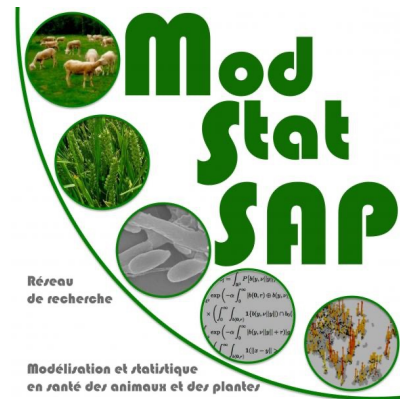


# ModStatSAP : fondements, vie et avenir du réseau

Pauline Ezanno, Samuel Soubeyrand et Gaël Thébaud



Paris, 19 septembre 2023

2011 – 2013  
SPE-MathNum

Natalia Sapoukhina  
Frédéric Fabre  
Gaël Thébaud  
Samuel Soubeyrand

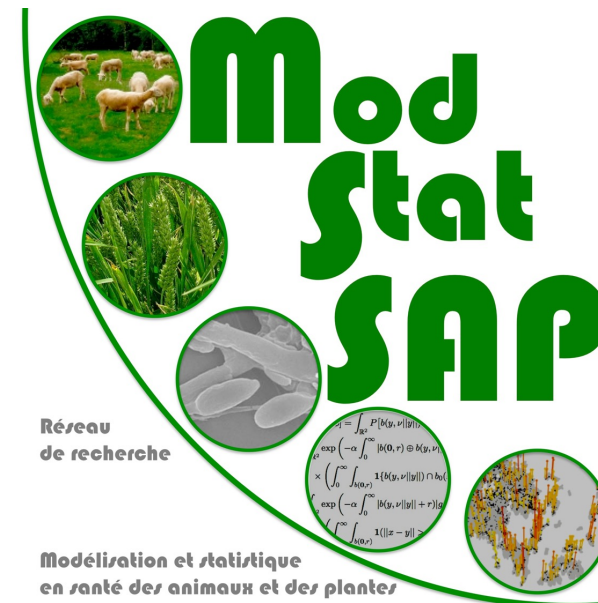
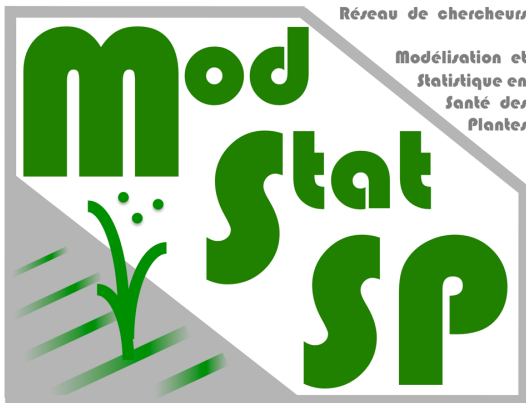
2013 : ouverture de la  
journée annuelle à la  
santé animale

2014 –  
SPE-MathNum-SA

Eliza Vergu  
Pauline Ezanno  
Gaël Thébaud  
Samuel Soubeyrand

2023  
Passage de relai

Florence Carpentier  
Melen Leclerc  
Guillaume Fournié



# ModStatSAP : Modélisation et statistique en santé des animaux et des plantes

Aspects génétiques, épidémiologiques et spatiotemporels

Objectifs principaux :

Fédérer les modélisateurs et statisticiens des départements SPE, SA et MathNum, d'autres départements d'INRAE et d'autres structures de recherche, afin d'accroître la portée des recherches en modélisation, mathématiques et statistique appliquées à l'étude des systèmes plantes / bioagresseurs et hôtes / pathogènes

Accélérer la percolation des idées, des approches, des méthodes et des résultats

- dans le cercle des modélisateurs et statisticiens
- dans un cercle élargi au sein duquel figurent les épidémiologistes, les dynamiciens et les généticiens des populations
- entre santé animale et santé des plantes

## **ModStatSAP en chiffres**

**21** animations

- Réunions annuelles, ateliers, webinaires...

**6** animations communes avec d'autres collectifs

- RESSTE, MEDIA, PhyloSAP, IMOTEP, MP SMaCH, Petit Pois Déridé

**3** soutiens à des conférences

**140** exposés lors des journées annuelles

**100** orateurs différents

**180** abonnés à la liste de diffusion


## **Les grands thèmes des exposés**

- Épidémiologie des maladies animales et végétales
- Évolution dans les systèmes hôtes-pathogènes/parasites
- Phylogénétique et génétique des populations
- Dynamiques spatio-temporelles des épidémies
- Dispersion des bioagresseurs
- Gestion et contrôle des épidémies
- Impact du paysage sur la diffusion des maladies
- Utilisation de données hétérogènes pour l'inférence des dynamiques de maladies
  
- Comment les maths, la modélisation, la statistique contribuent à comprendre et gérer la propagation des bioagresseurs dans les populations animales et végétales


**et maintenant un petit tour d'horizon**

## Téledétection, analyse et modélisation spatiales appliquées à l'épidémiologie des maladies animales

Annelise Tran  
annelise.tran@cirad.fr



Animal et Gestion Intégrée des Risques

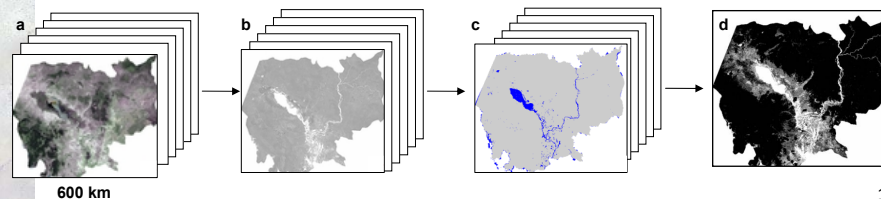


Réunion ModStatSP, Paris, 16 décembre 2013

## Téledétection

- Détection et caractérisation de l'habitat des vecteurs ou des réservoirs sauvages : les informations utiles (1)

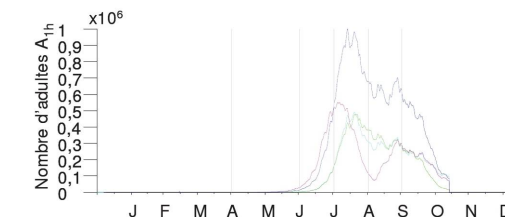
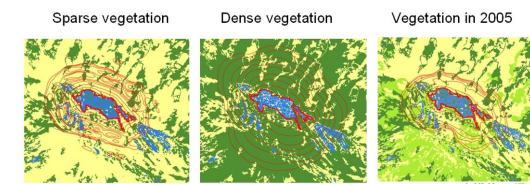
- L'occupation du sol
- Les surfaces en eau
- Evolution



10/40

## Modélisation des processus

- Applications
  - Simuler et prédire
  - Comparer des stratégies de contrôle
  - Etudier l'impact du paysage sur la dynamique de population



