Winter is Coming

Pathogen Emergence In Seasonal Environments
Plos Computational Biology, 2020

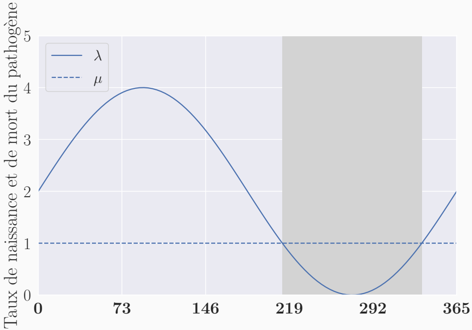
Conférence Modstatsap, Décembre 2020

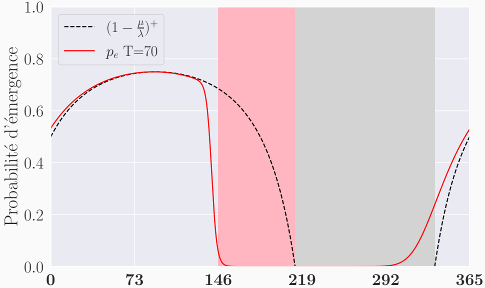
Philippe Carmona and Sylvain Gandon

14 décembre 2020

Université de Nantes and Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive

Probabilité d'émergence en environnement saisonnier





La probabilité d'émergence

$p_e =$ probabilité qu'un infecté cause une épidémie majeure

La probabilité d'émergence

$p_e =$ probabilité qu'un infecté cause une épidémie majeure

Liée à la probabilité d'observer un cluster

La probabilité d'émergence

$p_e =$ probabilité qu'un infecté cause une épidémie majeure

Liée à la probabilité d'observer un cluster

Calculable expérimentalement (ref Chabat et al 2018,*Evolutionary emergence of infectious diseases in heterogeneous host populations*, PLOS B. 2018).

La probabilité d'émergence

$p_e =$ probabilité qu'un infecté cause une épidémie majeure

Liée à la probabilité d'observer un cluster

Calculable expérimentalement (ref Chabat et al 2018, *Evolutionary emergence of infectious diseases in heterogeneous host populations*, PLOS B. 2018).

$R_0 > 1 \iff p_e > 0$

La probabilité d'émergence

$p_e =$ probabilité qu'un infecté cause une épidémie majeure

Liée à la probabilité d'observer un cluster

Calculable expérimentalement (ref Chabat et al 2018,*Evolutionary emergence of infectious diseases in heterogeneous host populations*, PLOS B. 2018).

$R_0 > 1 \iff p_e > 0$

$p_e = 0.1$ et $p_e = 10^{-5}$ décrivent deux situations très différentes.

Environnement constant

λ taux de naissance, μ taux de mort (de l'infection)

$$R_0 = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$p_e = \begin{cases} 1 - \frac{1}{R_0} & R_0 > 1 \\ 0 & R_0 < 1 \end{cases}$$

Environnement saisonnier (périodique)

$$R_0 = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\mu}}, \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{T}\int_0^T \lambda(s)\,ds\,.$$

$p_e(t_0)$ dépend de l'instant d'introduction (dans la saison).

$$R_0 > 1 \iff \forall t_0, p_e(t_0) > 0$$

Environnement saisonnier (périodique)

$$R_0 = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\mu}}, \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{T}\int_0^T \lambda(s)\,ds\,.$$

$p_e(t_0)$ dépend de l'instant d'introduction (dans la saison).

$$R_0 > 1 \iff \forall t_0, p_e(t_0) > 0$$

$$p_e(t_0) \sim \begin{cases} 1 - \frac{\mu(t_0)}{\lambda(t_0)} & t_0 \notin WIC \\ 0 & t_0 \in WIC \end{cases} \quad \text{Si } T >> \frac{1}{\mu}$$

Environnement saisonnier (périodique)

$$R_0 = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\mu}}, \quad \bar{\lambda} = \frac{1}{T}\int_0^T \lambda(s)\, ds\,.$$

$p_e(t_0)$ dépend de l'instant d'introduction (dans la saison).

$$R_0 > 1 \iff \forall t_0, p_e(t_0) > 0$$

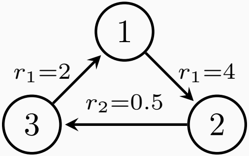
$$p_e(t_0) \sim \begin{cases} 1 - \frac{\mu(t_0)}{\lambda(t_0)} & t_0 \notin WIC \\ 0 & t_0 \in WIC \end{cases} \quad \text{Si } T >> \frac{1}{\mu}$$

$$WIC = \{t_0 : \exists t > t_0, \varphi(t) < \varphi(t_0)\}$$

$$\varphi(t) = \int_0^t (\lambda(s) - \mu(s))\, ds \quad \text{taux de croissance intégré}$$

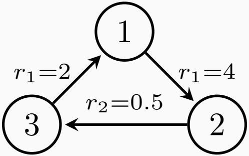
Un modèle jouet : weak host is coming

$$r_i = \frac{\lambda_{i,i+1}}{\mu_i}$$ nombre de reproduction de l'hôte i



Un modèle jouet : weak host is coming

$$r_i = \frac{\lambda_{i,i+1}}{\mu_i} \qquad \text{nombre de reproduction de l'hôte } i$$

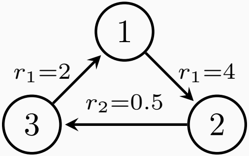


$$R_0 = r_1 r_2 r_3\,, \qquad p_{e,1} = \frac{r_1 r_2 r_3 - 1}{r_3(r_2(1 + r_1) + 1)}$$

