

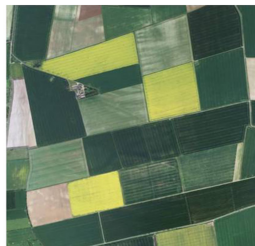
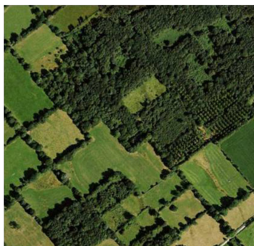
Emergence de pathogènes et dynamiques éco-évolutives à l'interface agro-écologique

AG du département MIA

Julien Papaïx, Florian Lavigne, Guillaume Martin, Karine Berthier, Peter Thrall, Lionel Roques...



L'interface agro-écologique



Land use characterised by:



Low level arable use
High pasture frequency
~50% woodland areas
Marked hedgerows

Medium level arable use
Some pasture
~20% woodland areas
Reduced hedgerows

100% arable use
0% pasture
0% woodland areas
Little/no field separation

L'émergence de nouveaux pathogènes

L'exemple de la fusariose du coton (Wang *et al.*, 2010)



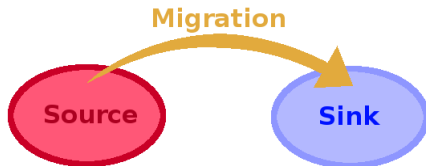
- ▶ Le coton est cultivé extensivement depuis le début des années 1960 en Australie et la fusariose a été reportée en 1993 pour la première fois.
- ▶ 17 espèces sauvages de *Gossypium* sont indigènes d'Australie et des isolats de *F. oxysporum* causent de légers symptômes sur le coton cultivé.

⇒ Les races de *F. oxysporum* agressives sur le coton commercial ont évolué localement.

Quelques questions

- ▶ Quelles sont les implications des dynamiques évolutives dans le compartiment sauvage sur l'évolution et l'épidémiologie des pathogènes agricoles ?
- ▶ Quel rôle joue la structure spatio-temporelle de l'interface agro-écologique et l'écologie (en particulier la dispersion spatiale et temporelle) des organismes impliqués sur l'émergence et la récurrence des bio-agresseurs agricoles ?

Temps d'émergence dans des systèmes source-puits



Dynamique démographique dans le puits en présence de migration :

$$N'(t) = \bar{r}N(t) + d$$

1. Si \bar{r} est constant, alors $N(t)$ tend vers $-d/\bar{r}$.
2. Ici, la dynamique de $\bar{r} = \bar{r}(t)$ est la conséquence d'une adaptation des migrants dans ce nouvel environnement.

⇒ y a-t-il établissement ?

Temps d'émergence dans des systèmes source-puits

- ▶ Les individus sont décrits par un phénotype en n -dimension, $\mathbf{g} \in \mathbb{R}^n$.
- ▶ Il existe un unique phénotype optimal $\mathbf{g}^* \in \mathbb{R}^n$ maximisant la fitness :

$$r(\mathbf{g}) = r_{\max} + m(\mathbf{g}), \text{ avec } m(\mathbf{g}) = -\frac{\|\mathbf{g} - \mathbf{g}^*\|^2}{2}$$

- ▶ Fonction génératrice des cumulants (CGF) de la fonction de fitness :

$$C_t(z) = \log \left(\frac{1}{N(t)} \sum_{i=1}^{N(t)} e^{m_i z} \right)$$

Temps d'émergence dans des systèmes source-puits

Dynamiques de la fitness et de la taille de population dans le puits

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial_t \mathcal{C}_t(z) = \underbrace{\partial_z \mathcal{C}_t(z) - \partial_z \mathcal{C}_t(0)}_{\text{selection}} \underbrace{-\mu^2 z^2 \partial_z \mathcal{C}_t(z) - \mu n/2 z}_{\text{mutation}} \\ \quad + \underbrace{\frac{d}{N(t)} \left(\mathbb{E} [e^{m_{migr} z}] e^{-\mathcal{C}_t(z)} - 1 \right)}_{\text{migration}}, \quad \forall z \geq 0, \quad \forall t > 0, \\ N'(t) = (r_{\max} + \bar{m}_t) N(t) + d \end{array} \right.$$

où $\bar{m}_t = \partial_z \mathcal{C}_t(0)$, $\mu = \sqrt{U\lambda}$.

