



Model-based identification and optimization of key parameters for sharka management strategy

Gaël Thébaud¹, Loup Rimbaud¹, Claude Bruchou², Sophie Thoyer³,

Sylvie Dallot¹, Coralie Picard¹, Samuel Soubeyrand², Emmanuel Jacquot¹

¹ Epidemiology and Vector Transmission group
INRA, BGPI, Montpellier, France

² INRA, BioSP (Biostatistics and Spatial Processes), Avignon, France

³ INRA, LAMETA (Theoretical and Applied Economics), Montpellier, France

Introduction

- Agro-ecosystems
 - Many biological interactions (virus/vectors/plants)
 - Many human interventions (included against diseases)
 - Non-additive interactions among them
- Disease management strategies
 - Often rely on implicit/conceptual models
 - Large scale field experiments difficult or unfeasible
 - ➔ Often based on expert opinion
- How to find an optimal strategy?
 - They are not intuitive
 - ➔ **Need to use sufficiently realistic models**

Sharka disease

Disease

Sharka

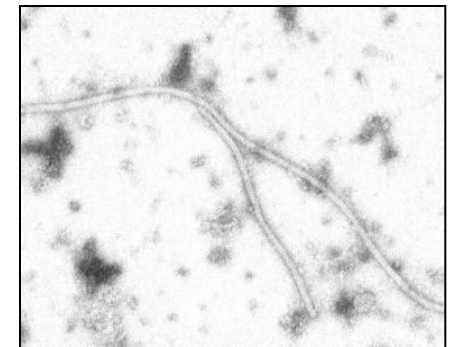
The most damaging disease on *Prunus*
(apricot, plum and peach trees)



Pathogen

Plum pox virus (PPV)

