Simulations d'un modèle d'interaction entre parcelles et bordures, applications à la dynamique des populations de ravageurs sur des paysages

ANR PEERLESS

O. Bonnefon, L. Roques

INRA Biostatistique et Processus Spatiaux

The influence of a line with fast diffusion on Fisher-KPP propagation. H Berestycki, JM Roquejoffre, L Rossi.

Constat : influence des lignes lors d'une propagation

- Propagation de la peste noire le long des routes
- Colonisation rapide de la processionnaire du pin
- L'invasion du moustique-tigre suit les routes
- Déplacements des loups le long des lignes de prospection sismique

Modèle proposé

Il y a une seule espèce, u est la densité linéaire, v est la densité surfacique.

$$\begin{cases} \partial_t u = D\partial_{xx} u + \nu v(x,0,t) - \mu u & x \in \Gamma, t > 0 \\ \partial_t v = d\triangle v + f_{kpp}(v) & (x,y) \in \Omega, t > 0 \\ -d\partial_y v = \mu u(x,t) - \nu v(x,0,t) & x \in \Gamma, t > 0 \end{cases}$$

Un résultat

Si $D > 2d$, alors il y a accélération de la propagation dans tout le domaine Ω (ie : $c_* > c_{kpp}$).

The influence of a line with fast diffusion on Fisher-KPP propagation. H Berestycki, JM Roquejoffre, L Rossi.

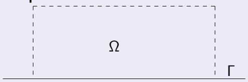
Constat : influence des lignes lors d'une propagation

- Propagation de la peste noire le long des routes
- Colonisation rapide de la processionnaire du pin
- L'invasion du moustique-tigre suit les routes
- Déplacements des loups le long des lignes de prospection sismique

Modèle proposé

Il y a une seule espèce, u est la densité linéaire, v est la densité surfacique.

$$\begin{cases} \partial_t u = D\partial_{xx} u + \nu v(x,0,t) - \mu u & x \in \Gamma, t > 0 \\ \partial_t v = d\triangle v + f_{kpp}(v) & (x,y) \in \Omega, t > 0 \\ -d\partial_y v = \mu u(x,t) - \nu v(x,0,t) & x \in \Gamma, t > 0 \end{cases}$$

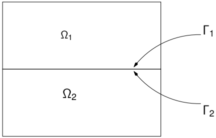


Un résultat

Si $D > 2d$, alors il y a accélération de la propagation dans tout le domaine Ω (ie : $c_* > c_{kpp}$).

Modification du modèle : ajout du franchissement d'une haie

On considère 2 parcelles partageant une bordure :



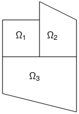
- Il y a une seule espèce.
- u_1 et u_2 sont les densités linéaires des bordures.
- v_1 et v_2 sont les densités surfaciques des parcelles.

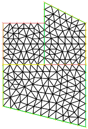
$$\begin{cases} \partial_t u_1 = D\partial_{xx} u_1 + \nu v_1(x,0,t) - \mu u_1 - \alpha u_1 + \alpha u_2 & x \in \Gamma_1, t > 0 \\ \partial_t v_1 = d\triangle v_1 + f(v_1) & (x,y) \in \Omega_1, t > 0 \\ -d\partial_y v_1 = \mu u_1(x,t) - \nu v_1(x,0,t) & x \in \Gamma_1, t > 0 \\ & \\ \partial_t u_2 = D\partial_{xx} u_2 + \nu v_2(x,0,t) - \mu u_2 - \alpha u_2 + \alpha u_1 & x \in \Gamma_2, t > 0 \\ \partial_t v_2 = d\triangle v_2 + f(v_2) & (x,y) \in \Omega_2, t > 0 \\ d\partial_y v_2 = \mu u_2(x,t) - \nu v_2(x,0,t) & x \in \Gamma_2, t > 0 \\ +\text{conditions initiales} & \end{cases} \quad (1)$$

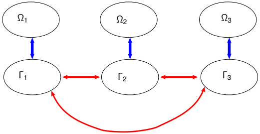
Programme de simulation (basé sur Freefem++)

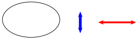
Les entrées :

- Une description polygonale de la géométrie et un graphe des interactions







- Le système de chaque élément 

La discrétisation en temps et en espace :

- La matrice de rigidité du système :

$$M = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} \Omega_1 & \Omega_2 & \Omega_3 & \Gamma_1 & \Gamma_2 & \Gamma_3 \end{array} \\ \left(\begin{array}{ccc|ccc} R_1 & 0 & 0 & {\color{blue}X} & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & {\color{blue}X} & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & 0 & {\color{blue}X} \\ {\color{blue}X} & 0 & 0 & R_{\delta 1} & {\color{red}X} & {\color{red}X} \\ 0 & {\color{blue}X} & 0 & {\color{red}X} & R_{\delta 2} & {\color{red}X} \\ 0 & 0 & {\color{blue}X} & {\color{red}X} & {\color{red}X} & R_{\delta 3} \end{array}\right) \end{array}$$

- Un algorithme de résolution du système $MX = b$

La sortie : la simulation des systèmes couplés.