Temps d'émergence dans des systèmes source-puits



Temps d'émergence : temps $t_0 \in (0, \infty)$ correspondant à $\bar{r}_{t_0} = 0$.

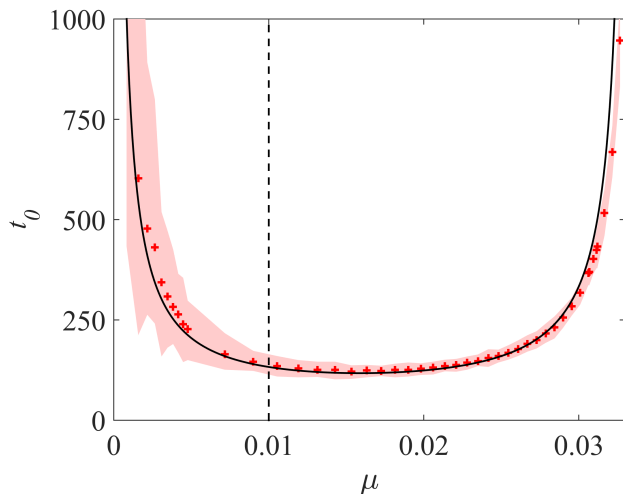
- ▶ Si $r_{\max} - \mu n/2 \leq 0$, alors t_0 est infini, la population ne s'adaptera pas au puits.
- ▶ Si $0 < r_{\max} - \mu n/2 \leq m_D$, alors t_0 existe et est fini, la population s'adaptera au puits :

$$t_0 = \frac{1}{2\mu} [c + W_0(-ce^{-c})], \text{ avec } c = \frac{m_D}{r_{\max} - \mu n/2}.$$

Temps d'émergence dans des systèmes source-puits

Effet de la mutation

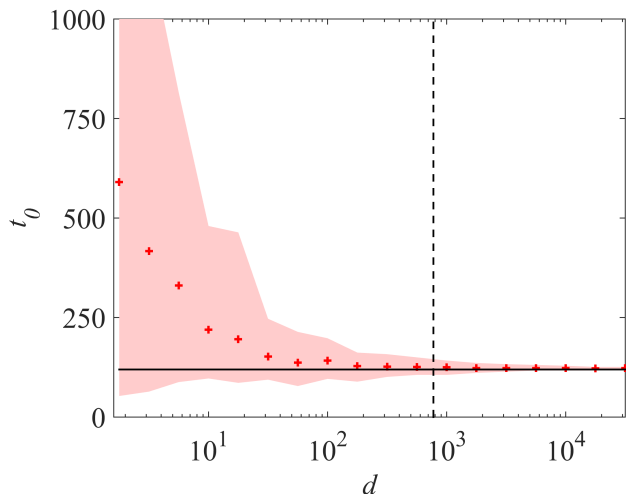
$$m_D = 0.2, d = 10^3, r_{\max} = 0.1, \lambda = 1/300, n = 6$$



Temps d'émergence dans des systèmes source-puits

Effet de la dispersion

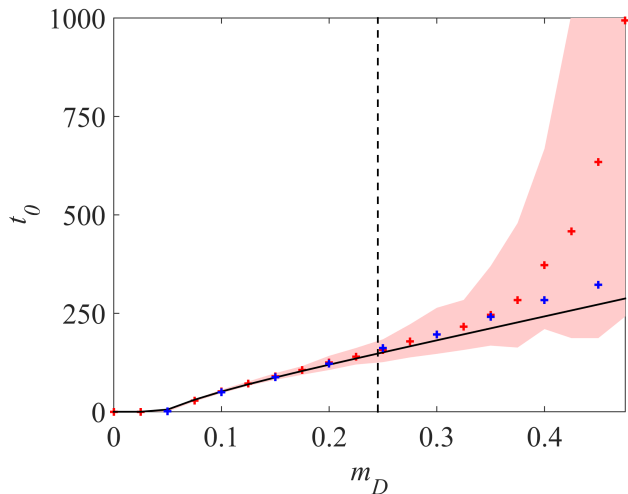
$$m_D = 0.2, U = 0.1, r_{\max} = 0.1, \lambda = 1/300, n = 6$$



