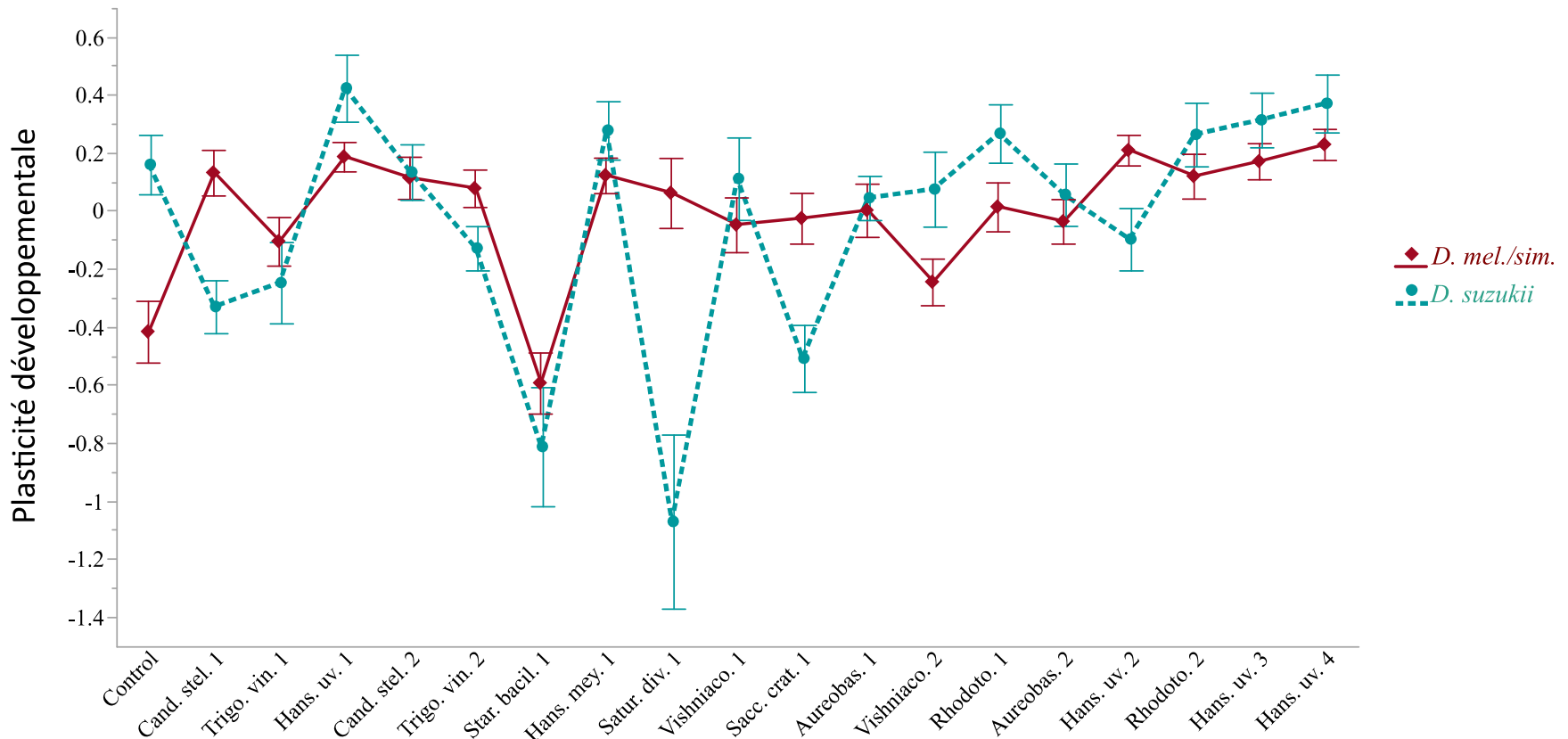
# Démarche analytique

Comprendre les effets des levures sur chacun des axes ?



- Effets de la **densité de levures** sur la variation d'acquisition ? sur la variation de plasticité ?
- Effets de l'**origine** sur la variation d'acquisition ? sur la variation de plasticité ?

## Variable composite (CP2) : Plasticité développementale



Les souches de levures influencent différemment les deux groupes

Variation *D. suzukii* > Variation *D. mel./D. sim.*

Test de Levene :  $F_{1,34}=6.8; p=0.013$

## Variable composite (CP2) : Plasticité développementale

Un développement de *D. mel* / *D. sim* peu sensible aux variations de symbiotes ?

Développement dans des environnements très variables et diversement colonisés ?



Canalisation environnementale : « des phénotypes similaires dans des environnements différents » : limiter les réponses excessives aux facteurs environnementaux (Soen 2014 *Front. Genet.*)

Un développement de *D. suz* plus sensible aux variations de symbiotes ?

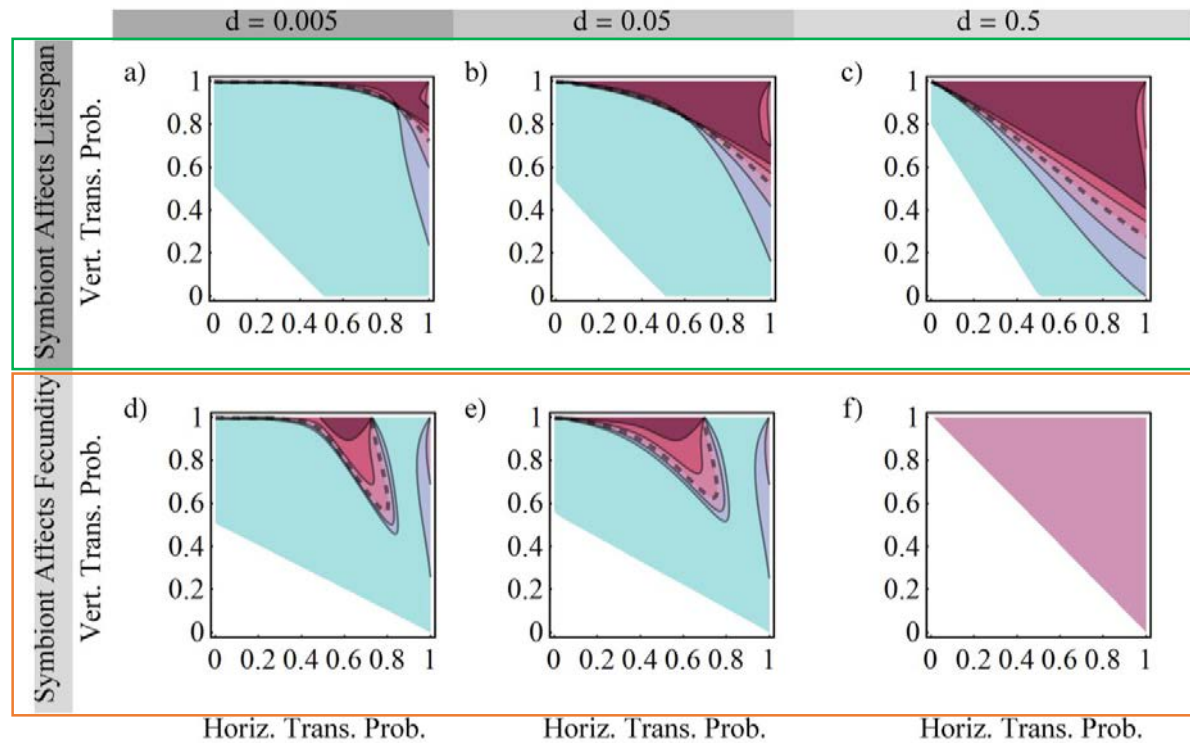
Développement dans des environnements peu variables ?



mais ... variation expliquée principalement par une souche, *Saturnispora diversa*



Exemple : Effet sur la **longévité** ou la **fécondité** de l'hôte ?