Changement de paysage

- Roselière
- Rizières
- Marais à juncos et scirpes

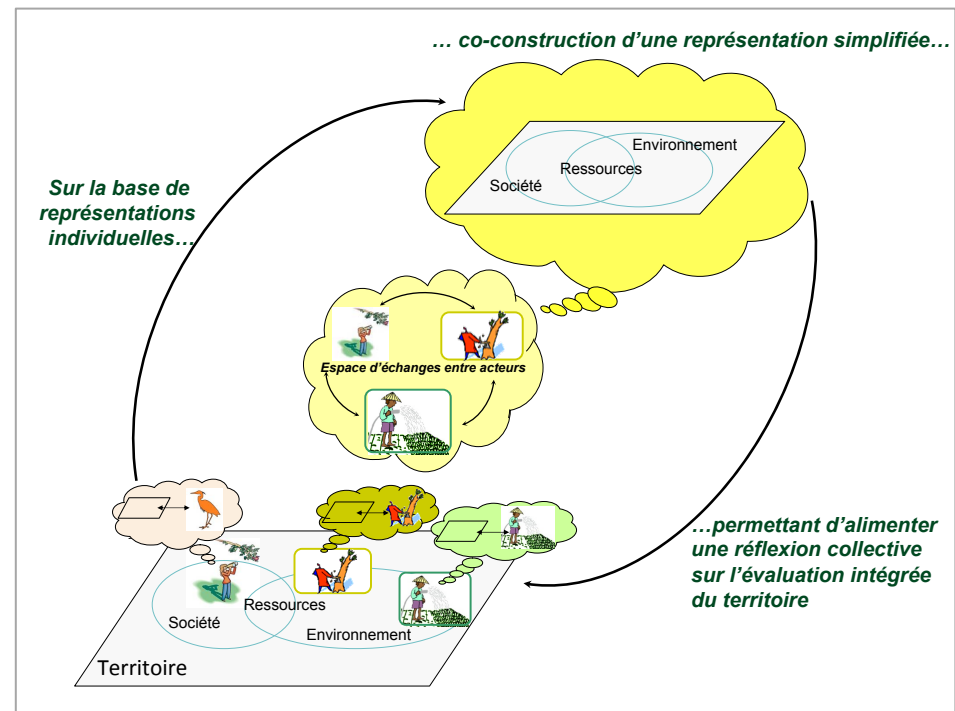
Cailly P., et al. 2012. A climate-driven abundance model to assess mosquito control strategies. *Ecological modelling*, 227 (1) : 7-17.  
 Soti V., et al. 2012. Combining hydrology and mosquito population models to identify the drivers of Rift Valley fever emergence in semi-arid regions of West Africa : consequences for control. *PLoS Neglected tropical diseases*, 6 (8) : e1795 (11 p.)  
 Tran A., et al. 2013. A Rainfall- and Temperature-Driven Abundance Model for *Aedes albopictus* Populations. *International journal of environmental research and public health*, 10 (5) : 1698-1719.



# La modélisation d'accompagnement Une démarche participative en appui au développement durable

Christophe Le Page  
CIRAD – UPR Green

Réseau ModStatSP – 16 décembre 2013



## Agent-based participatory simulation of blue duikers hunting in the periphery of Korup National Park, Cameroon



Spatial resolution = 1 Ha ; spatial extent = 5 x 5 Km; timestep = 1 week

# 2014 – Mathieu Andraud

Quantification of infectious agents transmission  
in pigs:  
Mathematical modelling of experimental and field  
data.

**Mathieu Andraud**  
mathieu.andraud@anses.fr



December 11, 2014

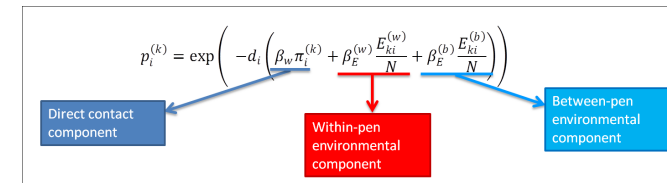
## Modeling framework

### Environmental Component

- Average quantity of virus shed within a specific pen
- Accounting for a daily clearance rate ( $\delta$ )

$$E_{ki} = E_k(t_{i+1}) = (E_k(t_i) + \int_0^{\Delta t} V_k(t_i + u) e^{\delta u} du) e^{-\delta \Delta t}$$

### Probability to escape from infection



## Results

Parameter	Estimates	
	Median	95% CI
$\beta_w$	0.15	(0.03; 0.31)
$\beta_E^{(w)}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$(1 \cdot 10^{-7}; 7 \cdot 10^{-6})$
$\beta_E^{(b)}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$(5 \cdot 10^{-9}; 3 \cdot 10^{-7})$
$A$	5.3	(3.2; 8.7)
$B$	0.76	(0.48; 1.25)
$\delta$	0.33	(0.19; 0.46)



# 2017 – Sylvie Méléard

## Dynamique stochastique pour l'adaptation et l'évolution des micro-organismes

Sylvie Méléard, Ecole Polytechnique, France

AgroParisTech, ModStatSAP, Mars 2017



## Evolution darwinienne

La population a la capacité de générer et de sélectionner sa propre diversité.

L'aptitude d'un individu (bactérie) à survivre et à se reproduire dépend de paramètres phénotypiques (or génétiques) appelés **traits**.

**Evolution: invasions successives de mutants avantageux.** Elle résulte des mécanismes suivants:

- **Hérédité.** Transmission (verticale) du trait ancestral aux descendants.
- **Mutation.** Engendre de la variabilité dans les valeurs de trait.
- **Sélection.** Les individus dont les traits accroissent la probabilité de survie ou l'aptitude à la reproduction vont mieux se développer dans la population au cours du temps. La sélection peut aussi résulter de la compétition entre les individus.
- **Transfert horizontal d'information:** les bactéries échangent de l'information génétique.

## Le transfert peut radicalement changer le sens de l'évolution

Supposons que la pression de compétition  $C(x, y) \equiv C$  soit constante:

$$S(y; x) = r(y) - r(x) + \frac{\alpha(y, x) r(x)}{\beta C + \mu r(x)} = f(y; x) + \frac{\alpha(y, x) r(x)}{\beta C + \mu r(x)}$$

**Exemple:**  $x \in [0, 4]$ .  $b(x) = 4 - x$ ;  $d \equiv 1$ . Alors,  $\bar{n}^x = \frac{3-x}{C}$ .

(i) **Sans HGT:** la fonction de fitness vaut

$$f(y; x) = x - y,$$

$$f(y; x) > 0 \iff y < x.$$

Un mutant de trait  $y$  envahira la population  $\iff y < x$ .

L'évolution va aller dans le sens des traits décroissants.

