

Utilisation du cadre des Processus Décisionnels de Markov sur Graphe pour l'optimisation de stratégies de protection intégrée

**Benjamin Borgy (INRA-BGA)
Elise Lô-Pelzer (INRA-Agronomie)
Jean-Noël Aubertot (INRA-AGIR)
Nathalie Peyrard & Régis Sabbadin (BIA)**

ADD CEDRE

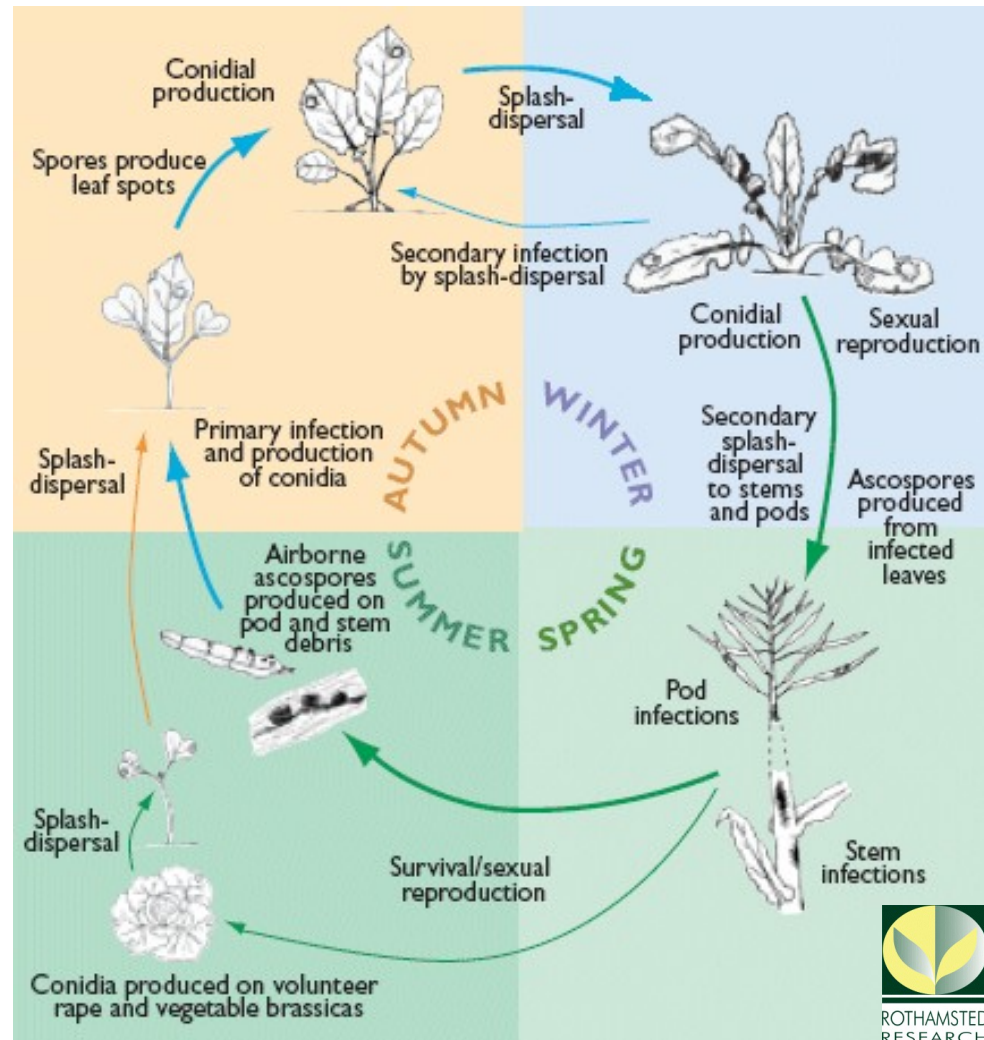
Contexte général

- Contrôle des bioagresseurs des cultures
 - Chimique
 - **Génétique** (résistances)
 - **Cultural** (rotation, labour)
- Le couple Phoma / Colza
 - Contexte économique international (répartition mondiale, perte importante)
 - Contexte scientifique international (Beaucoup d'informations disponibles)



Contexte biologique

Leptosphaeria maculans : Ascomycète Dothidéomycète hétérothallique



Contexte de modélisation

Contrôle des bioagresseurs des cultures :

