

Modèle Processus Décisionnels de Markov sur Graphe : application au phoma du colza.



Jean-Noël Aubertot (UMR AGIR, Toulouse)

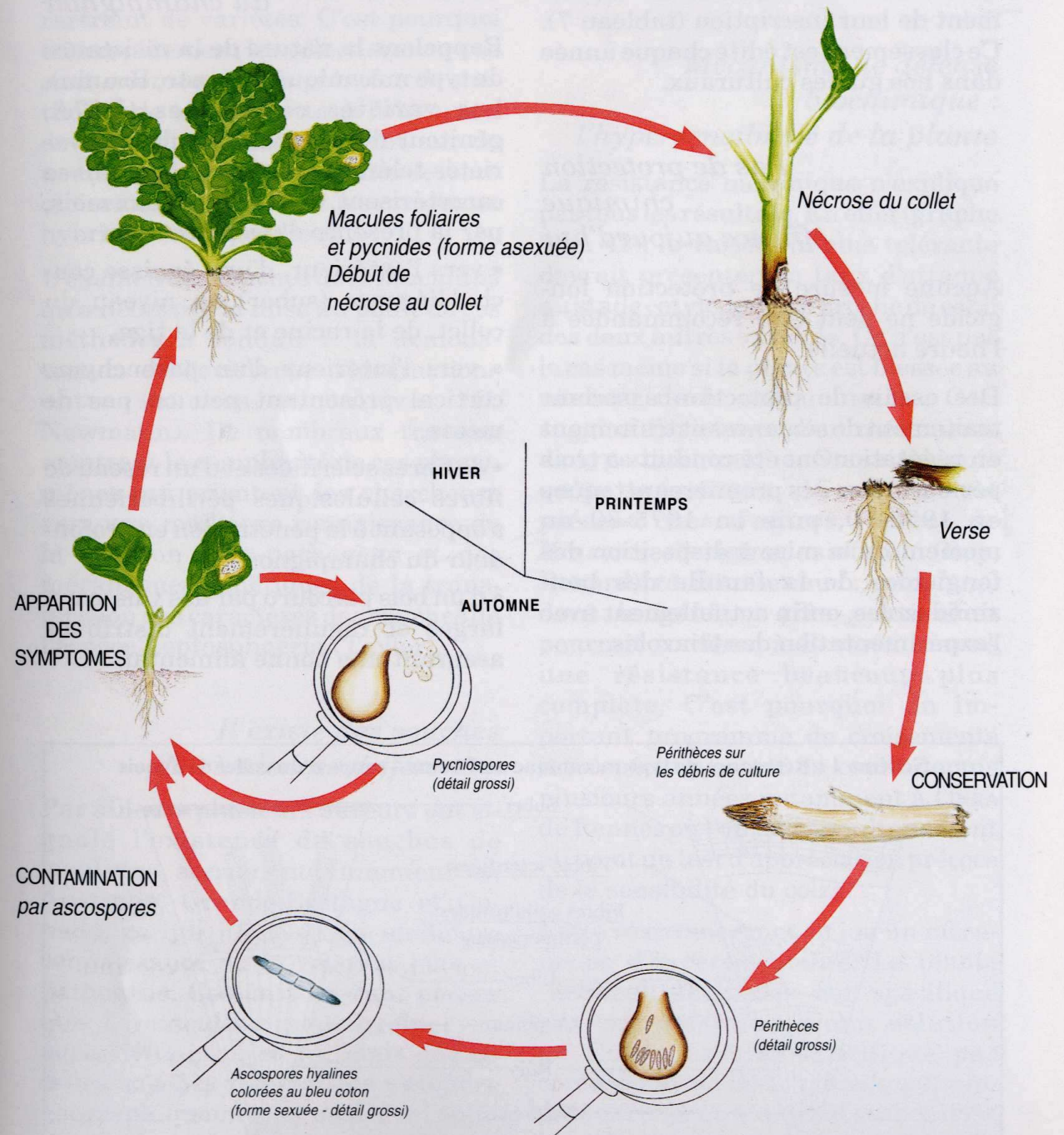
Marie-Josée Cros (UR MIA, Toulouse)

Nathalie Peyrard (UR MIA, Toulouse)

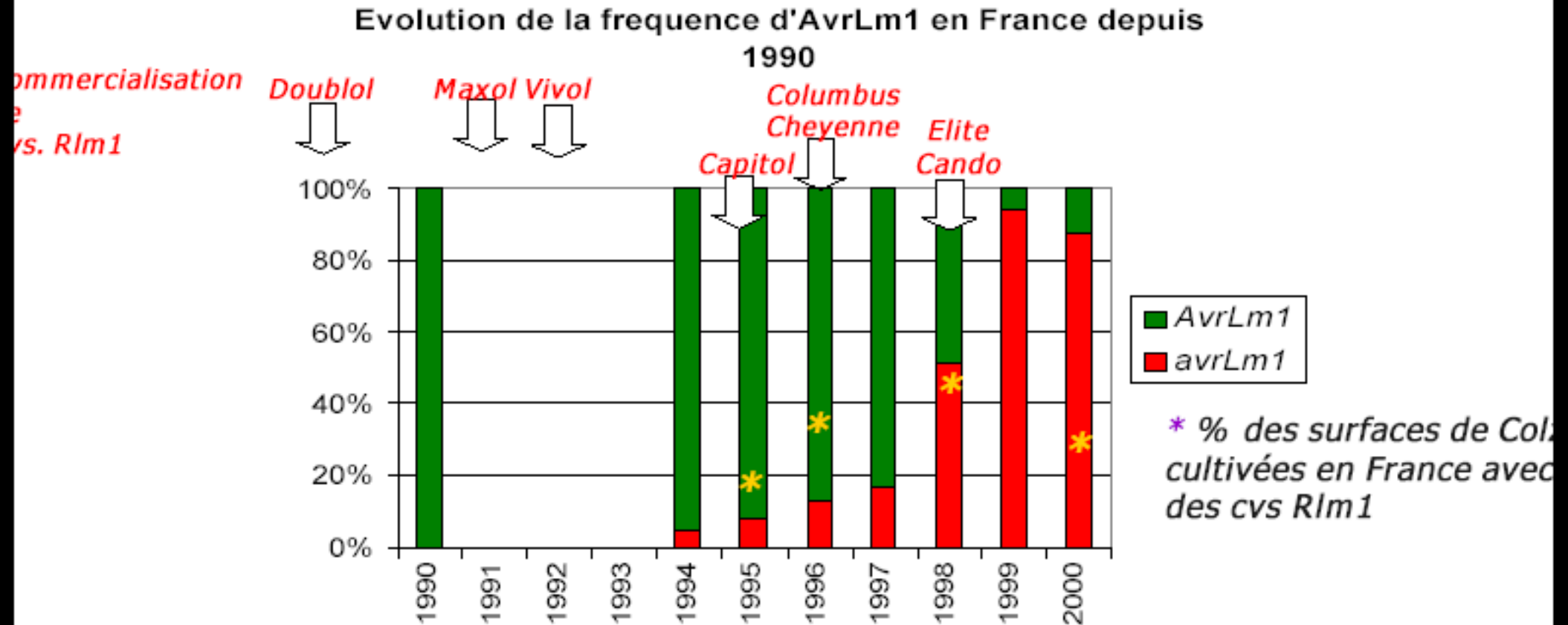
Régis Sabbadin (UR MIA, Toulouse)

Cycle épidémique

Leptosphaeria maculans (Phoma)



Exemple de l'interaction AvrLm1 / Rlm1

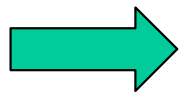


Un exemple parfait d'effondrement d'une résistance spécifique victime de son succès...

“Integrated Avirulence Management involves a strategy to limit the selection pressure exerted on pathogen populations and, at the same time, reduce the size of pathogen populations by combining cultural, physical, biological or chemical methods of control”.

Aubertot et al., EJPP 2006.

Existe-t-il une preuve expérimentale de l'effet du système de culture sur la vitesse d'adaptation d'une population pathogène à une résistance spécifique ?



Mise en place d'une expérimentation pour tester l'hypothèse selon laquelle le système de culture influence la vitesse d'adaptation d'une population pathogène (collaboration PMDV et UMR d'Agronomie de Grignon).