Différentes évolutions de la transmission

Host-symbiont conflict (negative values) and concordance (positive values)



Base-line:  
Well-known  
adult survival

Stearns & Koella 1986, Evolution  
Evolution of optimal age at maturity

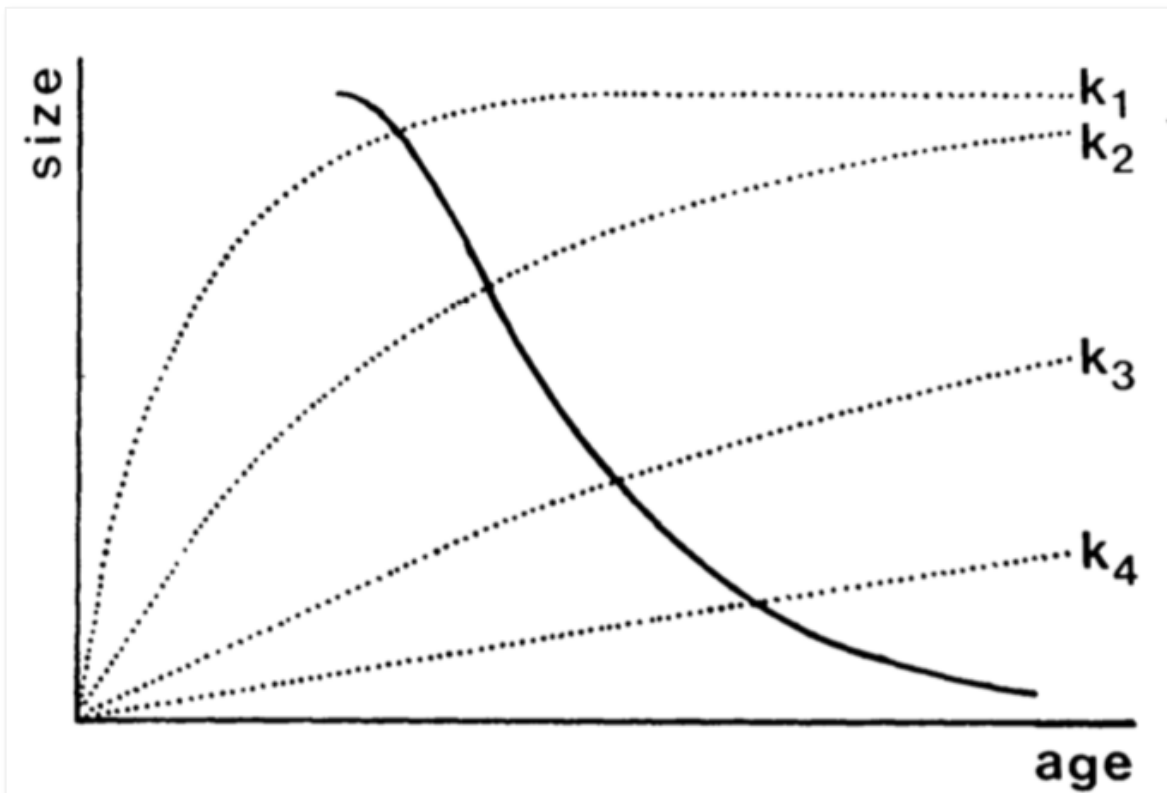
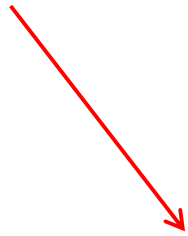
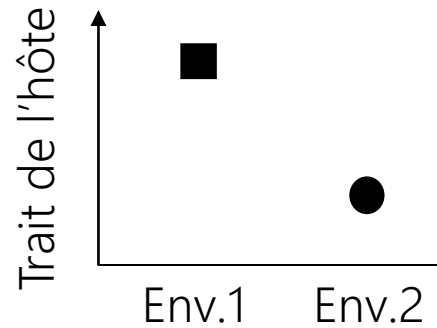


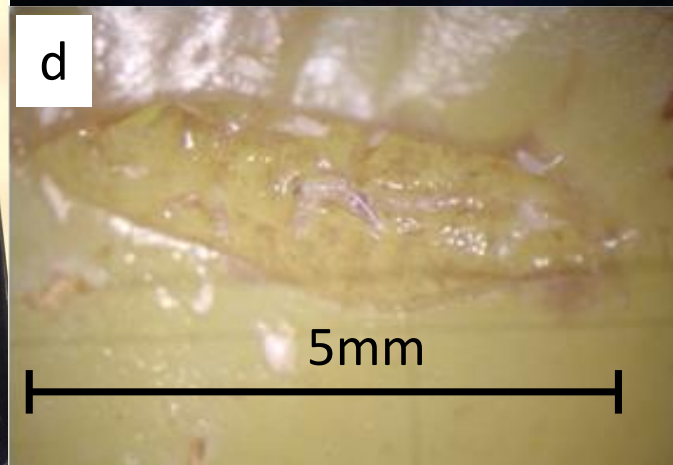
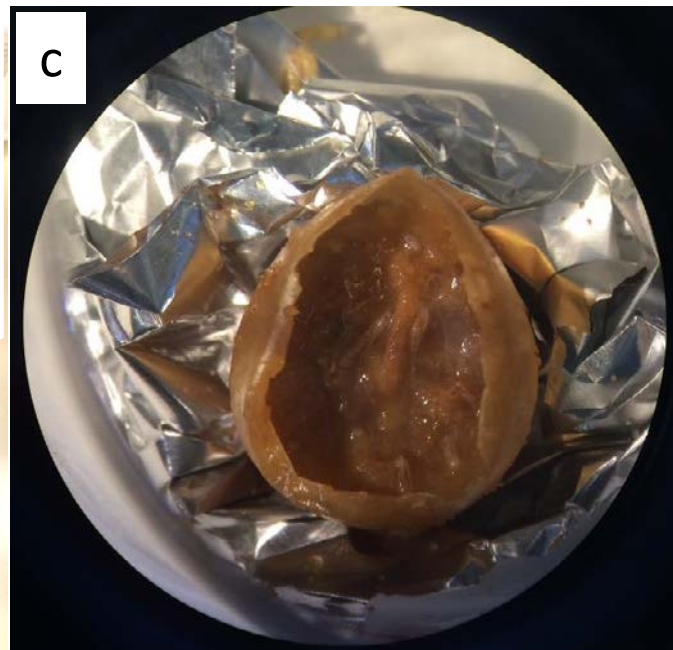
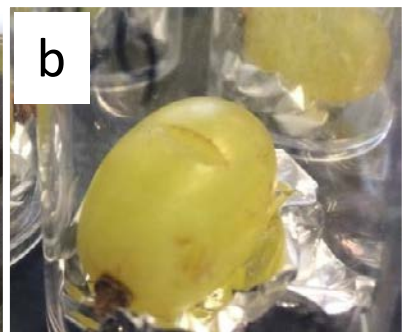
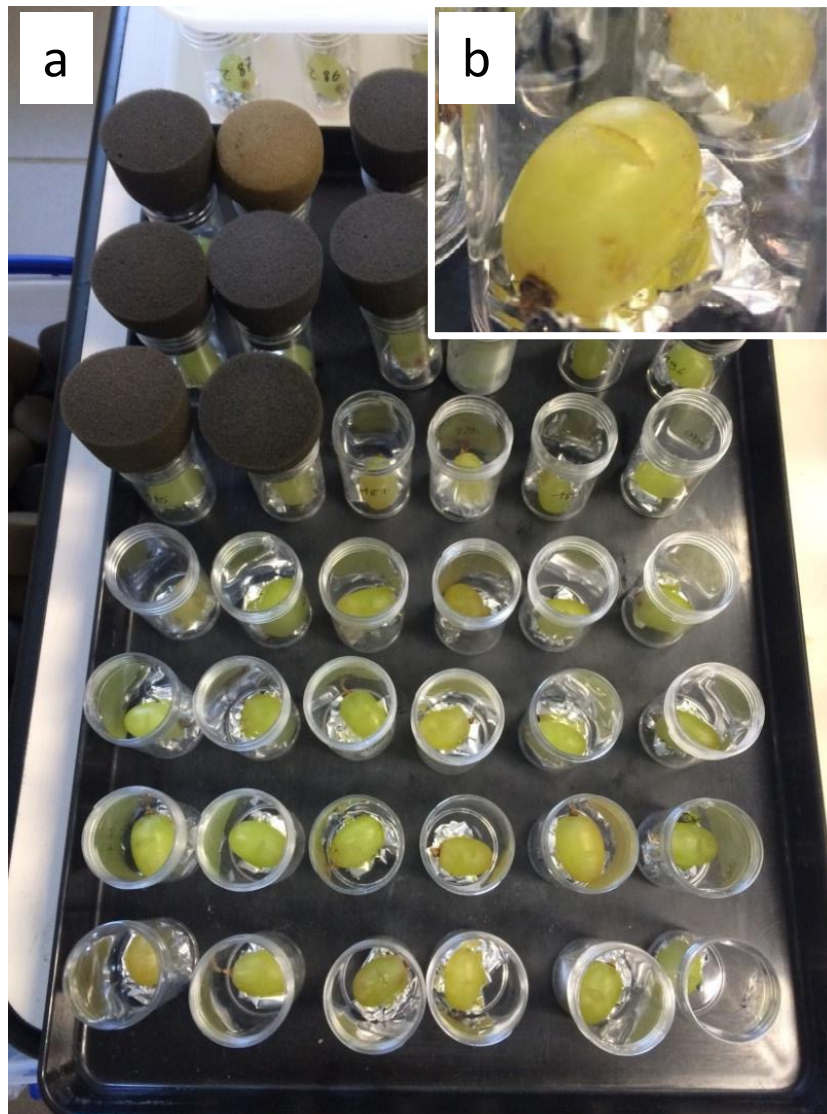
FIG. 5. A reaction norm for age and size at maturity. For each growth rate,  $k_i$ , specified, an optimal age