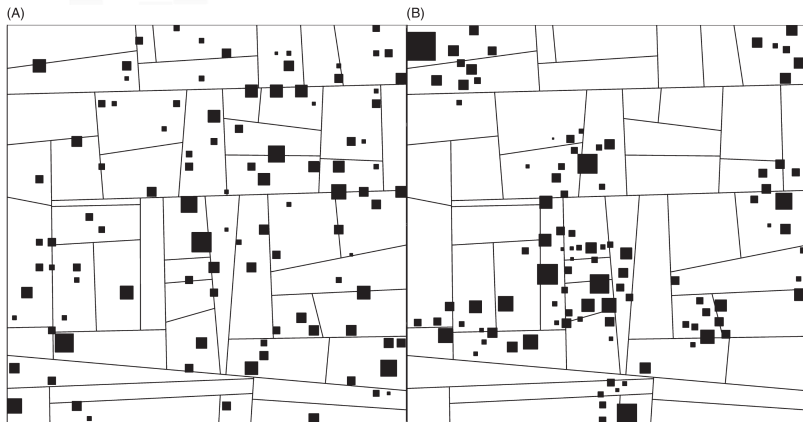
Temps d'émergence dans des systèmes source-puits

Effet du stress induit par le puits

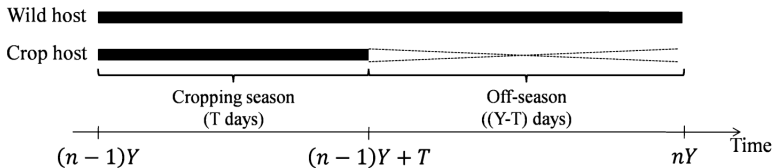
$$U = 0.1, d = 10^3, r_{\max} = 0.1, \lambda = 1/300, n = 6$$



Dynamique source-puits : rôle de la structure spatiale



Dynamique source-puits : rôle de la structure spatiale



Dynamique source-puits : rôle de la structure spatiale

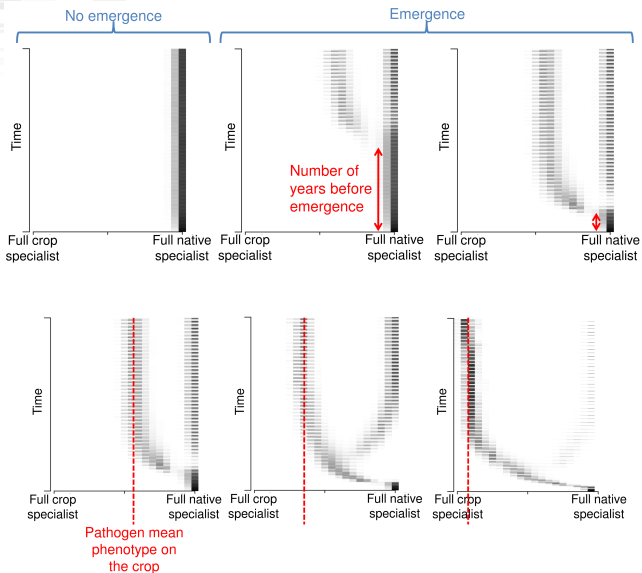
Dans les parcelles cultivées :

$$\begin{cases} \dot{S}_i = \delta^c S_i \left(1 - \frac{S_i}{K_i^c}\right) - \pi_i^P(x) r^P \sum_p e_{p,c} \sum_{i' \in \text{CNW}} \mu_{i',i}^P \sum_{p'} m_{p',p} I_{i',p'}, \\ \dot{I}_{i,p} = \pi_i^P(x) r^P e_{p,c} \sum_{i' \in \text{CNW}} \mu_{i',i}^P \sum_{p'} m_{p',p} I_{i',p'} - d^I I_{i,p}, \end{cases} \quad (1)$$