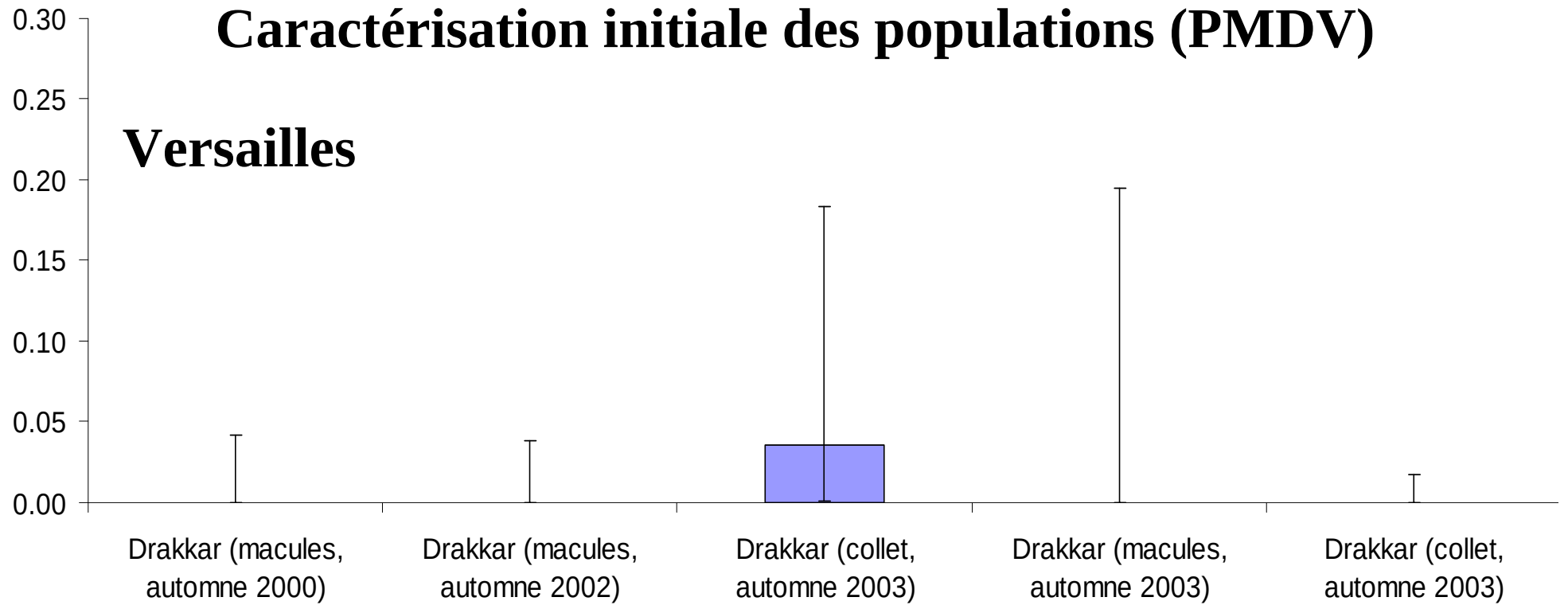
Protocole

- système de culture à risque : introduction d'une nouvelle résistance (Rlm7: Roxet, puis Exagone), monoculture de colza associée à un travail du sol superficiel
- système de culture prudent : introduction d'une nouvelle résistance (Rlm7: Roxet, puis Exagone), associée à une fréquence de retour du colza faible dans la succession ($<1/4 \text{ an}^{-1}$) et à un labour systématique avant le semis de la culture suivante
- le colza est conduit avec les mêmes règles de décision dans les 2 systèmes de culture.
- les 2 systèmes de culture sont conduits sur 2 sites distants d'une vingtaine de kilomètres (UE de Versailles-Grignon), de manière à considérer des populations de *L. maculans* différentes, pour des scénarios climatiques voisins.
- caractérisation de la sévérité de la nécrose et de la virulence (sur une variété sans résistance spécifique)

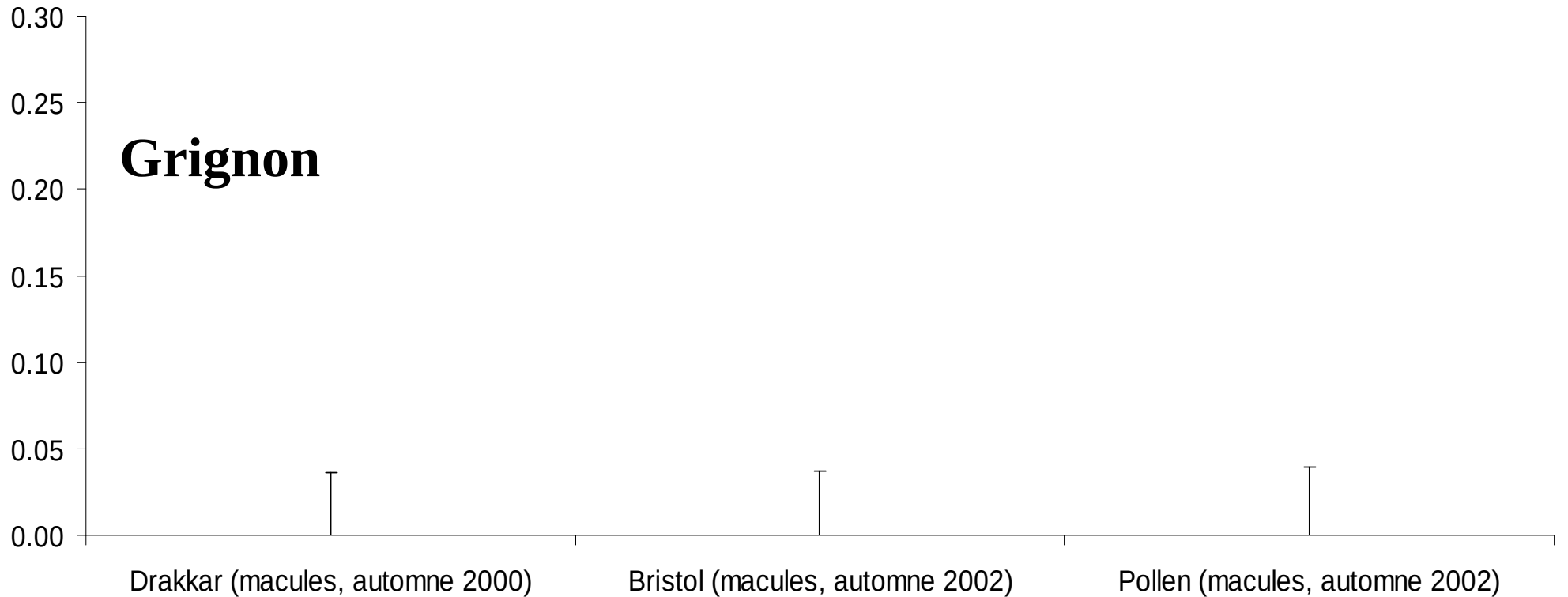
Caractérisation initiale des populations (PMDV)

Versailles

Fréquence de souches virulentes sur RIm7



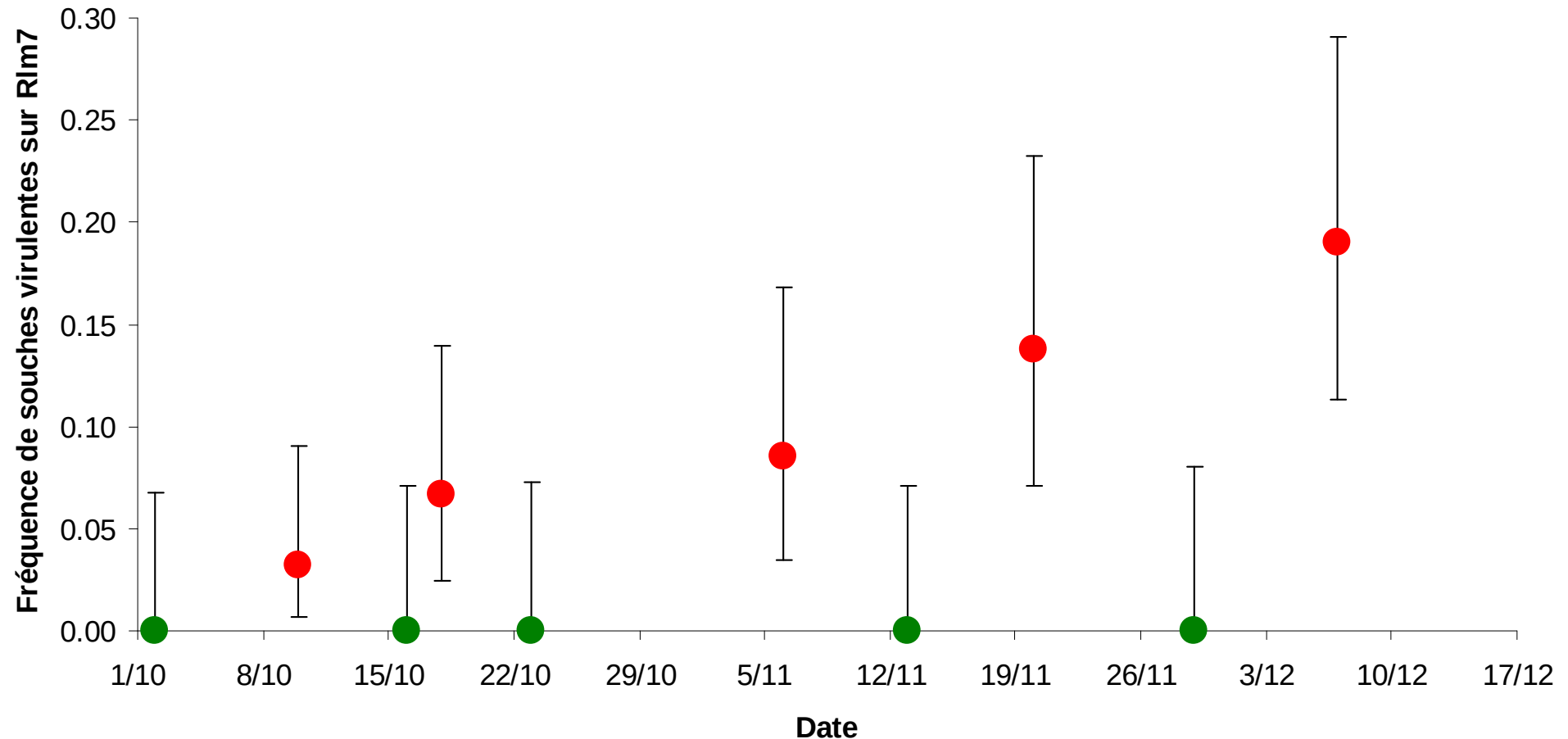
Grignon



Caractérisation de la sévérité des nécroses

- Système de culture prudent (Versailles, été 2007): $G2 = 0.16$
- Système de culture à risque (Grignon, été 2007): $G2 = 0.86$

Caractérisation de la virulence à l'automne 2006 (PMDV), après deux années de culture (premier semis à l'été 2004)



- Système de culture prudent (Versailles)
- Système de culture à risque (Grignon)

Daverdin G, Rouxel T, Gout L, Aubertot JN, Fudal I, Meyer M, Carpezat J, Balesdent MH. Genome structure, reproductive behaviour and cultural practices impact the evolutionary potential of a fungal phytopathogen. Public Library of Science Pathogens. Sous presse..

