

# Allocation optimale de cultures dans un paysage agricole: conflits entre dynamique épidémique, durabilité et évolution

Julien Papaïx, Jeremy J. Burdon, Hervé Monod, Christian Lannou, Peter H. Thrall



Réseau ModStatSP - réunion Paris 2013

# 0. Introduction

# Contexte

La **diversification des cultures** (inter et intra spécifique) à l'échelle d'un paysage est un principe clef dans la **gestion durable des épidémies** en milieu agricole.

- ⇒ Nécessité de définir des **stratégies de déploiement raisonné** des différentes cultures.

## Contexte

La **diversification des cultures** (inter et intra spécifique) à l'échelle d'un paysage est un principe clef dans la **gestion durable des épidémies** en milieu agricole.

- ⇒ Nécessité de définir des **stratégies de déploiement raisonné** des différentes cultures.

**Lien structure spatiale - résistance aux épidémies** étudié à des échelles temporelles différentes, et soit avec des **critères démographiques**, soit avec des **critères évolutifs**:

- ⇒ **pas de vision globale** de la meilleure stratégie de déploiement spatial des cultures prenant en compte la dynamique démo-génétique des populations pathogènes.

# Questions

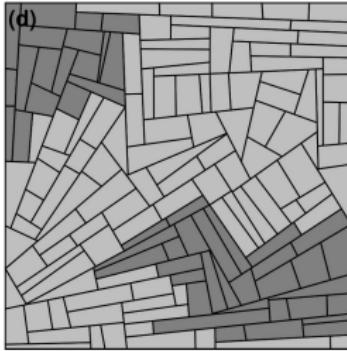
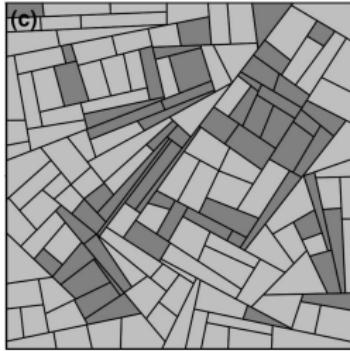
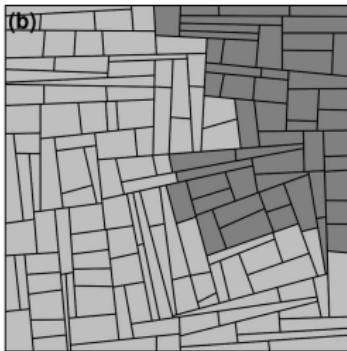
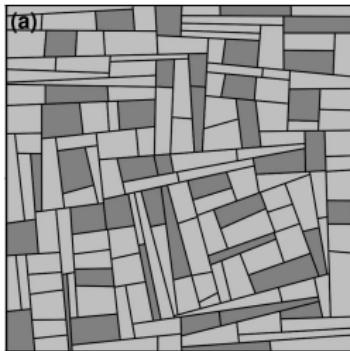
1. Quelle est la **stratégie optimale d'allocation de cultures** dans l'espace ?
2. Varie-t-elle au cours de la vie d'une culture en réponse à l'évolution des populations pathogènes ?

# Questions

1. Quelle est la **stratégie optimale d'allocation de cultures** dans l'espace ?
2. **Varie-t-elle au cours de la vie d'une culture** en réponse à l'évolution des populations pathogènes ?

# 1. Le modèle

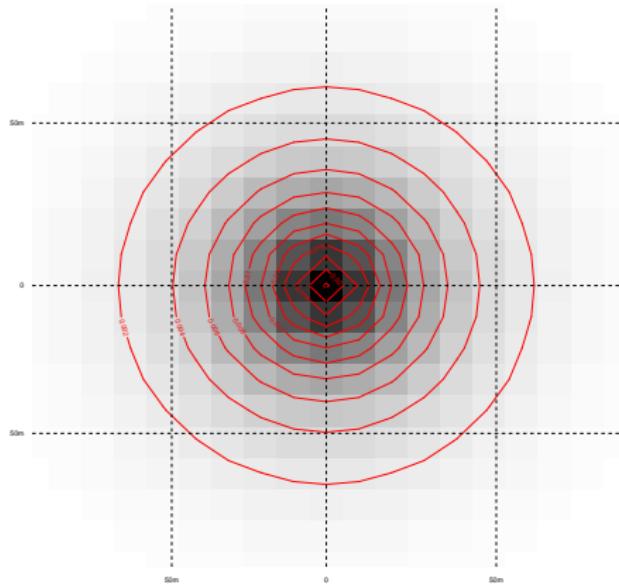
# Modèle: le paysage



Simulation du parcellaire par un **algorithme de tessellation** puis allocation de deux cultures (une **sensible (V2)** et une **résistante (V1)**) par recuit simulé en contrôlant les **proportions** des cultures (en terme de surface couverte) et l'**agrégation spatiale**.

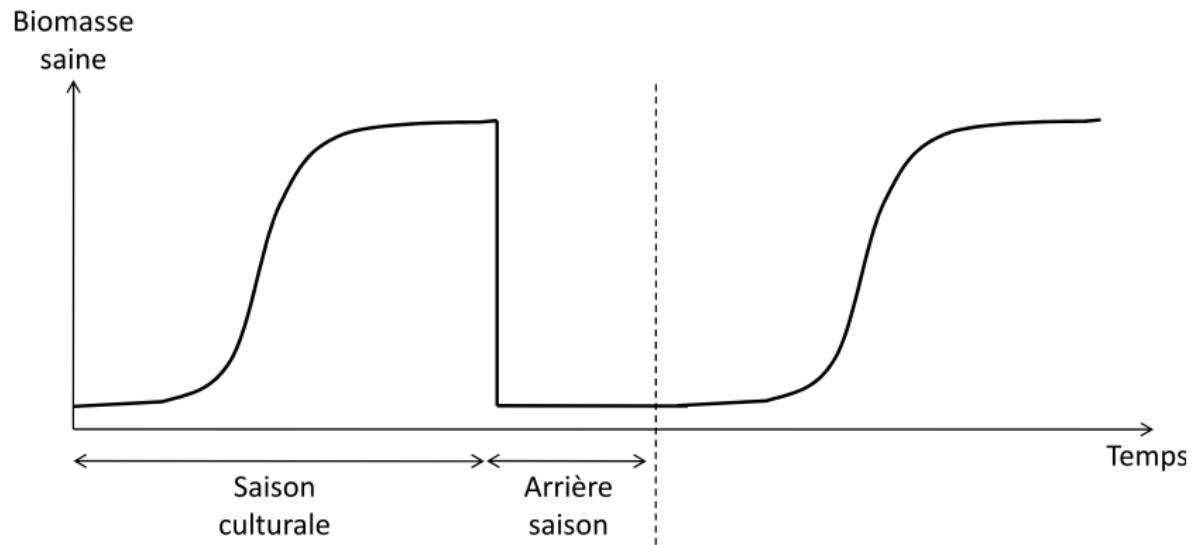
# Modèle: la dispersion

Fonction de dispersion puissance inverse pour la dispersion du pathogène :