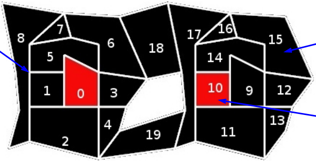
Remarque : Les degrés de liberté peuvent représenter plusieurs espèces.

Application 1 : influence du coefficient de diffusion des bordures

On considère le modèle ravageur(u)/prédateur(v) :

- un paysage avec deux types de parcelles,

Déplacements dans les bordures :
$$\left.\begin{array}{l}\partial_t u_{1d} = 5\partial_{xx} u_{1d} + _{2d} \\ \partial_t v_{1d} = D\partial_{xx} v_{1d} + _{2d} \\ u0_{1d} = v0_{1d} = 0\end{array}\right\}$$



Les parcelles noires représentent les cultures:
$$\left\{\begin{array}{l}\partial_t u = \triangle u + (u - 0.05)u(1 - u/K) - uv + _{1d} \\ \partial_t v = \triangle v + uv - 5v + _{1d} \\ u_0 = 5, v_0 = 3.7\end{array}\right.$$

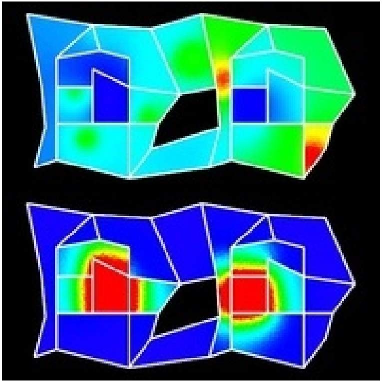
Les parcelles rouges sont des réserves de prédateurs:
$$\left\{\begin{array}{l}\partial_t u = \triangle u + (u - 0.05)u(1 - u/5) - uv + _{1d} \\ \partial_t v = \triangle v + 5v(1 - v/20) + uv + _{1d} \\ u_0 = 5, v_0 = 3.7\end{array}\right.$$

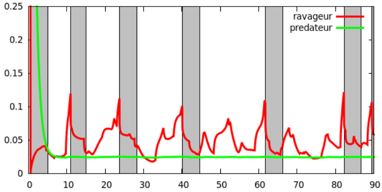
,

- des termes sources de ravageurs, aléatoires dans le temps et dans l'espace
- un traitement est appliqué sur une parcelle si la densité moyenne de ravageurs est supérieure à 0.1. Cela consiste à diminuer fortement la capacité du milieu ($K = 20 \to 0.01$) pendant une durée donnée.

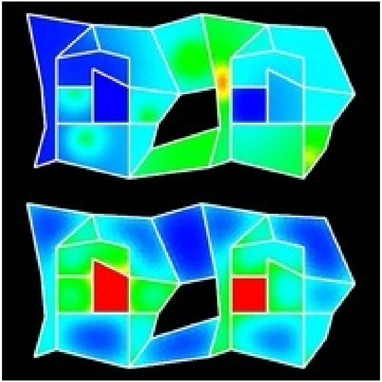
Afin de tester l'influence des bordures, on compare les deux scénarios, l'un avec $D = 10$, l'autre avec $D = 0$.

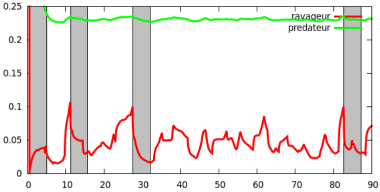
scénario $D = 0$: 124 traitements





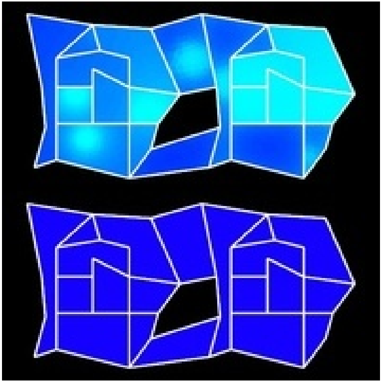
scénario $D = 10$: 86 traitements





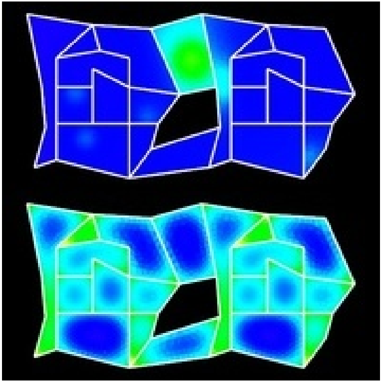
Application 2 : cas où les bordures sont des réserves de prédateurs

188 traitements



- La population des prédateurs disparaît des parcelles.

36 traitements



- Les bordures maintiennent la population des prédateurs dans les parcelles.

Merci de votre attention.