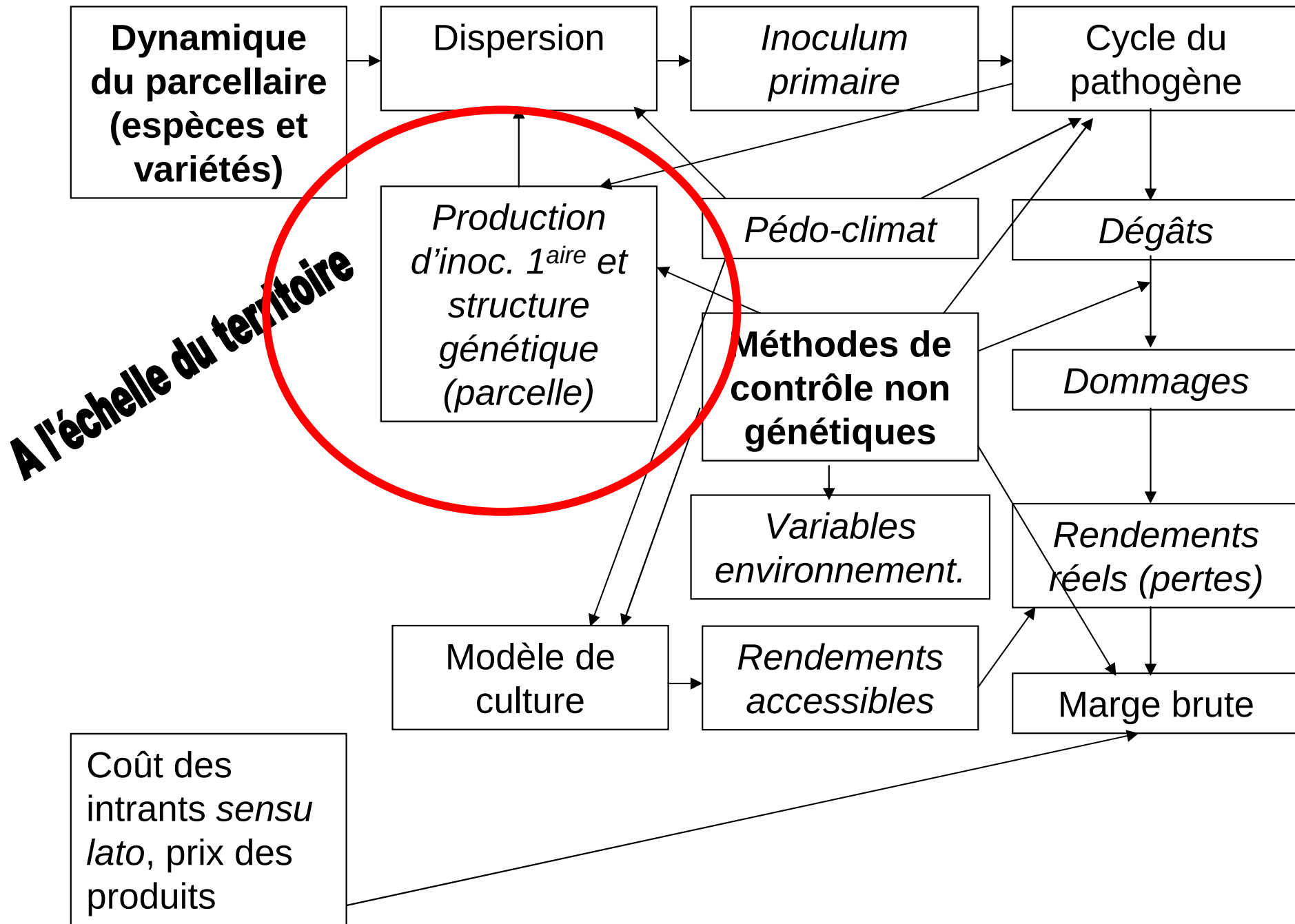
Objectif : développer un modèle représentant les effets des systèmes de culture sur les épidémies et l'adaptation des populations aux résistances variétales à l'échelle du territoire

Méthodes :

- 1) développement d'un modèle de simulation mécaniste (SIPPOM)
- 2) Processus Décisionnels de Markov sur Graphe

Schéma conceptuel de SIPPOM

A l'échelle de la parcelle



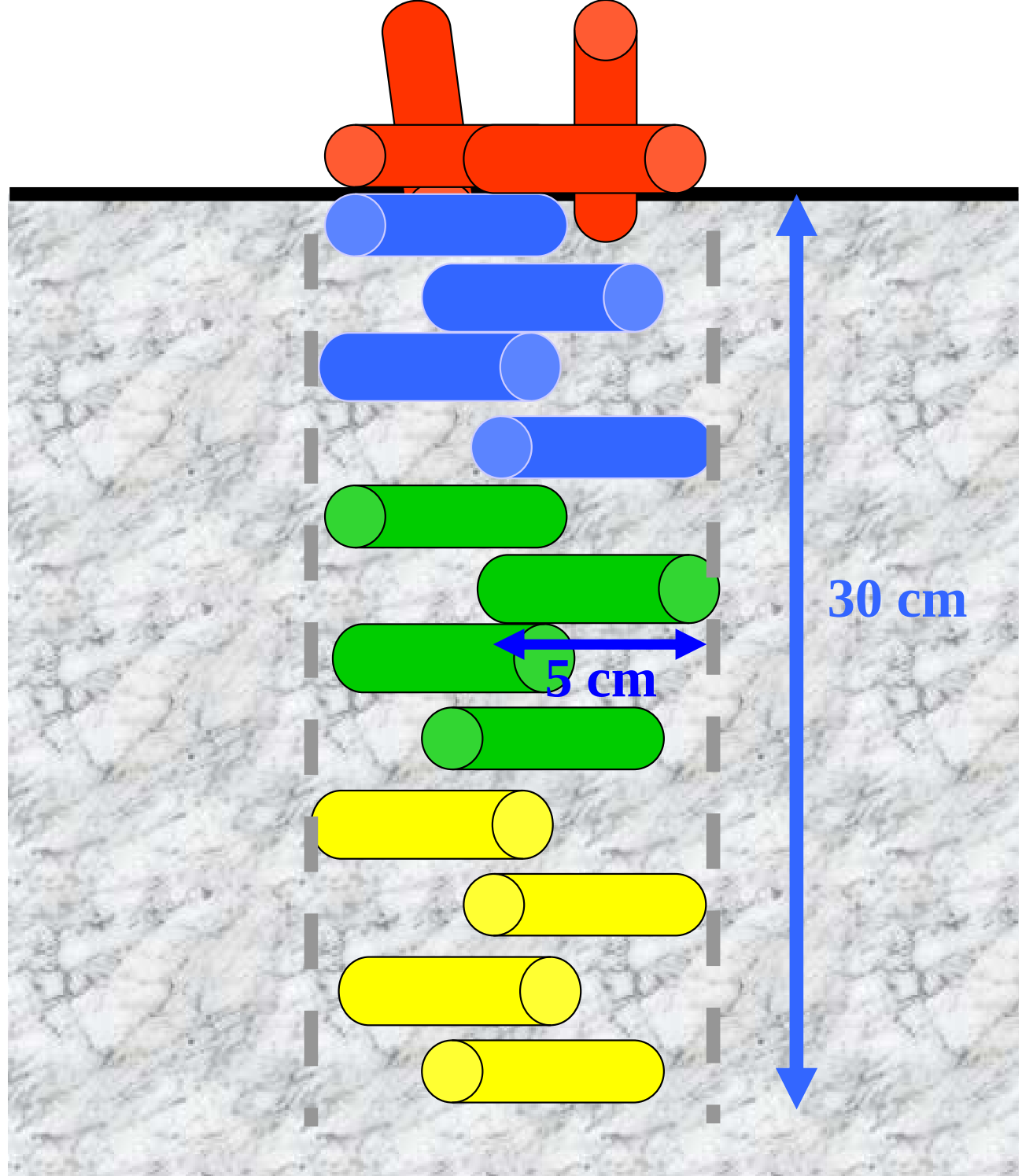
Expérimentation (Thèse O. Schneider, 2005) :

Quantifier l'effet de différents types de travail du sol sur la localisation des résidus

Opérations étudiées:

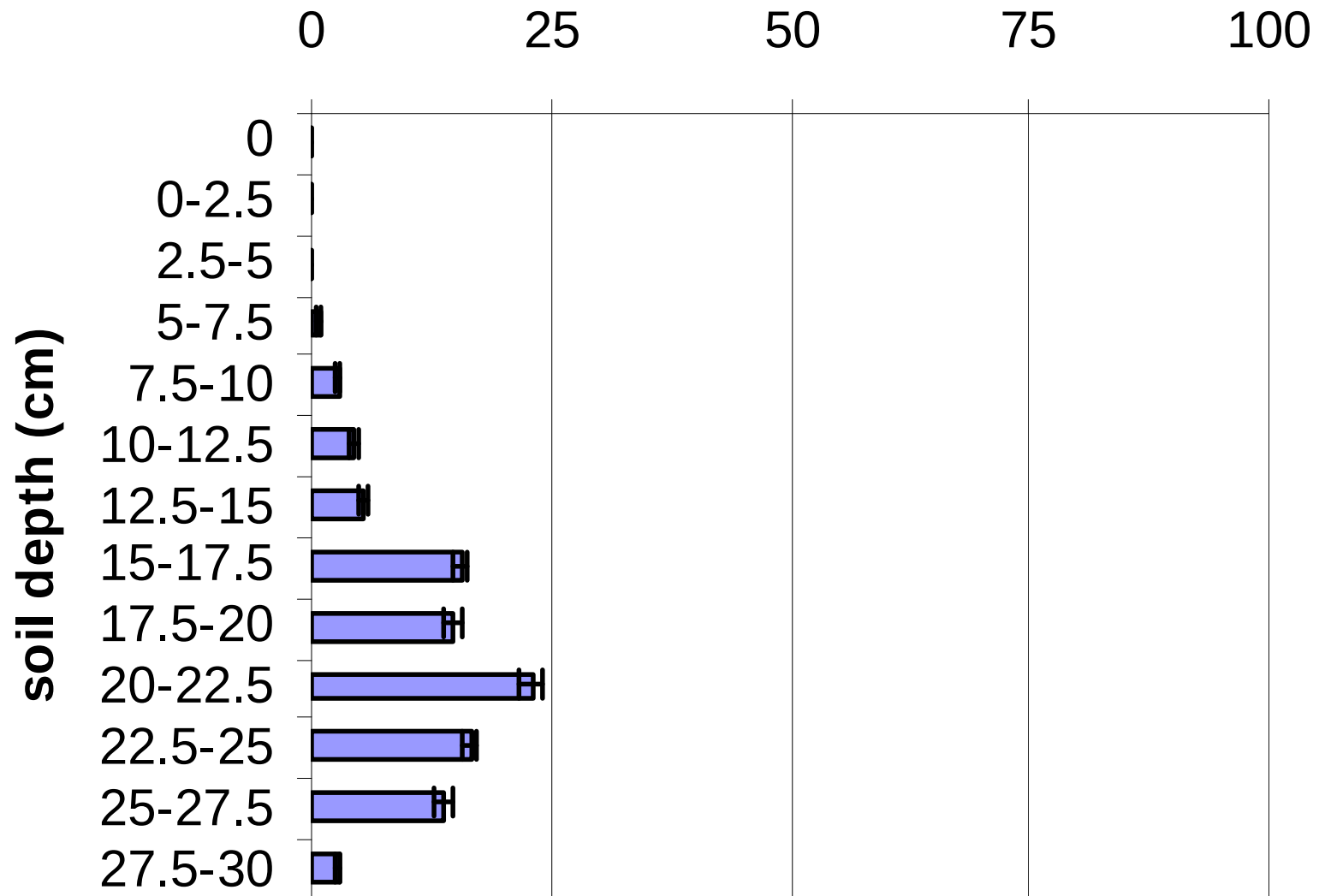
- **Labour**
- **Herse rotative**
- **Cover crop**
- **Chisel**
- **Semis**