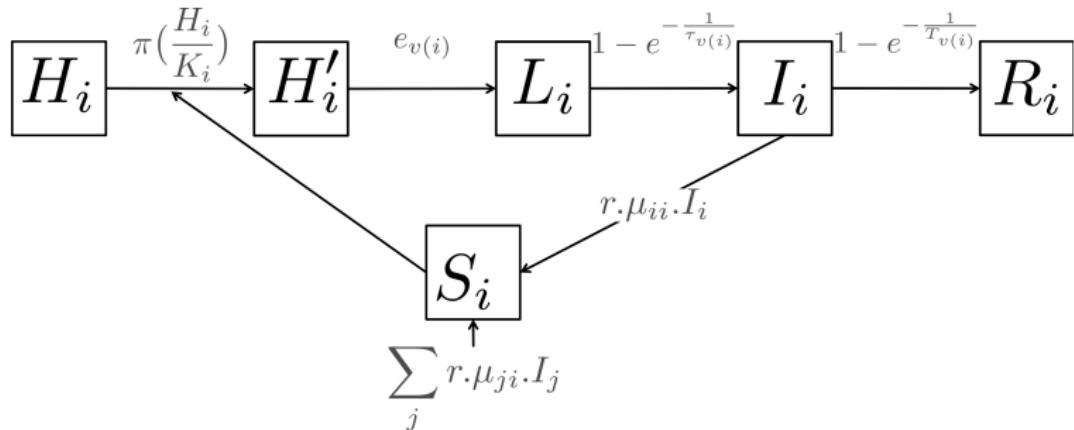


$$g(x, x') = \frac{(a-2)(a-1)}{2\pi b^2} \left(1 + \frac{\|x - x'\|}{b}\right)^{-a}$$