(ii) **Avec un HGT fréquence-dépendant** et les taux de transfert

$$\tau(x, y) = e^{x-y}, \quad \beta = 0, \quad \mu = 1,$$

$$S(y; x) = -(y - x) + e^{y-x} - e^{-(y-x)}$$

$$S(y; x) > 0 \iff y > x.$$

L'évolution conduira à des traits de plus en plus grands.

## $\tau = 0,6$ - Evolution par étapes

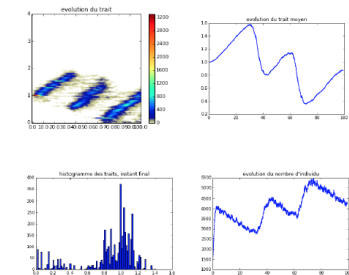


FIGURE 9 – Simulations pour  $\tau = 0.6$  sur un temps de 100

- Le transfert convertit la population vers les grands traits.
- Ainsi, la taille de la population décroît. Pour un trait donné  $x$ , la taille à l'équilibre  $N_{eq} = \frac{b(x)-d}{C} \times 1000 = 2000(3-x)$ .
- Apparence brutale de nouvelles souches.

# 2017 – Pierre Barbillon

## Social network impact on persistence in a finite population dynamic seed exchange model

Pierre BARBILLON<sup>1</sup>, Mathieu THOMAS<sup>1,2</sup>, Isabelle GOLDRINGER<sup>3</sup>,  
Frédéric HOSPITAL<sup>4</sup>, Stéphane ROBIN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>AgroParisTech / INRA UMR MIA Paris

<sup>2</sup>UMR AGAP, CIRAD Montpellier

<sup>3</sup>UMR de Génétique Végétale du Moulon

<sup>4</sup>UMR Génétique Animale et Biologie Intégrative, Jouy-en-Josas

Journée du réseau ModStatSAP  
14/03/2017

Context: Emergence of an alternative agriculture model in France from  
10 years: Réseau Semences Paysannes

### Characteristics:

- people involved in seed autonomy
- **seed exchanges among farmers** and seed multiplication activities
- interest in old varieties of crop species
- small but growing community

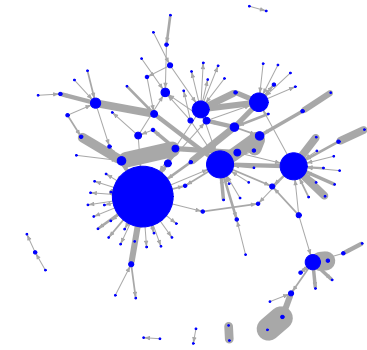


Figure: Seed exchange network among farmers involved in alternative agriculture

## What are the properties of such system to maintain crop varieties?

Advice Network



Seed Exchanges network

### Assumption

Seed exchange networks are nested within advice networks

### Refine question

To what extent do the topological properties of the advice network influence the persistence of crop varieties?

## Model-based control of spatio-temporal epidemics using latent processes

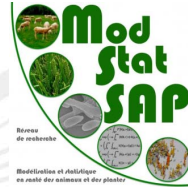
Gavin J Gibson

Maxwell Institute for Mathematical Sciences

Heriot-Watt University

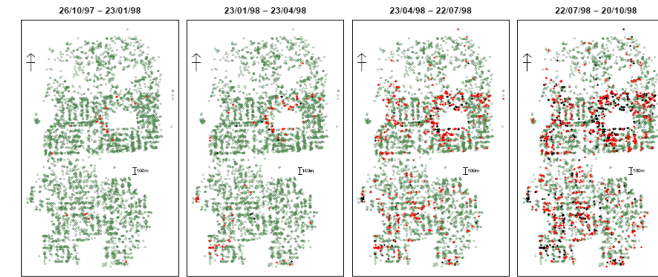
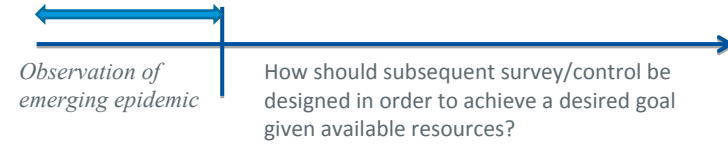
JOINT WORK WITH: Hola Adrakey, Chris Gilligan, Nik Cunniffe (Cambridge), Tim Gottwald (USDA), George Stretaris (HWU)

ModStatSAP Meeting, Paris, 19<sup>th</sup> March 2018



LEADERS IN IDEAS AND SOLUTIONS

## Generic problem



Citrus canker epidemic: Dade County, Miami, Florida

## Which hosts $j$ to target?

Based on  $E(G_M(\mathbf{x}(t), j) | \mathbf{y})$  at some time  $t = t_M \geq t_{obs}$

Measure calculated on host  
Epidemic trajectory up to  $t$ .  
Host index

Candidate measures - ( $x_j$  denotes infection time of  $j$ )

$$G_R(\mathbf{x}(t), j) = I_{\{x_j < t\}} - \text{'Risk'}$$

$$G_H(\mathbf{x}(t), j) = \sum_{x_i > t, i \neq j} \beta K(d_{ij}, \alpha) - \text{'Hazard'}$$

$$G_T(\mathbf{x}(t), j) = G_R(\mathbf{x}(t), j) \times G_H(\mathbf{x}(t), j) - \text{'Threat'}$$

# 2018 – Guillaume Martin

Emergence of resistance to treatment as a process of adaptation to a moving optimum

Guillaume Martin<sup>+</sup> & Lionel Roques<sup>\*</sup>

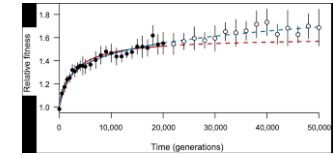
<sup>+</sup>: ISEM UMR 5554, Montpellier

<sup>\*</sup>: INRA, BioSP, Avignon, France

## Adaptation to changing conditions in asexuals

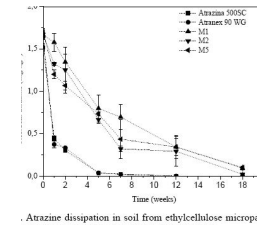
➔ Bacteria, cancer, viruses, fungus, asexual pests and weeds

**Abrupt shift:** typical in experimental evolution

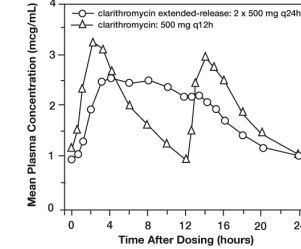


**Continuous change:**

herbicide concentration in soil



Antibiotic concentration dose in plasma



## Fisher's geometrical model + moving optimum

Asexuals + frequency-independent selection

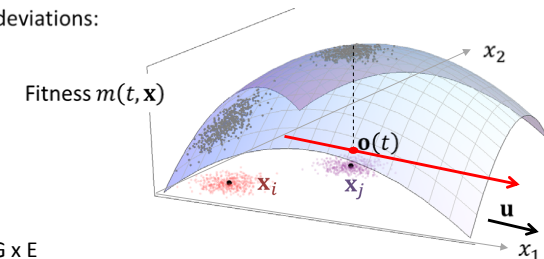
- Optimum  $\mathbf{o}(t)$  for  $n$  traits, malthusian fitness at  $t$ :

$$r(t, \mathbf{x}) = r_{max}(t) - \|\mathbf{x} - \mathbf{o}(t)\|^2 / 2, \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$$