Méthode :

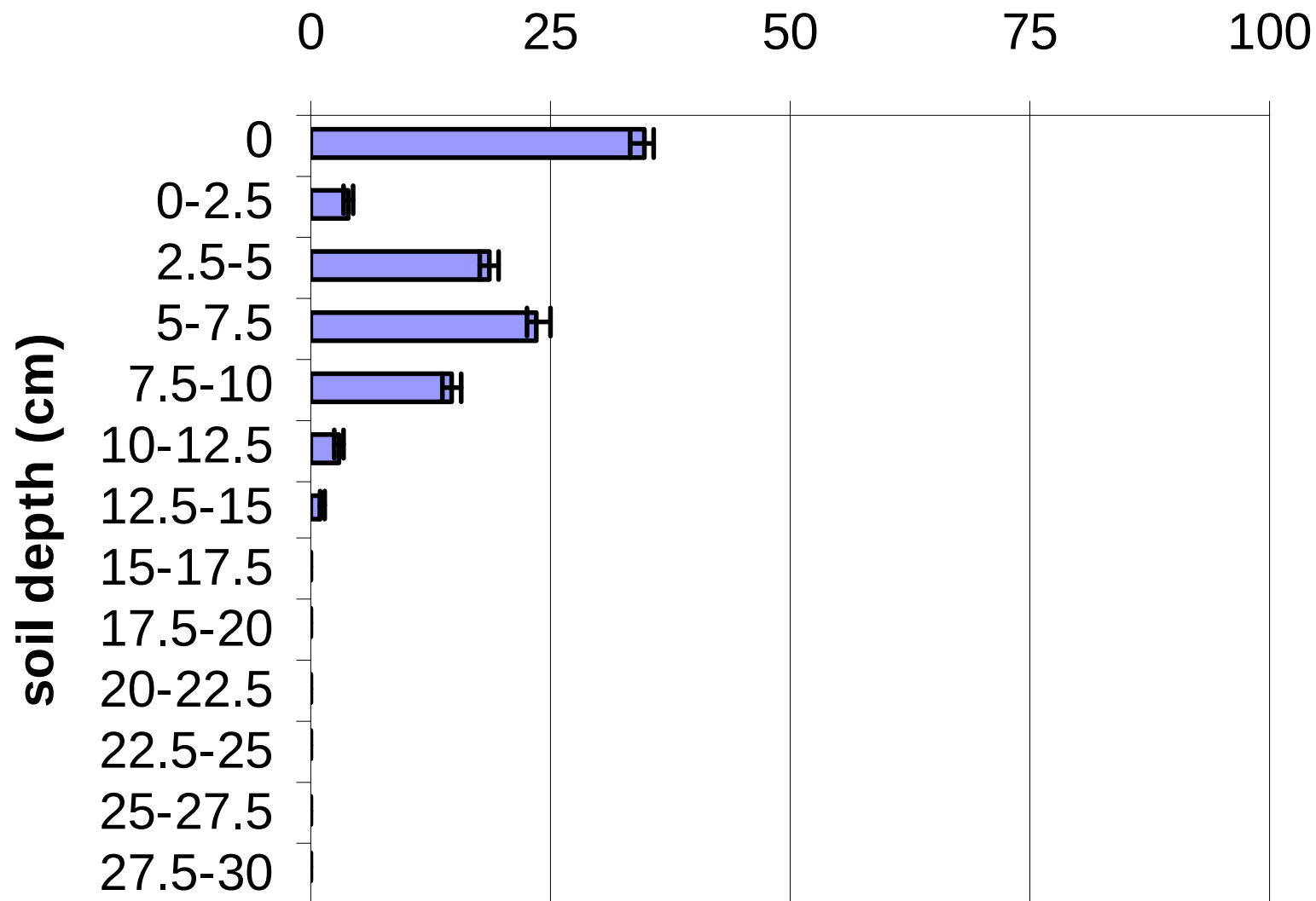




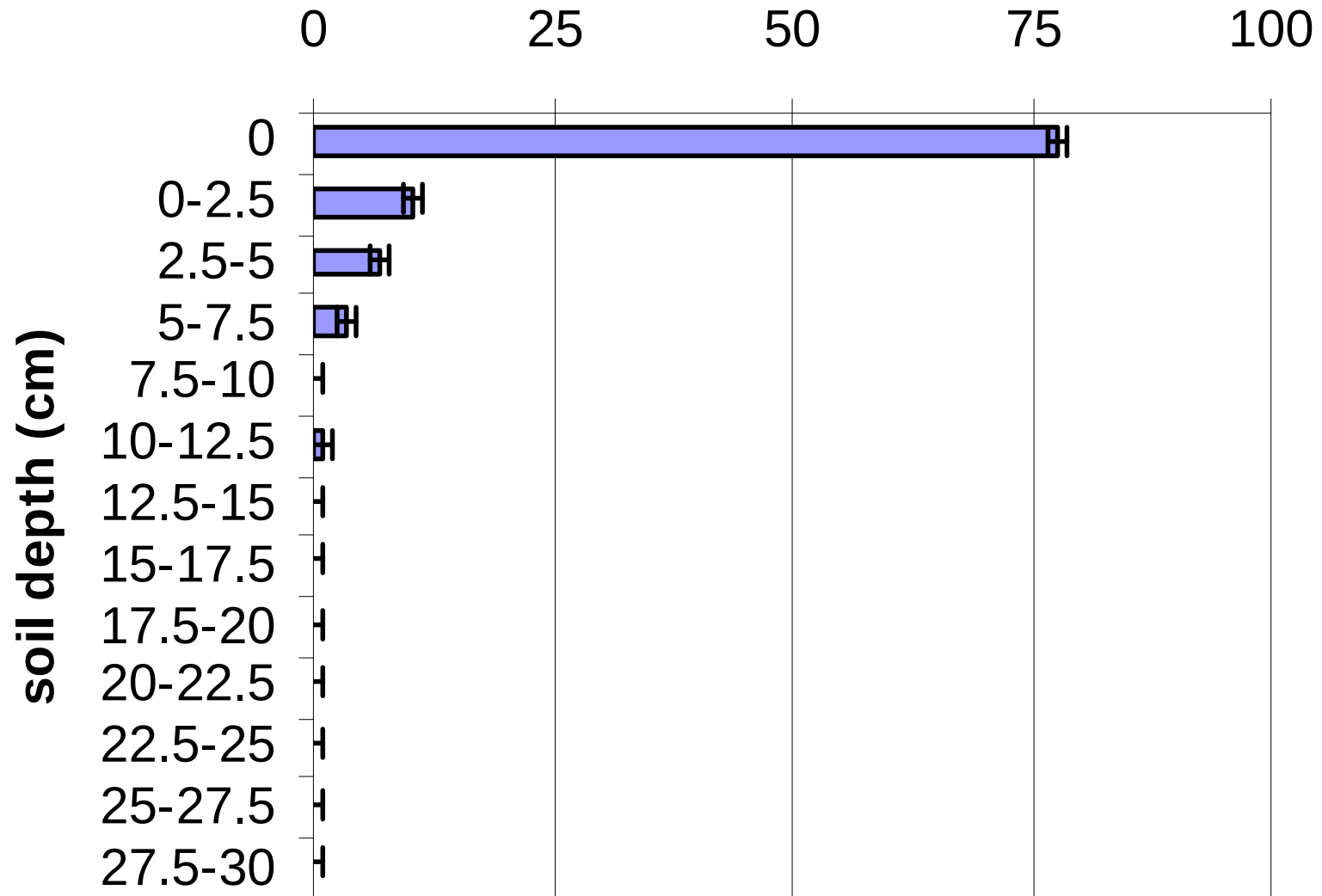
% of total amount of surface residues after mouldboard ploughing