Potyvirus



Transmission

Aphid: > 20 species

Human: infected plant material



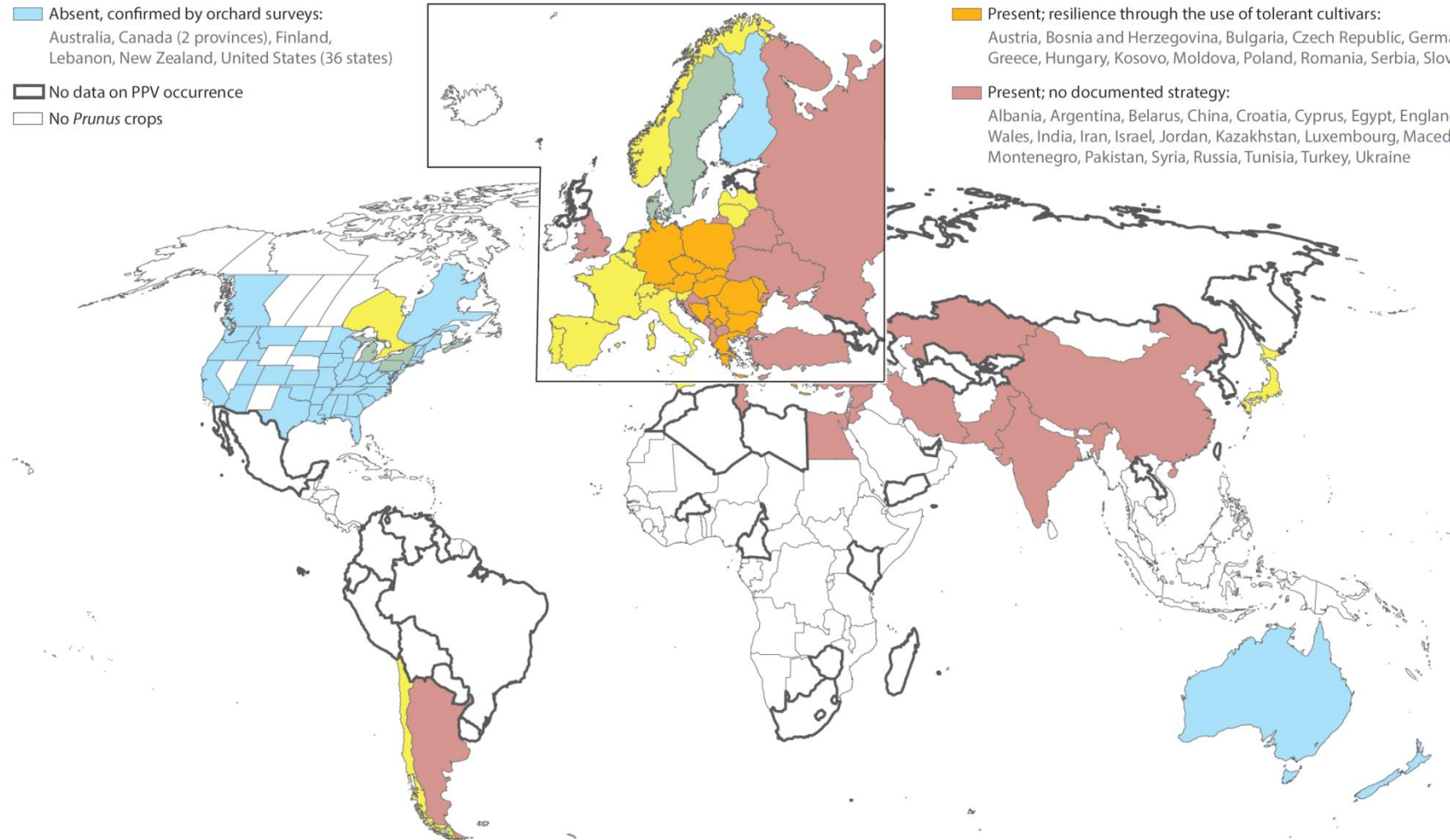
Worldwide sharka management

No detected PPV

- Presently eradicated:
Canada (Nova Scotia), Denmark, Sweden, United States (Michigan, New York, Pennsylvania)
- Absent, confirmed by orchard surveys:
Australia, Canada (2 provinces), Finland, Lebanon, New Zealand, United States (36 states)
- No data on PPV occurrence
- No *Prunus* crops

PPV present

- Present; active control through orchard surveillance and tree removal:
Belgium, Canada (Ontario), Chile, France, Italy, Japan, Latvia, Lithuania, Netherlands, Norway, Portugal, Slovenia, Spain, Switzerland
- Present; resilience through the use of tolerant cultivars:
Austria, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Czech Republic, Germany, Greece, Hungary, Kosovo, Moldova, Poland, Romania, Serbia, Slovakia
- Present; no documented strategy:
Albania, Argentina, Belarus, China, Croatia, Cyprus, Egypt, England and Wales, India, Iran, Israel, Jordan, Kazakhstan, Luxembourg, Macedonia, Montenegro, Pakistan, Syria, Russia, Tunisia, Turkey, Ukraine



Current French management strategy of sharka

Since the 1990's

- Frequent symptom inspections
- Removal of symptomatic trees (and whole orchards > 10% incidence)

National Decree published in 2011

- What are the influential parameters?
- Can this strategy be optimized?

JORF n°0067 du 20 mars 2011 page 5078
texte n° 18

ARRETE

Arrêté du 17 mars 2011 relatif à la lutte contre le Plum Pox Virus, agent causal de la maladie de la Sharka, sur les végétaux sensibles du genre Prunus

NOR: AGRG1105295A

Le ministre de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire,
Vu le code rural et de la pêche maritime, notamment les chapitres Ier et II du titre V et le chapitre Ier du titre préliminaire de son livre II ;
Vu l'arrêté du 31 juillet 2000 modifié établissant la liste des organismes nuisibles aux végétaux, produits végétaux et autres objets soumis à des mesures de lutte obligatoire ;
Vu l'arrêté du 24 mai 2006 modifié relatif aux exigences sanitaires des végétaux, produits végétaux et autres objets,
Arrête :

▶ CHAPITRE IER : DEFINITIONS

▶ SECTION 1 : DISPOSITIONS GENERALES