- Mutation = Gaussian trait deviations:

$$d\mathbf{x} \sim N(\mathbf{0}, \lambda(t) \mathbf{I}_n)$$

- Mutants from  $\mathbf{x}_i$
- Mutants from  $\mathbf{x}_j$



- ⇒
- Traits: no epistasis + no G x E
  - Fitness: epistasis + G x E

Moving optimum:  $\mathbf{o}(t) = \Delta(t) \mathbf{u}$ ,  $\mathbf{u}$ : unit vector, direction of movement,  $\Delta(t)$  arbitrary







$$\lambda_{ij}(t) = \beta * \frac{Pop_j^{\tau_1}}{d_{ij}^p}$$

## Dynamique de diffusion du virus du chikungunya en Martinique

Comment optimiser les stratégies d'intervention ?

ModStatSAP  
Paris  
12 mars 2019

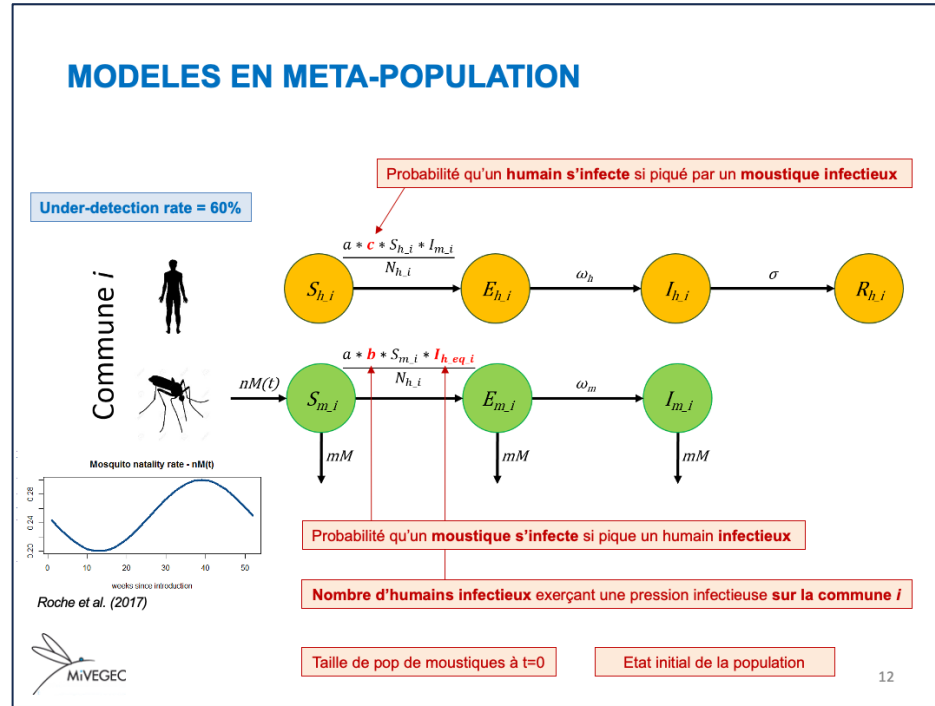
**Timothée Vergne**  
t.vergne@envt.fr









## MODELES EN META-POPULATION

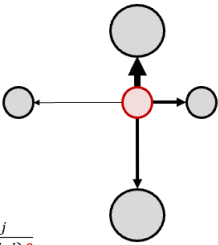
- Mouvements pendulaires par modèles de gravité

**Model 1**  $I_{h,eq,i} = I_{h,i} + \epsilon * \sum_{j \neq i} I_{h,j}$

**Model 2**  $I_{h,eq,i} = I_{h,i} + \epsilon * \sum_{j \neq i} \frac{I_{h,j}}{dist(i,j)^p}$

**Model 3**  $I_{h,eq,i} = I_{h,i} + \epsilon * \left(\frac{N_i}{N_{tot}}\right)^\tau * \sum_{j \neq i} I_{h,j}$

**Model 4**  $I_{h,eq,i} = I_{h,i} + \epsilon * \left(\frac{N_i}{N_{tot}}\right)^\tau * \sum_{j \neq i} \frac{I_{h,j}}{dist(i,j)^p}$



16

## PERSPECTIVES

- Identifier les stratégies de lutte optimales qui auraient pu être mises en œuvre

Increasing the mosquito mortality rate  $mM$


Decreasing the mosquito natality rate  $nM(t)$

Reducing the movement between communes  $\epsilon$


Reducing the movement to the biggest communes  $\tau$



Spraying insecticide



Destructing of larval sites



Limiting commuting movements

39

## Functional responses and interactions via a renewal approach

Vincent Bansaye,  
with Sylvain Billiard & Jean René Chazottes,  
Geoffroy Berthelot & Bertrand Cloez  
Elizabeta Vergu & Maud Delattre

Ecole polytechnique

12 mars, Institut des systèmes complexes  
Journée ModStatSAP



## Age structure of predators for interactions

$P(t)$  : set of preys at time  $t$ .

$\mathcal{P}_S(t)$ , resp.  $\mathcal{P}_H(t)$  : set of predators searching resp. handling at time  $t$ .

Let  $a_i(t)$  be the **age** (for interaction) of  $i \in \mathcal{P}_S(t) \cup \mathcal{P}_H(t)$ , i.e. the time to find in the past the last change of state *Searching*  $\leftrightarrow$  *Handling* for  $i$ .  
The population is described by a measure valued process

$$\left( n_1, \sum_{i \in \mathcal{P}_S(t)} \delta_{a_i(t)}, \sum_{i \in \mathcal{P}_H(t)} \delta_{a_i(t)} \right)$$

where  $n_1 = \#preys$ .