# Modèle: croissance de l'hôte et saisonnalité



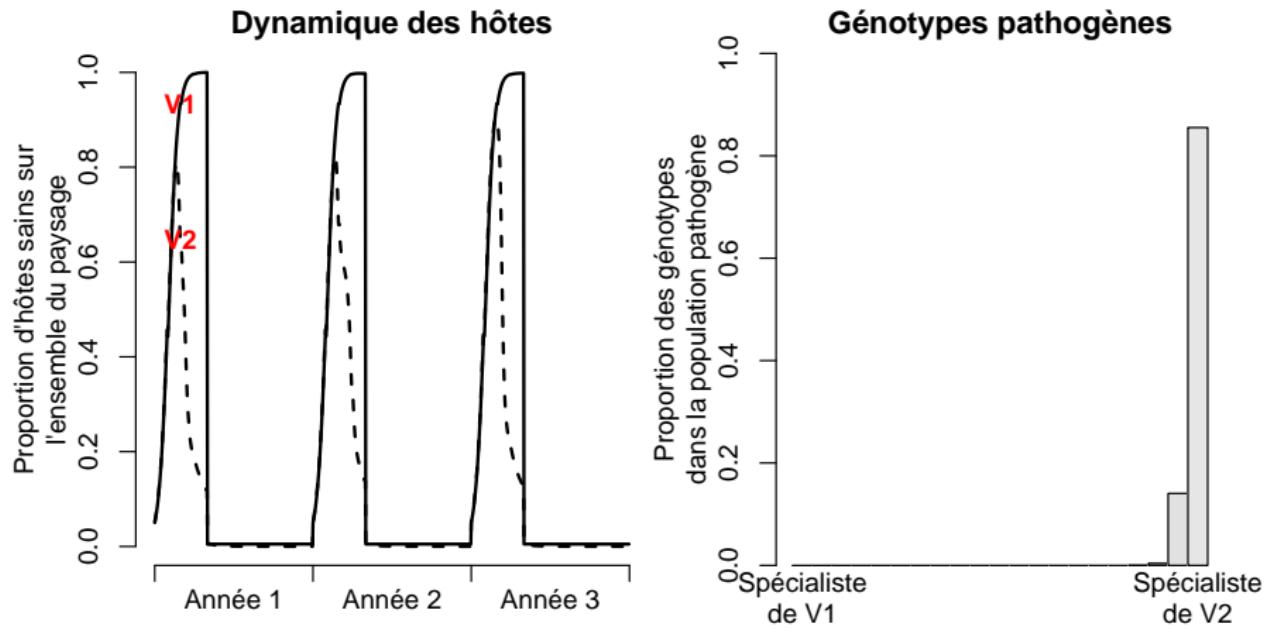
## Modèle: dynamique du pathogène



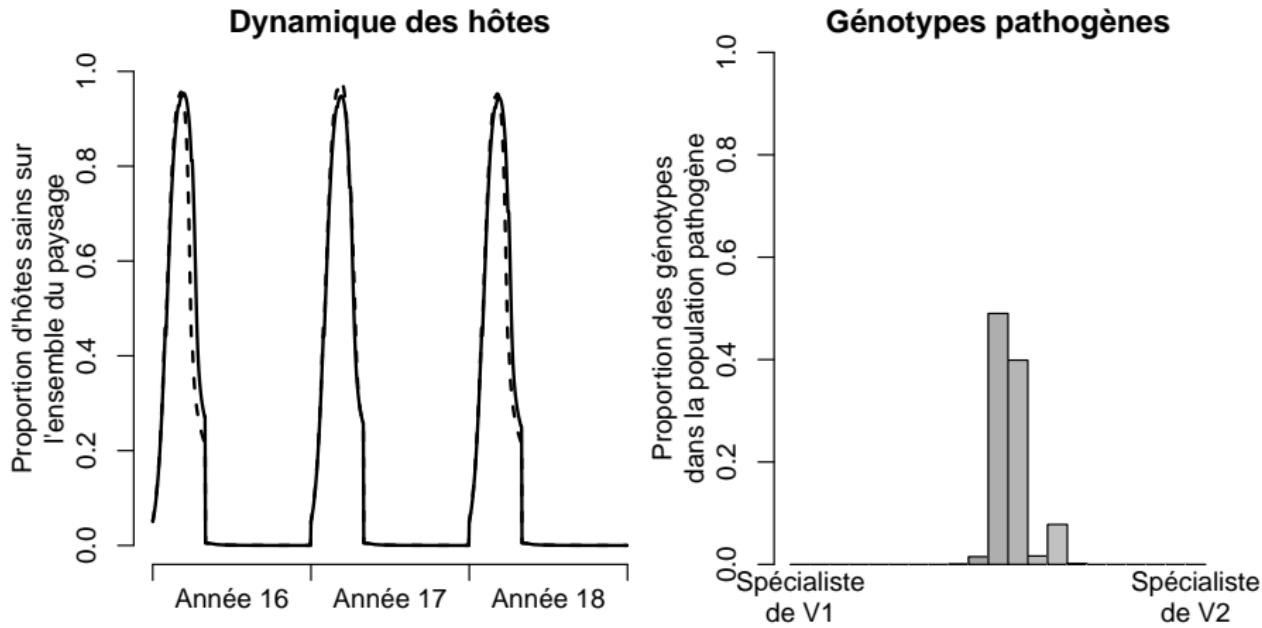
- ▶ A l'initialisation, la population pathogène ne peut infecter que la **culture sensible: V2**.
- ▶ La population pathogène **évolue de façon graduelle** et peut s'adapter aux deux cultures selon un  **compromis évolutif** (l'adaptation sur l'une des culture cause la maladaptation sur l'autre).
- ▶ Pendant **l'arrière saison, la période de latence augmente**.

## 2. Exemple de simulation

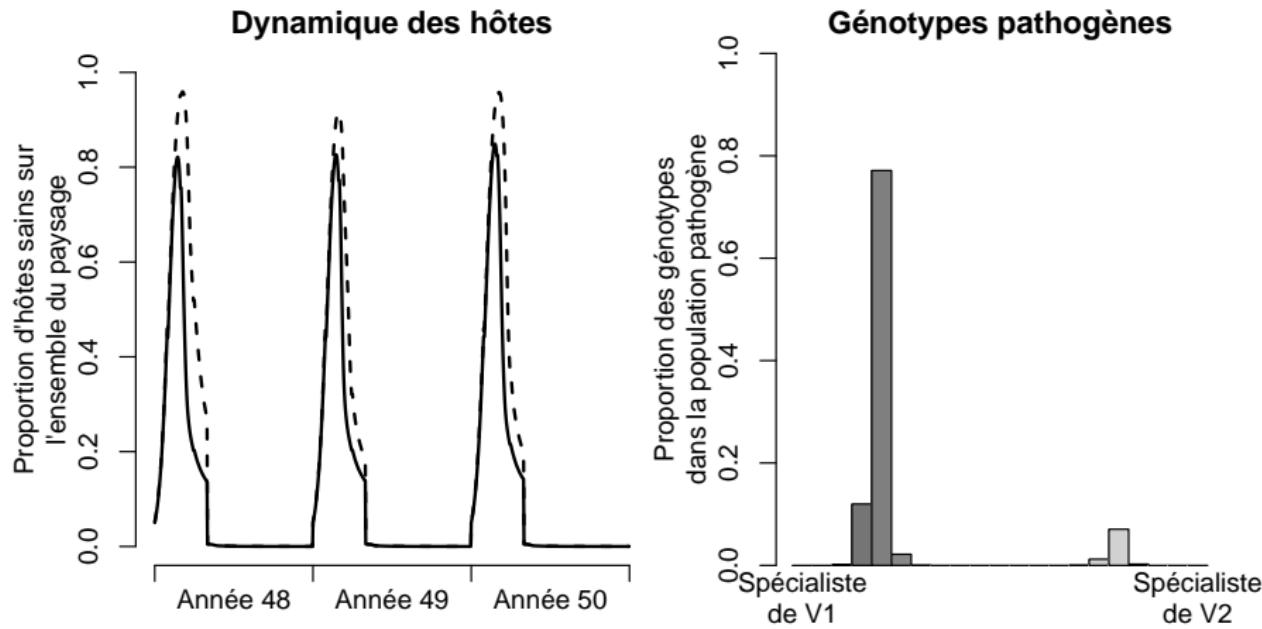
# Exemple: dynamique intra-annuelle au début d'une simulation



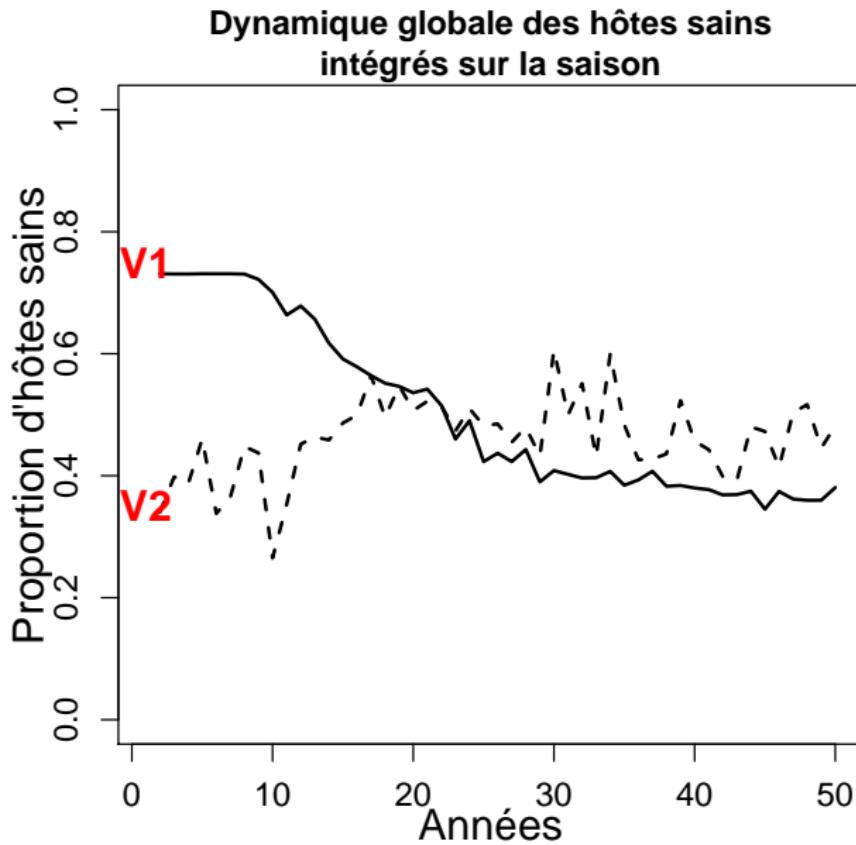
# Exemple: dynamique intra-annuelle au milieu d'une simulation