% of total amount of surface residues after stubble disking



% of total amount of surface residues after rotary harrowing



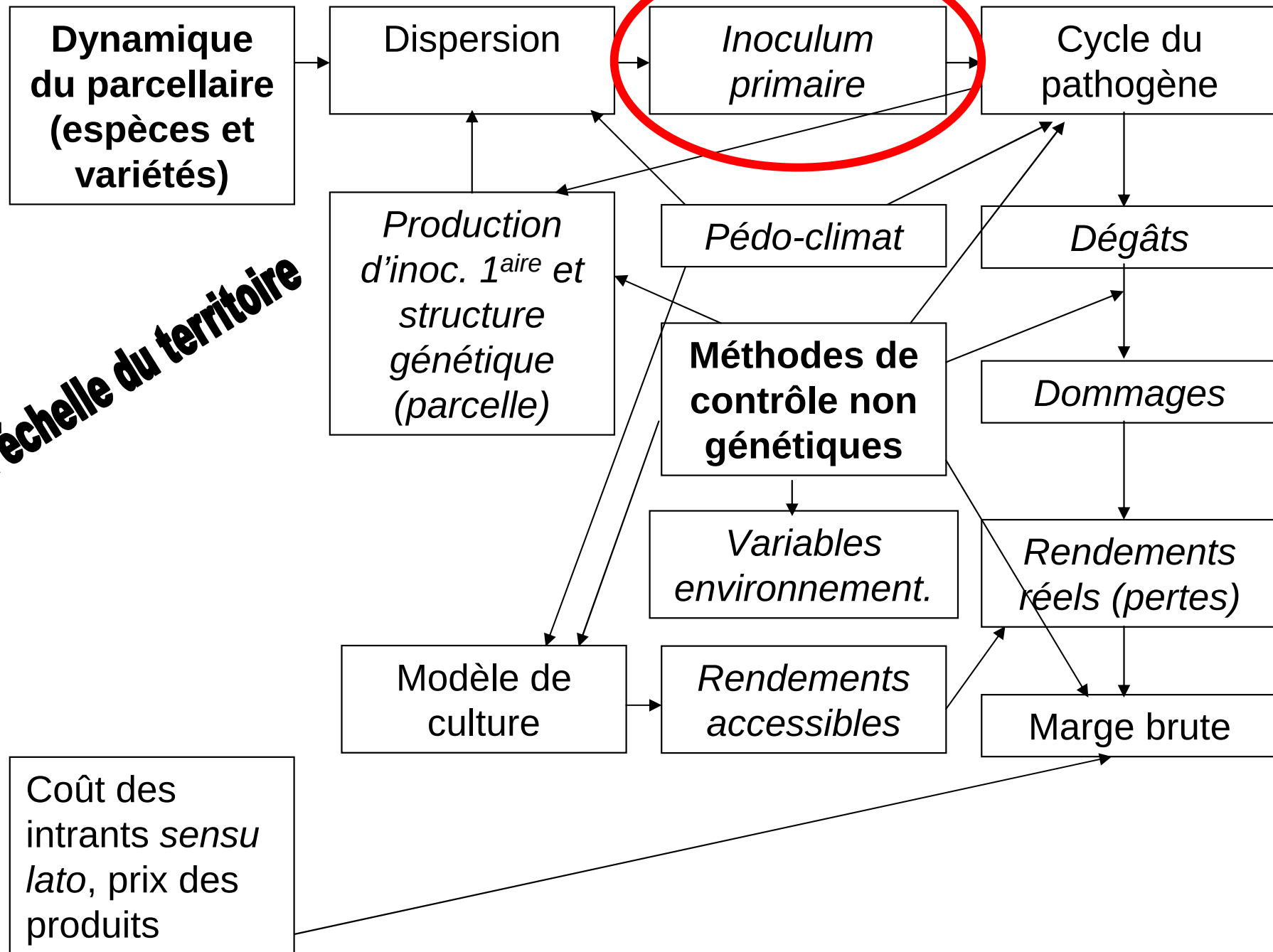
Simulations

					Vecteur d'état initial	Vecteur d'état final
Labour	0	0.1	0.4	0.1	100	0
	0	0.3	0.3	0.1	0	0
	0.8	0.5	0.2	0.1	0	80
	0.2	0.1	0.1	0.7	0	20
Chisel	0.7	0.3	0	0	100	70
	0.3	0.5	0	0	0	30
	0	0.2	0.9	0.1	0	0
	0	0	0.1	0.9	0	0

Schéma conceptuel de SIPPOM

A l'échelle de la parcelle

A l'échelle du territoire



Hypothèses de SimMat

(adaptation de Sporacle, Salam et al., 2003)

- La maturation des périthèces est fonction d'un cumul de jours favorables à la maturation à partir de la récolte.
- Un jour est favorable à la maturation si la température moyenne journalière n'est ni trop élevée, ni trop basse et qu'il y a suffisamment d'humidité à la surface du sol.
- Le nombre de jours favorables nécessaire à la maturation suit une distribution Gaussienne
- Une proportion de périthèces matures libère ses ascospores en fonction de la quantité de pluie reçue.

Ce que l'on peut traduire mathématiquement par :

- Si $\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$ et $r > r_{\min}$ sur les derniers n_d jours

$$DFM(d)=1$$

sinon

$$DFM(d)=0$$

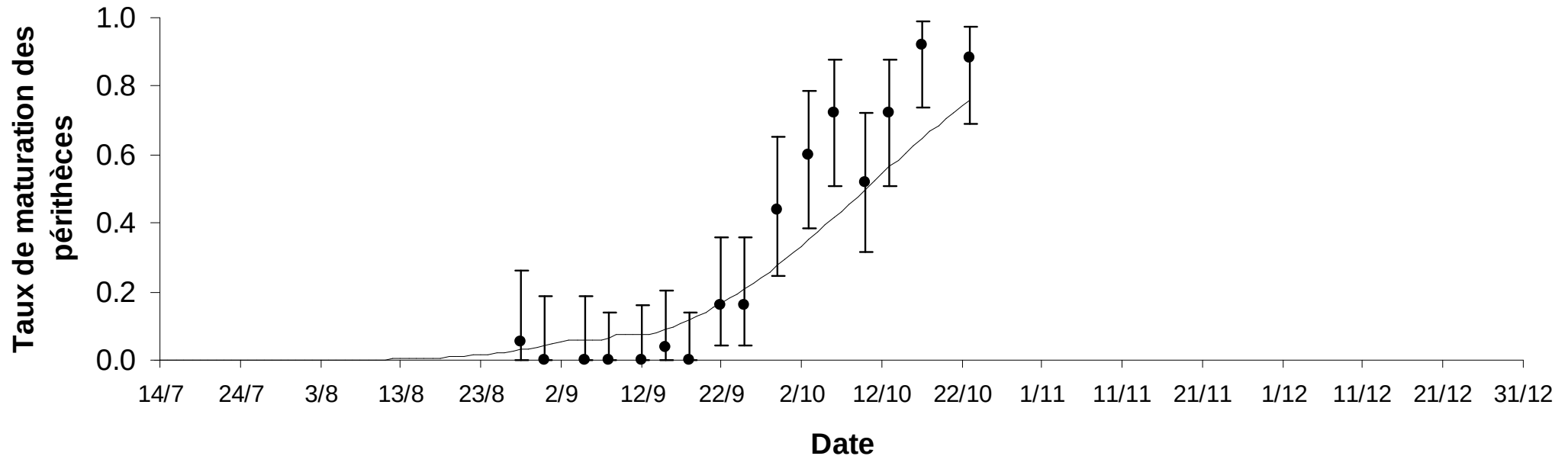
- $CDFM(d) = \sum_{i=0}^d DFM(i)$

- $P_{MP}(d) \cong \frac{1}{\sigma_{FD} \sqrt{2\pi}} \int_0^{CDFM(d)} e^{-\frac{(x - N_{FD})^2}{2\sigma_{FD}^2}} dx$

- $P_{EP}(d) = 1 - e^{-kr}$

Evaluation de la qualité prédictive de SimMat (exemple sur un jeu de données PV, EPICENTRE)

Rosières, 2006



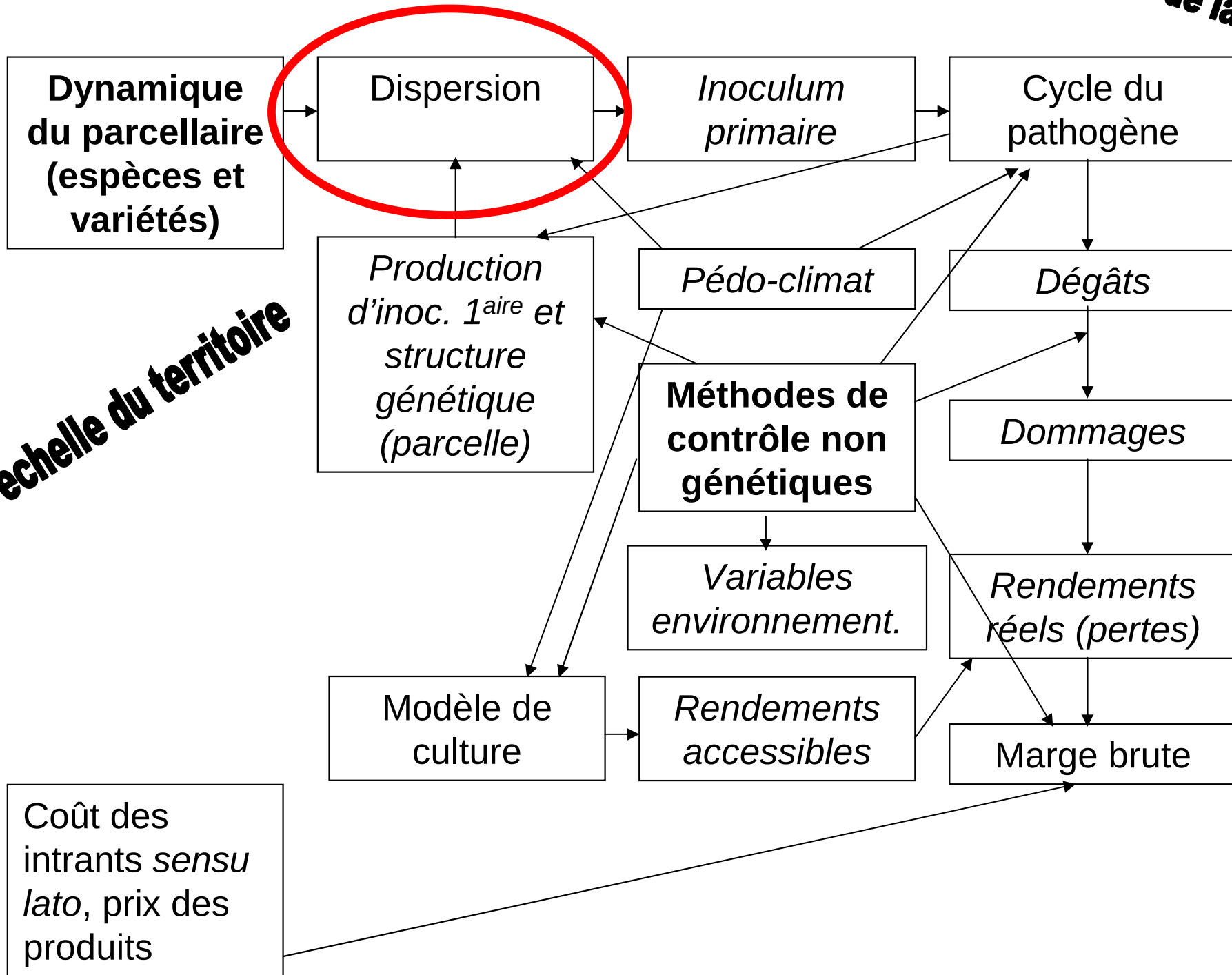
Critères statistiques en validation croisée sur 116 sites-années :

$\text{Bias}_{\text{CV}}=0.026$, $\text{MAE}_{\text{CV}}=0.017$, $\text{RMSEP}_{\text{CV}}=0.22$, $\text{Efficience}_{\text{CV}}=0.51$

Schéma conceptuel de SIPPOM

A l'échelle de la parcelle

A l'échelle du territoire



Exemple de dispersion (à partir d'une densité de probabilité suivant une loi de semi-Cauchy-Lorentz)