$\boxed{p_{e,1} = 0.428}$ $\boxed{p_{e,2} = 0.187}$ $\boxed{p_{e,3} = 0.4615}$

Un modèle jouet : weak host is coming

$$r_i = \frac{\lambda_{i,i+1}}{\mu_i} \qquad \text{nombre de reproduction de l'hôte } i$$



$$R_0 = r_1 r_2 r_3 \,, \qquad p_{e,1} = \frac{r_1 r_2 r_3 - 1}{r_3(r_2(1 + r_1) + 1)}$$

$\boxed{p_{e,1} = 0.428}$ $\boxed{p_{e,2} = 0.187}$ $\boxed{p_{e,3} = 0.4615}$

Analogie :

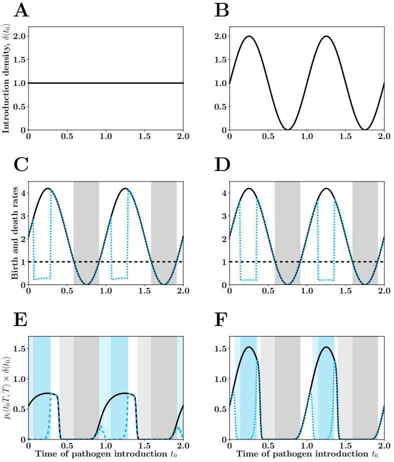
Mauvais hôtes = Winter

p_e petite alors que l'hôte est bon = WIC

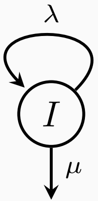
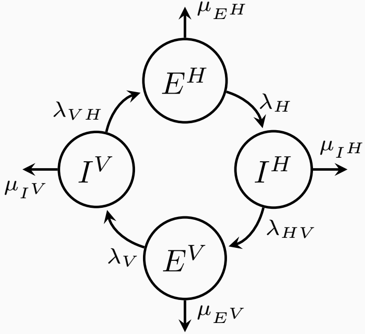
Conséquences

1. Timing optimal de mesures de contrôle ($\lambda \downarrow$ ou $\mu \uparrow$)
2. Cycle de vie complexe (ex. vector borne pathogens as Zika)
3. Influence de la densité dépendance

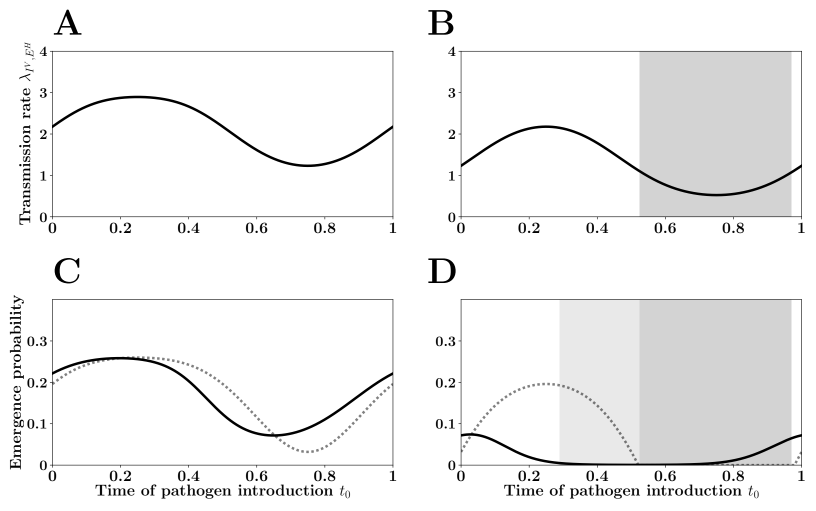
Timing optimal de mesures de contrôle



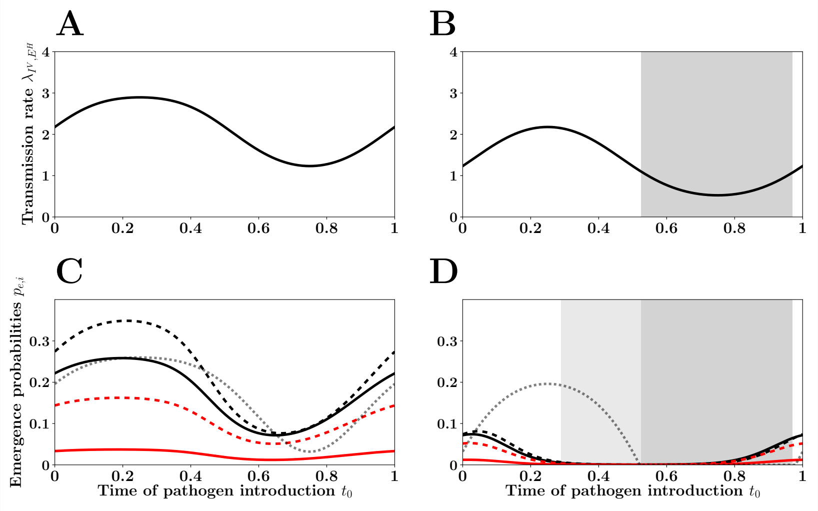
Transmission par des vecteurs

	Direct transmission	Vector borne transmission
Life Cycle		
Basic reproduction ratio	$R_0 = \frac{\lambda}{\mu}$	$R_0 = \frac{\lambda_H \lambda_{HV} \lambda_V \lambda_{VH}}{\mu_{EH} \mu_{IH} \mu_{EV} \mu_{IV}}$

ZIKA : influence d'une variation de 2 degrés de la température moyenne



ZIKA : WIC ne depend pas du type d'infecté introduit



Dépendance à la densité

- Pour de grandes populations initiales, peu de dépendance, comme prévu.
- Quand la taille initiale diminue, l'effet WIC est amplifié :le risque d'extinction durant la phase de croissance initiale augmente.