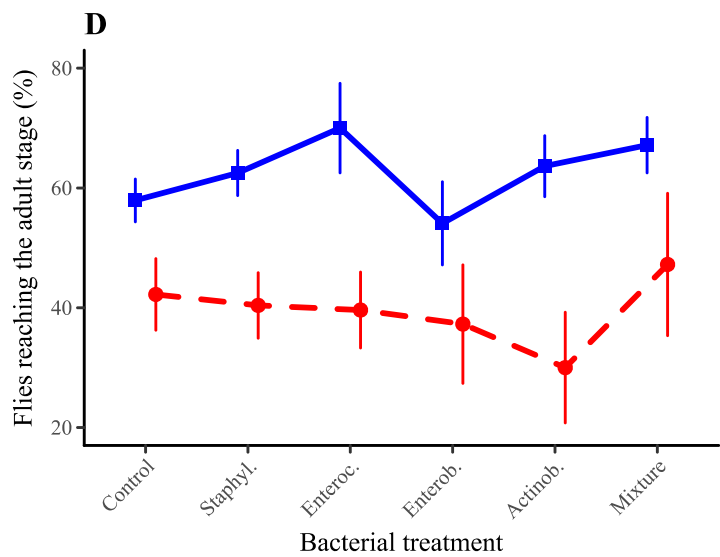
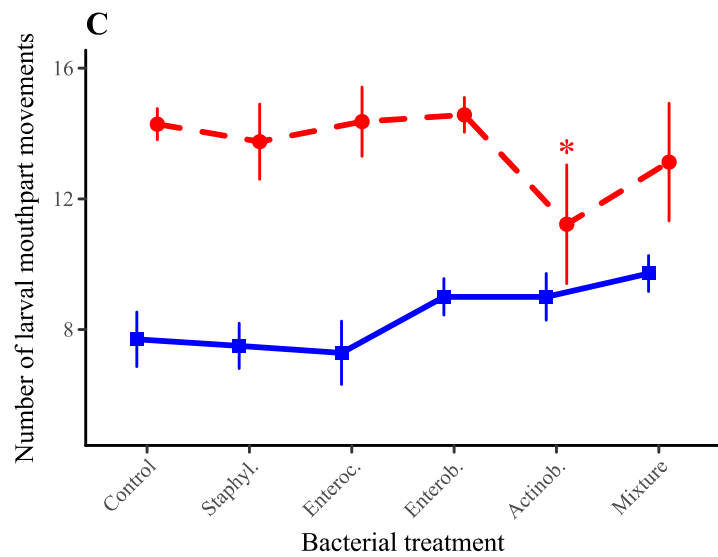
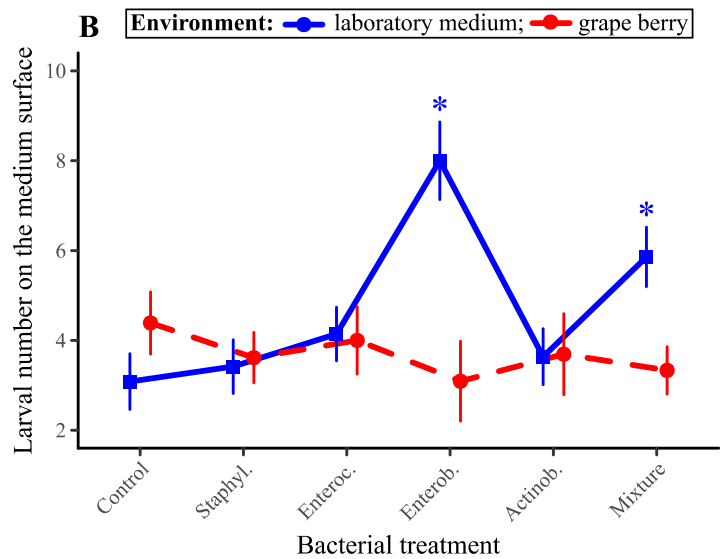
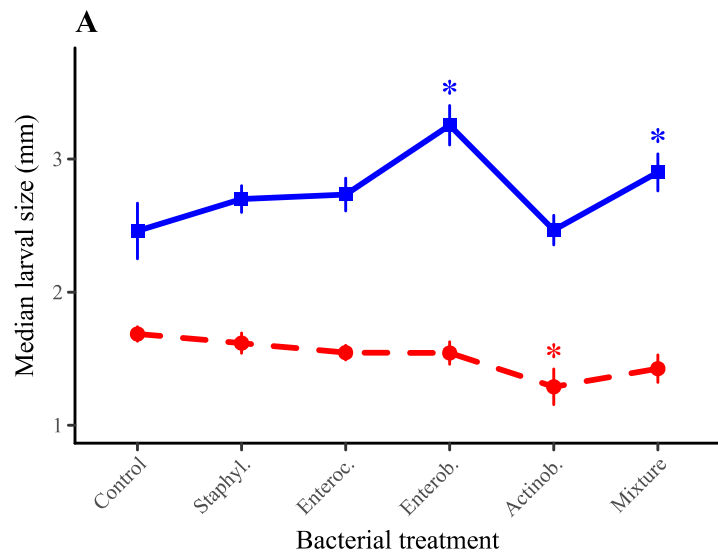
# Effets des symbiotes et contexte symbiotique