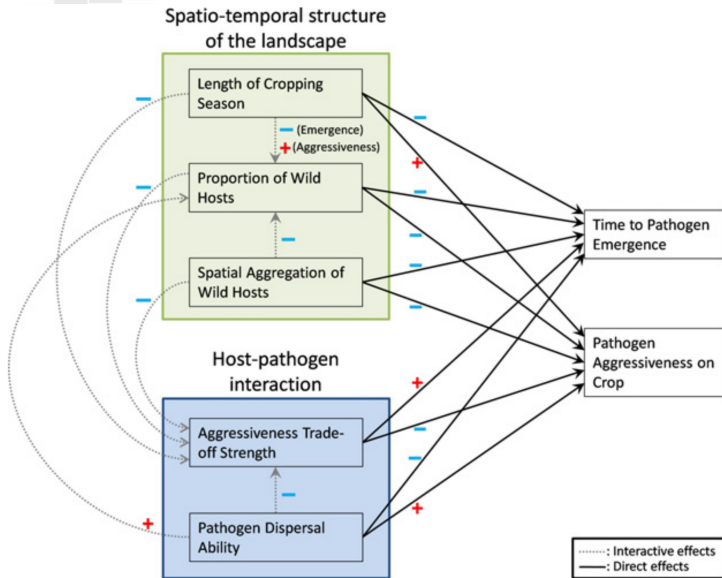
Dans les espaces semi-naturels :

$$\begin{cases} \dot{S}_i = \pi_i^w r^w \sum_{i' \in W} \mu_{i',i}^w S_{i'} - d^w S_i - \pi_i^P(x) r^P \sum_p e_{p,w} \sum_{i' \in \text{CNW}} \mu_{i',i}^P \sum_{p'} m_{p',p} I_{i',p'}, \\ \dot{I}_{i,p} = \pi_i^P(x) r^P e_{p,w} \sum_{i' \in \text{CNW}} \mu_{i',i}^P \sum_{p'} m_{p',p} I_{i',p'} - d^I I_{i,p}. \end{cases}$$

Dynamique source-puits : rôle de la structure spatiale



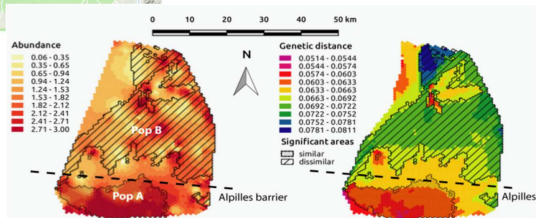
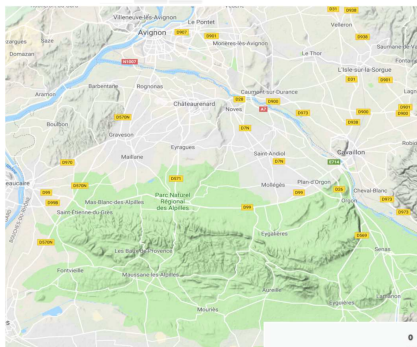
Dynamique source-puits : rôle de la structure spatiale



Dynamique source-puits : rôle de la structure spatiale



Dynamique source-puits : rôle de la structure spatiale



Vers des systèmes coévolutifs

Coévolution entre traits d'histoire de vie

On considère l'équation à retard avec mortalité pendant la phase juvénile suivante :

$$N_i'(t) = r(x_i) e^{-k(x_i) t_0(x_i)} N_i(t - t_0(\mathbf{x}_i)) - d(\mathbf{x}_i) N_i(t)$$