➤ Global

→ Stratégies collectives plus efficaces que des stratégies individuelles

- **Échelle pluri-parcellaire + Échelle pluri-annuelle + interactions**
→ **Conception de stratégies collectives efficaces difficile**

➤ Durable

- Cultivars possédant des résistances spécifiques et/ou quantitatives
- Contournement de la résistance si cultivar surexploité

Contexte de modélisation

Contrôle des bioagresseurs des cultures :

➤ Global

→ Stratégies collectives plus efficaces que des stratégies individuelles

- **Échelle pluri-parcellaire + Échelle pluri-annuelle + Multiples interactions**

→ **Conception de stratégies collectives efficaces difficile**

➤ Durable

- Cultivars possédant des résistances spécifiques et/ou quantitatives
- Contournement de la résistance si cultivar surexploité

➔ **Comment concevoir des stratégies collectives exploitant durablement les résistances variétales ?**

Contexte de modélisation

Contrôle des bioagresseurs des cultures :

➤ Global

→ Stratégies collectives plus efficaces que des stratégies individuelles

- **Échelle pluri-parcellaire + Échelle pluri-annuelle + interactions**
→ **Conception de stratégies collectives efficaces difficile**

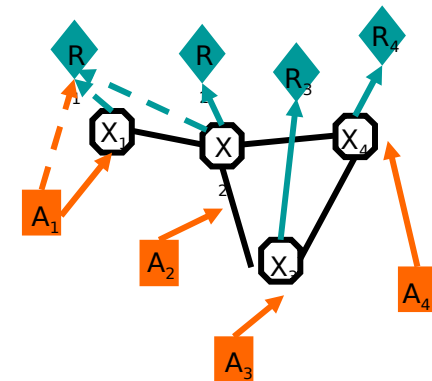
➤ Durable

- Cultivars possédant des résistances spécifiques et/ou quantitatives
- Contournement de la résistance si cultivar surexploité

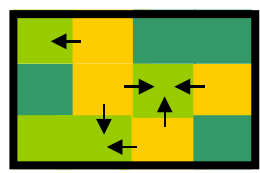
Un modèle mathématique:

Processus Décisionnels de Markov sur Graphe

- Décision séquentielle dans l'incertain
- Composante spatiale
- Optimisation de stratégies