Article 1 En savoir plus sur cet article...

La lutte contre le Plum Pox Virus, agent causal de la maladie de la Sharka des végétaux du genre Prunus, est obligatoire en tous lieux et de façon permanente sur tout le territoire national.

Article 2 En savoir plus sur cet article...

Au sens du présent arrêté, on entend par :

- végétal : tout végétal du genre Prunus sensible au Plum Pox Virus tel que défini à l'annexe I ;
- parcelle : unité agronomique homogène définie par une variété donnée, plantée une année donnée avec une distance de plantation identique ;
- lieu de production : tout lieu ou ensemble de parcelles comportant du matériel de propagation ou de multiplication de végétaux du genre Prunus et exploités comme une seule unité de production agricole. Lorsqu'un même établissement comporte différents ensembles de parcelles de matériel de propagation ou de multiplication séparés d'une distance de mille mètres au moins, chaque ensemble constitue un lieu ;
- matériel de propagation : matériel de propagation de végétal du genre Prunus, sensible au Plum Pox Virus, à savoir les arbres mères donneurs de greffons et de boutures, y compris les arbres mères producteurs accélérés de greffons ;
- matériel de multiplication : matériel de multiplication de végétal du genre Prunus, sensible au Plum Pox Virus, à savoir les scions d'un an et arbres de plus d'un an destinés à la plantation, le matériel greffé à œil dormant, les porte-greffe (boutures, plants issus de semis ou de culture in vitro), les greffons ;
- abri « insect proof » : tout abri répondant aux conditions fixées en annexe II ;
- taux moyen de contamination de l'année n : nombre d'arbres détectés contaminés en année n — 1 divisé par le nombre d'arbres initial à la plantation des parcelles, sur une surface d'environ un kilomètre carré centrée sur l'arbre ou la parcelle considérée ;
- jeune verger : toute parcelle dont la plantation a eu lieu au cours des trois dernières années, c'est-à-dire jusqu'à l'année de la troisième feuille comprise ;
- parcelle non entretenue : parcelle qui n'est plus récoltée et dont les végétaux ne font l'objet d'aucune action de taille. Le constat d'absence d'entretien est réalisé par le service régional chargé de la protection des végétaux.