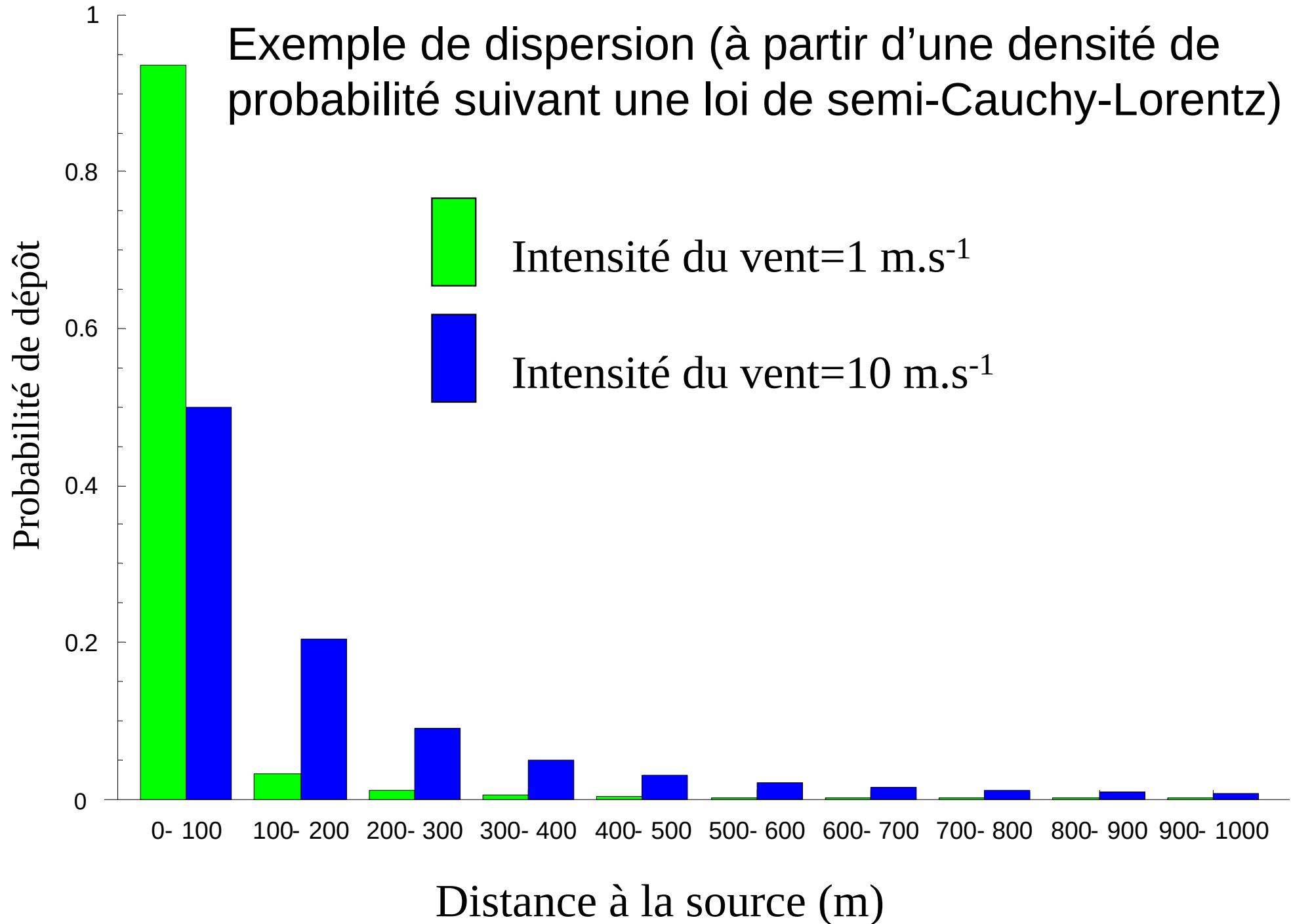
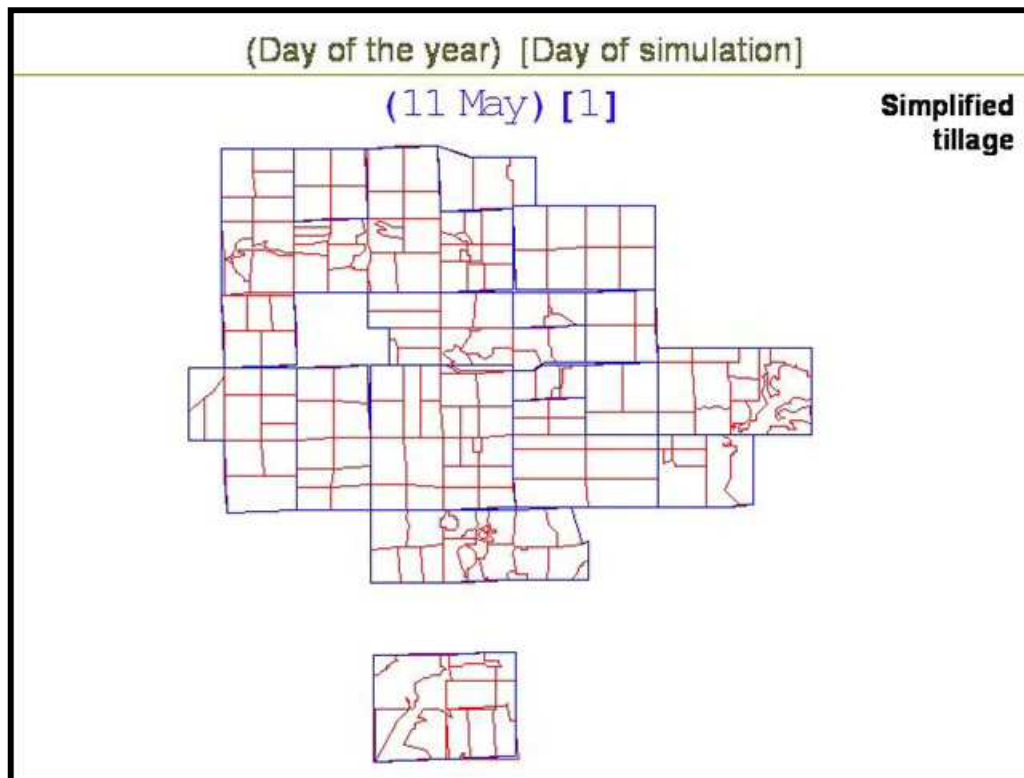
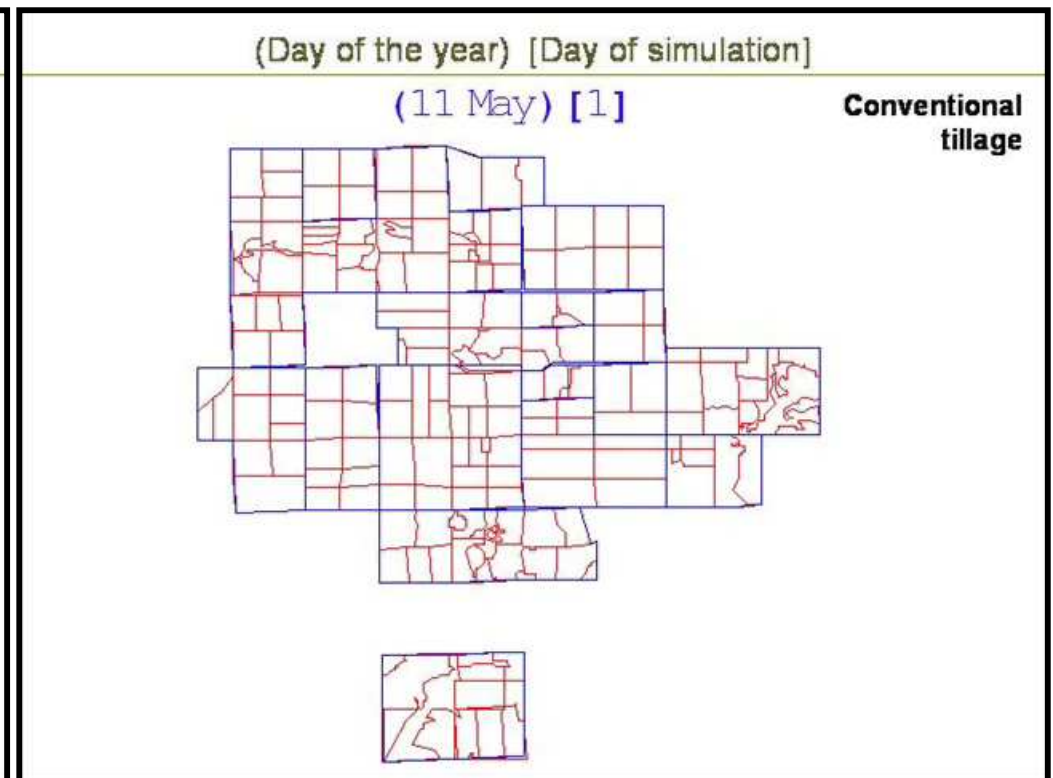


Illustration des effets du travail du sol sur l'inoculum à l'échelle du paysage (simulations réalisées à l'aide de SIPPOM)

Travail du sol simplifié



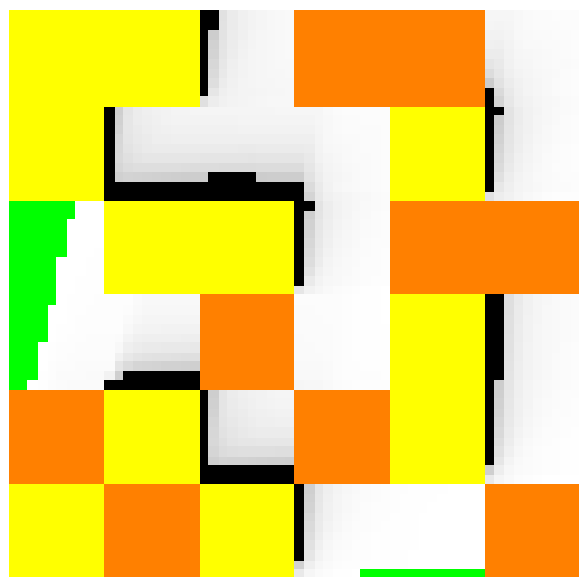
Travail du sol avec labour



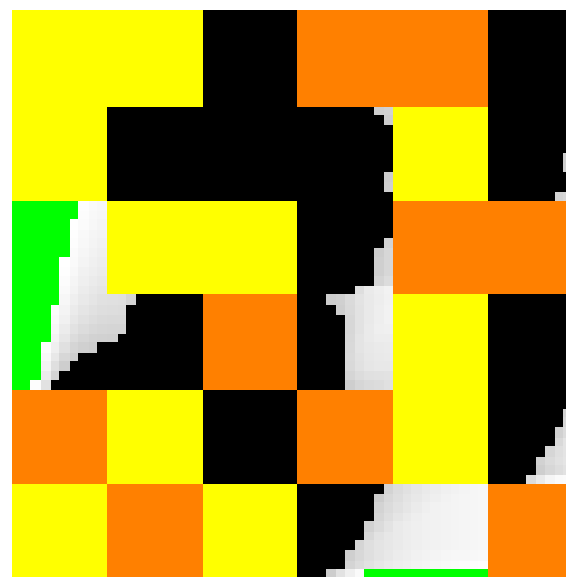
Aubertot et al., numéro spécial EJPP, 2006
collaboration Department Agriculture, Western Australia, Rothamsted Research, BIO3P