Le Modèle



propagation depuis les parcelles de blé voisines



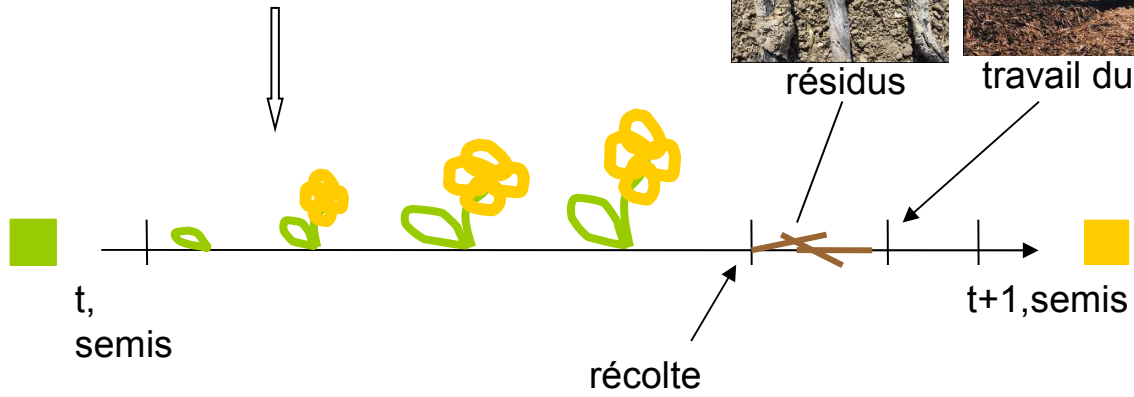
résidus



travail du sol

Rotation des cultures

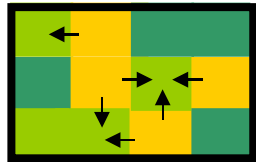
- colza
- blé
- orge



Interactions hôte-patho

	résistant	sensible
virulent	+	+
avirulent	-	+

Le Modèle



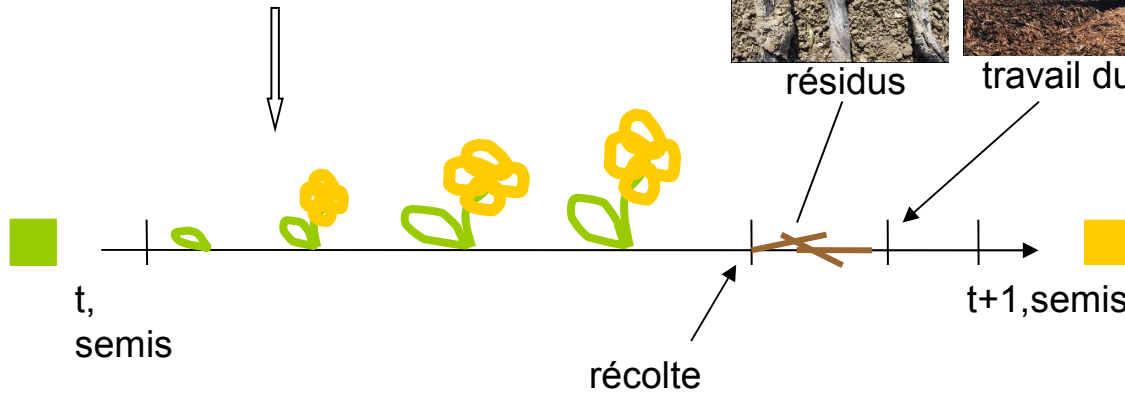
propagation depuis
les parcelles de blé
voisines



résidus



travail du sol



Rotation des cultures

- colza
- blé
- orge

Interactions hôte-patho

	résistant	sensible
virulent	+	+
avirulent	-	+

Variables d'état d'une parcelle

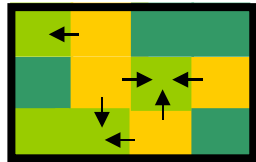
- Culture en cours (C → B → O)
- Sévérité d'infection des résidus (G2)
- % Pathotypes virulents (SG)

Actions

- Choix variétal (S ou R)
- Seuil de travail du sol avec labour

(labour si $G2 > \tau$)

Le Modèle



propagation depuis
les parcelles de blé
voisines

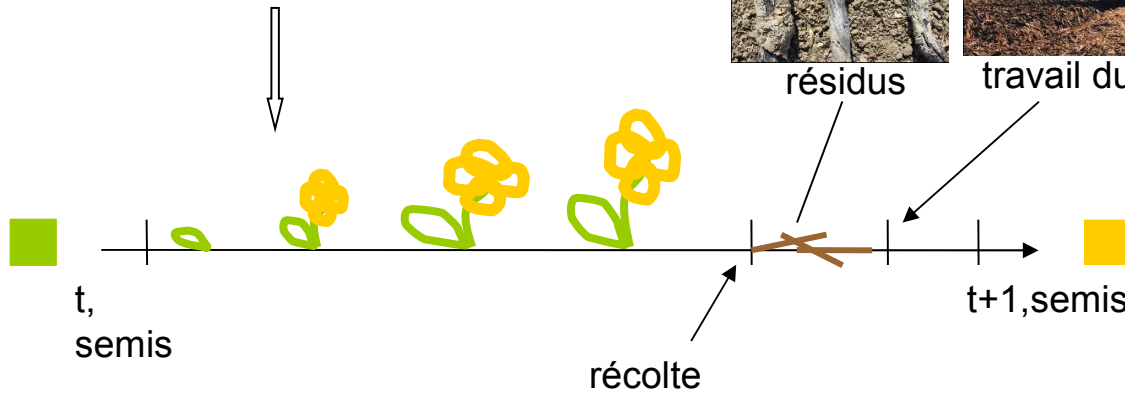


résidus



travail du sol

Rotation des cultures

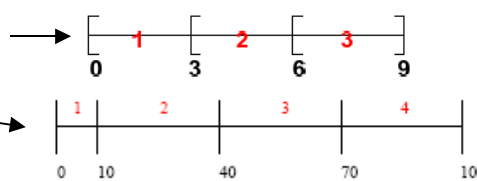


Interactions hôte-patho

	résistant	sensible
virulent	+	+
avirulent	-	+

Variables d'état d'une parcelle

- Culture en cours (C → B → O)
- Sévérité d'infection des résidus (G2)
- % Pathotypes virulents (SG)