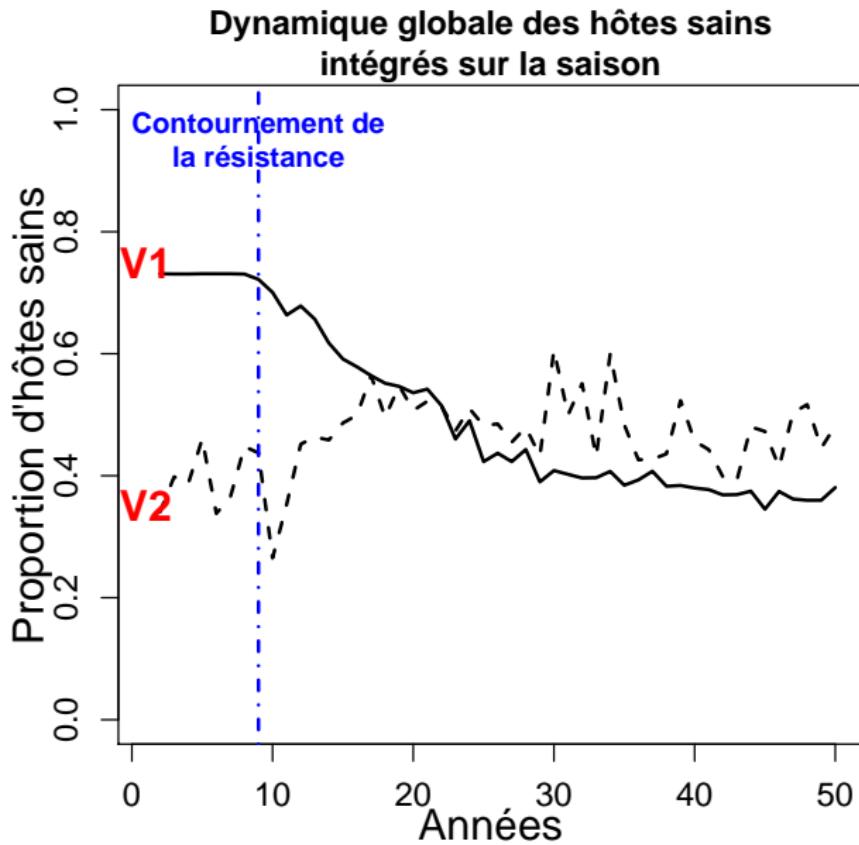
# Exemple: dynamique intra-annuelle à la fin d'une simulation



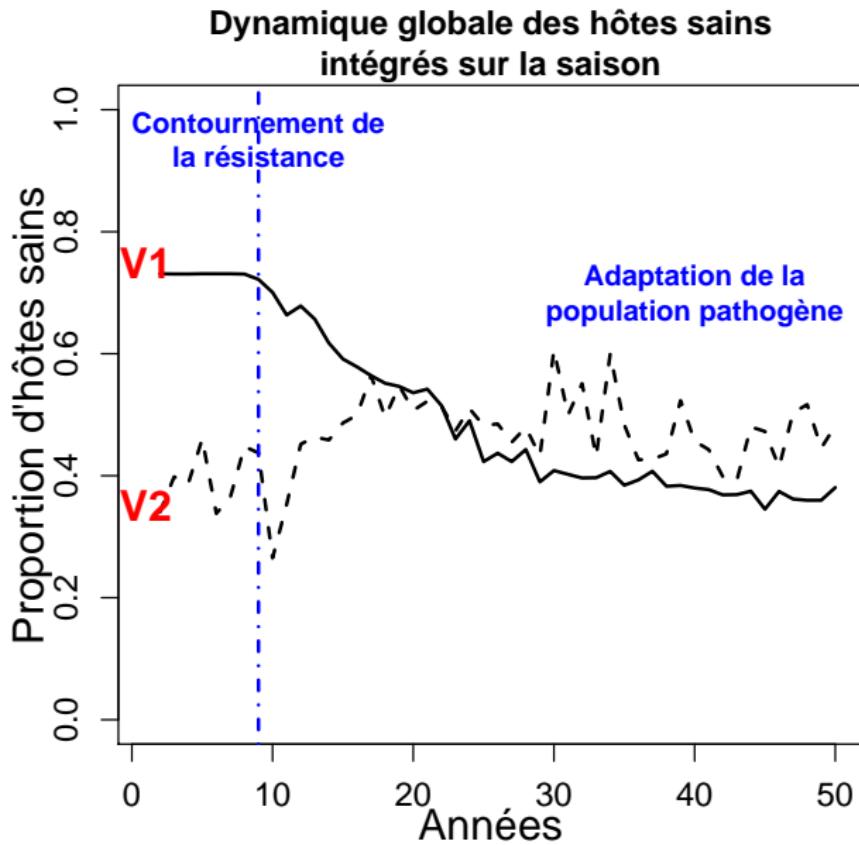
## Exemple: dynamique inter-annuelle des hôtes sains