On pose $N_i(t) = e^{m t}$ et on cherche m tel que $N_i(t)$ soit solution de l'équation à retard :

$$m = m(r, d, t_0) = \frac{W_0(r t_0 e^{t_0(d-k)})}{t_0} - d$$

On a donc :

$$N'(t) = \bar{m}(t) N(t)$$

Vers des systèmes coévolutifs

Coevolution entre traits d'histoire de vie

En posant $q(t, \mathbf{x}_i) = N_i(t)/N(t)$, la fréquence du phénotype \mathbf{x}_i au temps t , on obtient pour un modèle standard de Fisher et sous l'hypothèse de sélection faible et mutation forte :

$$\partial_t q(t, \mathbf{x}) = \Delta(D(\mathbf{x}) q) + q(t, \mathbf{x}) (m(\mathbf{x}) - \bar{m}(t)), \quad t > 0, \quad x \in \Omega$$

Vers des systèmes coévolutifs

Coevolution entre traits d'histoire de vie

En posant $q(t, \mathbf{x}_i) = N_i(t)/N(t)$, la fréquence du phénotype \mathbf{x}_i au temps t , on obtient pour un modèle standard de Fisher et sous l'hypothèse de sélection faible et mutation forte :

$$\partial_t q(t, \mathbf{x}) = \Delta(D(\mathbf{x}) q) + q(t, \mathbf{x}) (m(\mathbf{x}) - \bar{m}(t)), \quad t > 0, \quad x \in \Omega$$

A l'équilibre on a donc :

$$\Delta(D(\mathbf{x}) q_\infty)(\mathbf{x}) + m(\mathbf{x}) q_\infty(\mathbf{x}) = \bar{m}_\infty q_\infty(\mathbf{x}), \quad x \in \Omega,$$

Vers des systèmes coévolutifs

Coevolution entre traits d'histoire de vie

En posant $q(t, \mathbf{x}_i) = N_i(t)/N(t)$, la fréquence du phénotype \mathbf{x}_i au temps t , on obtient pour un modèle standard de Fisher et sous l'hypothèse de sélection faible et mutation forte :

$$\partial_t q(t, \mathbf{x}) = \Delta(D(\mathbf{x}) q) + q(t, \mathbf{x}) (m(\mathbf{x}) - \bar{m}(t)), \quad t > 0, \quad x \in \Omega$$

A l'équilibre on a donc :

$$\Delta(D(\mathbf{x}) q_\infty)(\mathbf{x}) + m(\mathbf{x}) q_\infty(\mathbf{x}) = \bar{m}_\infty q_\infty(\mathbf{x}), \quad x \in \Omega,$$

D'où le problème aux valeurs propres suivant (avec $v(x) = D(x)q_\infty(x)$) :

$$\Delta v(\mathbf{x}) + \frac{m(\mathbf{x})}{D(\mathbf{x})} v(\mathbf{x}) = \bar{m}_\infty \frac{1}{D(\mathbf{x})} v(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in \Omega,$$

Vers des systèmes coévolutifs

Coevolution entre traits d'histoire de vie

$$r(\mathbf{x}) = \max\left(r_{\max} - \alpha \frac{\|\mathbf{x} - \mathcal{O}_r\|^2}{2}, r_{\min}\right),$$

$$d(\mathbf{x}) = d_{\min} + \alpha \frac{\|\mathbf{x} - \mathcal{O}_d\|^2}{2},$$

$$k(\mathbf{x}) = k_{\min} + \alpha \frac{\|\mathbf{x} - \mathcal{O}_k\|^2}{2},$$

$$\frac{1}{t_0(\mathbf{x})} = \max\left(\frac{1}{t_{0,\min}} - \alpha \frac{\|\mathbf{x} - \mathcal{O}_\tau\|^2}{2}, \frac{1}{t_{0,\max}}\right)$$

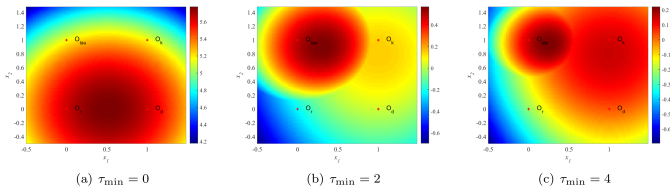


Figure 1: Fitness function $m(\mathbf{x})$.