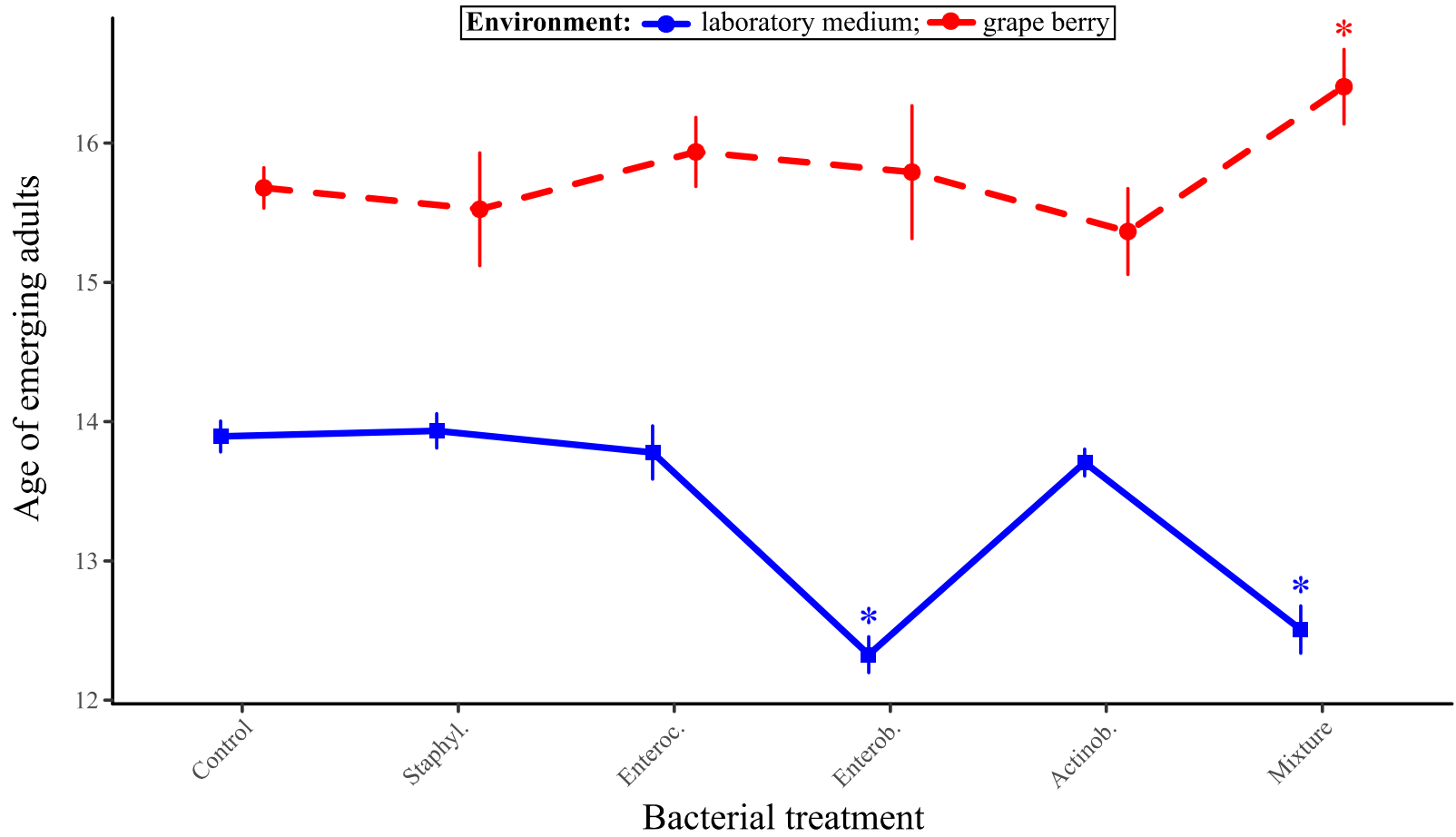


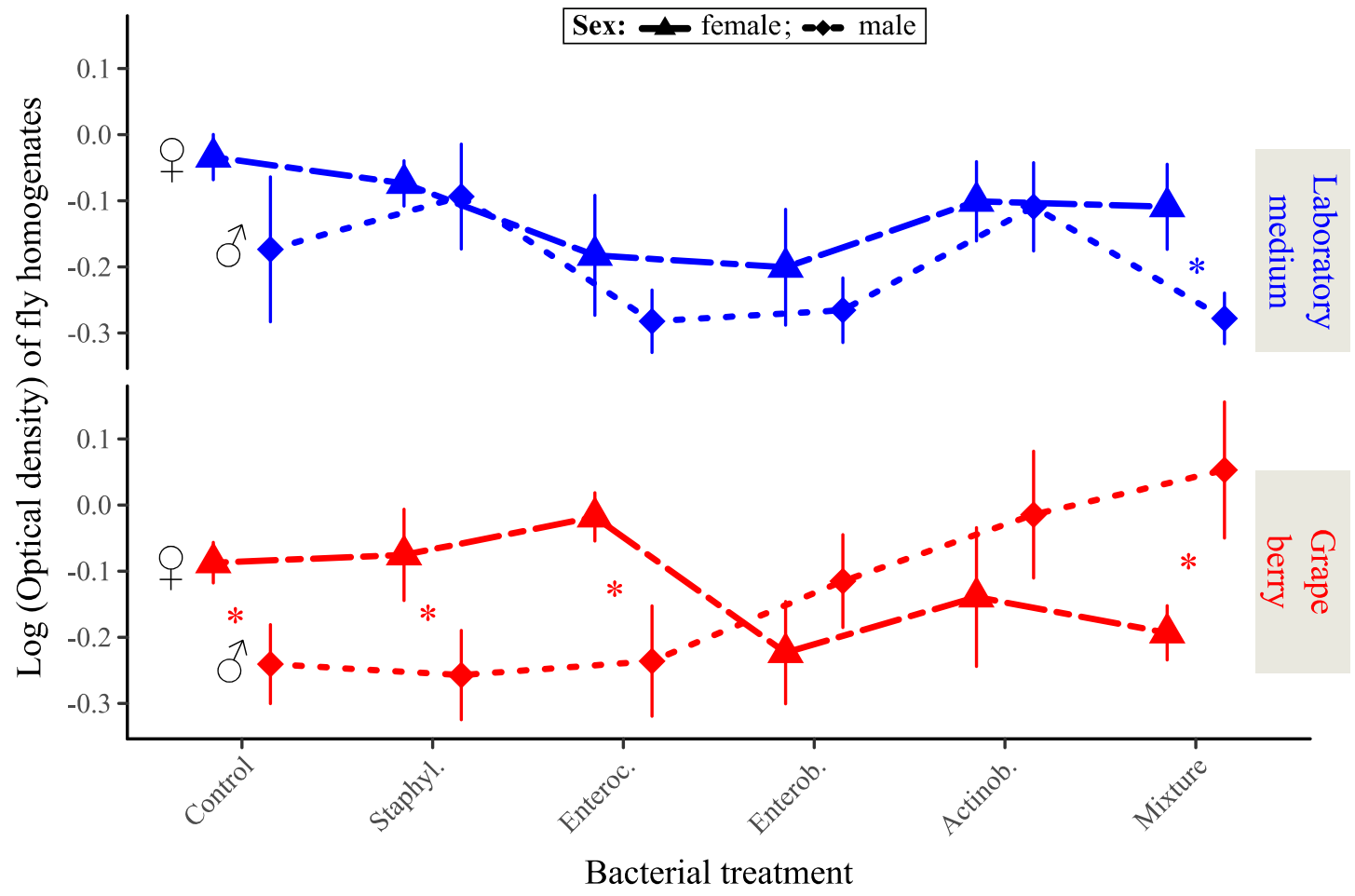
Spécificité des effets des symbiotes à l'environnement d'origine ?