$x \in X$

Actions

- Choix variétal (S ou R)
- Seuil de travail du sol avec labour
(labour si $G2 > \tau$)

$a \in A$

$$p(x_i^{t+1} | x_{N(i)}^t, a_i^t)$$

$$r(x_i^t, a_i^t, x_i^{t+1})$$

Le cadre des PDM sur graphe

- **Processus Décisionnel de Markov (PDM)**

→ Modèle stochastique issu de la théorie de la décision et de la théorie des probabilités.

$$\left. \begin{array}{l} p(x^{t+1} | x^t, a^t) \\ r(x^t, a^t) \end{array} \right\} \begin{array}{l} x \in X \\ a \in A \end{array}$$

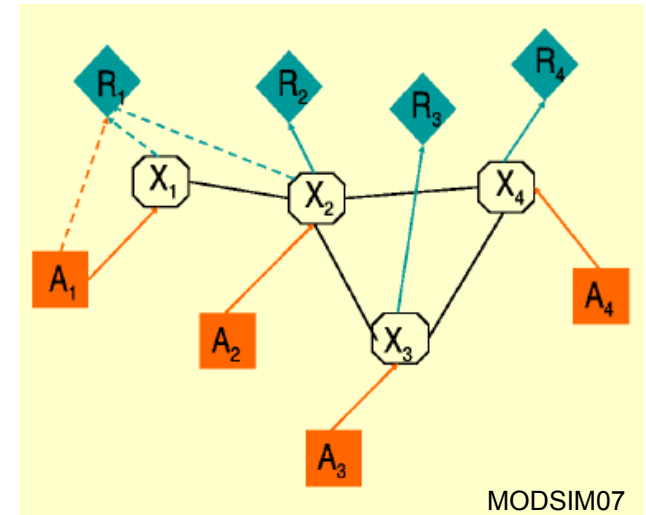
$$\{X, A, p, r\}$$

Le cadre des PDM sur graphe

- **Processus Décisionnel de Markov sur Graphe (PDMG)**

→ Plusieurs variable d'états $\{X_i\}_{i \in V}$ et de décision $\{A_i\}_{i \in V}$.

$$\left. \begin{array}{l} p(x_i^{t+1} | x_{N(i)}^t, a_i^t) \\ r(x_{N(i)}^t, a_i^t) \end{array} \right\} \begin{array}{l} x \in X \\ a \in A \end{array}$$



$$\{X, A, p, r, G\}$$

Le cadre des PDM sur graphe

- **Outil de résolution PDMG**

Une règle décisionnelle ou *stratégie*, associe une action à chaque état possible des variables.

$$\delta(\mathbf{X}) = (\delta_1(\mathbf{X}), \delta_2(\mathbf{X}), \dots, \delta_n(\mathbf{X}))$$

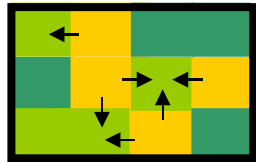
Une stratégie optimale

$$\delta^i = \operatorname{argmax} E \left[\sum_{t=1}^{\infty} c^t R(\mathbf{X}^t, \delta(\mathbf{X}^t)) \mid \mathbf{X}^0 \right]$$

Résolution exacte trop complexe

→ **Résolution approchée** : algorithme d'itération de la stratégie utilisant une approximation de la fonction de valeur par une méthode de champ moyen.