Article 3 En savoir plus sur cet article...

Toute personne est tenue d'assurer une surveillance générale du fonds lui appartenant ou cultivé par elle, et de déclarer immédiatement la présence de symptômes du Plum Pox Virus soit directement au service régional chargé de la protection des végétaux dont elle dépend, soit au maire de la commune de sa résidence qui en avise alors ce service.

▶ SECTION 2 : DEFINITIONS DES ZONES DELIMITEES

Sensitivity analysis & optimization

- **Simulation model incorporating epidemic processes and disease management strategies**
- **Identification of key epidemiological parameters**
- **Identification of key parameters for sharka management**
- ***In silico* optimization of sharka management**

Sensitivity analysis & optimization

- **Simulation model incorporating epidemic processes and disease management strategies**
- Identification of key epidemiological parameters
- Identification of key parameters for sharka management
- *In silico* optimization of sharka management

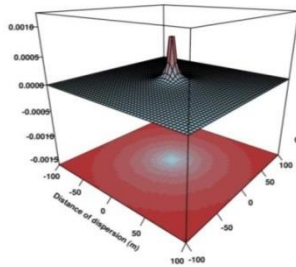
Ingredients of the epidemiological model



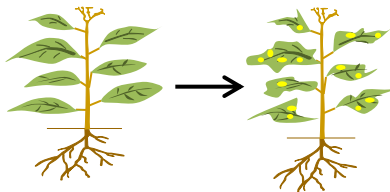
1. Landscape



2. Pathogen introduction

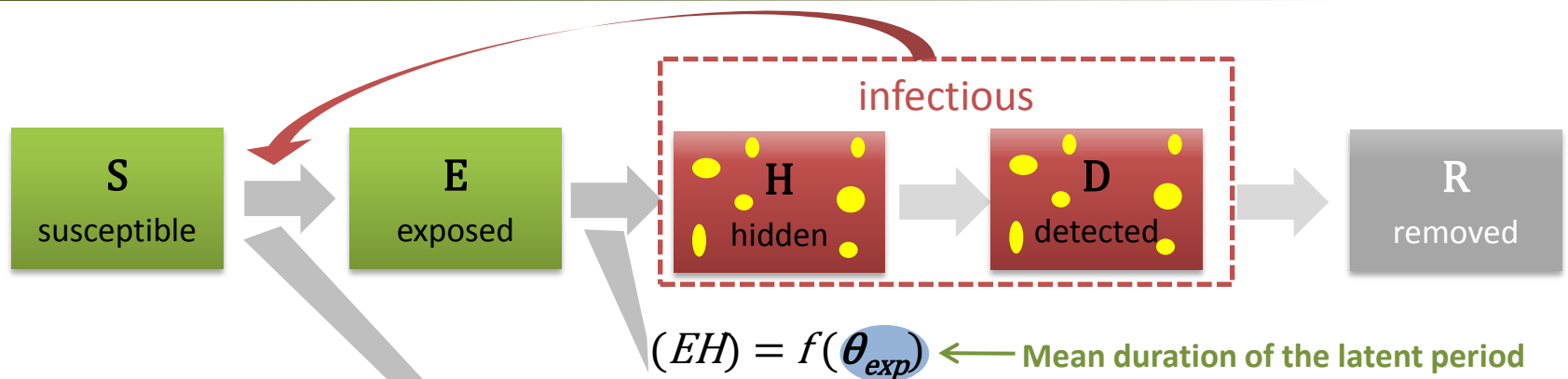


3. Pathogen dispersal



4. Changes in host status

Stochastic spatiotemporal simulation model



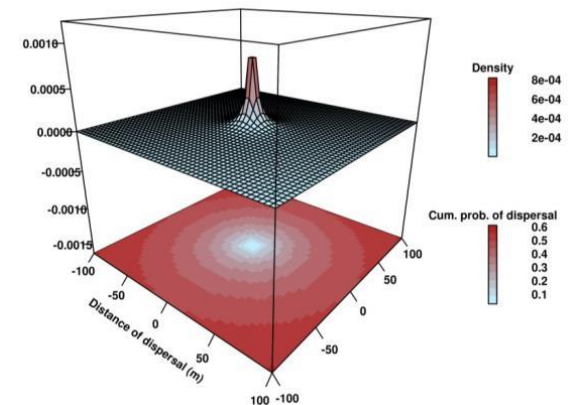
Introduction parameters

- q_κ Connectivity quantile
- Φ $P(\text{introduction})$
- P_{MI} $P(\text{massive introduction})$