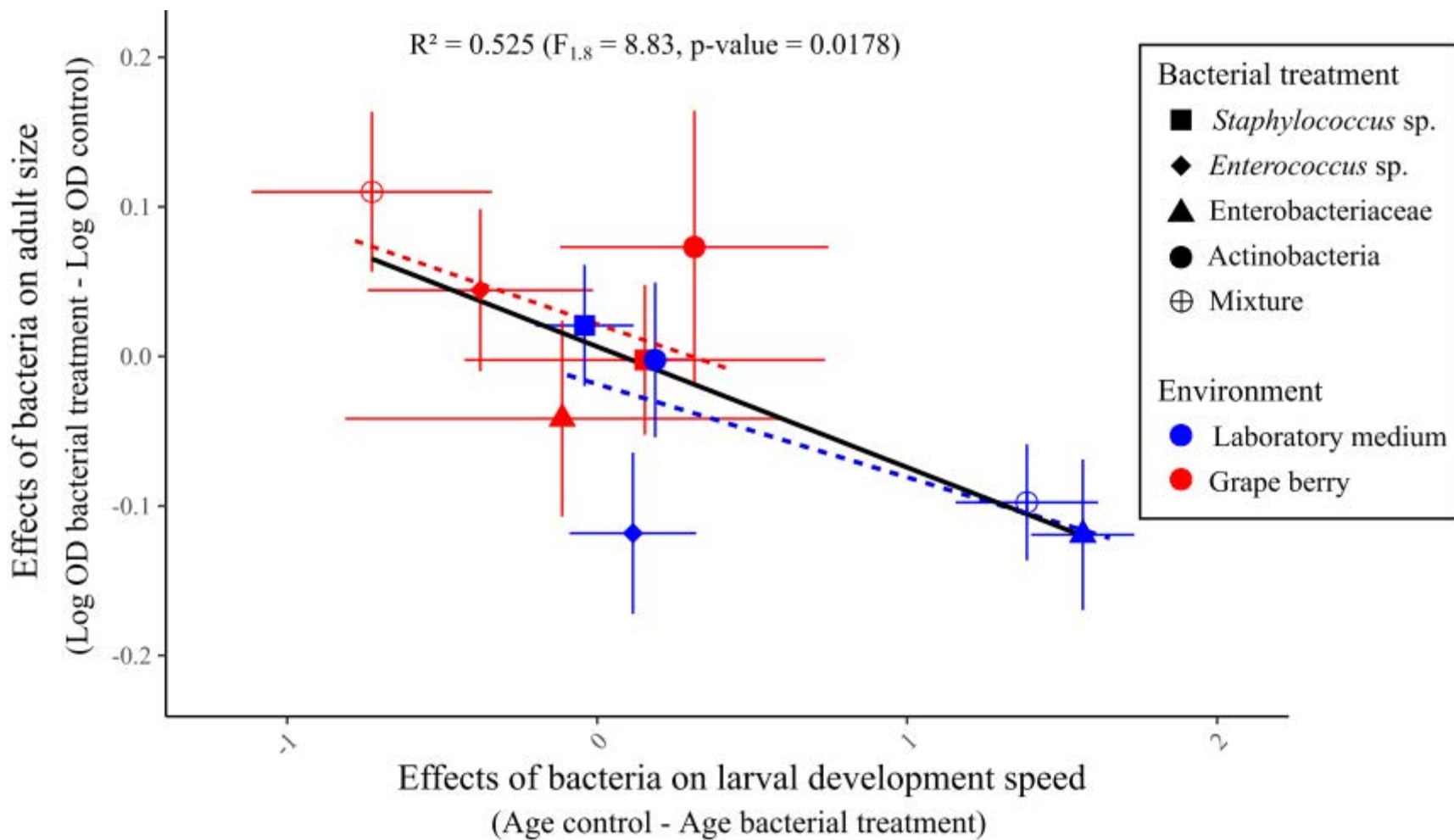




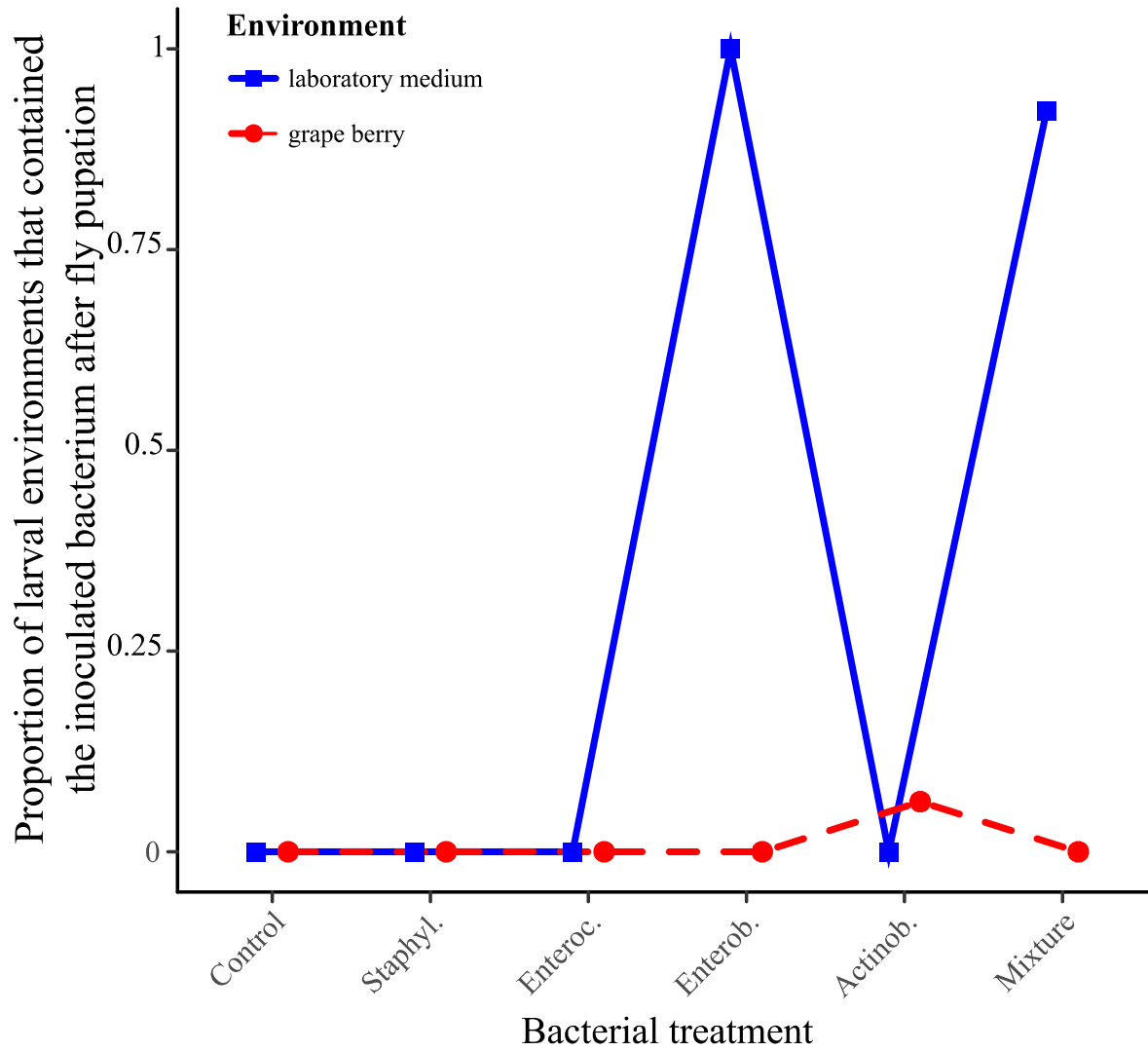


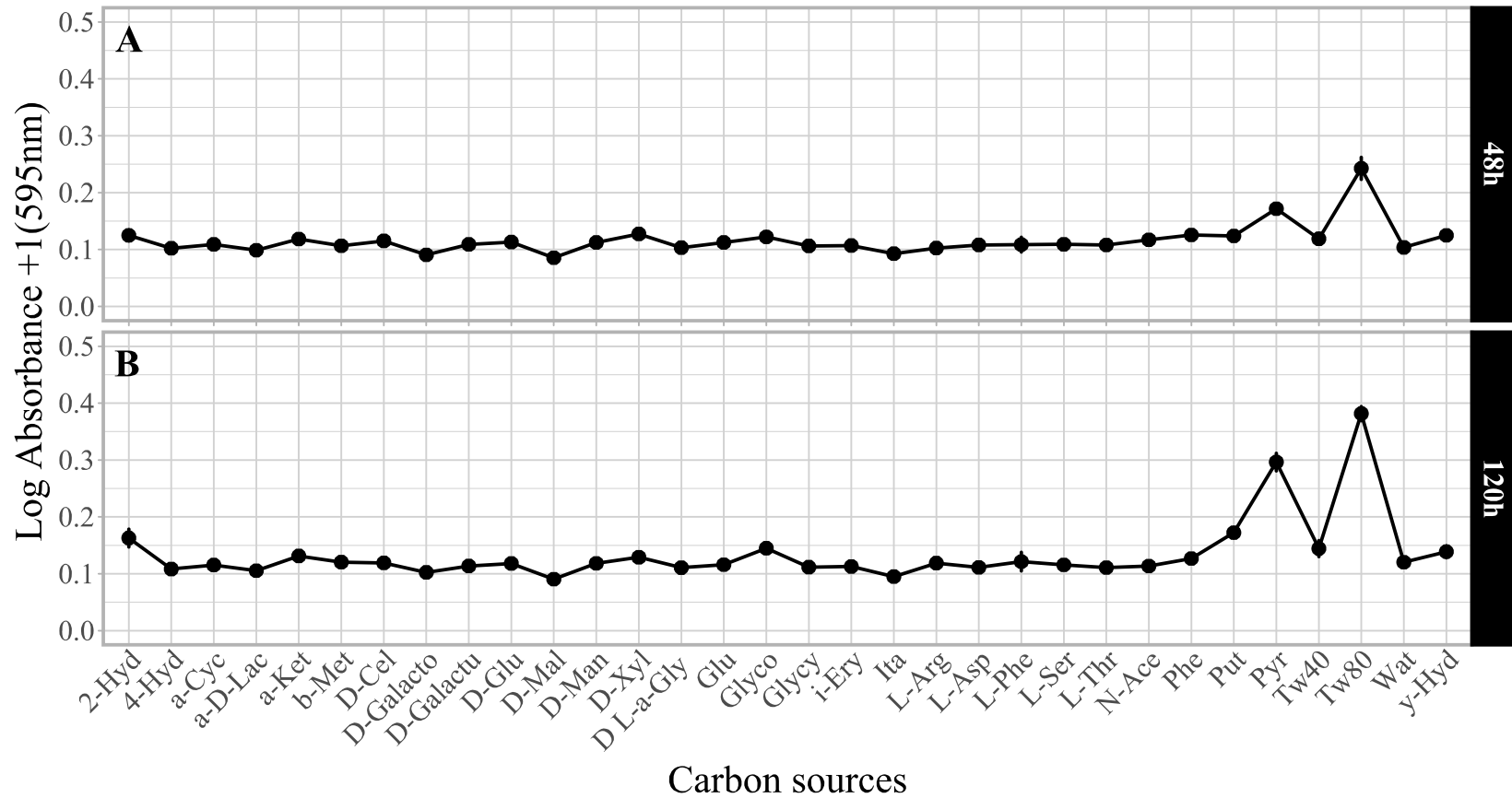


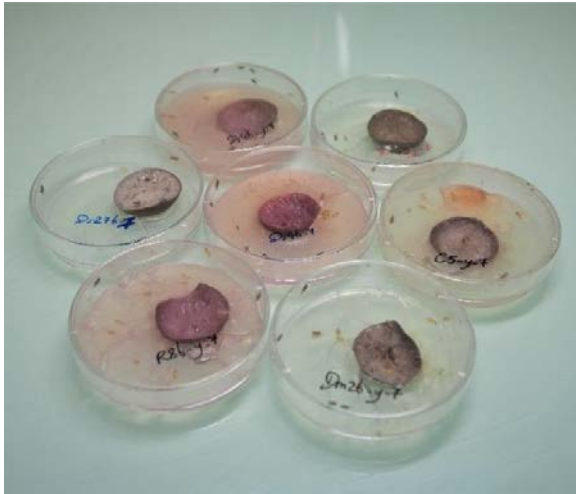
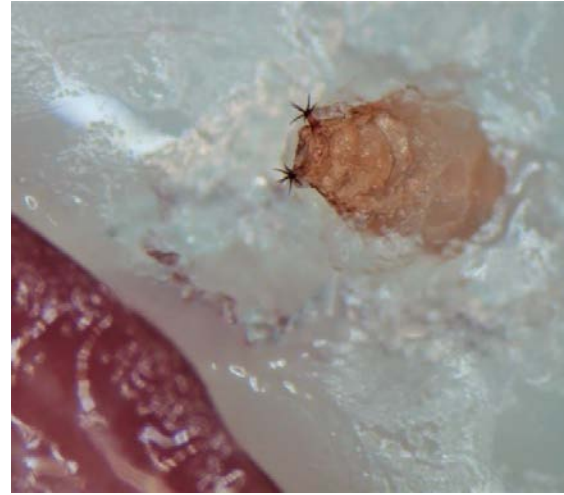