Le Modèle



propagation depuis
les parcelles de blé
voisines



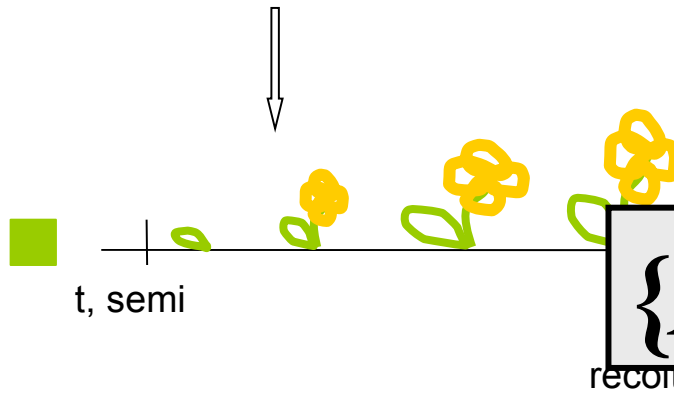
résidus



travail du sol

Rotation des cultures

- colza
- blé
- orge



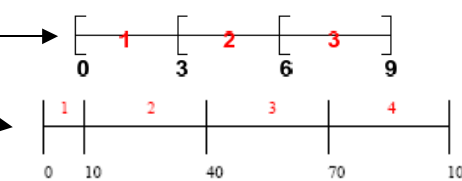
$\{X, A, p, r, G\}$

Interaction hôtes-patho

	résistant	sensible
virulent	+	+
avirulent	-	+

Variables d'état d'une parcelle

- Culture en cours (C \rightarrow B \rightarrow O)
- Sévérité d'infection des résidus (G2) \rightarrow
- % Pathogène virulent (SG) \rightarrow