$$[S_{i,t} \rightarrow E_{i,t+1}] = f(\beta, W_{exp})$$

Transmission coefficient

Dispersal function



Parameters have been estimated using surveillance data

- PPV-M in southeastern France
- 553 peach plots; 523 ha
- Almost 5000 inspections over 15 years

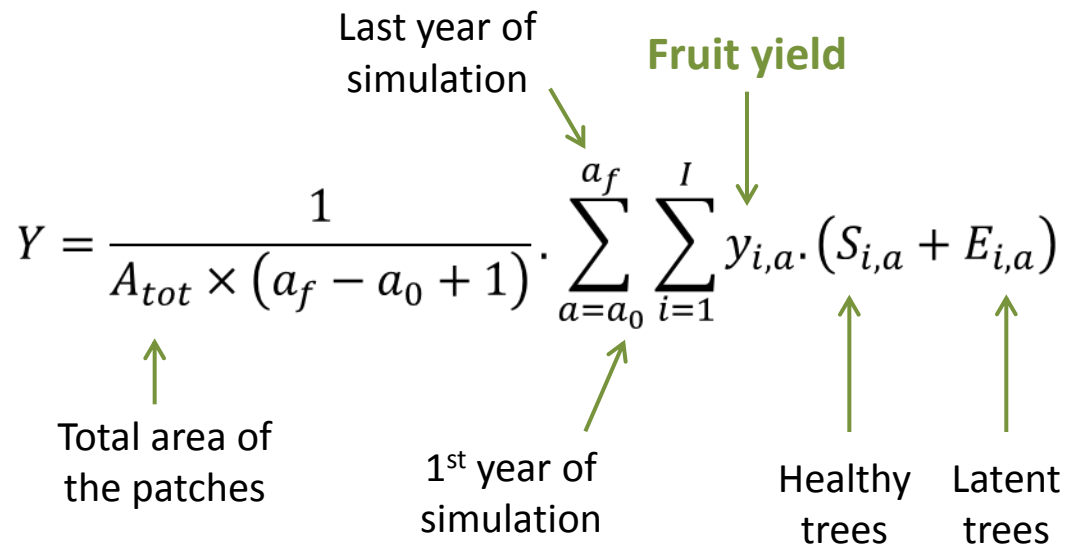
Sensitivity analysis & optimization

- Simulation model incorporating epidemic processes and disease management strategies
- **Identification of key epidemiological parameters**
- Identification of key parameters for sharka management
- *In silico* optimization of sharka management

Epidemiological criterion

Sensitivity analysis measures the influence of input parameters on model output

Output = Mean equivalent number of fully productive trees per ha per year



The diagram shows the formula for the output Y, with green arrows pointing from descriptive text to specific parts of the equation:

$$Y = \frac{1}{A_{tot} \times (a_f - a_0 + 1)} \cdot \sum_{a=a_0}^{a_f} \sum_{i=1}^I y_{i,a} \cdot (S_{i,a} + E_{i,a})$$

- Total area of the patches** points to A_{tot} .
- 1st year of simulation** points to a_0 .
- Last year of simulation** points to a_f .
- Fruit yield** points to $y_{i,a}$.
- Healthy trees** points to $S_{i,a}$.
- Latent trees** points to $E_{i,a}$.

Key parameters of the spread of generic epidemics

Parameters: 6
Combinations: 15,000
Replicates: 50

Output:



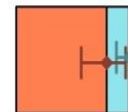
Parameters ranked by their influence on μ_Y :