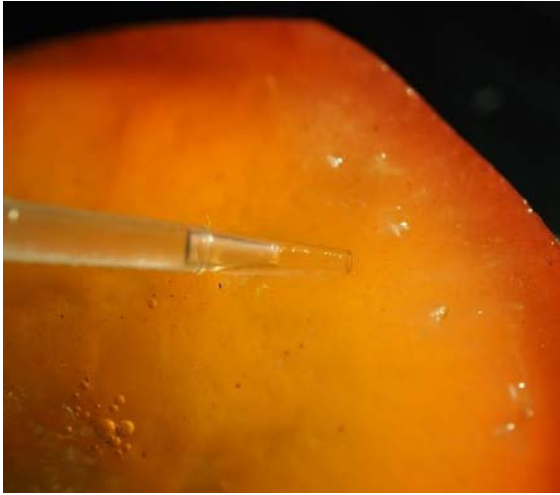


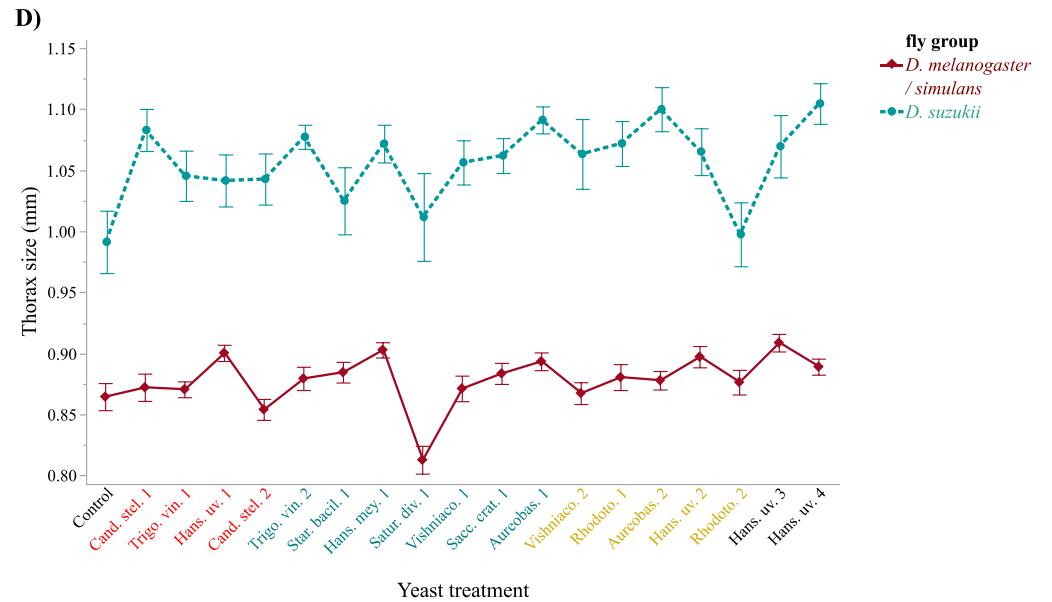
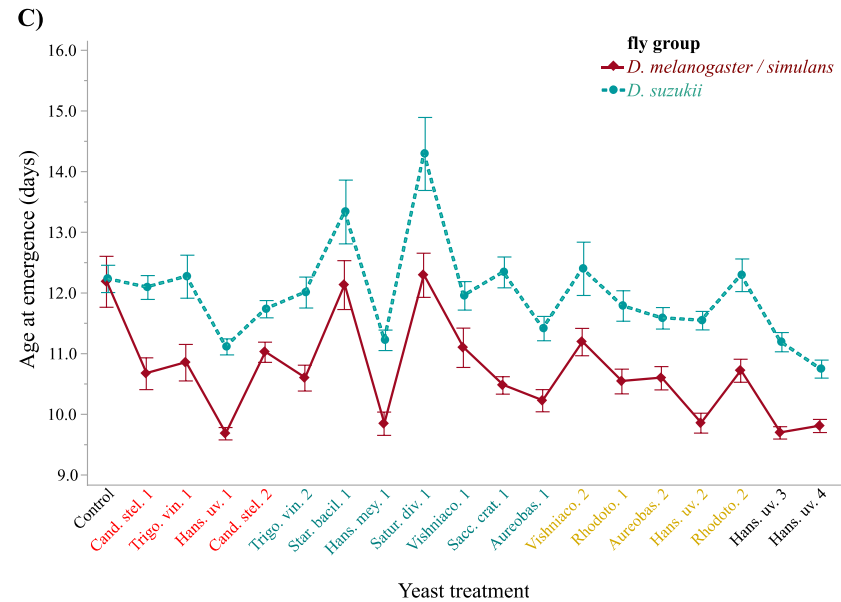
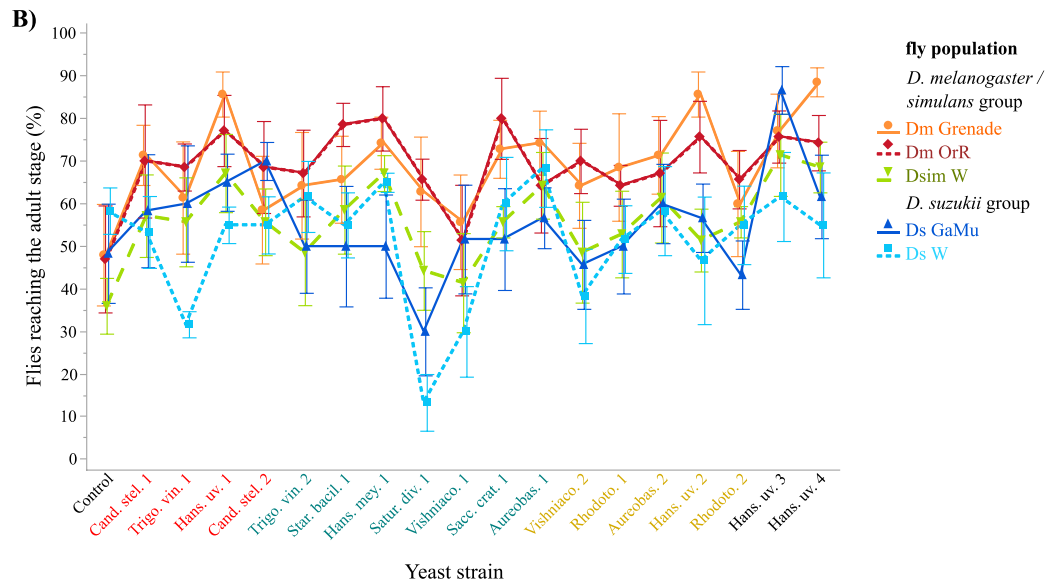
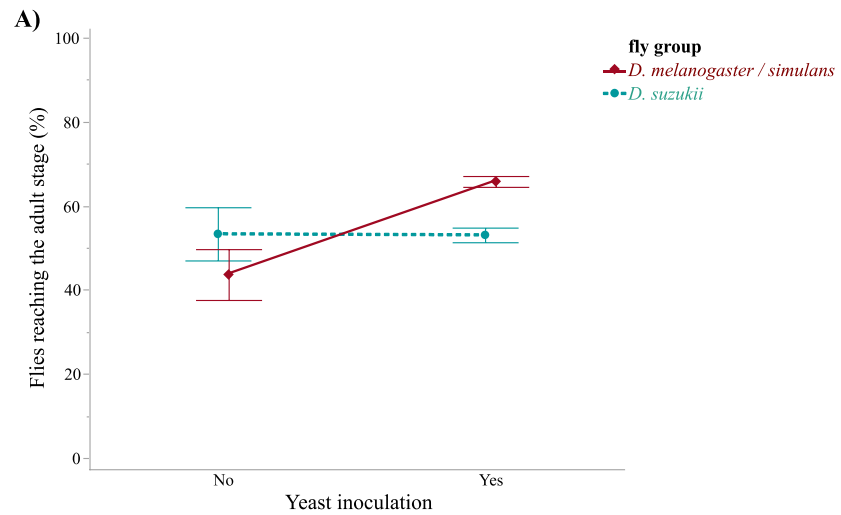