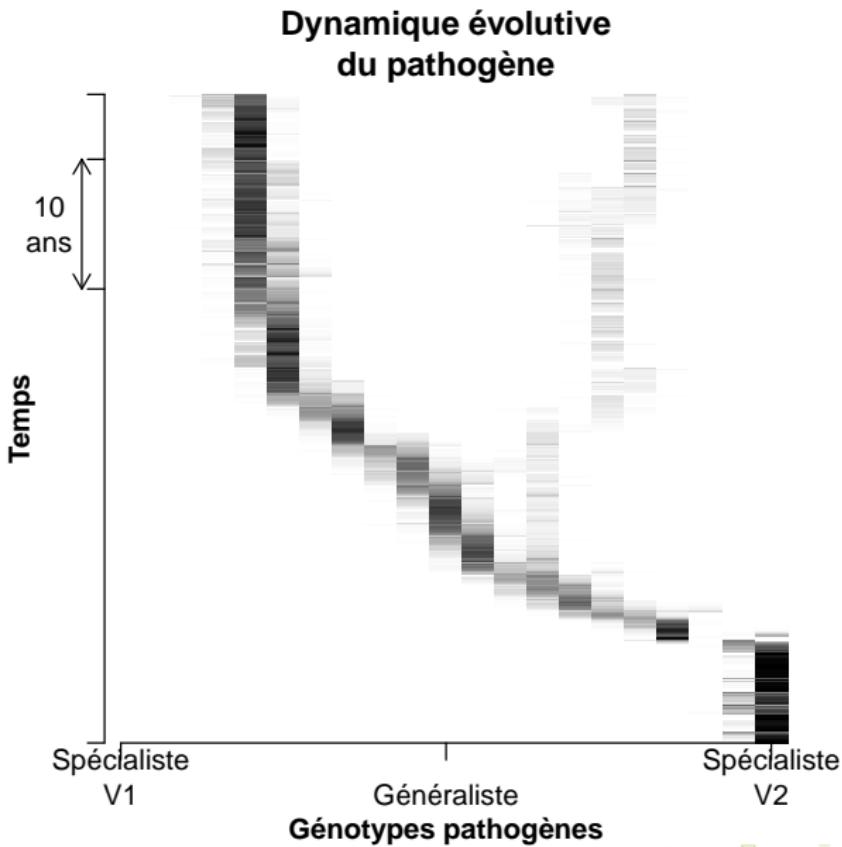
## Exemple: dynamique inter-annuelle des hôtes sains



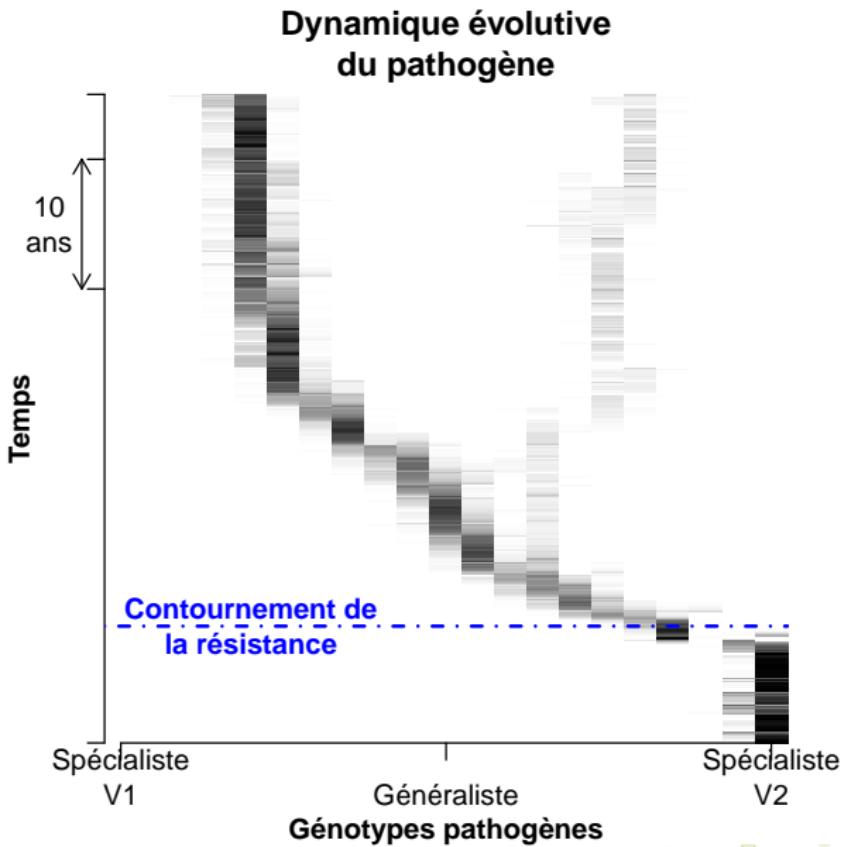
# Exemple: dynamique inter-annuelle des hôtes sains



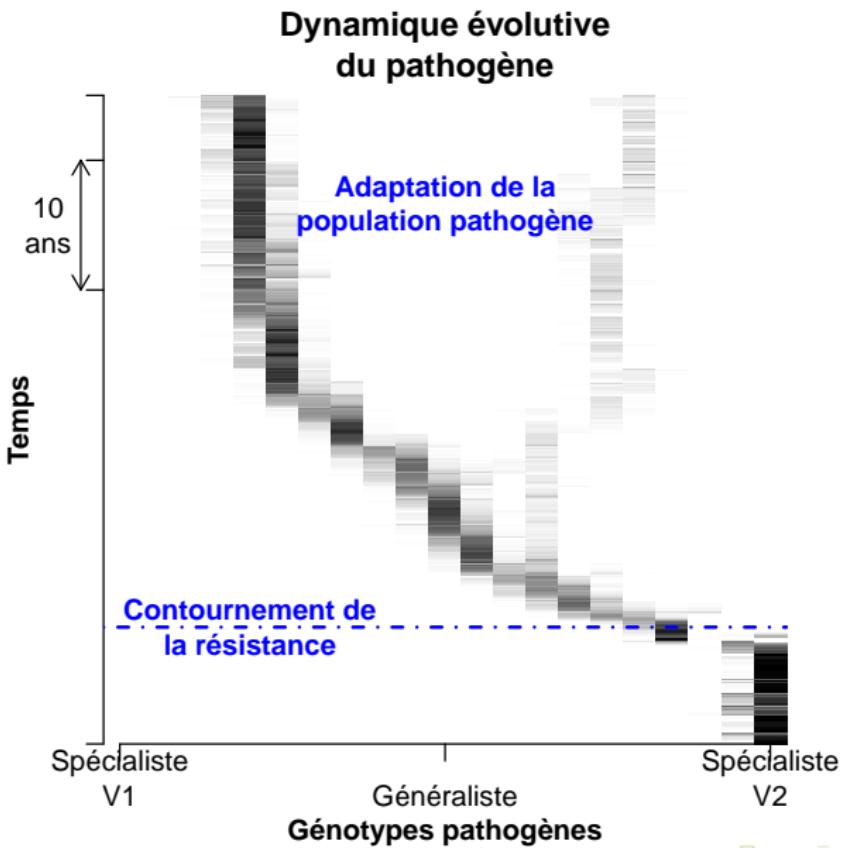
# Exemple: évolution de la population pathogène