Assume that  $T_S(x, y)$  and  $T_H(x, y)$  have densities (resp.  $f_S(\cdot, x, y)$  and  $f_H(\cdot, x, y)$ ) and introduce the rates  $\alpha_S(\cdot, x, y)$  and  $\alpha_H(\cdot, x, y)$

$$\alpha_H(a, x, y) = \frac{f_S(a, x, y)}{\int_a^\infty f_S(u, x, y) du}, \quad \alpha_S(a, x, y) = \frac{f_H(a, x, y)}{\int_a^\infty f_H(u, x, y) du}$$

## Quasi equilibrium for ages of interactions

For a fixed total number of preys and predators  $(x, y)$  (which vary slower), the two age densities  $m_s$  and  $n_s$  for the populations of predators evolve as

$$\frac{\partial n_s}{\partial s} + \frac{\partial n_s}{\partial a} + \alpha_M(a, \cdot) n_s = 0; \quad n_s(0) = \int_0^\infty \alpha_S(a, \cdot) m_s(a) da$$

$$\frac{\partial m_s}{\partial s} + \frac{\partial m_s}{\partial a} + \alpha_S(a, \cdot) m_s = 0; \quad m_s(0) = \int_0^\infty \alpha_M(a, \cdot) n_s(a) da$$

and reaches the associated equilibrium  $n(a, x, y), m(a, x, y)$ .  
In particular, we can compute the flux

$$\phi(x, y) = \int_0^\infty n_s(a, x, y) a_M(a, x, y) da$$

and get

$$\phi(x, y) = \frac{1}{\mathbb{E}(T_S(x, y)) + \mathbb{E}(T_M(x, y))}$$

Introduction ○○○○○○ Modelling ○○○○○○ Results ○○○○○○○○○ Discussion ○○○○

## Co-infections by non-interacting pathogens are not independent and require new tests of interaction

Frédéric Hamelin

Joint work with *Nik Cunniffe, Linda Allen et al.*

Webinaire de Modélisation et Statistique en Santé des Animaux et des Plantes

24 novembre 2020

1 / 30

Introduction ○○○○○○ Modelling ●○○○○○ Results ○○○○○○○○○ Discussion ○○○○

## SIMPLEST 2 NON-INTERACTING PATHOGENS MODEL

- ▶  $\beta_1, \beta_2$ : infection rates
- ▶  $\mu$ : natural death rate
- ▶  $I_i$ : prevalence of pathogen  $i = 1, 2$

$$\dot{I}_i = \beta_i I_i (1 - I_i) - \mu I_i,$$

- ▶  $F_i = \beta_i I_i = \beta_i (J_i + J_{1,2})$

$$\begin{aligned} \dot{J}_1 &= F_1 J_0 - (F_2 + \mu) J_1, \\ \dot{J}_2 &= F_2 J_0 - (F_1 + \mu) J_2, \\ \dot{J}_{1,2} &= F_2 J_1 + F_1 J_2 - \mu J_{1,2}. \end{aligned}$$

- ▶  $J_0 = 1 - J_1 - J_2 - J_{1,2}$

9 / 30

Introduction ○○○○○○ Modelling ●○○○○○ Results ○○○○○○○○○ Discussion ○○○○

## PREVALENCES ARE POSITIVELY CORRELATED

**Stochastic** version: pathogen prevalences correlated

$I_1$  and  $I_2$  go down simultaneously whenever co-infected dies.

$$\text{cov} \left( \frac{I_1}{N}, \frac{I_2}{N} \right) = \frac{(\beta_1 + \beta_2)(\beta_1 - \mu)(\beta_2 - \mu)\mu}{N\beta_1\beta_2(\beta_1 + \beta_2 - \mu)(\beta_1 - \mu + \beta_2 - \mu)} \geq 0.$$

11 / 30

# 2020 – Philippe Carmona



## Winter is Coming

Pathogen Emergence In Seasonal Environments  
Plos Computational Biology, 2020

Conférence Modstatsap, Décembre 2020

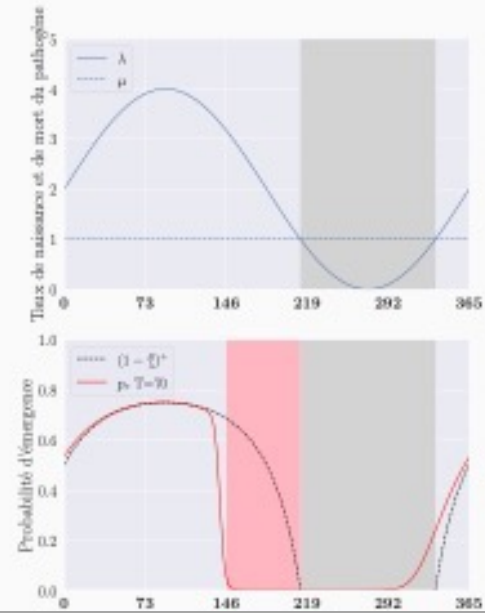


Philippe Carmona and Sylvain Gandon

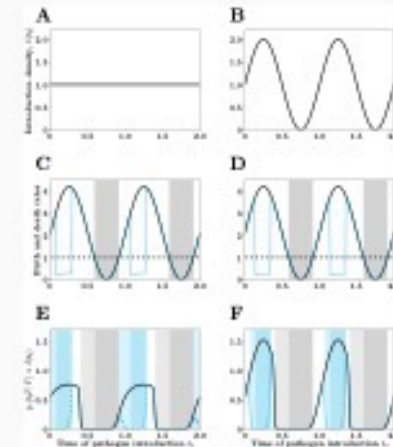
14 décembre 2020

Université de Nantes and Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive

## Probabilité d'émergence en environnement saisonnier



## Timing optimal de mesures de contrôle





## STATISTICAL METHODS FOR MERGING GEO-SPATIAL MAPS AND TRANSMISSION MODELS

Panayiota Touloupou<sup>1</sup>, Simon Spencer<sup>2</sup> and Deirdre Hollingsworth<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Mathematics, University of Birmingham