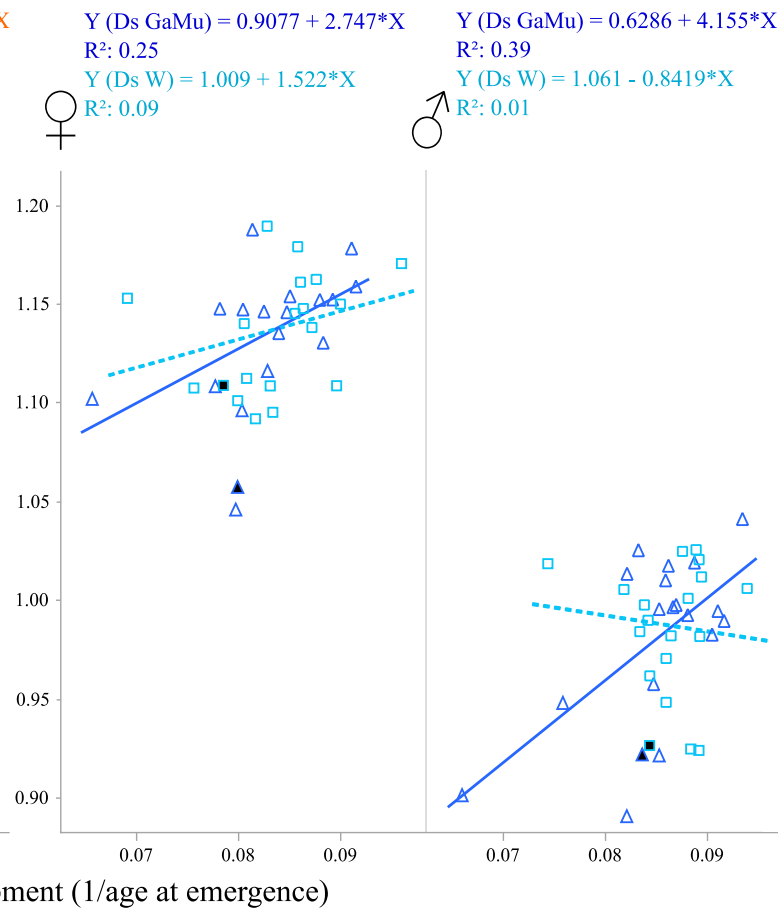
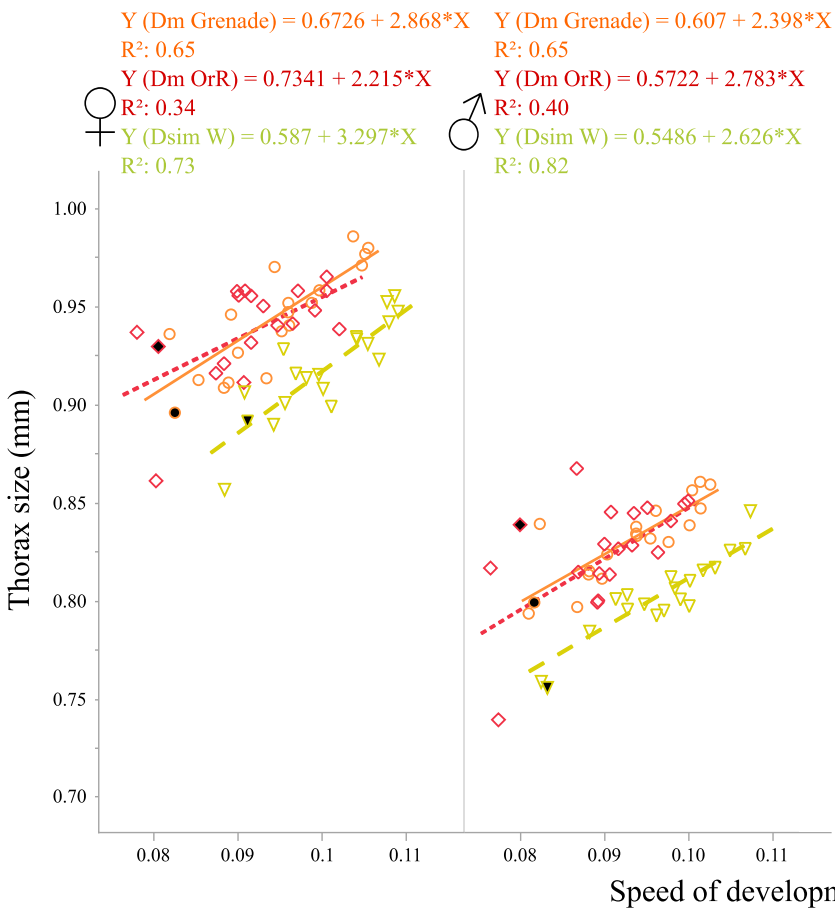