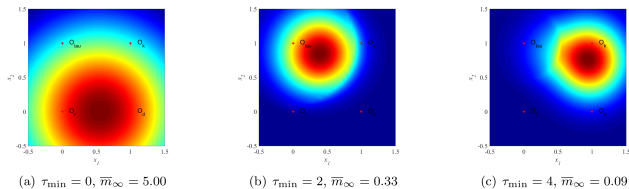


Figure 5: Eigenfunctions q_{∞} , medium mutation regime $\mu \lambda = 0.1$.

Vers des systèmes coévolutifs

Coévolution entre espèces

- ▶ Modèle de type SEIR en métapopulation.
- ▶ Deux génotypes chez l'hôte.
- ▶ Evolution graduelle chez le pathogène avec un compromis pour l'adaptation aux deux génotypes d'hôte.
- ▶ Focus sur le rôle de la dispersion de l'hôte et du pathogène.

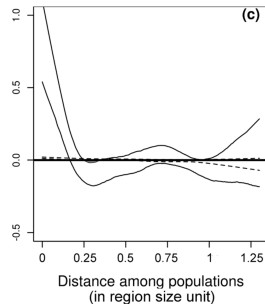
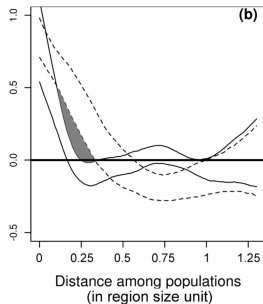
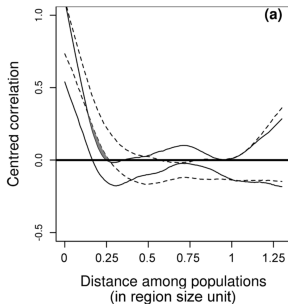
Vers des systèmes coévolutifs

Coévolution entre espèces

dispersion faible

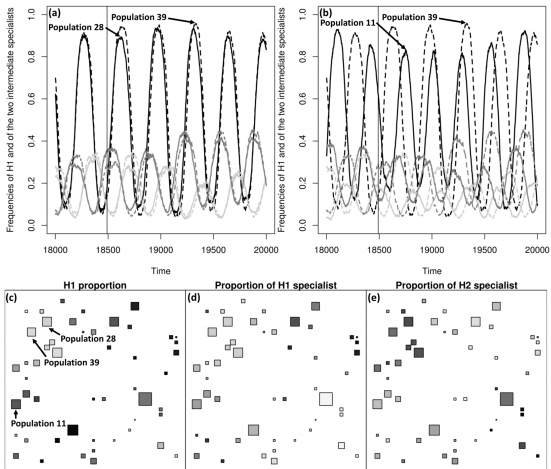
dispersion intermédiaire

dispersion forte



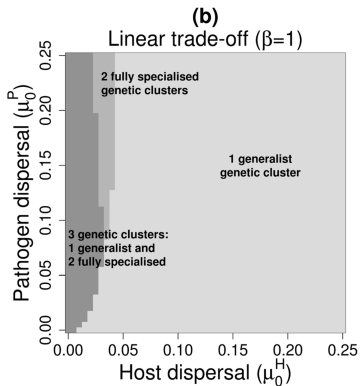
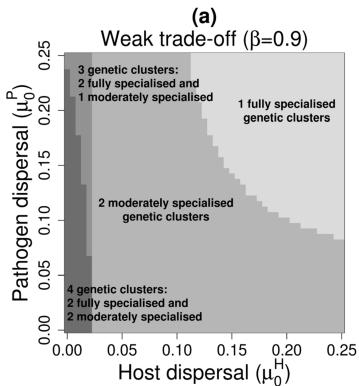
Vers des systèmes coévolutifs

Coévolution entre espèces



Vers des systèmes coévolutifs

Coévolution entre espèces



Conclusions

- ▶ Combiner des approches analytiques, simulateurs et expérimentales/observationnelles pour aborder différentes facettes de la même question.
- ▶ Etudier les dynamiques coévolutives dans des environnements hétérogènes complexes.



MERCI! :)