<sup>2</sup> Department of Statistics, University of Warwick

<sup>3</sup> Oxford Big Data Institute, University of Oxford

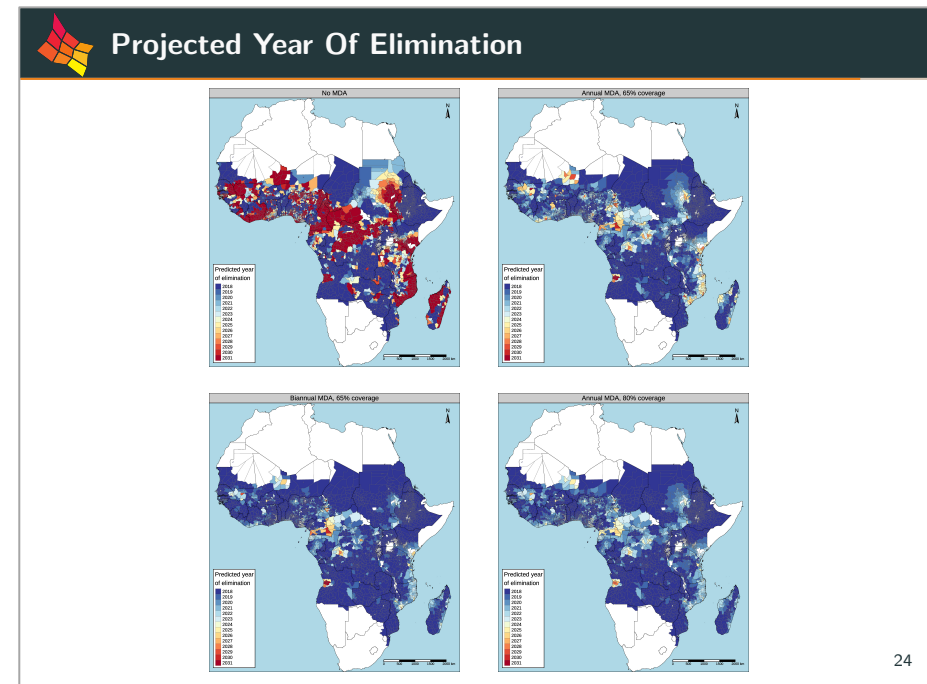
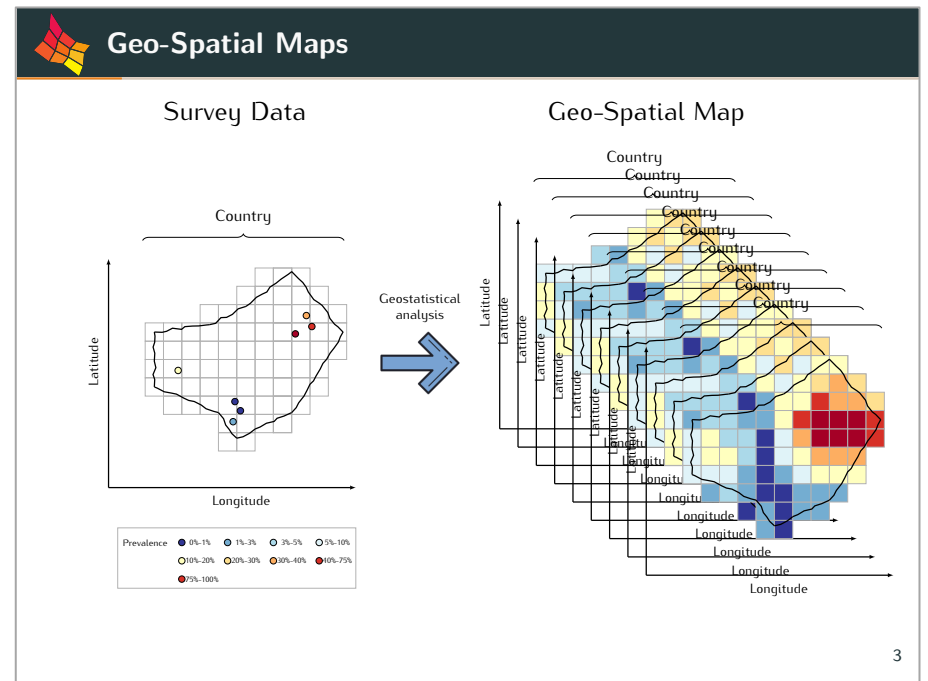
Geo-Spatial maps: Lancaster, LSHTM

LF models: Oxford/Warwick/Surrey/Birmingham, Erasmus MC, Notre Dame

ModStatSAP  
INRAE, France  
06 July, 2021



UNIVERSITY OF BIRMINGHAM



# 2022 – Bertrand Maury

## Modélisation & données de capteurs

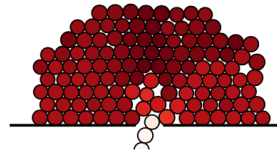
Bertrand Maury,  
Laboratoire de Mathématiques d'Orsay, Université Paris Saclay  
Département de Mathématiques et Applications, ENS  
& Signactif

Collaboration avec Sylvain Faure (CNRS - Orsay)  
[bertrand.Maury@universite-paris-saclay.fr](mailto:bertrand.Maury@universite-paris-saclay.fr)

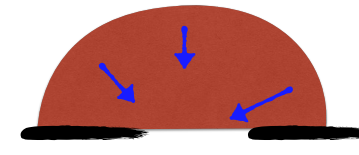
14 décembre 2022

MODCOV19

## Mouvements de foules

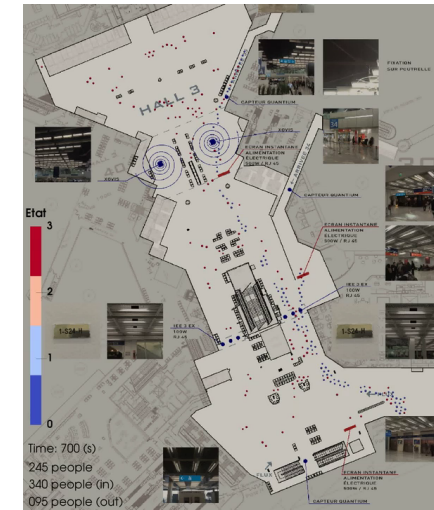


Microscopique

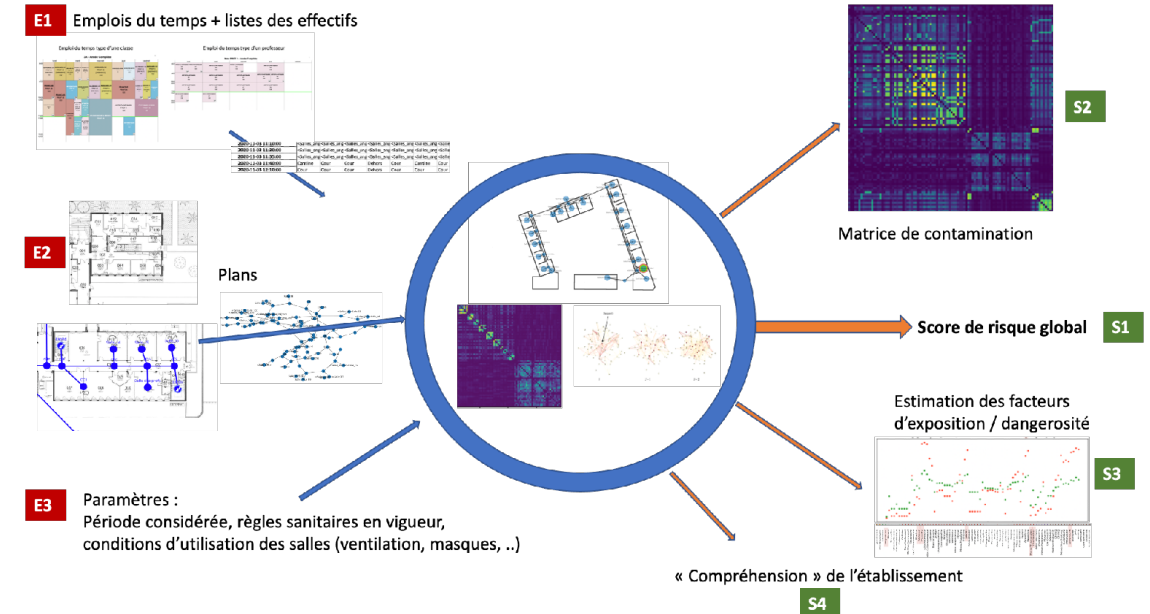


Macroscopique

## Redirection dans les aéroports



## Application aux établissements scolaires (contacts calculés)



Avec Sylvain Faure & Félicien Bourdin (+ développeur freelance financé par Modcov19)



