

Les problèmes de couple dans les symbioses némato-bactériennes parasites d'insecte

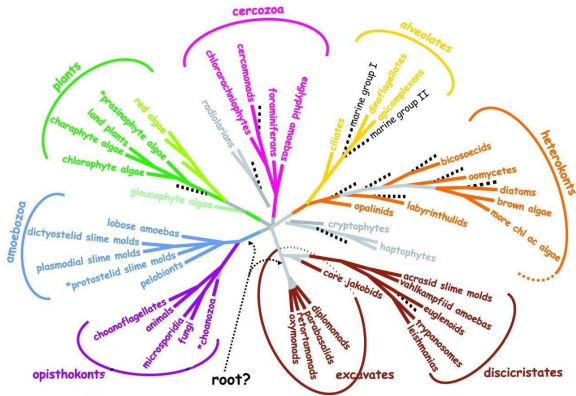
Vanya Emelianoff

Équipe Interactions
Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier

1^{er} juillet 2008

Symbioses mutualistes...

- ont évolué dans de nombreux groupes



Vue d'un peu loin, une association mutualiste présente les deux caractères du ménage parfait, fidélité et bonne entente [...]
(C. Combes, *Interactions Durables*, p 466)

Bonne entente ?

interaction bénéfique pour *les deux* partenaires ?

Fidélité ?

interaction avec *le même* partenaire ?

Vue d'un peu loin, une association mutualiste présente les deux caractères du ménage parfait, fidélité et bonne entente [...]
(C. Combes, *Interactions Durables*, p 466)

Bonne entente ?

interaction bénéfique pour *les deux* partenaires ?

Fidélité ?

interaction avec *le même* partenaire ?

Vue d'un peu loin, une association mutualiste présente les deux caractères du ménage parfait, fidélité et bonne entente [...]
(C. Combes, *Interactions Durables*, p 466)

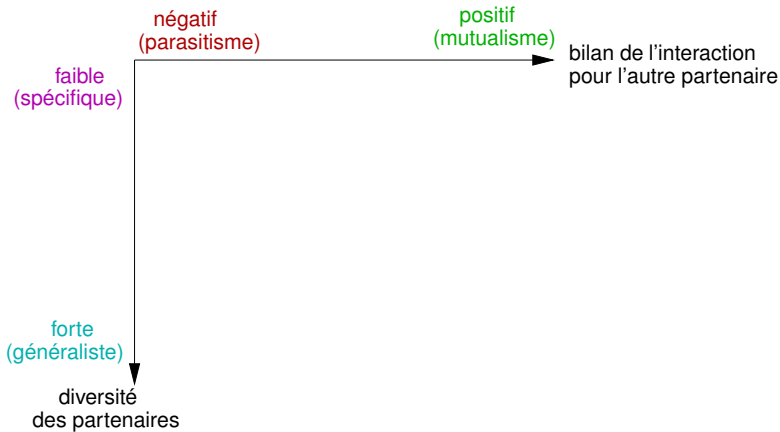
Bonne entente ?

interaction bénéfique pour *les deux* partenaires ?

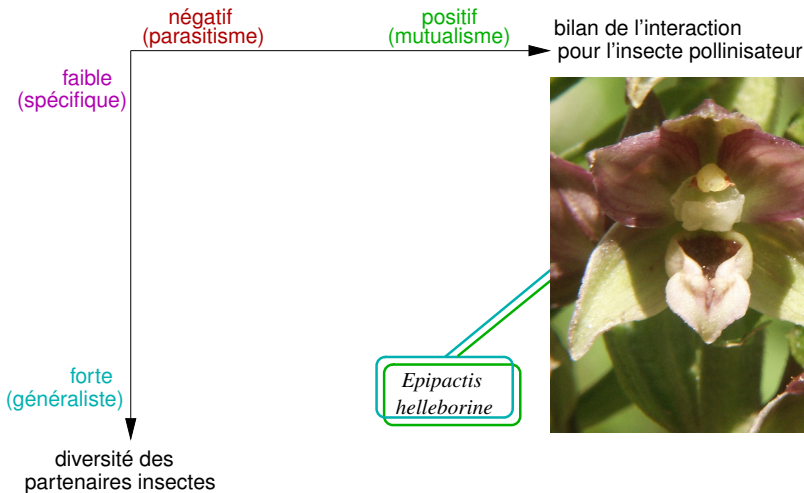
Fidélité ?

interaction avec *le même* partenaire ?