■ Total indices
■ 1st order indices

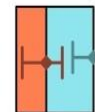
1. Mean latent period duration



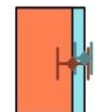
2. $P(\text{introduction})$



3. Transmission coefficient



4. $P(\text{massive introduction})$



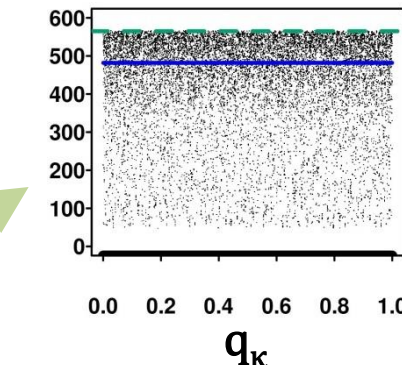
5. Dispersal function



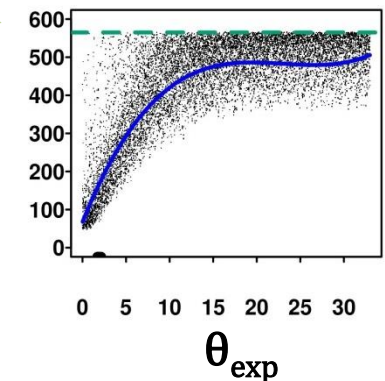
6. Connectivity quantile (intro.)



Nb. of productive trees



Nb. of productive trees



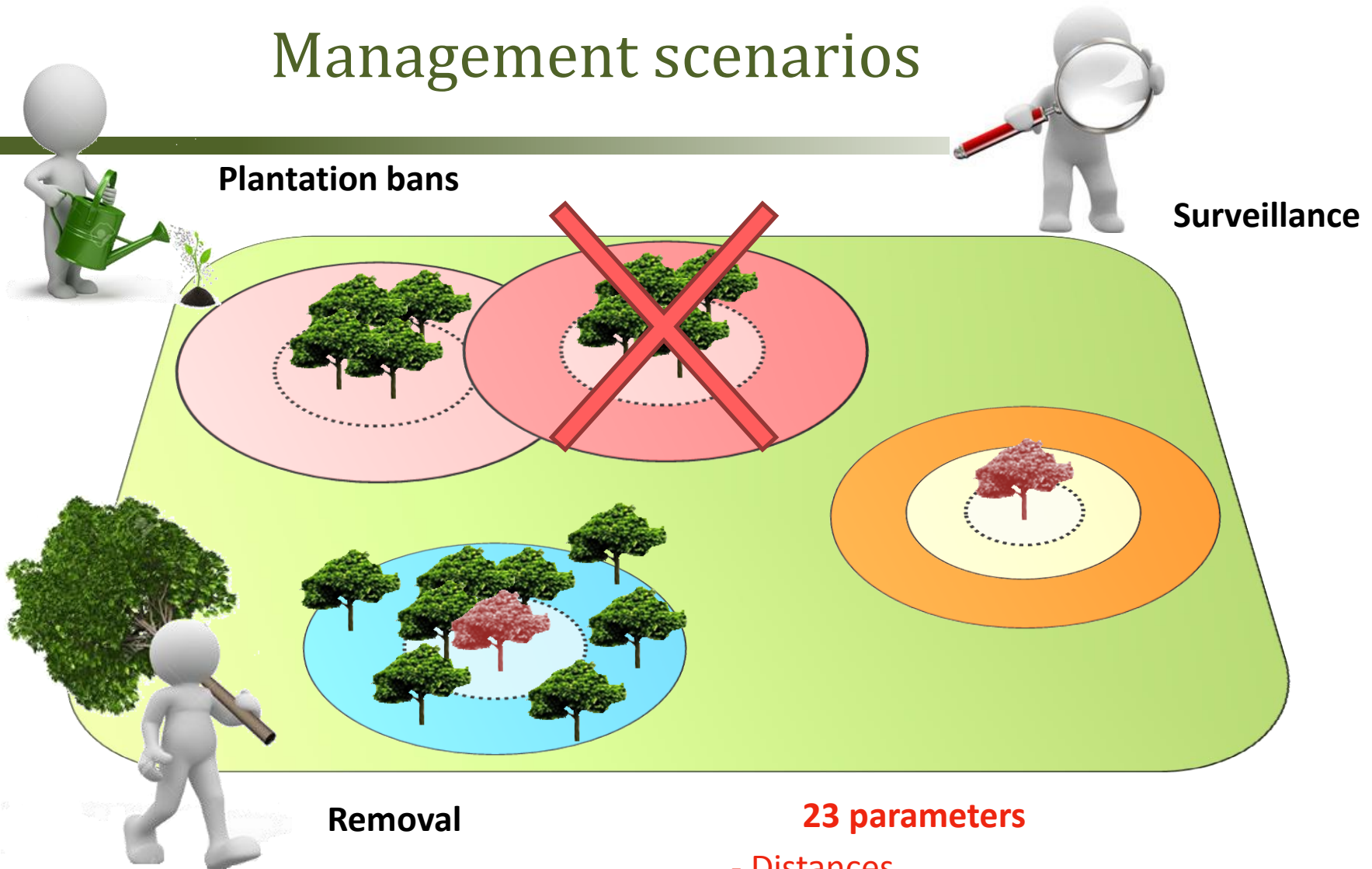
— Polynomial regression
- - - Disease-free scenario