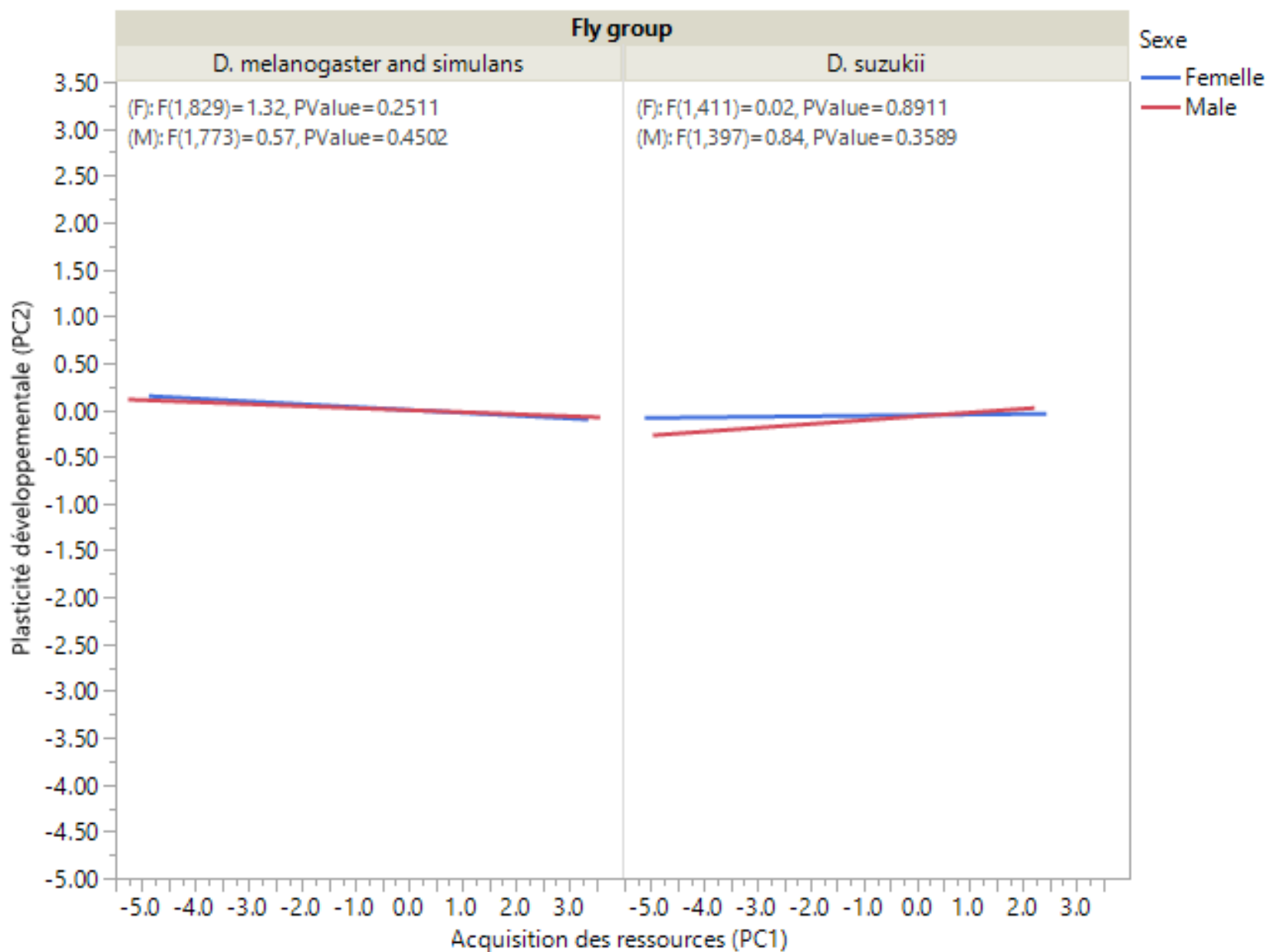


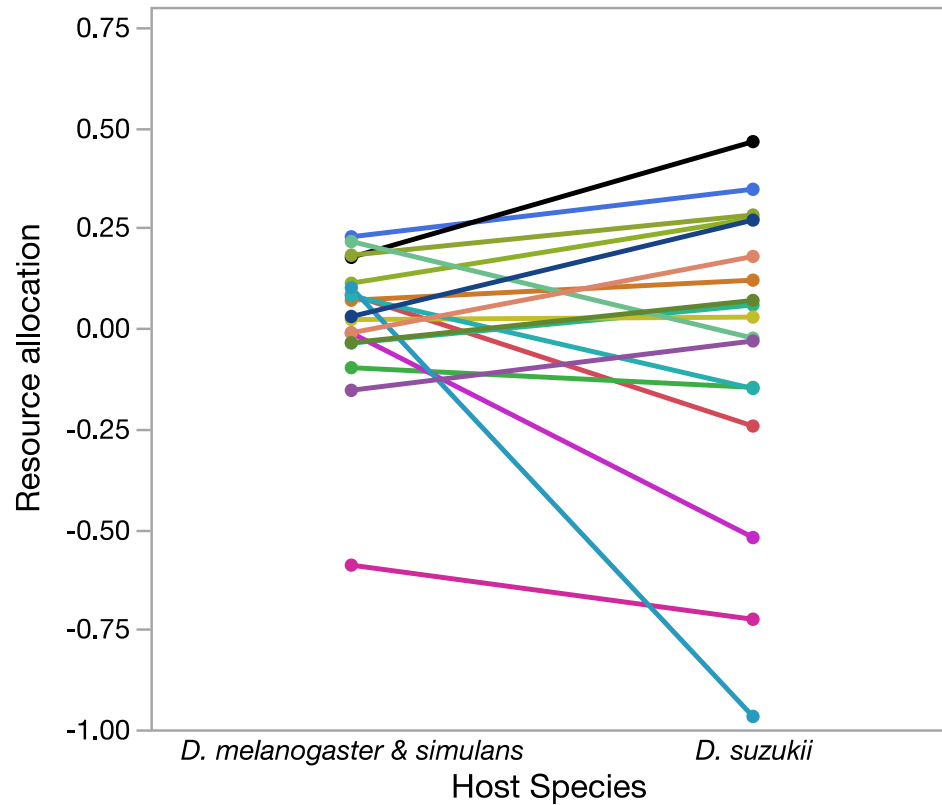
### A) *D. melanogaster* / *simulans* group

### B) *D. sukuzii* group

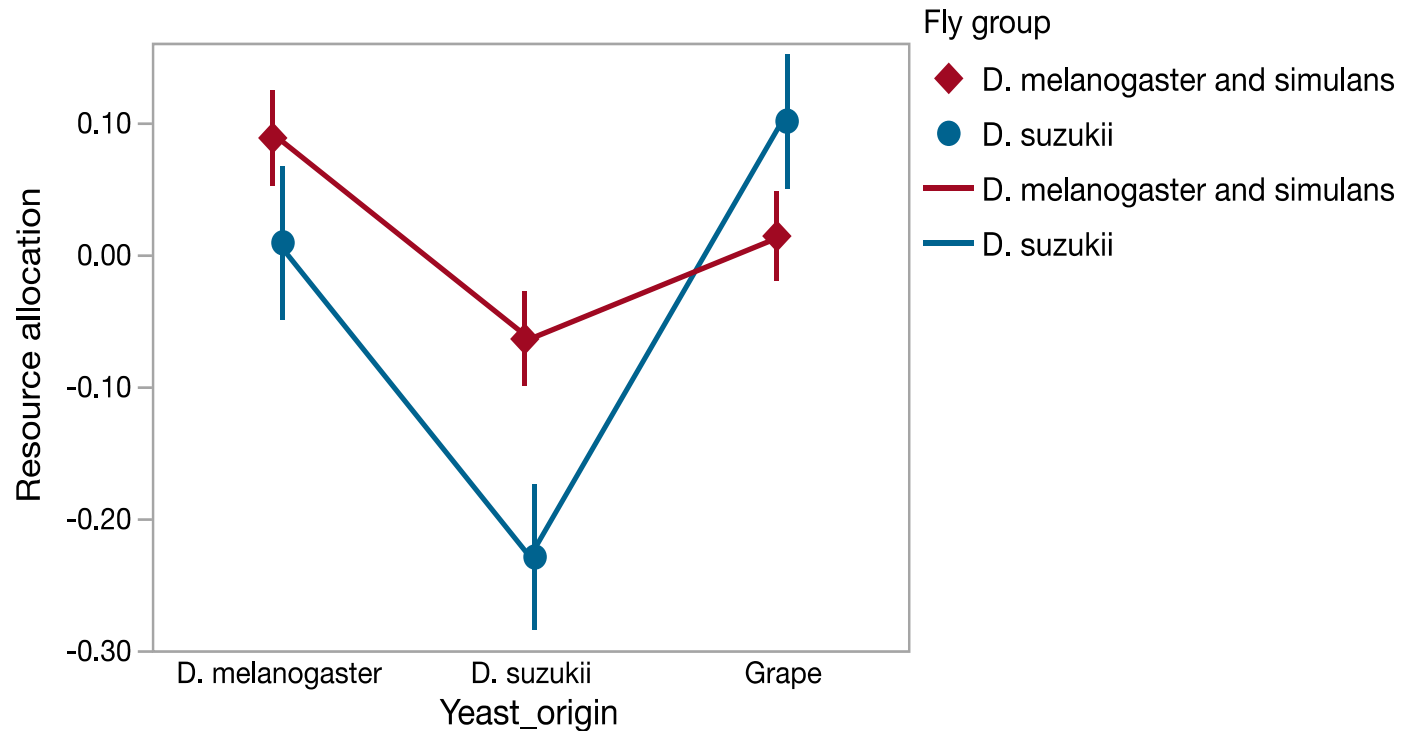


- fly population
- D. melanogaster* / *simulans* group
  - Dm Grenade
  - ◇ Dm OrR
  - ▽ Dsim W
  - D. sukuzii* group
  - △ Ds GaMu
  - Ds W





Les effets des souches de levures sur la plasticité développementale étaient plus variables chez *D. sukukii* que chez *D. mel. / sim.* (test de Levene,  $F_{1,34} = 6.8$ ,  $p = 0.013$ )



Les levures originaires de différentes sources ont différents effets sur la plasticité développementale. Ces effets dépendent de l'espèce de Drosophile : les levures originaires de *D. suzukii* accélèrent le développement de *D. suzukii* (au coût de produire des adultes plus petits).

Expliqué principalement par la souche *Saturnispora diversa*



# Vers la naturalité : du qualitatif au quantitatif

Exemple :

Symbiose généraliste