## Apprentissage collaboratif dans les réseaux de capteurs (sans fil)

Paul Honeine

Professeur, Laboratoire LITIS  
Université de Rouen Normandie

Journée "Réseaux de capteurs, phénotypage et modélisation"  
ModStatSAP - 14/12/2022

Les réseaux de capteurs sans fil Collaboration ACP dans les réseaux Apprentissage dans les réseaux Épidémiologie

### Conclusion

#### Modes de traitement de l'information dans les réseaux de capteurs

modes de coopération inter-capteurs

- Le mode centralisé n'est pas recommandé, puisqu'il nécessite trop d'énergie<sup>a</sup>, en  $\mathcal{O}(nm^{1+1/d})$ , par opposition à  $\mathcal{O}(n\epsilon^{-2})$  pour les modes de coopération.
- En modes de coopération inter-capteurs, les capteurs profitent de l'information disponible de leurs voisins, afin de mettre-à-jour le modèle.

<sup>a</sup>L'énergie est essentiellement consommée par la communication, et nettement moins pour le traitement (CPU).  
<sup>b</sup> $n$ : nombre de capteurs,  $m$ : nombre de mesures par capteur.

#### Réseaux de capteurs (sans fil)

- Capteur intelligent  $\iff$  capable à apprendre à partir de mesures
- Il s'agit d'un problème d'apprentissage statistique, d'estimation spatio-temporelle

Paul Honeine (LITIS) Apprentissage collaboratif dans les réseaux de capteurs 34 de 50

Les réseaux de capteurs sans fil Collaboration ACP dans les réseaux Apprentissage dans les réseaux Épidémiologie

### Conclusion : apprentissage collaboratif dans les réseaux

Stratégie non coopérative      Stratégie coopérative (diffusion)

#### Récentes contributions en collaboration

- Algorithmes décentralisés de type filtrage adaptatif non linéaire
- Algorithmes de coopération avec stratégies de diffusion et de consensus
- Adaptation des nœuds pour le suivi de l'évolution du champ estimé

Video ▶

Paul Honeine (LITIS) Apprentissage collaboratif dans les réseaux de capteurs 42 de 50

# 2014 – Elisabeta Vergu

## Assessment of epidemiological risk related to pathogen spread on the network of French cattle movements

Elisabeta Vergu<sup>1</sup>

with Bhagat L. Dutta<sup>1,2</sup>, Mathieu Moslonka-Lefebvre<sup>1,3</sup>, Gaël Beaunée<sup>1,2</sup> and Pauline Ezanno<sup>2</sup>

other collaborators: Hervé Monod<sup>1</sup>, João Filipe<sup>3</sup> and Chris Gilligan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INRA - MIA UR341, Jouy-en-Josas, France; <sup>2</sup>INRA, Oniris, LUNAM Université - UMR1300 BioEPar, Nantes, France; <sup>3</sup>University of Cambridge - Department of Plant Sciences, United Kingdom

ModStatSAP 2014, Paris 11 December

Vergu et al. (MIA), INRA

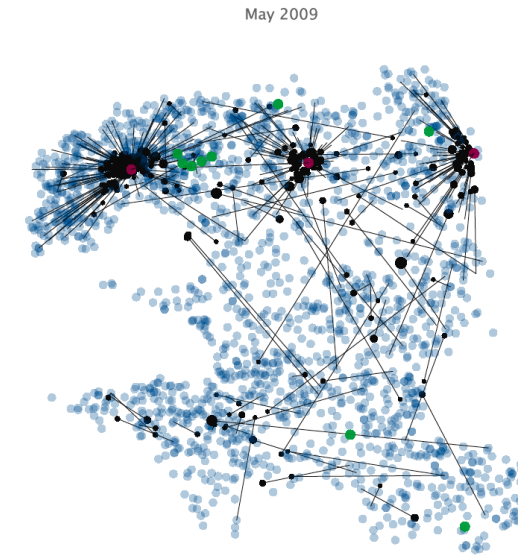
Assessment of epidemiological risk related to pathogen



## Sub-network of dairy herds in Finistère as an example

Subnetwork (2005-2009)  
of dairy herds trading non  
beef animals > 6 months

- 1945 herds
- 89,281 movements

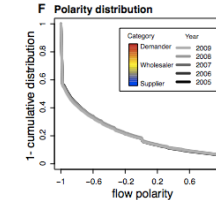
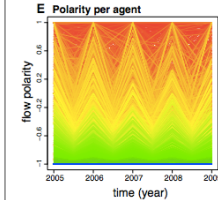
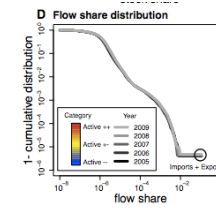
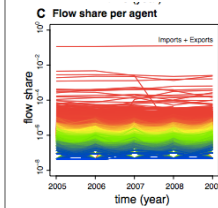


Vergu et al. (MIA), INRA

Assessment of epidemiological risk related to pathogen

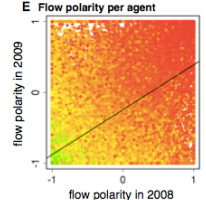
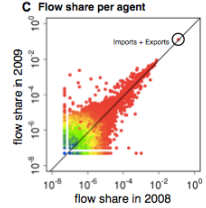
8 / 20

## Stability over time: flow share ( $x$ ) and polarity ( $\delta$ )



Individual trajectories  
of herds (all years - left,  
comparison 2008 vs  
2009 - right)

- quite stable over time for  $x$  (C, left and right)
- more variable for  $\delta$ , especially for wholesalers (E, left and right)



Moslonka-Lefebvre et al. (2014) Submitted.