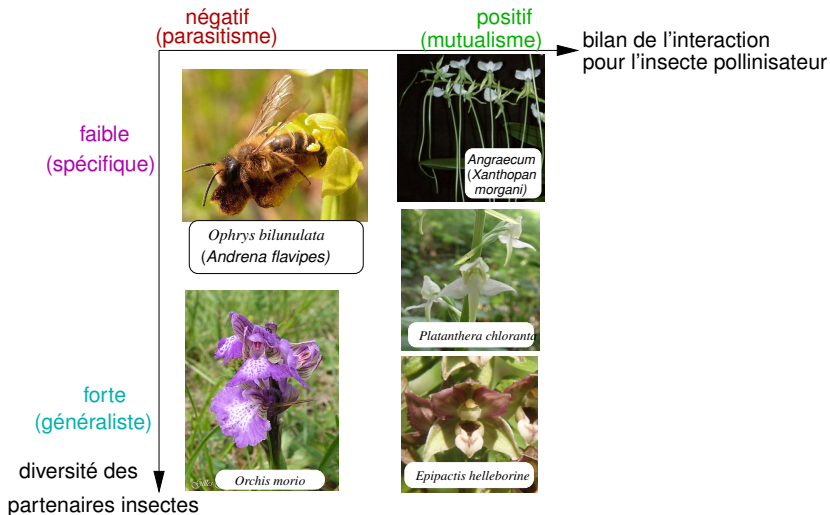
Divers cas de figure



Divers cas de figure

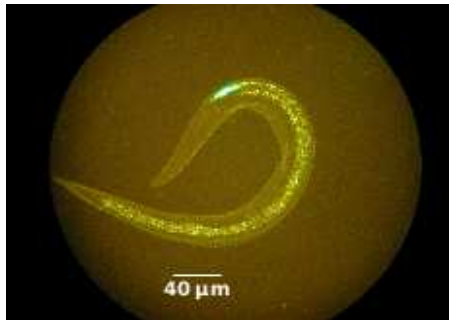


Divers cas de figure

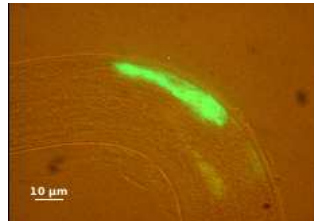


Partenaires de la symbiose

Stade infestant de *S. carpocapsae*
avec bactéries GFP

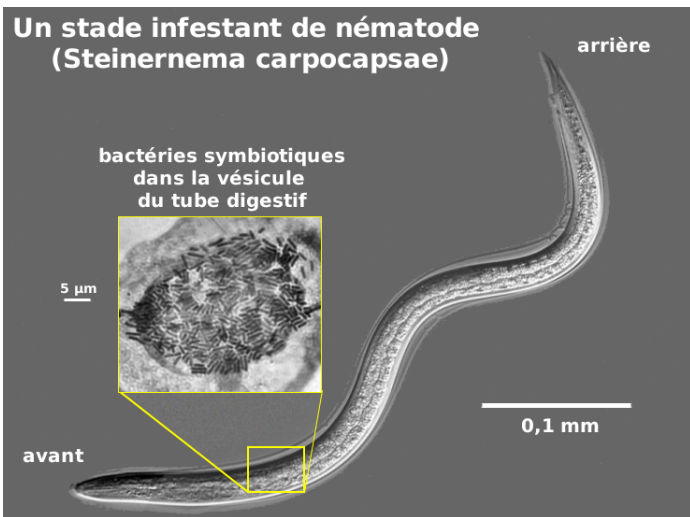


Zoom sur la vésicule
contenant les bactéries

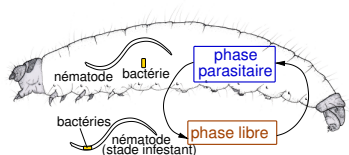
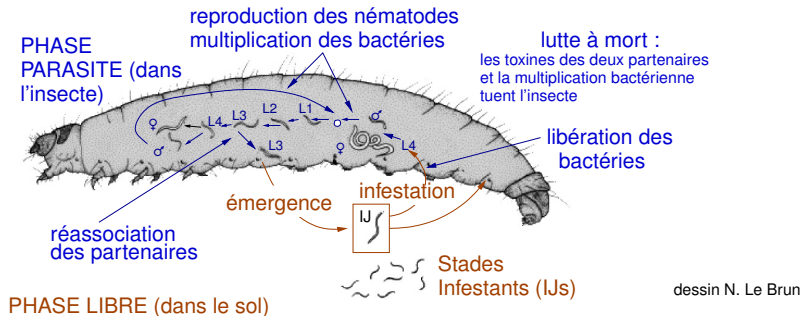


(clichés M. Sicard)

Partenaires de la symbiose



Cycle de vie des couples *Steinernema-Xenorhabdus*



Avantages du modèle biologique

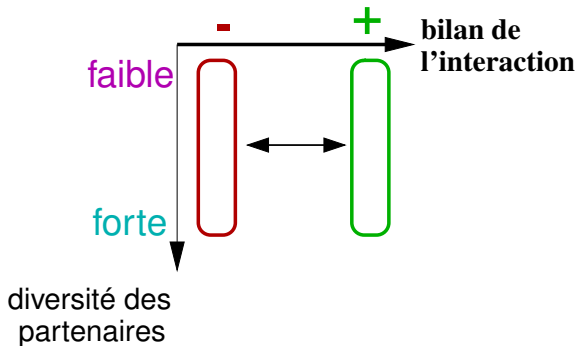
- cycle de vie rapide (14-20 jours)
- nombreux couples nématodes-bactéries au sein du genre *Steinernema*
- partenaires cultivables séparément

Hôte insecte

Galleria mellonella
(Lépidoptère, Pyralidae)

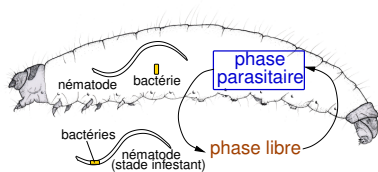
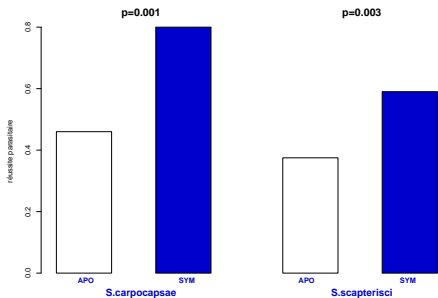


Coûts-bénéfices dans la symbiose



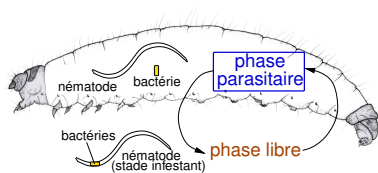
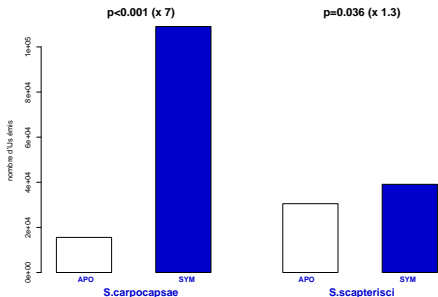
Bénéfice : reproduction en phase parasitaire

(1) réussite parasitaire (d'après Sicard & al. 2003)



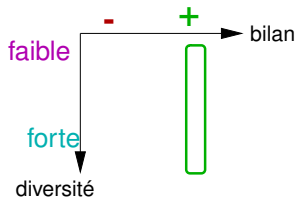
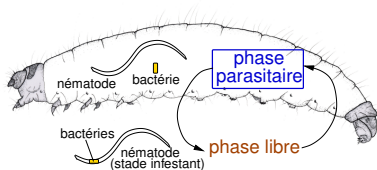
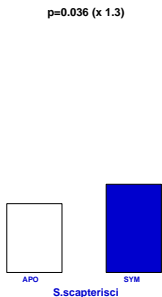
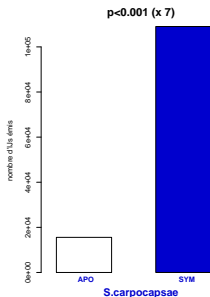
Bénéfice : reproduction en phase parasitaire

(2) succès reproductif (d'après Sicard & al. 2003)



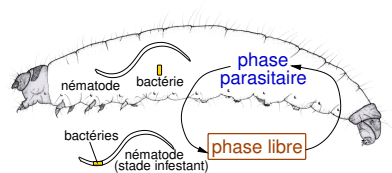
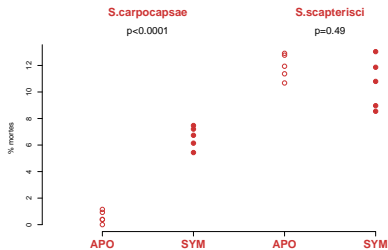
Bénéfice : reproduction en phase parasitaire

(2) succès reproductif (d'après Sicard & al. 2003)



État de l'art

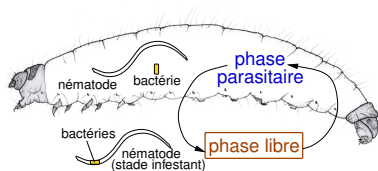
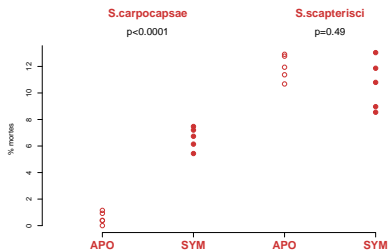
Coût : survie en phase libre



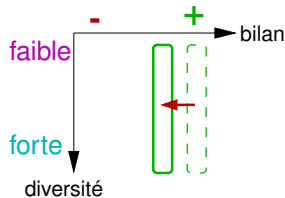
limite : *S. scapterisci*
"symbiotique"...

État de l'art

Coût : survie en phase libre



limite : *S. scapterisci*
"symbiotique"...



Observations (interspécifique)

Pour le nématode :

- bénéfice en phase parasitaire : reproduction
- coût en phase libre : mortalité à 25° C

Hypothèses (intraspécifique)

- + de bactéries → meilleure reproduction ?
- + de bactéries → + de mortalité ?
- compromis survie - reproduction ? Lien avec la symbiose ?