Sobol sensitivity index

Sensitivity analysis & optimization

- Simulation model incorporating epidemic processes and disease management strategies
- Identification of key epidemiological parameters
- **Identification of key parameters for sharka management**
- *In silico* optimization of sharka management

Management scenarios

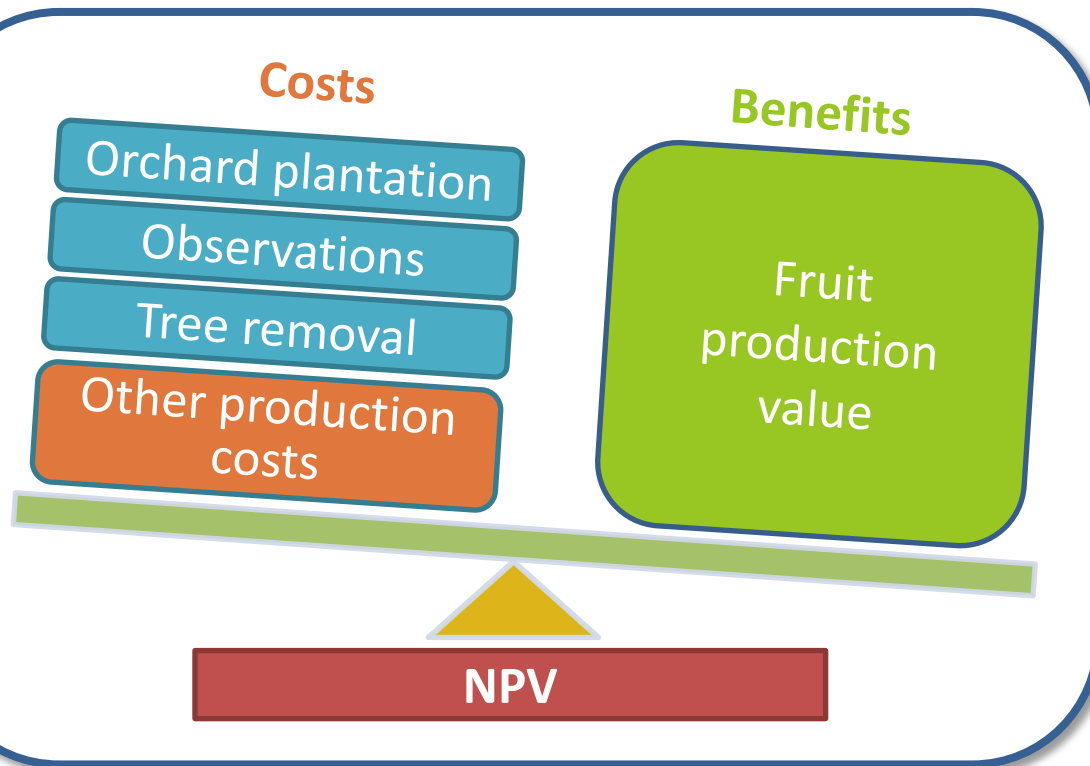


23 parameters

- Distances
- Surveillance frequency
- Contamination thresholds

Economic criterion

- Calculated over 30 years
- NPV: net present value
- Global economic assessment



End of the simulation

$$NPV = \sum_{a=a_m}^{a_f} \frac{GM_a}{(1 + \tau_A)^{(a-a_m)}}$$

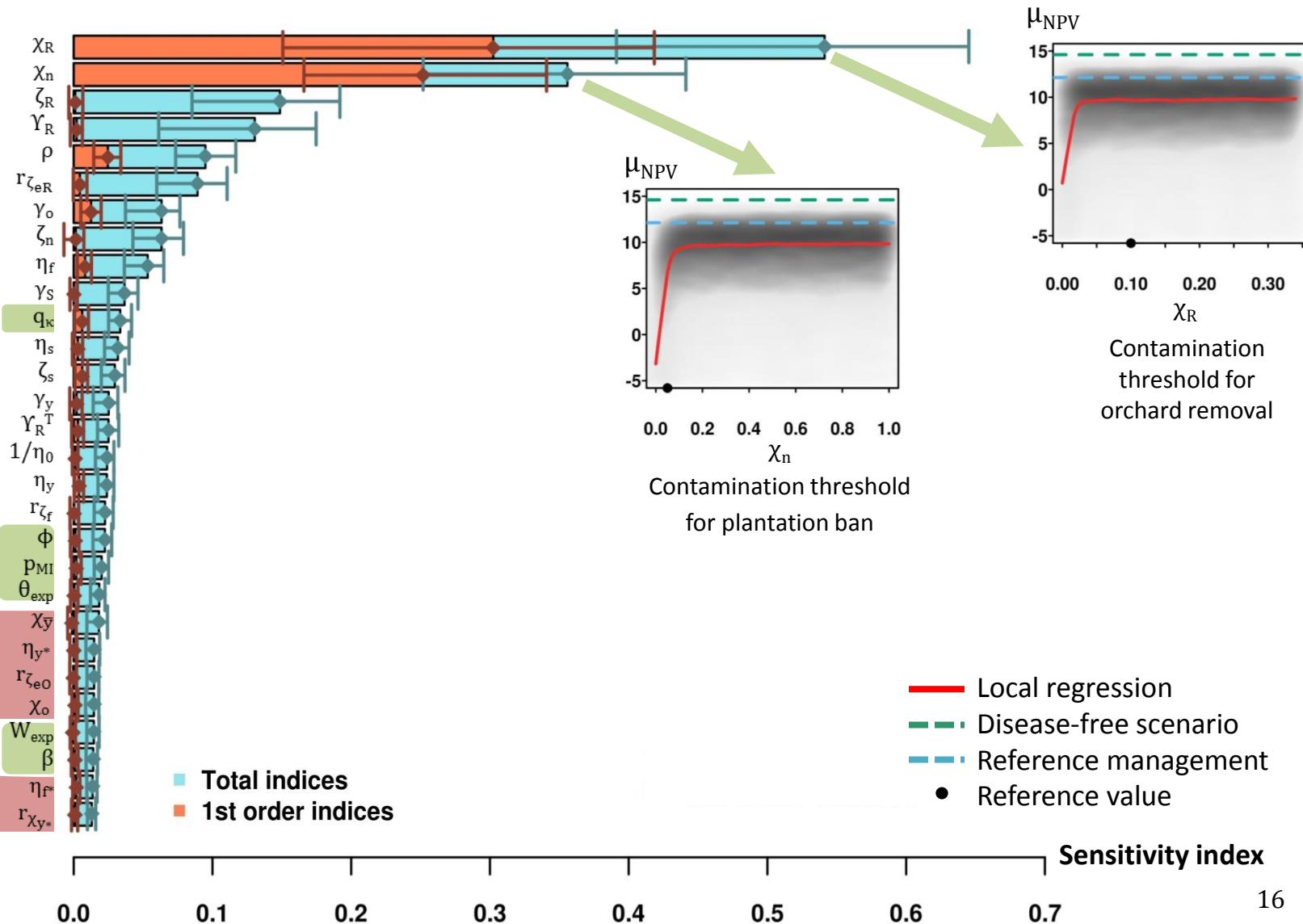
Beginning of the management

Discount rate (4%)