Simulation de la dispersion annuelle des spores dans deux situations

Labour



Travail simplifié



1 km

Sorties relatives à la durabilité de la résistance

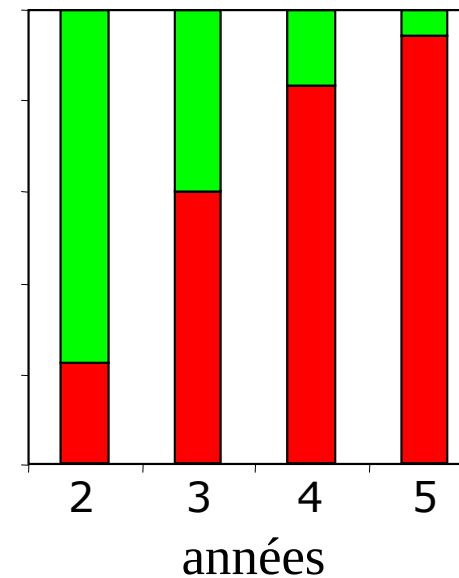
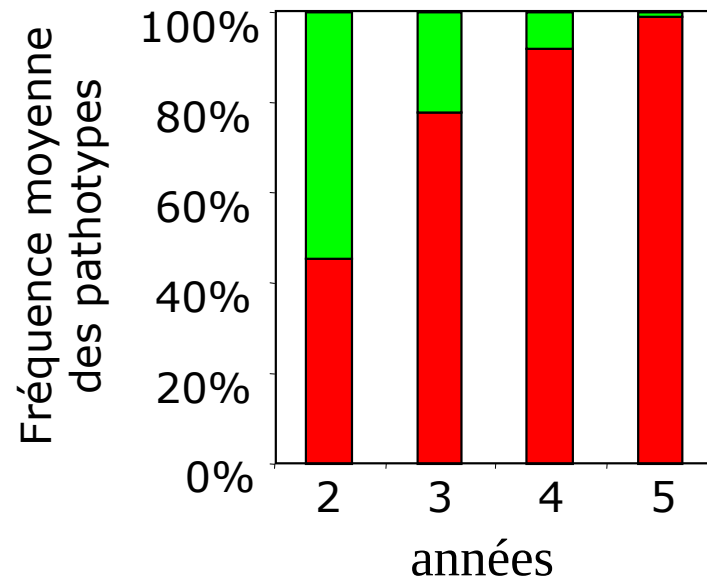
50 % R. spécifique

50 % Variété sensible

ITK intensif avec
travail du sol simplifié

50 % R. spécifique/ ITK
intégré avec labour

50 % Variété sensible/
ITK intensif avec travail du
sol simplifié



Pathotype avirulent



Pathotypes virulents correspondants au gène
de résistance introduit

Objectif : développer un modèle représentant les effets des systèmes de culture sur les épidémies et l'adaptation des populations aux résistances variétales à l'échelle du territoire

Méthodes :

- 1) développement d'un modèle de simulation mécaniste (SIPPOM)
- 2) Processus Décisionnels de Markov sur Graphe

Qu'est-ce qu'un PDM ?

Un PDM est défini par un quadruplet $\langle \chi, A, p, r \rangle$:

- $\chi = \{x^1, \dots, x^n\}$, états possibles du système
- $A = \{A^1, \dots, A^m\}$, actions possibles
- $p(x'|x, a)$: probabilités de transition
- $r(x, a)$: fonction de récompense

Politique

$$\delta: \chi \rightarrow \mathcal{A}$$

Trajectoire

$$\tau = \langle x_0, \delta(x_0), x_1, \delta(x_1), \dots, x_t, \delta(x_t) \rangle, t \in H \subseteq \{0, \dots, +\infty\}$$

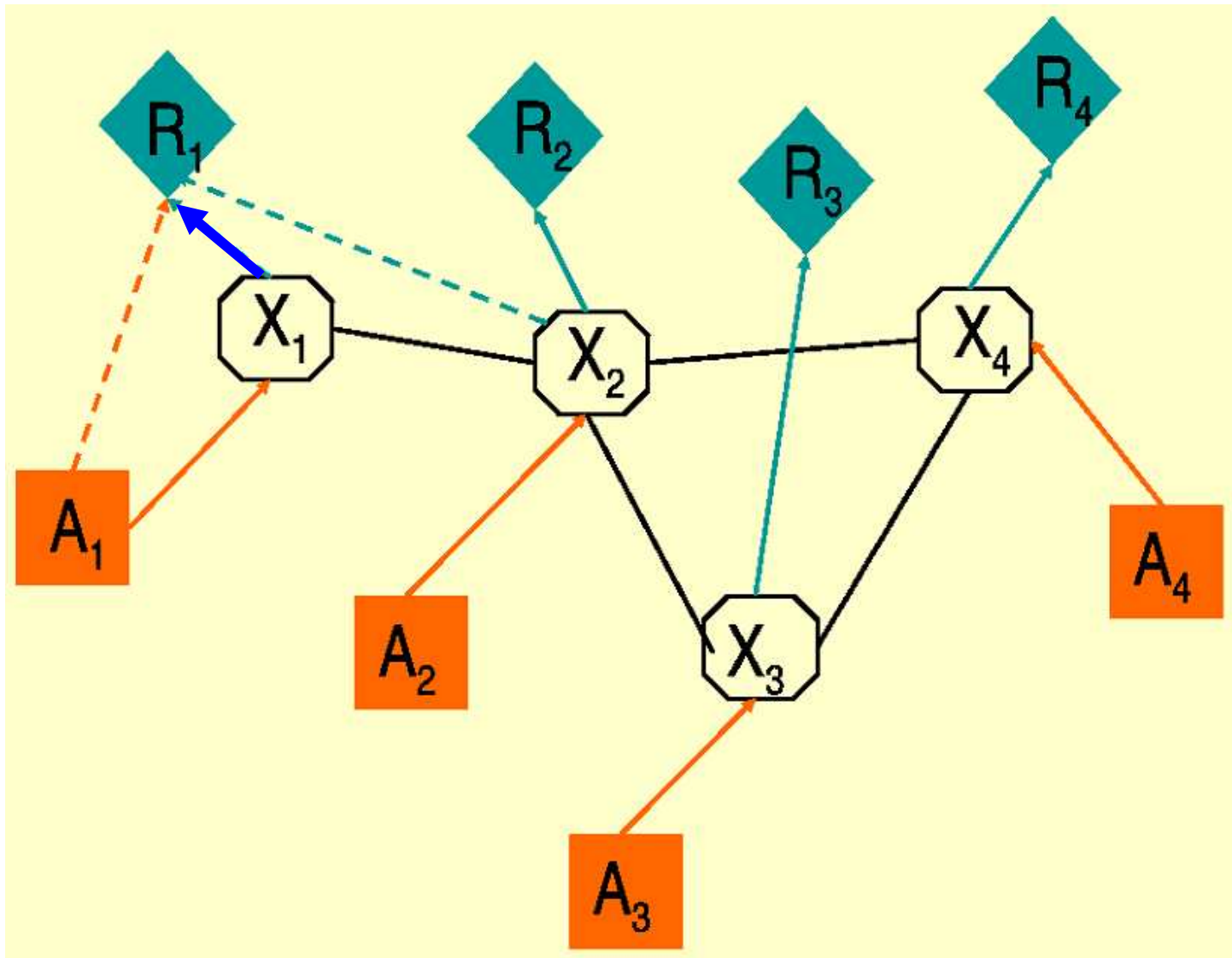
Fonction de valeur:

$$V_\delta(x_0) = E \left[\sum_{t \in H} \gamma^t r_t(x_t, \delta(x_t)) \right], 0 \leq \gamma \leq 1$$

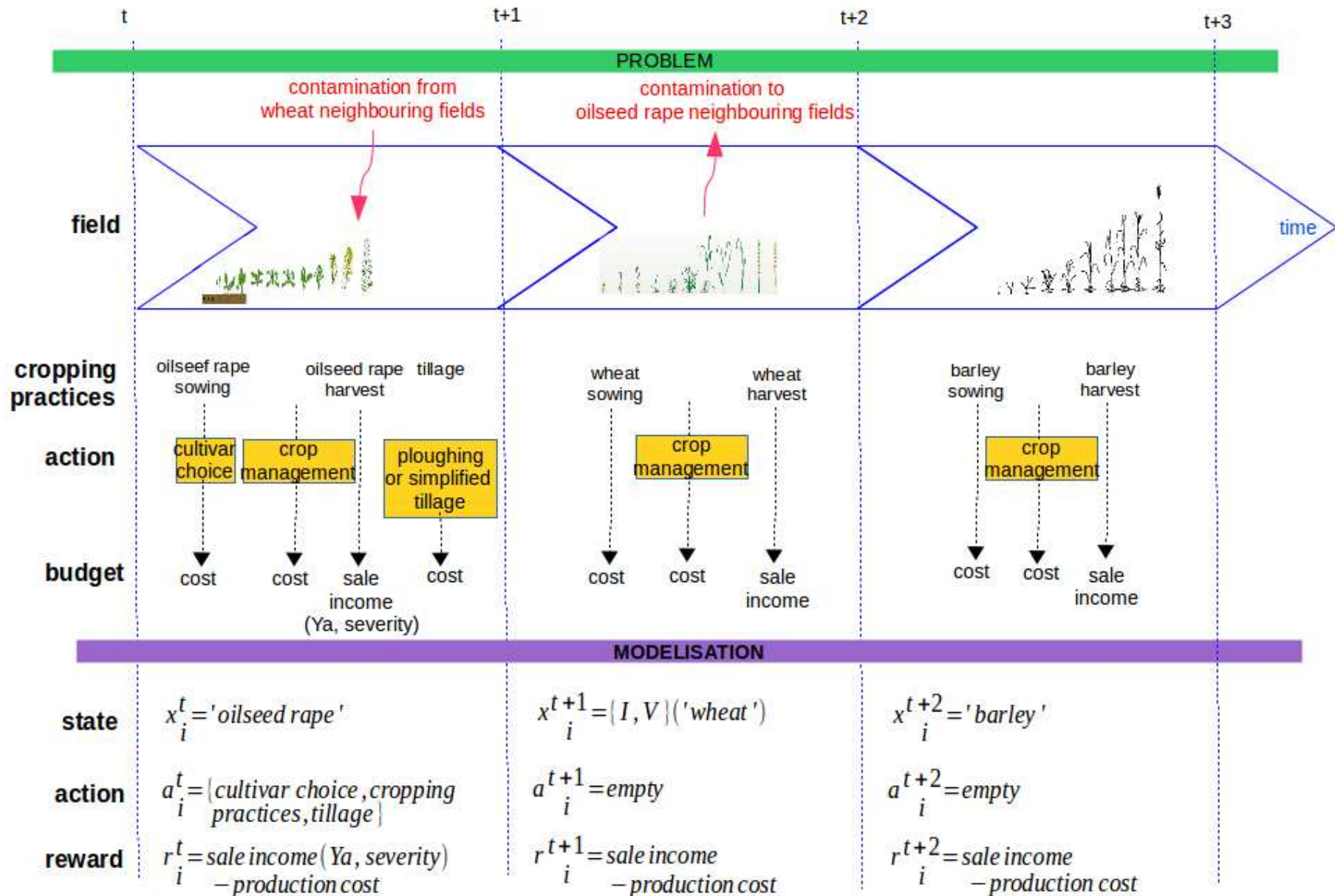
Trouver une politique optimale δ^* tq $V_{\delta^*}(x_0) \geq V_\delta(x_0) \forall x_0$