Modèle et méthode

- couple *S. carpocapsae* - *X. nematophila* : nombre variable de bactéries portées (Flores-Lara et al. 2007)
- mesures de reproduction, survie et nombre de bactéries portées

Observations (interspécifique)

Pour le nématode :

- bénéfice en phase parasitaire : reproduction
- coût en phase libre : mortalité à 25° C

Hypothèses (intraspécifique)

- + de bactéries → meilleure reproduction ?
- + de bactéries → + de mortalité ?
- compromis survie - reproduction ? Lien avec la symbiose ?

Modèle et méthode

- couple *S. carpocapsae* - *X. nematophila* : nombre variable de bactéries portées (Flores-Lara et al. 2007)
- mesures de reproduction, survie et nombre de bactéries portées

Observations (interspécifique)

Pour le nématode :

- bénéfice en phase parasitaire : reproduction
- coût en phase libre : mortalité à 25° C

Hypothèses (intraspécifique)

- + de bactéries → meilleure reproduction ?
- + de bactéries → + de mortalité ?
- compromis survie - reproduction ? Lien avec la symbiose ?

Modèle et méthode

- couple *S. carpocapsae* - *X. nematophila* : nombre variable de bactéries portées (Flores-Lara et al. 2007)
- mesures de reproduction, survie et nombre de bactéries portées

Observations (interspécifique)

Pour le nématode :

- bénéfice en phase parasitaire : reproduction
- coût en phase libre : mortalité à 25° C

Hypothèses (intraspécifique)

- + de bactéries → meilleure reproduction ?
- + de bactéries → + de mortalité ?
- compromis survie - reproduction ? Lien avec la symbiose ?

Modèle et méthode

- couple *S. carpocapsae* - *X. nematophila* : nombre variable de bactéries portées (Flores-Lara et al. 2007)
- mesures de reproduction, survie et nombre de bactéries portées

Observations (interspécifique)

Pour le nématode :

- bénéfice en phase parasitaire : reproduction
- coût en phase libre : mortalité à 25° C

Hypothèses (intraspécifique)

- + de bactéries → meilleure reproduction ?
- + de bactéries → + de mortalité ?
- compromis survie - reproduction ? Lien avec la symbiose ?

Modèle et méthode

- couple *S. carpocapsae* - *X. nematophila* : nombre variable de bactéries portées (Flores-Lara et al. 2007)
- mesures de reproduction, survie et nombre de bactéries portées

Observations (interspécifique)

Pour le nématode :

- bénéfice en phase parasitaire : reproduction
- coût en phase libre : mortalité à 25° C

Hypothèses (intraspécifique)

- + de bactéries → meilleure reproduction ?
- + de bactéries → + de mortalité ?
- compromis survie - reproduction ? Lien avec la symbiose ?

Modèle et méthode

- couple *S. carpocapsae* - *X. nematophila* : nombre variable de bactéries portées (Flores-Lara et al. 2007)
- mesures de reproduction, survie et nombre de bactéries portées

Observations (interspécifique)

Pour le nématode :

- bénéfice en phase parasitaire : reproduction
- coût en phase libre : mortalité à 25° C

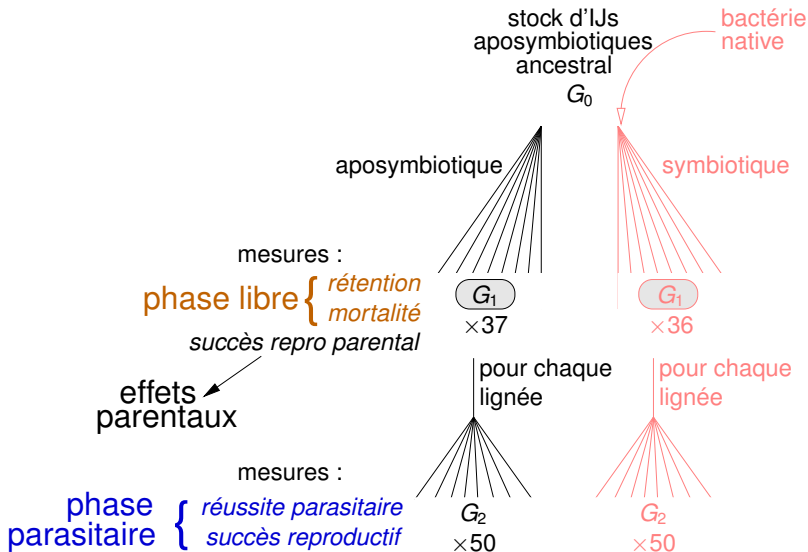
Hypothèses (intraspécifique)

- + de bactéries → meilleure reproduction ?
- + de bactéries → + de mortalité ?
- compromis survie - reproduction ? Lien avec la symbiose ?

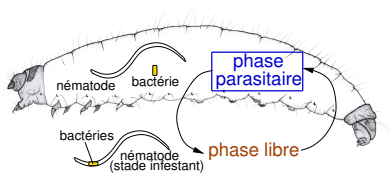
Modèle et méthode

- couple *S. carpocapsae* - *X. nematophila* : nombre variable de bactéries portées (Flores-Lara et al. 2007)
- mesures de reproduction, survie et nombre de bactéries portées

Plan d'expérience



corrélation réussite parasitaire - nombre de bactéries portées

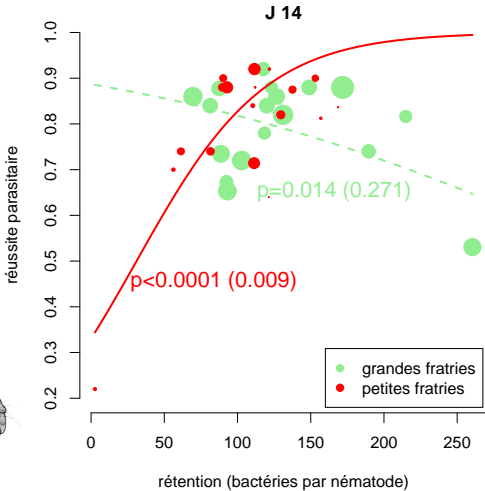
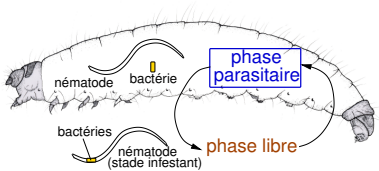


| facteur | significativité | sens de l'effet |
|---|-----------------|-----------------|
| succès reproductif parental | n.s. | |
| nombre de bactéries portées | *** | + |
| succès repro parental × nombre de bactéries portées | *** | - |

Résultats

corrélation réussite parasitaire - nombre de bactéries portées

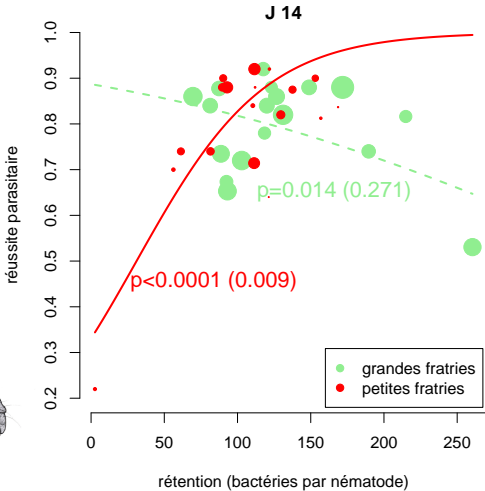
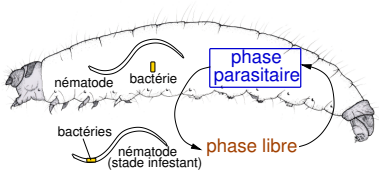
| facteur | significativité | sens de l'effet |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| succès reproductif parental | n.s. | |
| nombre de bactéries portées | *** | + |
| succès repro parental | *** | - |
| × nombre de bactéries portées | | - |