$x \in X$

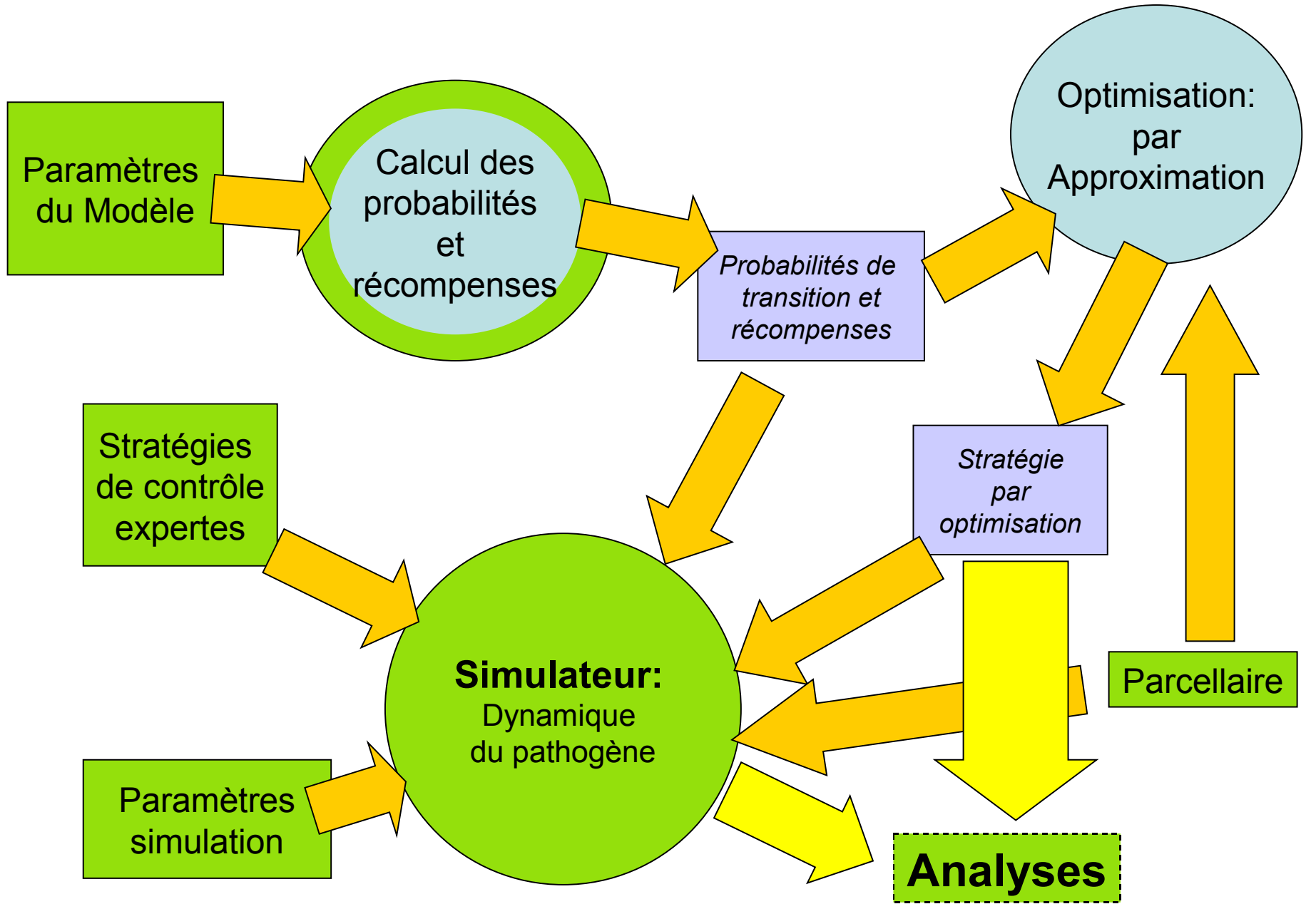
Actions

- Choix variétal (S ou R)
- Seuil de travail du sol avec labour
(labour si $G2 > \tau$)

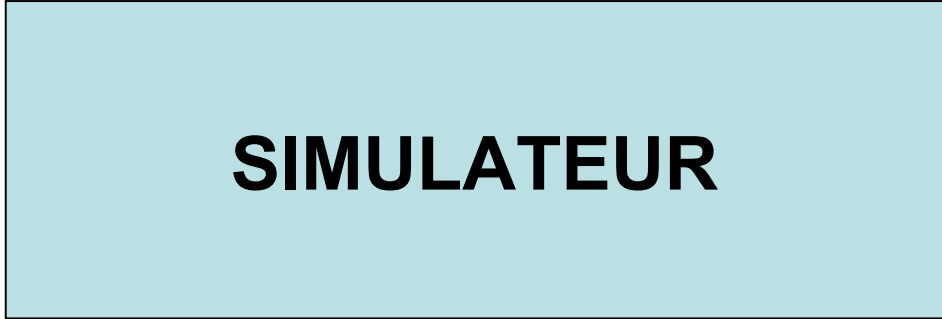
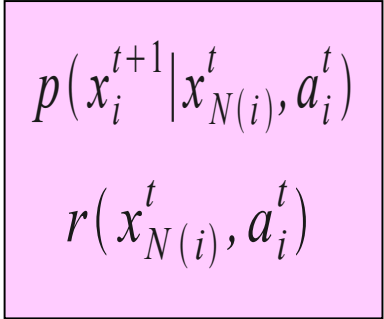
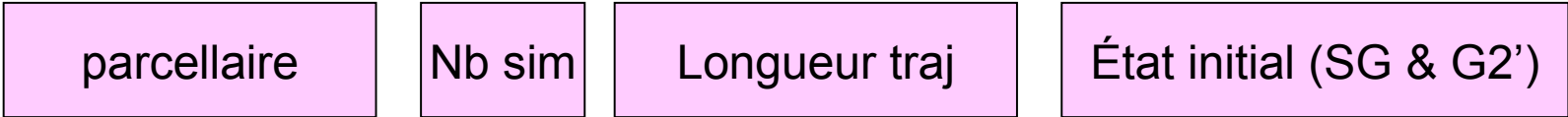
$a \in A$