Key parameters of sharka spread and management

Parameters: 29
Combinations: 310,155
Replicates: 30

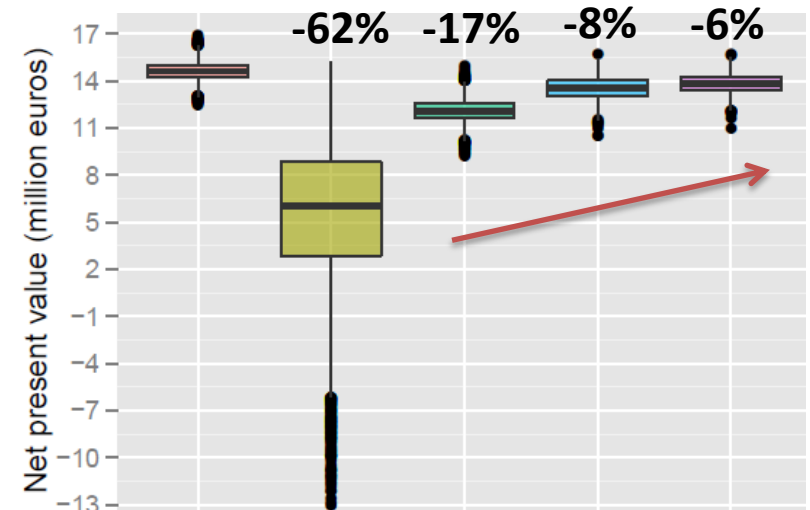
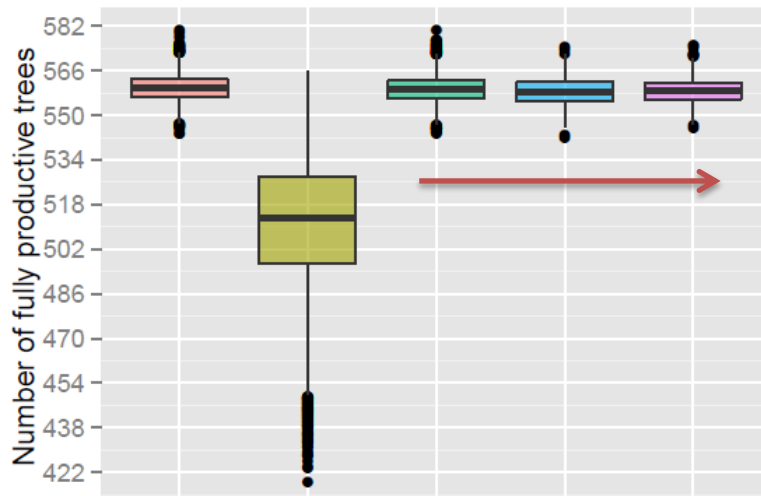
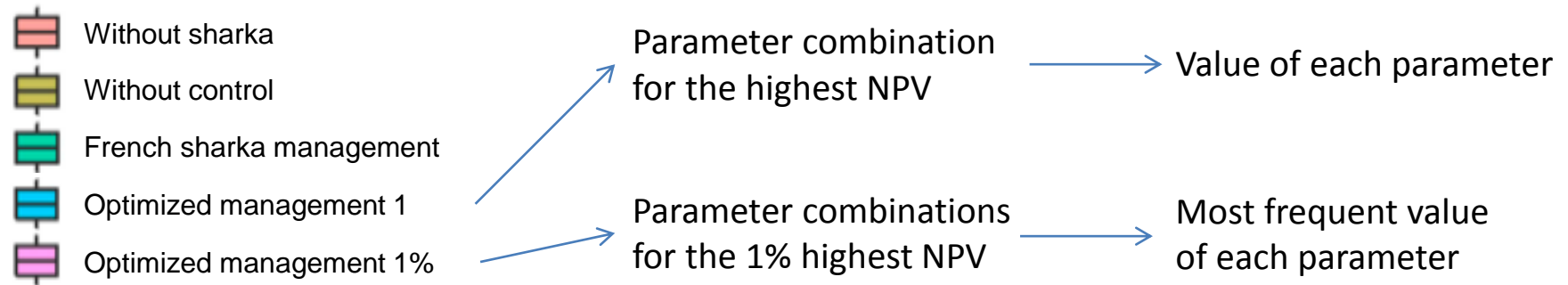
Output:



Sensitivity analysis & optimization

- Simulation model incorporating epidemic processes and disease management strategies
- Identification of key epidemiological parameters
- Identification of key parameters for sharka management
- ***In silico* optimization of sharka management**

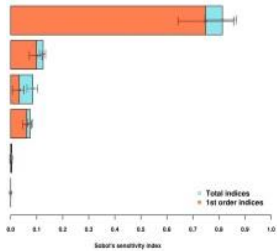
Towards optimized sharka management strategies?



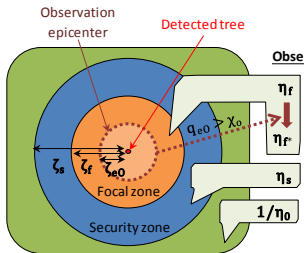
- ➡ **Sharka control is crucial**
- ➡ **The present French sharka management strategy provides good control**
- ➡ **But optimized strategies may reduce the cost of sharka control**

Conclusions & Perspectives

- ❖ Sensitivity analysis is a powerful approach to assess the relative influence of model parameters



- ❖ Latent period duration is a key parameter



- ❖ French sharka management is epidemiologically efficient, but may be economically improved (and simplified)



- ❖ Robustness of optimized strategies to landscape features

- ❖ Landscape optimization

=> PhD work by Coralie PICARD (see poster)



Acknowledgments

Epi2V group

INRA/Cirad, Montpellier

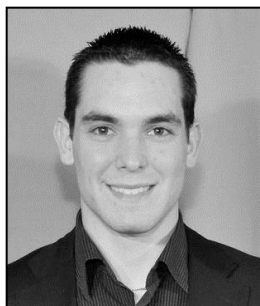
Emmanuel Jacquot

Sylvie Dallot

François Bonnot

Coralie Picard

Loup Rimbaud



BioSP group

INRA, Avignon

Samuel Soubeyrand

Claude Bruchou

Julien Papaix

Loïc Houde

Jean-François Rey

LAMETA

INRA, Montpellier

Sophie Thoyer

Pierre Courtois

Plant Protection Services

Jean Aymard

Jean-Yves Couderc

Camille Picard

Financial support



Thanks for your attention