Résultats

corrélation réussite parasitaire - nombre de bactéries portées

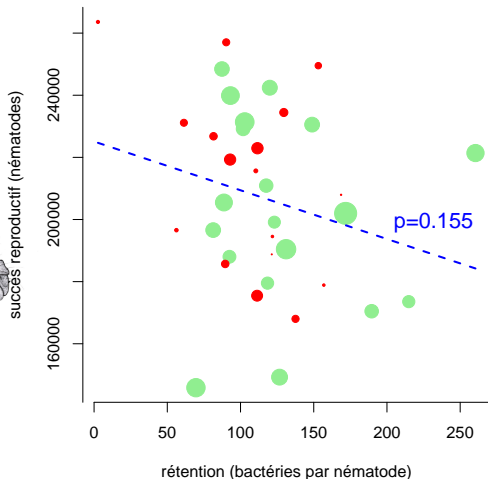
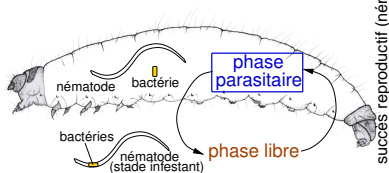
| facteur | significativité | sens de l'effet |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| succès reproductif parental | n.s. | |
| nombre de bactéries portées | *** | + |
| succès repro parental | *** | |
| × nombre de bactéries portées | *** | - |



Résultats

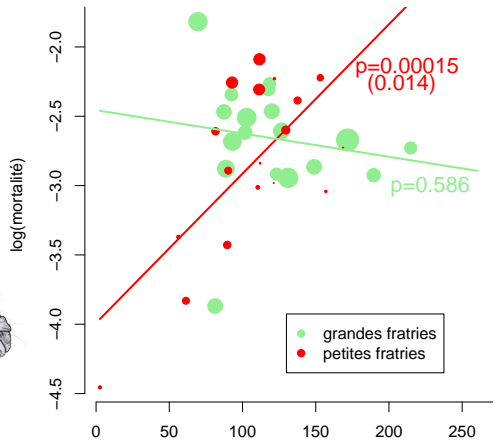
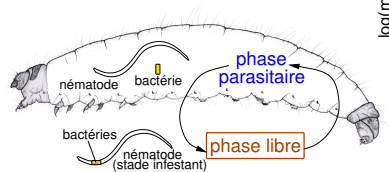
(pas de) corrélation succès reproductif - nombre de bactéries portées

| facteur | significativité |
|---|-----------------|
| succès reproductif parental | n.s. |
| nombre de bactéries portées | n.s. |
| succès repro parental × nombre de bactéries portées | n.s. |



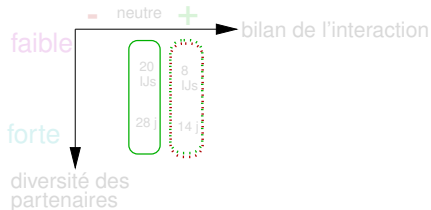
corrélation mortalité - nombre de bactéries portées

| facteur | significativité | sens de l'effet |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| succès reproductif parental | * | + |
| nombre de bactéries portées | * | + |
| succès repro parental | ** | ■ |
| × nombre de bactéries portées | | ■ |



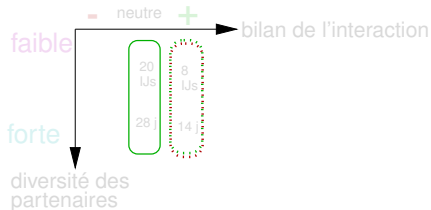
Un compromis symbiotique...

- existence d'un compromis survie - reproduction
- compromis lié à la présence des bactéries
 - corrélations avec le nombre de bactéries portées
 - comparaison symbiotiques / aposymbiotiques
- sévérité dépend des conditions environnementales
(détection plus facile en conditions "restrictives" que "favorables")



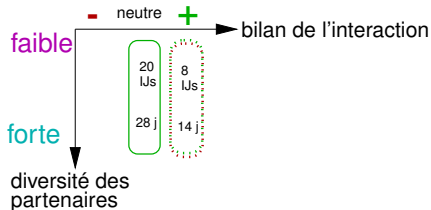
Un compromis symbiotique...

- existence d'un compromis survie - reproduction
- compromis lié à la présence des bactéries
 - corrélations avec le nombre de bactéries portées
 - comparaison symbiotiques / aposymbiotiques
- sévérité dépend des conditions environnementales
(détection plus facile en conditions "restrictives" que "favorables")

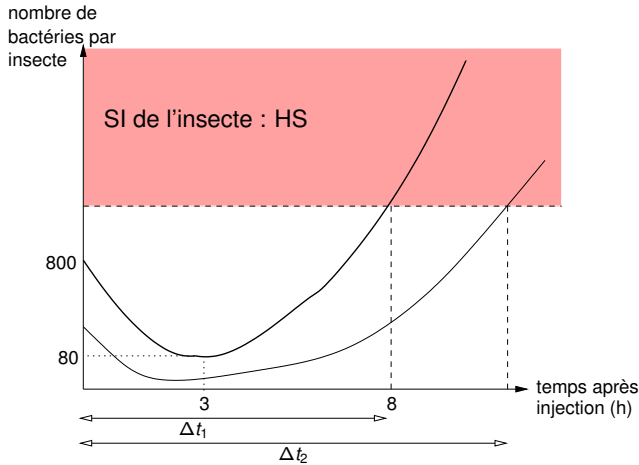


Un compromis symbiotique...

- existence d'un compromis survie - reproduction
- compromis lié à la présence des bactéries
 - corrélations avec le nombre de bactéries portées
 - comparaison symbiotiques / aposymbiotiques
- sévérité dépend des conditions environnementales
(détection plus facile en conditions "restrictives" que "favorables")



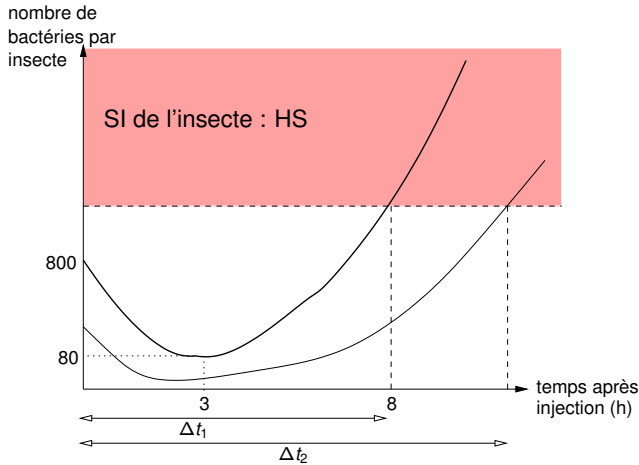
Mécanisme du bénéfice ?