# Exemple: évolution de la population pathogène



# Exemple: évolution de la population pathogène



### 3. Expérimentation numérique

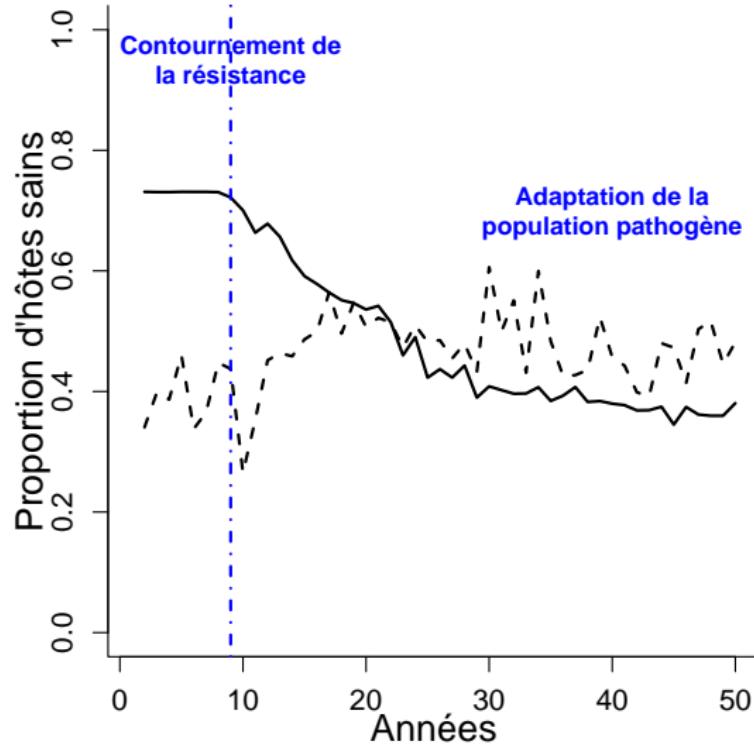
# Facteurs d'entrée

- ▶ **Proportion** de la culture résistante (V1),
- ▶ **Agrégation spatiale** des deux cultures,

# Facteurs d'entrée

- ▶ **Proportion** de la culture résistante (V1),
- ▶ **Agrégation spatiale** des deux cultures,
  
- ▶ **Distance moyenne de dispersion** du pathogène,
- ▶ Forme du  **compromis évolutif**,
- ▶ Durée de la **saison agricole**,
- ▶ Capacité de **reproduction** du pathogène.

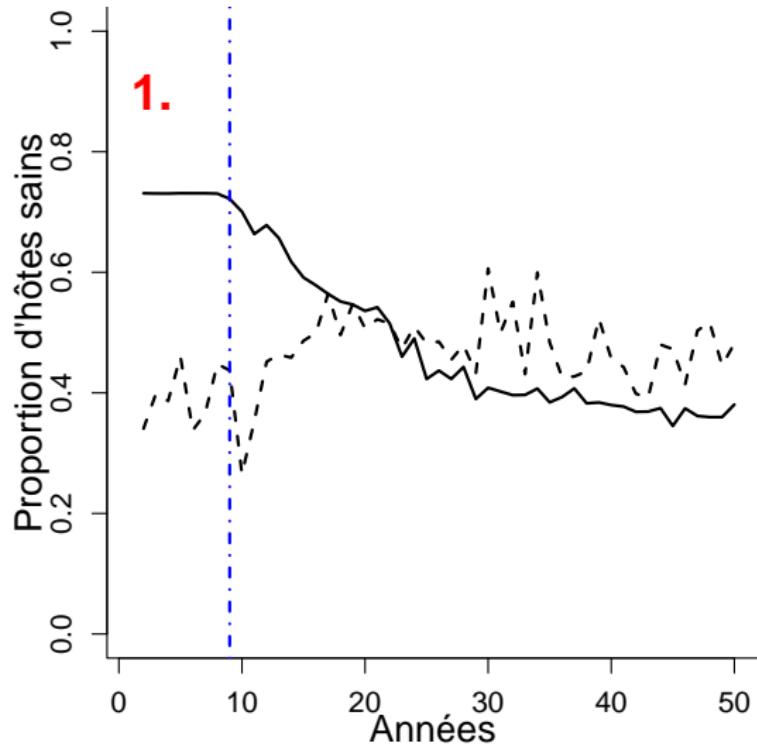
# Paysage optimal pour limiter le risque épidémique



## Trois mesures du risque:

- Court terme:** proportion d'individus sains pour la culture sensible.
- Durabilité:** Nombre d'années requis pour observer le contournement de la résistance.
- Long terme:** proportion d'individus sains sur l'ensemble du paysage.

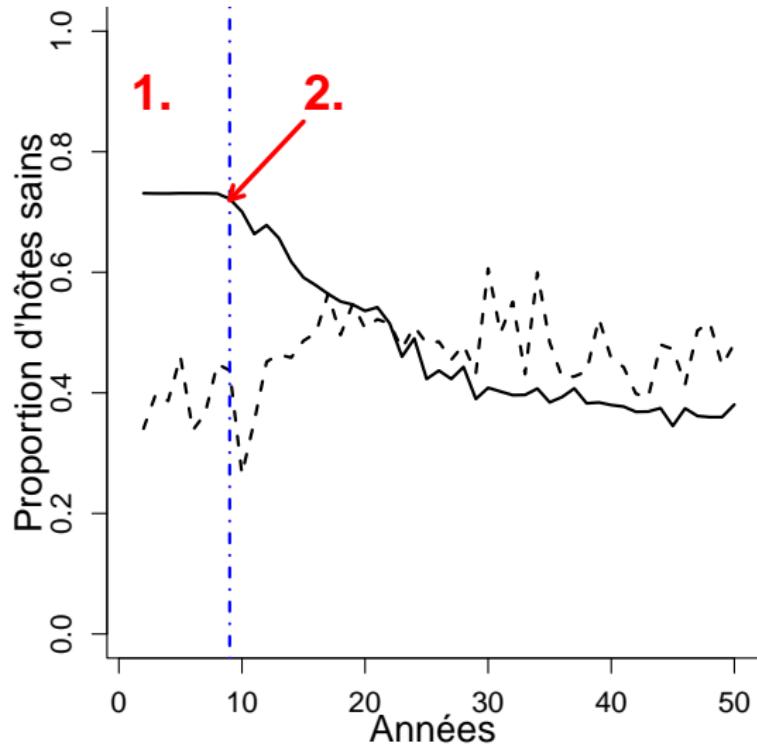
# Paysage optimal pour limiter le risque épidémique