Qu'est-ce qu'un PDMG ?

Exemple de représentation graphique d'un PDMG



Development of a simple model in a GMDP framework



Local_1 :

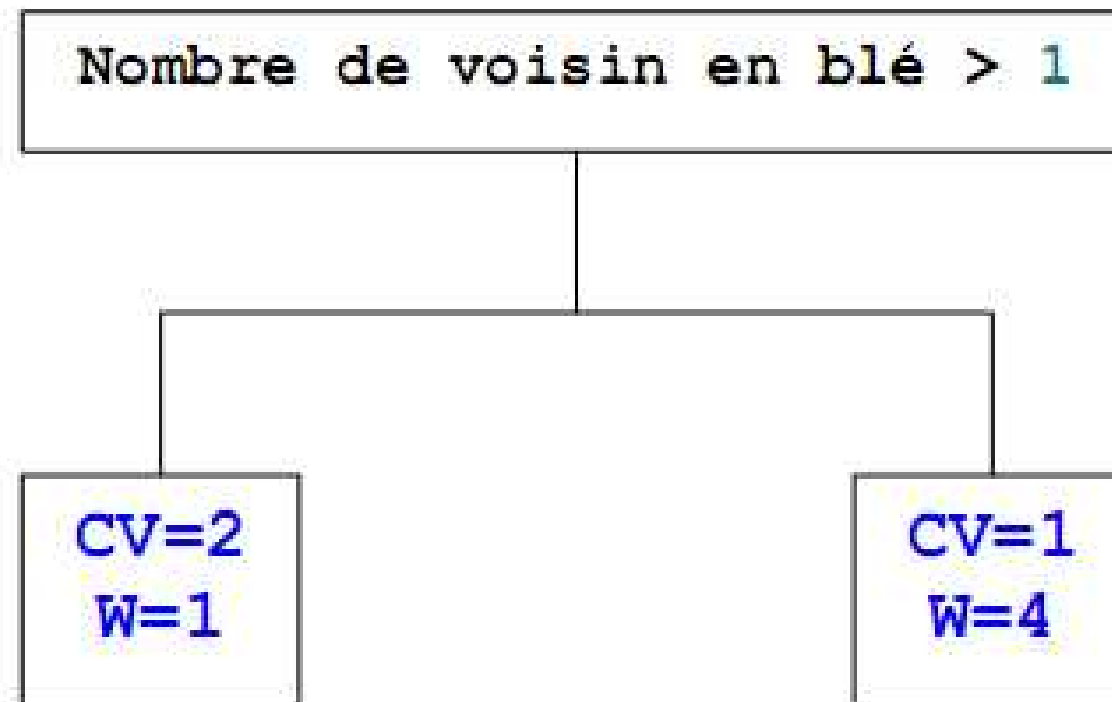
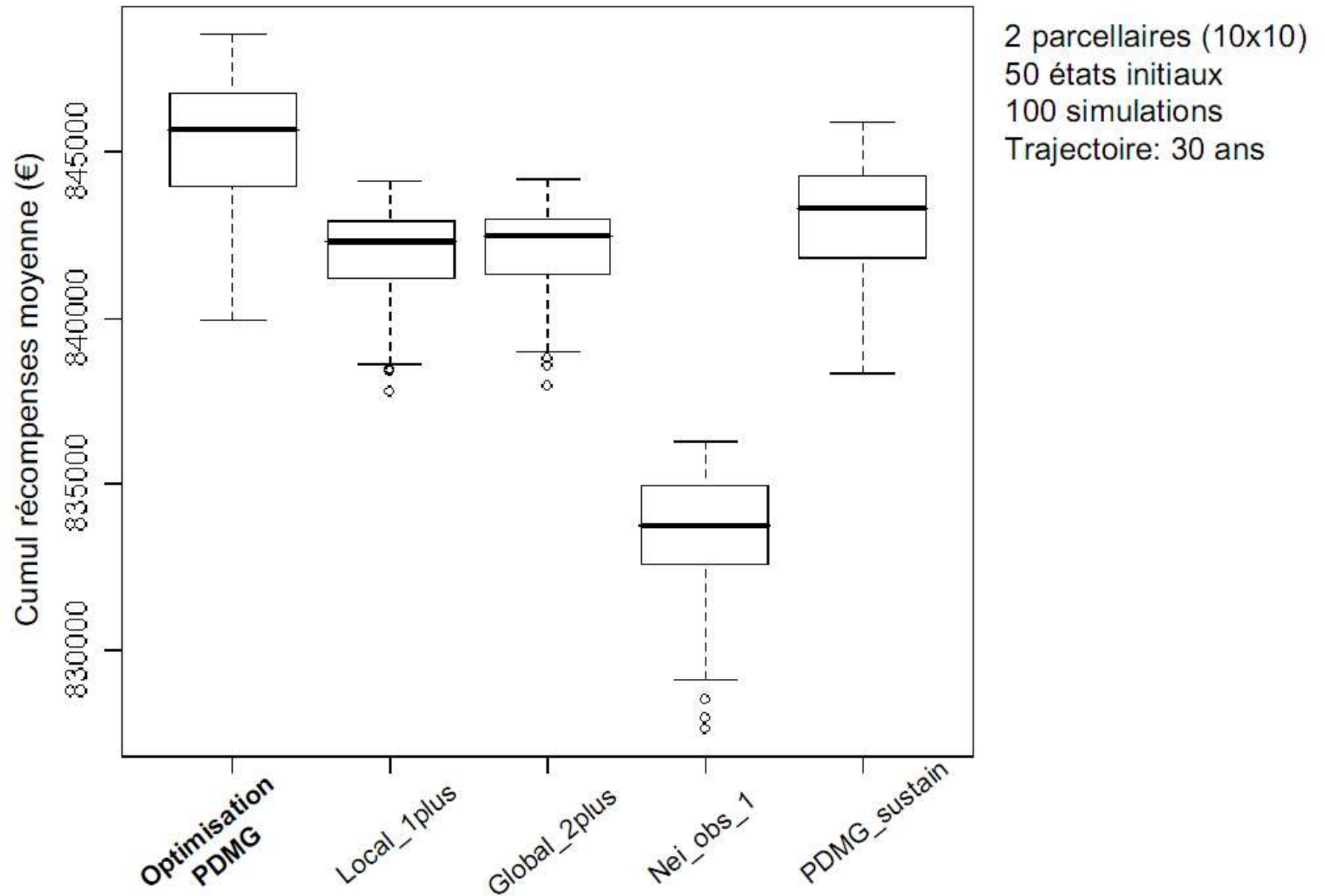


Figure 13 : arbre décisionnel de la politique Local_1. Les valeurs en bleu représentent les actions. La valeur en vert représente un seuil obtenu par optimisation.

Comparaison de stratégies



GMDP toolbox (<http://www.pure-ipm.eu>):

<http://www.inra.fr/mia/T/GMDPtoolbox>

<http://www.mathworks.com/matlabcentral>

The image shows a screenshot of the MATLAB Central File Exchange page for the 'Graph-based Markov Decision Processes (GMDP) toolbox'. The page is displayed in a web browser window. The toolbox is by Marie-Josée Cros, updated on 20 Jan 2015. It has 15 downloads in the last 30 days, a file size of 1010 KB, and is version 1.1. The toolbox requires MATLAB R2014b or newer. The description states that the toolbox provides functions for solving Graph-based Markov Decision Processes (GMDP) using a factored representation. The required products are MATLAB R2014b, and the search path is /gmdptoolbox. Other requirements include the MATLAB Parallel Computing Toolbox and the graphviz4matlab toolbox. The tags for this file are control design, gmdp, graphbased markov decision processes, markov decision process, optimization, and toolbox. The page also includes a 'Download Toolbox' button, a 'Download Zip' button, and a 'Watch this File' button. The toolbox is licensed under the BSD License.

Overlaid on the bottom right is a preview of the GMDP toolbox documentation. The title is 'GMDPtoolbox' with the subtitle 'Matlab tools for Graph-based Markov Decision Processes'. The 'News' section lists two versions: Jan. 2015: version 1.0 and Nov. 2014: version beta2. The 'Presentation' section describes the toolbox as a framework for solving GMDP problems using a factored representation. The 'Reference' section cites a paper by N. Forsell, N. Peyrard, and R. Sabbadin. The 'Authors' section lists the developers: MJ. Cros, N. Peyrard, and R. Sabbadin. The 'Acknowledgements' section mentions funding from the European Union seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n°265865. The last update date is April 27, 2015.

Conclusion

- Le cadre des PDMG peut être mobilisé pour aider à la gestion des bioagresseurs à des niveaux supra-parcellaires, même si des développements méthodologiques sont encore nécessaires.
- Généricité de l'approche
- Gain faible par rapport à une politique experte « gloutonne »
- Pas de certitude sur l'optimalité des stratégies retournées
- Intérêts de l'inter-disciplinarité : front de recherche->innovations méthodologiques pour l'évaluation *ex ante* de stratégies de maîtrise des bioagresseurs