(d'après Sicard & al. 2004)

- importance **précoce** des bactéries : effets sur la réussite parasitaire, jamais sur le succès reproductif

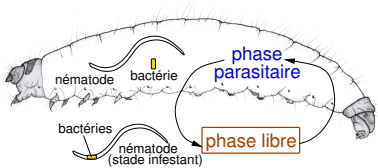
Mécanisme du bénéfice ?



(d'après Sicard & al. 2004)

- importance **précoce** des bactéries : effets sur la réussite parasitaire, jamais sur le succès reproductif

Mécanisme du coût ?



- les bactéries se multiplient, les nématodes ne se nourrissent pas
- détecté à 24 °C mais pas à 8 °C
- effet de la température sur la multiplication bactérienne

Importance évolutive du compromis ?

—→ effectif dans la nature ?

- conditions d'infestation ? (hôtes susceptibles ; rencontre facile)

- coût *in natura* ?

(données J.-M. Ourcival)

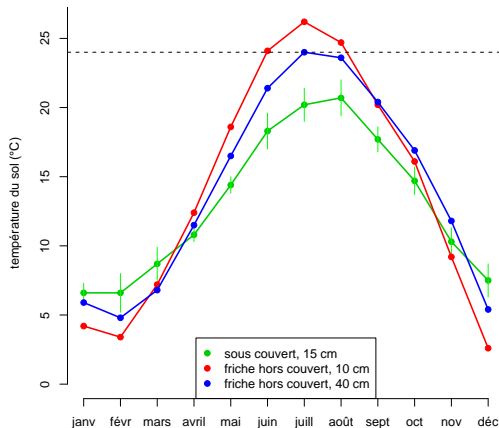
Importance évolutive du compromis ?

→ effectif dans la nature ?

- conditions d'infestation ? (hôtes susceptibles ; rencontre facile)

- coût *in natura* ?

(données J.-M. Ourcival)



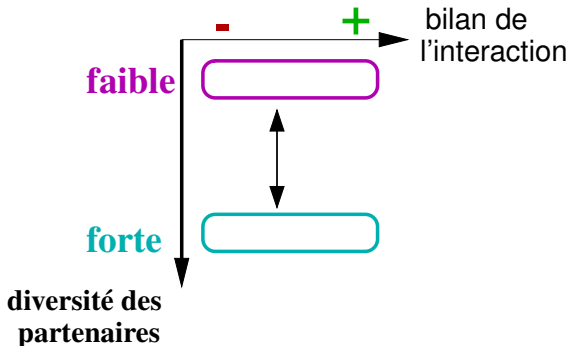
Importance évolutive du compromis ?

—→ déterminisme génétique des traits ?

Méthode : évolution expérimentale / sélection artificielle

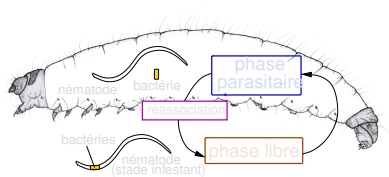
- sur le couple némato-bactérien
- sur les bactéries

Spécificité



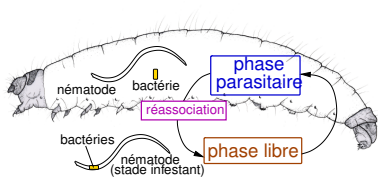
Au laboratoire...

- ré-associer des nématodes avec des bactéries non-partenaires
- mesurer, sur les associations naturelles et chimériques :
 - souches et nombre de bactéries portées
 - bénéfiques
 - coûts

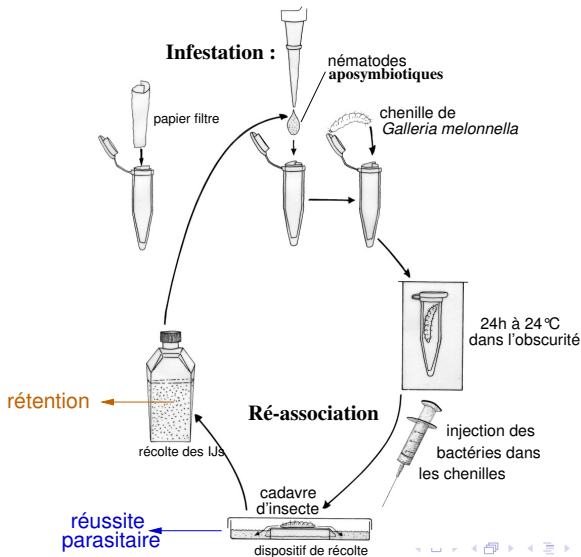


Au laboratoire...

- ré-associer des nématodes avec des bactéries non-partenaires
- mesurer, sur les associations naturelles et chimériques :
 - souches et nombre de bactéries portées
 - bénéfices
 - coûts



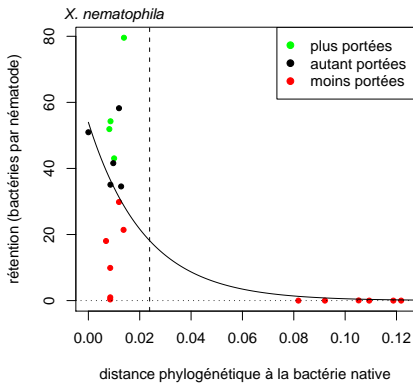
Méthode de ré-association nématode-bactéries



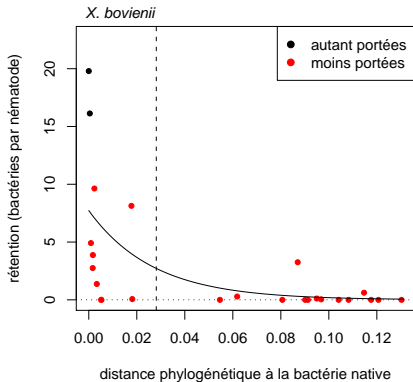
Résultats

nombre de bactéries portées

Steinernema carpocapsae

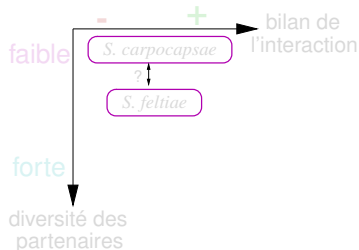


Steinernema feltiae



→ spécificité de rétention :

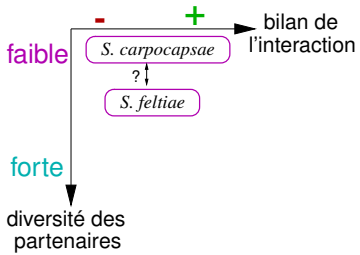
- existe
- + forte chez *S. carpocapsae* en inter-, mais pas en intra-spécifique
- non-congruence de la phylogénie (ADNr 16s) et de la rétention : évolution différente des gènes



Résultats

→ spécificité de rétention :

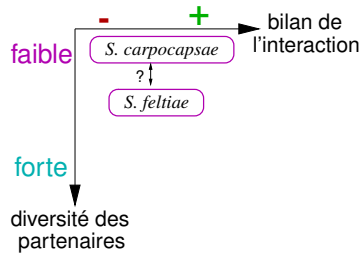
- existe
- + forte chez *S. carpocapsae* en inter-, mais pas en intra-spécifique
- non-congruence de la phylogénie (ADNr 16s) et de la rétention : évolution différente des gènes