Trois mesures du risque:

1. **Court terme:** proportion d'individus sains pour la culture sensible.
2. **Durabilité:** Nombre d'années requis pour observer le contournement de la résistance.
3. **Long terme:** proportion d'individus sains sur l'ensemble du paysage.

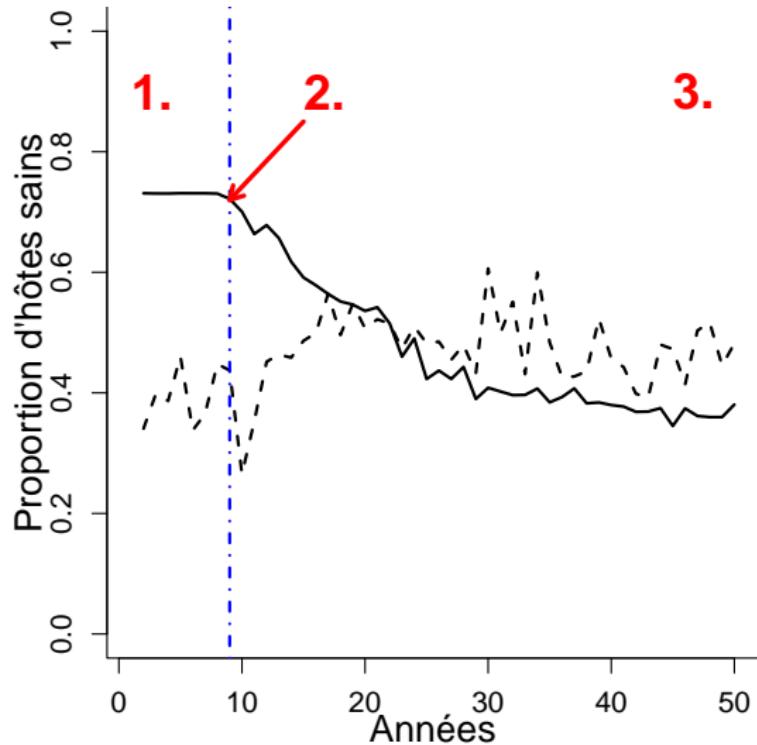
# Paysage optimal pour limiter le risque épidémique



Trois mesures du risque:

1. **Court terme:** proportion d'individus sains pour la culture sensible.
2. **Durabilité:** Nombre d'années requis pour observer le contournement de la résistance.
3. **Long terme:** proportion d'individus sains sur l'ensemble du paysage.

# Paysage optimal pour limiter le risque épidémique

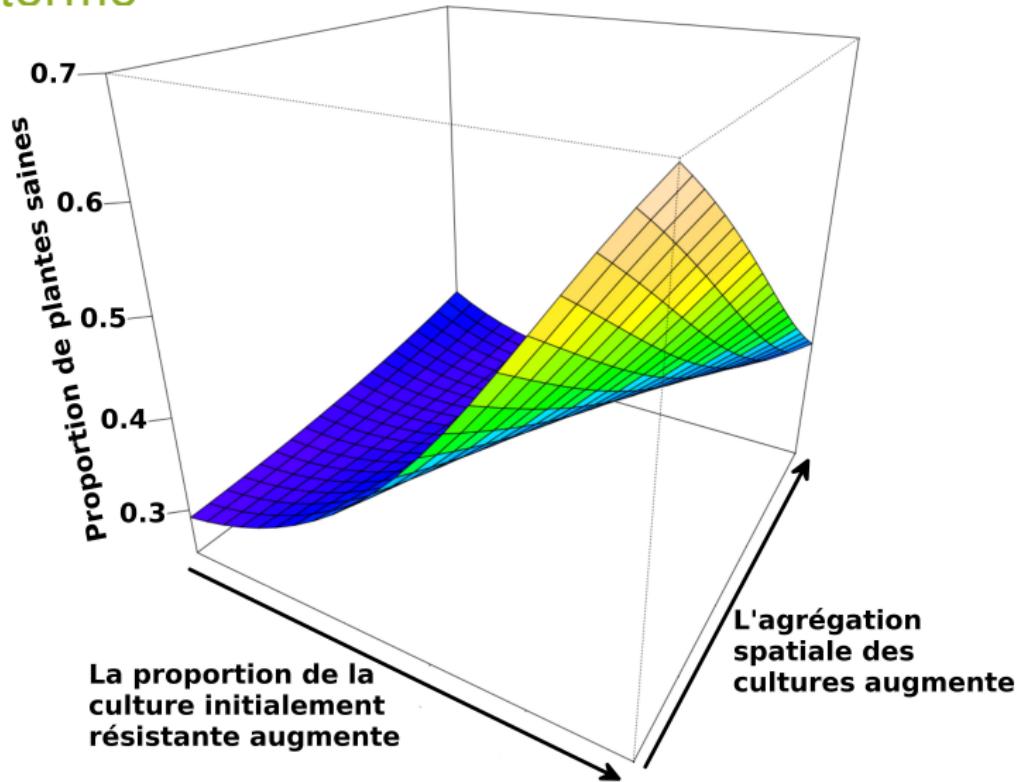


Trois mesures du risque:

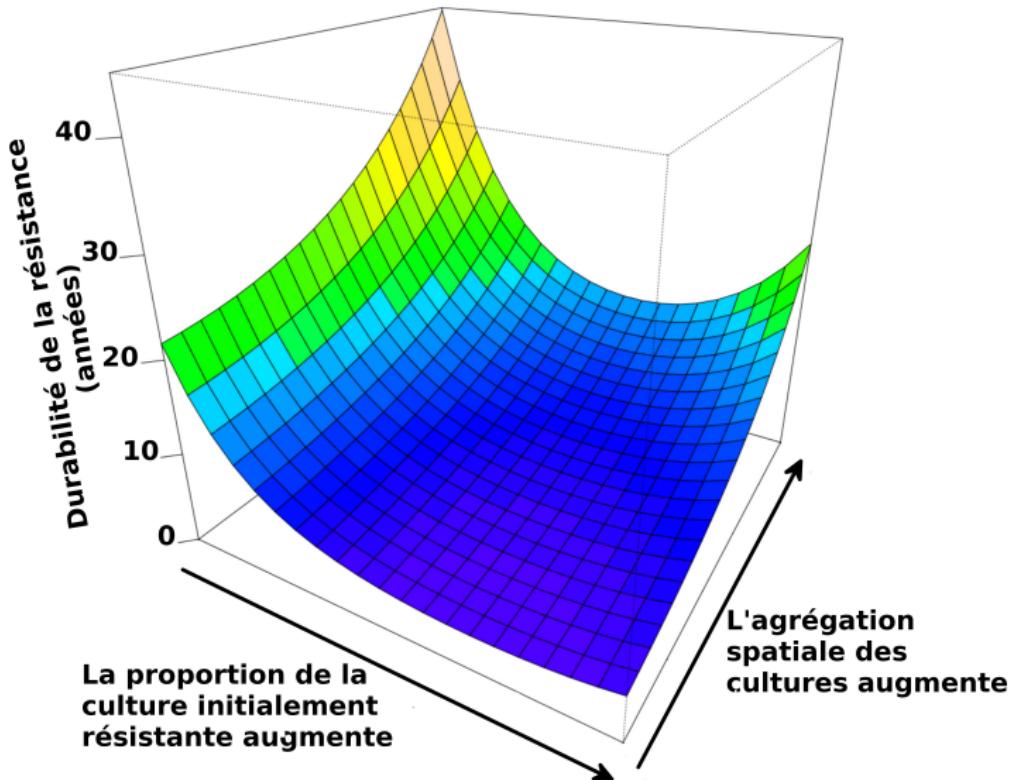
1. **Court terme:** proportion d'individus sains pour la culture sensible.
2. **Durabilité:** Nombre d'années requis pour observer le contournement de la résistance.
3. **Long terme:** proportion d'individus sains sur l'ensemble du paysage.

## 4. Résultats

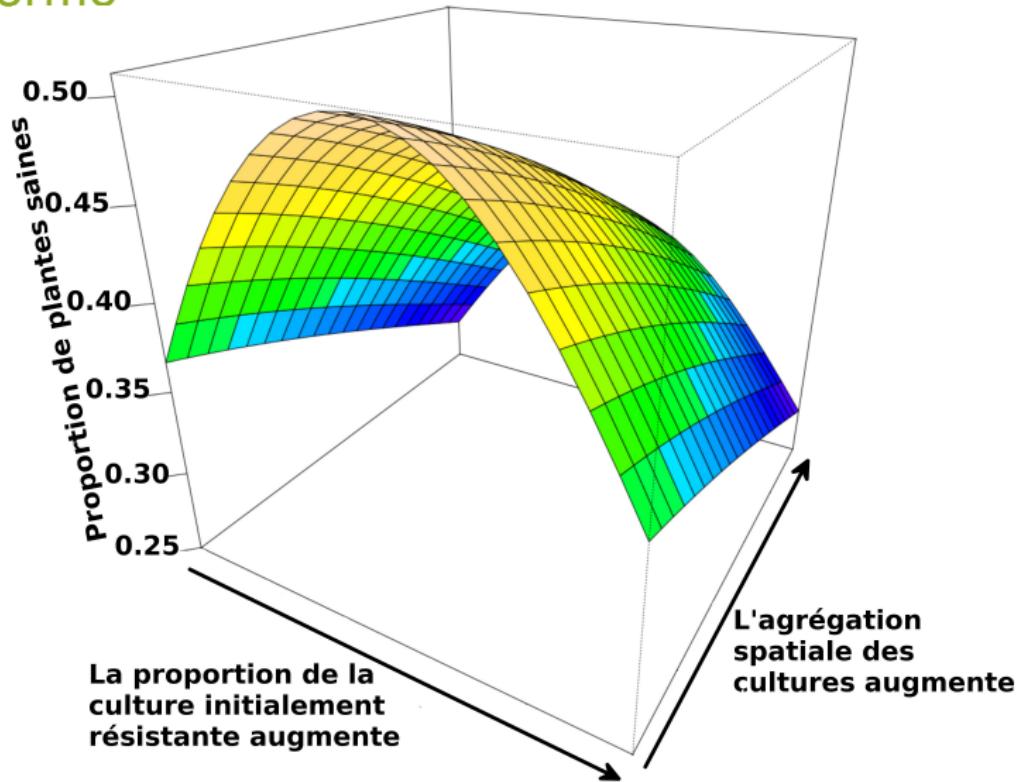
# Paysage optimal pour limiter le risque épidémique à court terme



# Paysage optimal pour augmenter la durabilité



# Paysage optimal pour limiter le risque épidémique à long terme



## 5. Conclusions

# Conclusions

## ► Conclusions

- Fortes contraintes entre le contrôle des épidémies à court, moyen et long terme.
- Coût pour l'agriculteur ?

## ► Perspectives

- Couplage avec des modèles économiques.
- Reproduction sexuée.
- Rotations temporelles, plus de deux cultures...

# Conclusions

## ► Conclusions

- Fortes contraintes entre le contrôle des épidémies à court, moyen et long terme.
- Coût pour l'agriculteur ?

## ► Perspectives

- Couplage avec des modèles économiques.
- Reproduction sexuée.
- Rotations temporelles, plus de deux cultures...

# Conclusions

## ► Conclusions

- Fortes contraintes entre le contrôle des épidémies à court, moyen et long terme.
- Coût pour l'agriculteur ?

## ► Perspectives

- Couplage avec des modèles économiques.
- Reproduction sexuée.
- Rotations temporelles, plus de deux cultures...

Vers une gestion adaptative des paysages nécessitant un suivi régulier des populations pathogènes et des résistances.

Merci !