$$p(x_i^{t+1} | x_{N(i)}^t, a_i^t)$$

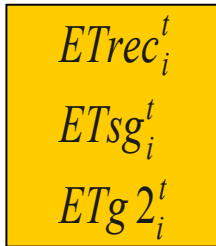
$$r(x_i^t, a_i^t, x_i^{t+1})$$



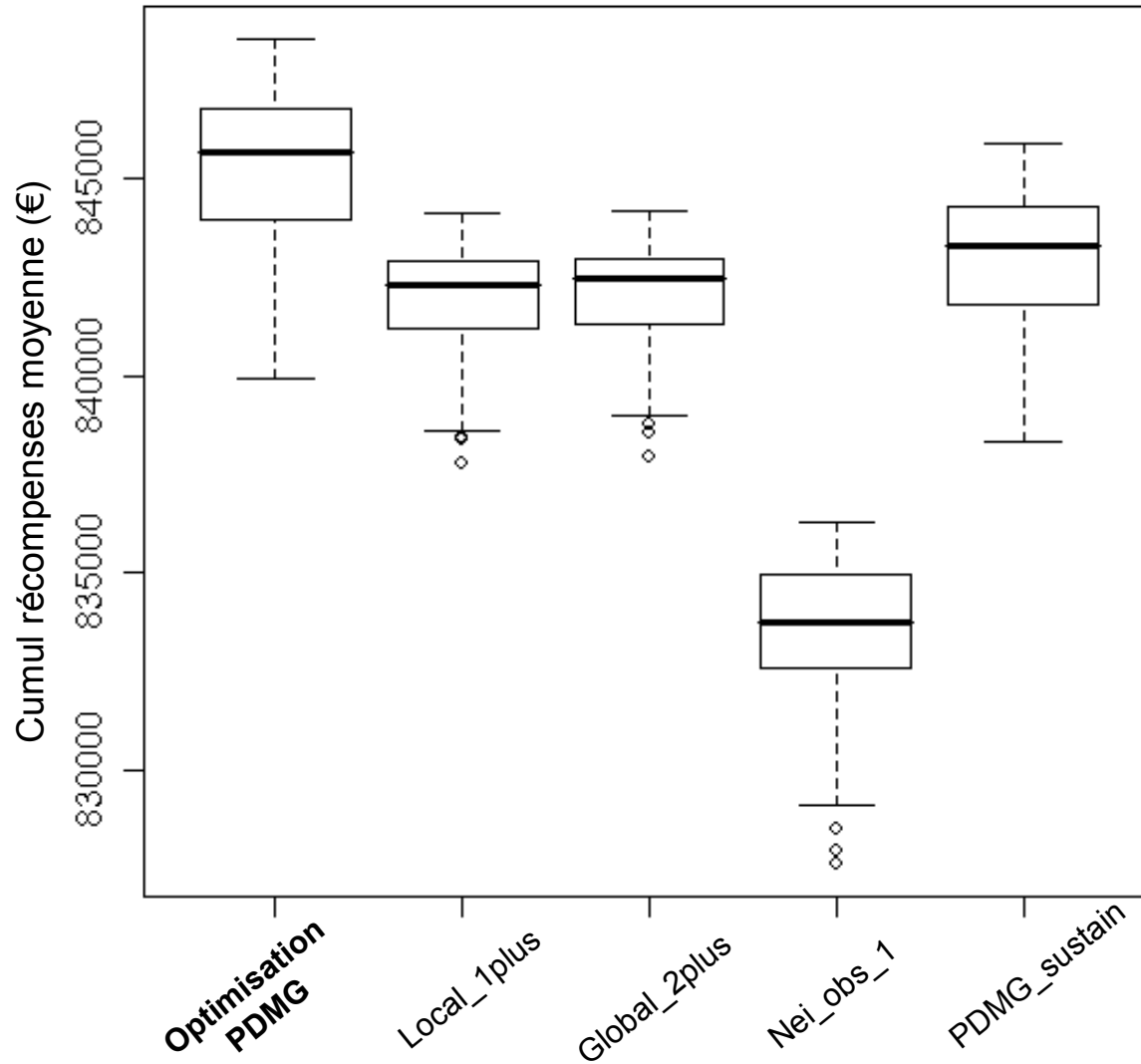
Simulation



Nb sim > 1



Résultats simulations



2 parcelles (10x10)
50 états initiaux
100 simulations
Trajectoire: 30 ans

Conclusion

Conception d'une stratégie collective et durable à l'échelle d'une région à l'aide du cadre des PDMG:

- Faisabilité : Oui
- Pertinence : ??
 - Gain faible par rapport à une politique experte « gloutonne »
 - Pas de certitude sur l'optimalité des stratégies retournées
 - + Fournit un modèle pour la conception de stratégies expertes
 - + Fournit un cadre pour la comparaison de ces stratégies



Perspectives

Analyser d'où vient la « faible » performance des PDMG par rapport aux politiques expertes?

- Structure du problème épidémio? (succès en gestion forestière)
- Modélisation inadéquate? (discrétisation des variables d'état...)
- Optimisation approchée pas efficace?

Améliorer la méthode de résolution approchée de PDMG utilisée

- La structure du problème « phoma » se prête à une résolution quasi-exacte
- Celle-ci permettrait d'éliminer la première et la troisième « causes »



Contexte	Modélisation	Simulation	Conclusion
----------	--------------	------------	------------

Merci de votre attention



Comparaison stratégie par optimisation / stratégies expertes

- Proposition de stratégies de contrôle expertes (en cours)
- Évaluation par simulation de la durabilité de la résistance pour différentes stratégies



Le Modèle