Résultats

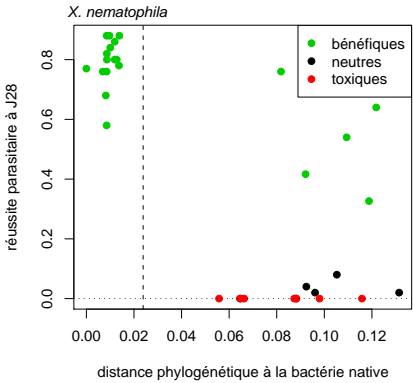
→ spécificité de rétention :

- existe
- + forte chez *S. carpocapsae* en inter-, mais pas en intra-spécifique
- non-congruence de la phylogénie (ADNr 16s) et de la rétention : évolution différente des gènes



réussite parasitaire

Steinernema carpocapsae

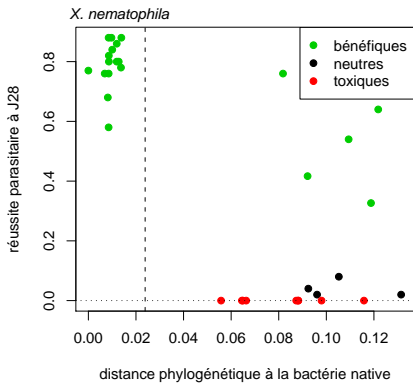


- spécificité de bénéfiques
- bactéries bénéfiques non retenues
→ gènes différents

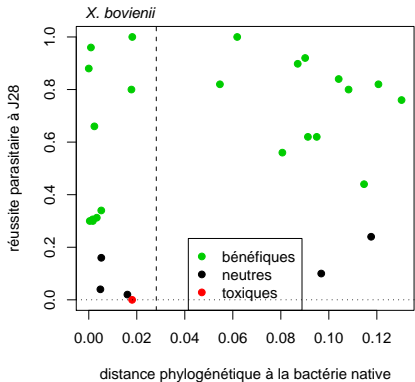
Résultats

réussite parasitaire

Steinernema carpocapsae



Steinernema feltiae



réussite parasitaire

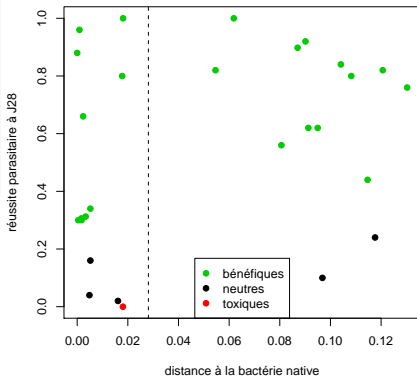
Observations

- pas de signal globalement mais...
- beaucoup de bactéries lointaines et bénéfiques
- forte variation de réussite entre souches proches

Hypothèses

- évolution rapide ?
- transferts latéraux de gènes ?
- autre mécanisme ?

Steinernema feltiae



réussite parasitaire

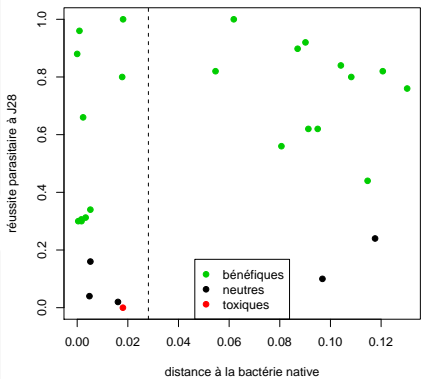
Observations

- pas de signal globalement mais...
- beaucoup de bactéries lointaines et bénéfiques
- forte variation de réussite entre souches proches

Hypothèses

- évolution rapide ?
- transferts latéraux de gènes ?
- autre mécanisme ?

Steinernema feltiae



Origine de la variabilité de réussite avec *X. bovienii* ?

- observation : beaucoup de transferts horizontaux
- réussite : bénéfiques nutritifs ET activités toxiques (antimicrobiens, nématocides)
- bactéries : arbitres des compétitions entre couples
- large aire de répartition de *S. feltiae*, donc de *X. bovienii*
→ compétitions fréquentes ?

Origine de la variabilité de réussite avec *X. bovienii* ?

- observation : beaucoup de transferts horizontaux
- réussite : bénéfiques nutritifs ET activités toxiques (antimicrobiens, nématocides)
- bactéries : arbitres des compétitions entre couples
- large aire de répartition de *S. feltiae*, donc de *X. bovienii*
→ compétitions fréquentes ?

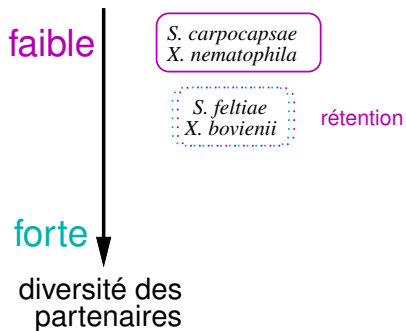
Origine de la variabilité de réussite avec *X. bovienii* ?

- observation : beaucoup de transferts horizontaux
- réussite : bénéfiques nutritifs ET activités toxiques (antimicrobiens, nématocides)
- bactéries : arbitres des compétitions entre couples
- large aire de répartition de *S. feltiae*, donc de *X. bovienii*
→ compétitions fréquentes ?

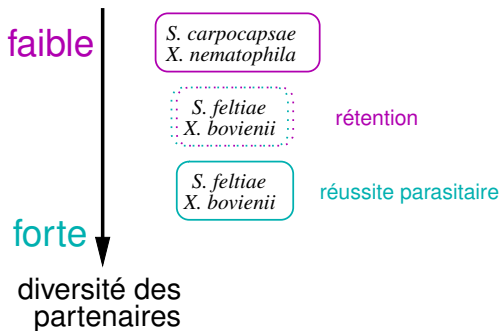
Origine de la variabilité de réussite avec *X. bovienii* ?

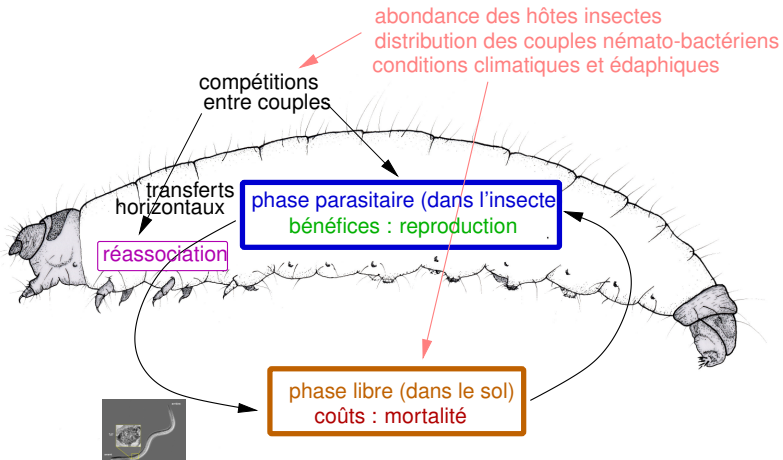
- observation : beaucoup de transferts horizontaux
- réussite : bénéfiques nutritifs ET activités toxiques (antimicrobiens, nématocides)
- bactéries : arbitres des compétitions entre couples
- large aire de répartition de *S. feltiae*, donc de *X. bovienii*
→ compétitions fréquentes ?

Des couples qui fonctionnent différemment...



Des couples qui fonctionnent différemment...





- **équipe Interactions, Nath, Elo, Bernard**
- ISEM ; EMIP : Sylvie
- techniciens, enseignants, chercheurs, thésards, étudiants
- producteurs bio
- amis, Mica, famille
- artistes : J.S. Bach, S. Barber, L.v. Beethoven, Bénabar, G. Brassens, F. Chopin, E. Elgar, les Fatals Picards, R. Garcia-Fons, G. Mahler, W.A. Mozart, Noir Désir, Paris Combo, J.-B. Pergolese, Radiohead, S. Rachmaninov, Renaud S., F. Schubert, D. Squiban...

merci de votre attention...

- équipe Interactions, Nath, Elo, Bernard
- ISEM ; EMIP : Sylvie
- techniciens, enseignants, chercheurs, thésards, étudiants
- producteurs bio
- amis, Mica, famille
- artistes : J.S. Bach, S. Barber, L.v. Beethoven, Bénabar, G. Brassens, F. Chopin, E. Elgar, les Fatals Picards, R. Garcia-Fons, G. Mahler, W.A. Mozart, Noir Désir, Paris Combo, J.-B. Pergolese, Radiohead, S. Rachmaninov, Renaud S., F. Schubert, D. Squiban...

merci de votre attention...

- équipe Interactions, Nath, Elo, Bernard
- ISEM ; EMIP : Sylvie
- techniciens, enseignants, chercheurs, thésards, étudiants
- producteurs bio
- amis, Mica, famille
- artistes : J.S. Bach, S. Barber, L.v. Beethoven, Bénabar, G. Brassens, F. Chopin, E. Elgar, les Fatals Picards, R. Garcia-Fons, G. Mahler, W.A. Mozart, Noir Désir, Paris Combo, J.-B. Pergolese, Radiohead, S. Rachmaninov, Renaud S., F. Schubert, D. Squiban...

merci de votre attention...

- équipe Interactions, Nath, Elo, Bernard
- ISEM ; EMIP : Sylvie
- techniciens, enseignants, chercheurs, thésards, étudiants
- producteurs bio
- amis, Mica, famille
- artistes : J.S. Bach, S. Barber, L.v. Beethoven, Bénabar, G. Brassens, F. Chopin, E. Elgar, les Fatals Picards, R. Garcia-Fons, G. Mahler, W.A. Mozart, Noir Désir, Paris Combo, J.-B. Pergolese, Radiohead, S. Rachmaninov, Renaud S., F. Schubert, D. Squiban...

merci de votre attention...

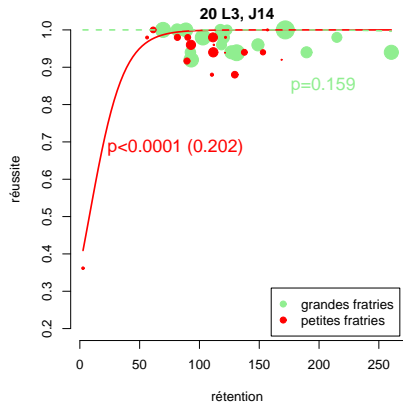
- équipe Interactions, Nath, Elo, Bernard
- ISEM ; EMIP : Sylvie
- techniciens, enseignants, chercheurs, thésards, étudiants
- producteurs bio
- amis, Mica, famille
- artistes : J.S. Bach, S. Barber, L.v. Beethoven, Bénabar, G. Brassens, F. Chopin, E. Elgar, les Fatals Picards, R. Garcia-Fons, G. Mahler, W.A. Mozart, Noir Désir, Paris Combo, J.-B. Pergolese, Radiohead, S. Rachmaninov, Renaud S., F. Schubert, D. Squiban...

merci de votre attention...

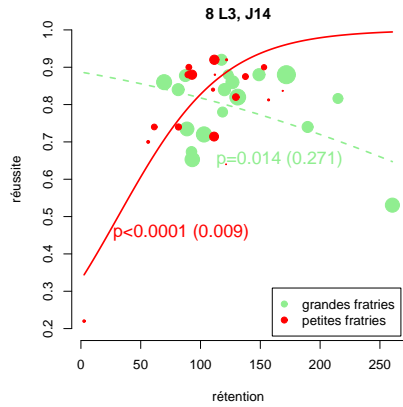
- équipe Interactions, Nath, Elo, Bernard
- ISEM ; EMIP : Sylvie
- techniciens, enseignants, chercheurs, thésards, étudiants
- producteurs bio
- amis, Mica, famille
- artistes : J.S. Bach, S. Barber, L.v. Beethoven, Bénabar, G. Brassens, F. Chopin, E. Elgar, les Fatals Picards, R. Garcia-Fons, G. Mahler, W.A. Mozart, Noir Désir, Paris Combo, J.-B. Pergolese, Radiohead, S. Rachmaninov, Renaud S., F. Schubert, D. Squiban...

merci de votre attention...

corrélation réussite parasitaire-rétention

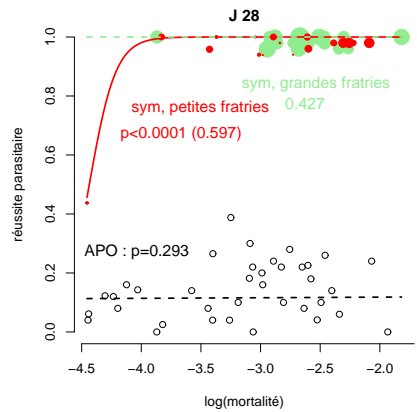
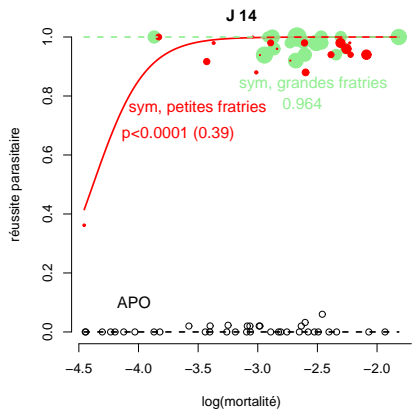


J28 : $p<0.0001 (0.351)$; $p=0.348$

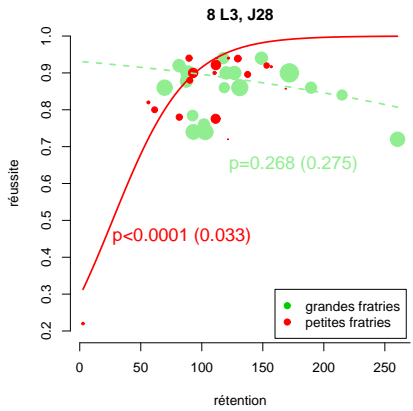
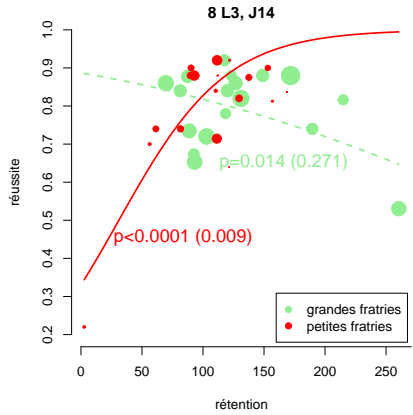


J28 : $p<0.0001 (0.033)$; $p=0.268$

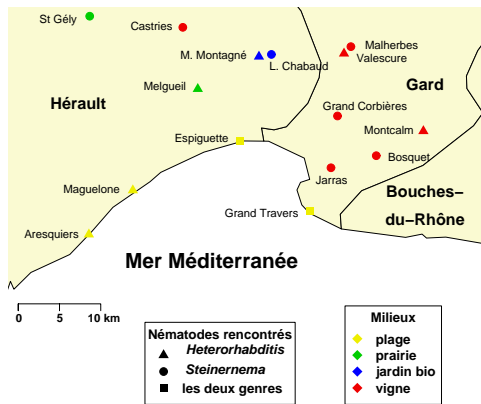
corrélation réussite parasitaire (20 IJs) - mortalité



réétention-réussite, 8 IJs

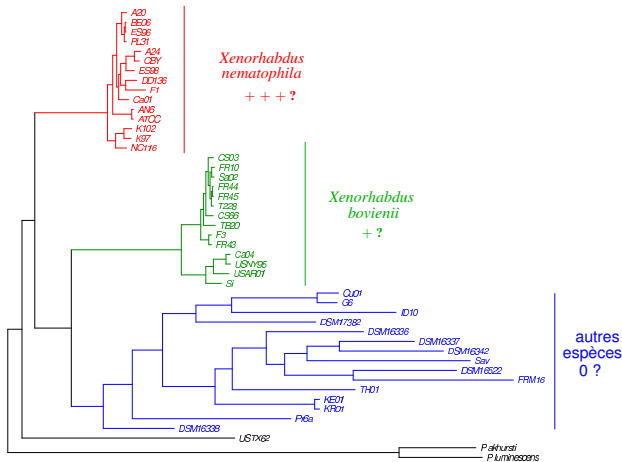


Couples trouvés sur le terrain



- *H. b. 1* ↔ *P. l. ssp. kayaii*
- *H. b. 2* ↔ *P. l. ssp. laumondii* sauf en un site (Montcalm)
- *S. feltiae* ↔ *X. bovienii*
- *S. affine* ↔ *X. bovienii*
- *S. ~ arenarium* ↔ *X. kozodoii*

Hypothèse

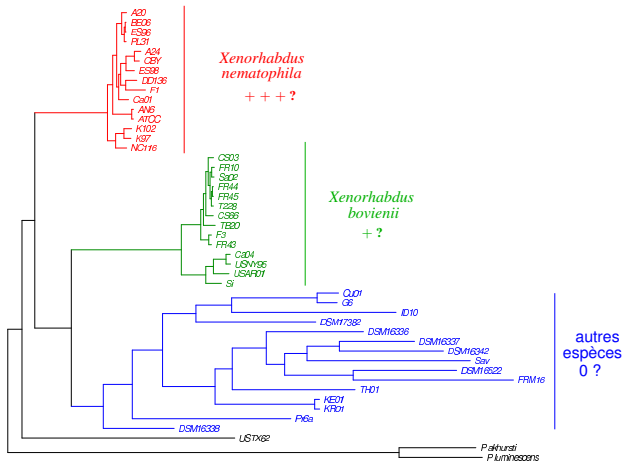


- notion de toxicité
- évolution des gènes 16s - toxicité

autres espèces
0 ?

Rab

Hypothèse

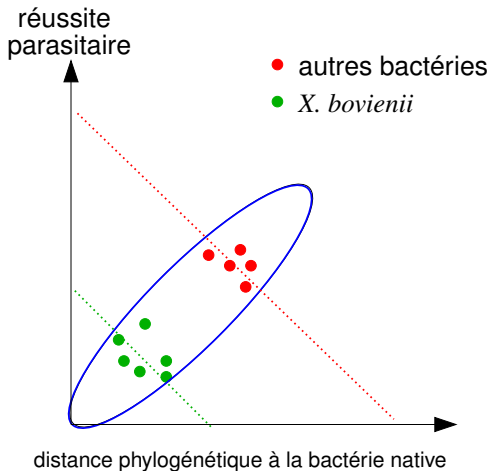


- notion de toxicité
- évolution des gènes 16s - toxicité

autres espèces
0 ?

Rab

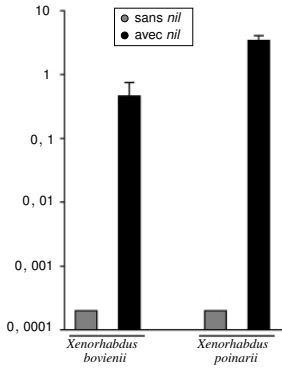
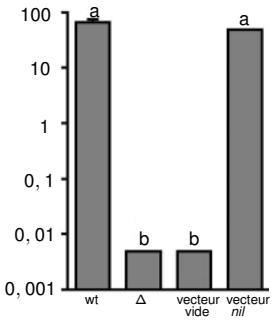
Hypothèse (bis)



modèle mortalité manip trade-off

$$\%vivantes = \exp(A \times t + b) \quad (1)$$

Gènes *nil* de *Xenorhabdus nematophila*



gènes nécessaires...

... et suffisants

pour la colonisation de *Steinernema carpocapsae* (Cowles & Goodrich-Blair 2008)

Méthodes modélo

- modèle inspiré du modèle SI
- dynamique adaptative :
 - initialement : population résidente à l'équilibre (1 seul type de nématodes),
 - introduction d'un mutant de rétention => nouvel équilibre ? Conditions d'invasion ?

Formalisme : population résidente

variables :

- X : densité IJs
- H : densité hôtes sains
- I : densité hôtes infectés

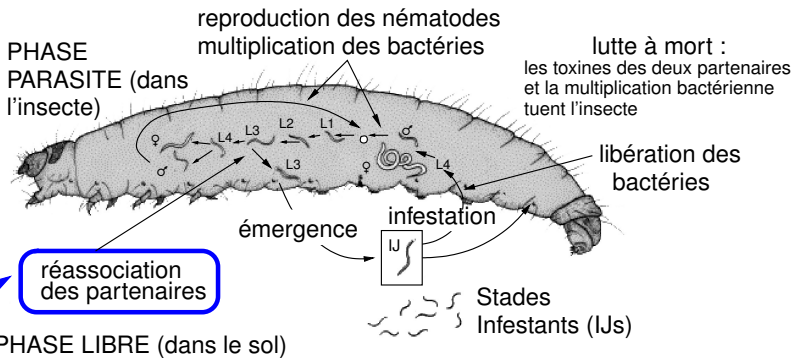
$$\frac{dX}{dt} = wI - mX - \beta H \frac{X}{1 + aX}$$

$$\frac{dH}{dt} = rH \left(1 - \frac{H}{K}\right) - \beta H \frac{X}{1 + aX}$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta H \frac{X}{1 + aX} - vI$$

paramètres :

- w : fécondité du nématode
- m : mortalité des IJs
- β : transmissibilité des IJs
- a : constante
- r : taux de croissance exponentiel de la pop d'hôtes insectes
- K : capacité biotique de la pop d'hôtes insectes
- v : vitesse de décomposition d'un insecte infesté



bénéfices ?