Vergu et al. (MIA), INRA

Assessment of epidemiological risk related to pathogen

11 / 20



MIDIIVEC



2012

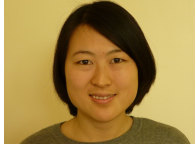
2015

2017

2020

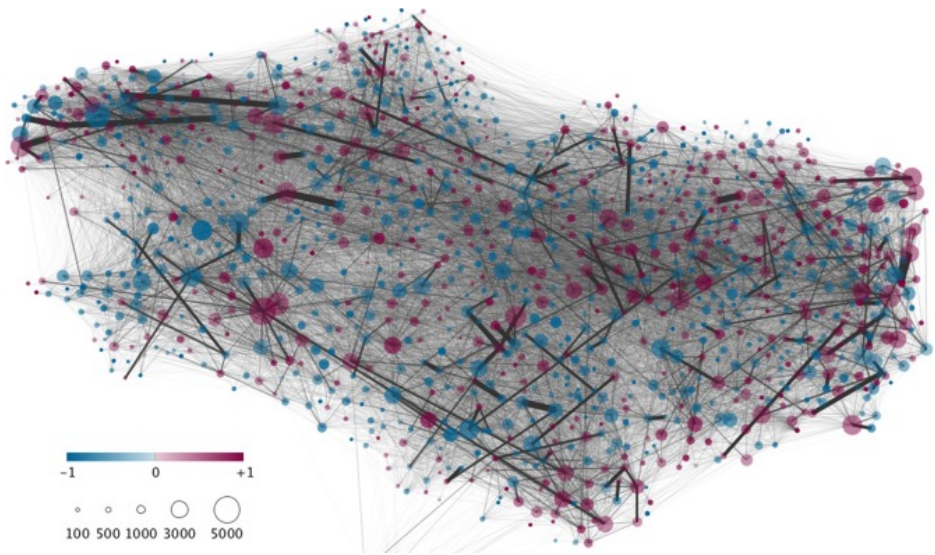
2022

2024





MIDIIVEC

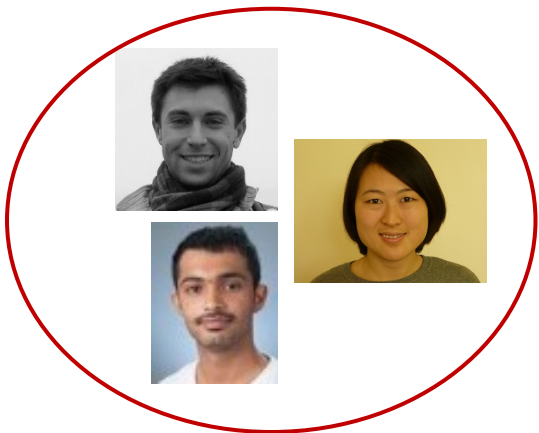


Brittany (France)  
 2005-2013  
 12,857 active farms  
 919,304 animals exchanged  
 (223,968 within the region)

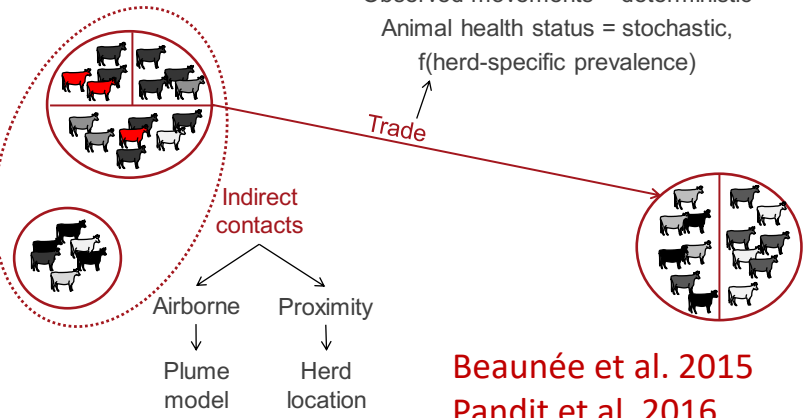
Nodes = rather buyer vs. rather seller  
 Size ~ number of animals owned  
 Link ~ number of animals exchanged

*Dynamic network analysis*

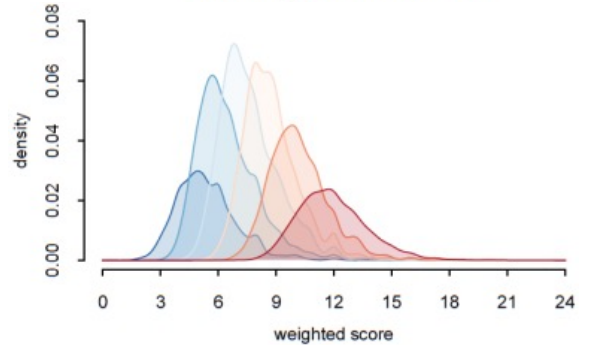
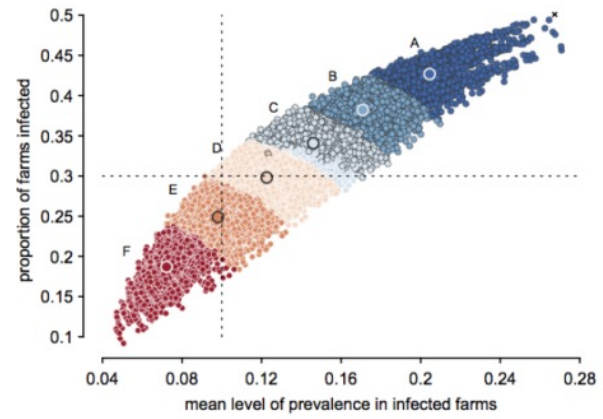
Dutta et al. 2014



Observed movements = deterministic  
 Animal health status = stochastic,  
 $f(\text{herd-specific prevalence})$



Beaunée et al. 2015  
 Pandit et al. 2016  
 Beaunée et al. 2017  
 Qi et al. 2019



*Mechanistic epidemiological models at large scale*



MIDIIVEC



2012

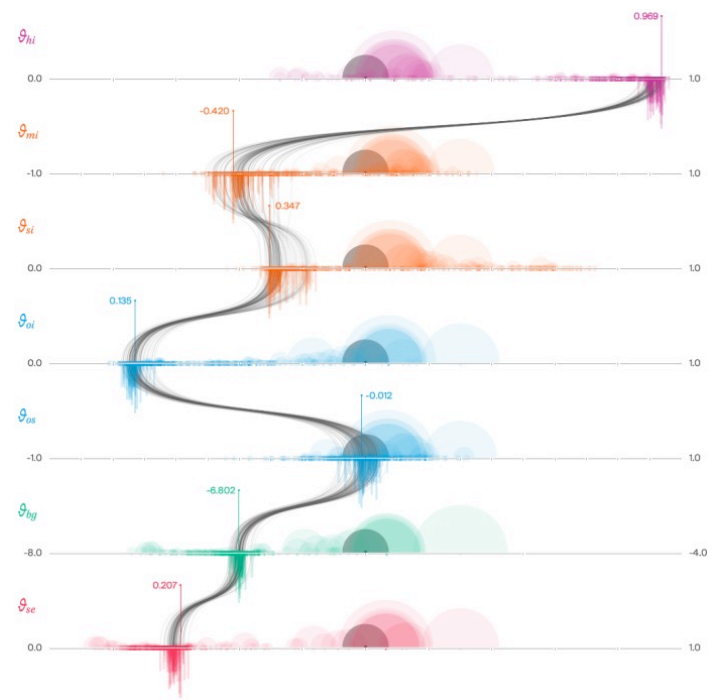
2015

2017

2020

2022

2024



Inference

Beaunée [...] & Vergu, in prep





**OPEN** Selecting sorting centres to avoid long distance transport of weaned beef calves

T. Morel-Journel<sup>1,2</sup>, E. Vergu<sup>2</sup>, J.-B. Mercier<sup>3</sup>, N. Barcille<sup>2</sup> & P. Ezanno<sup>2</sup>

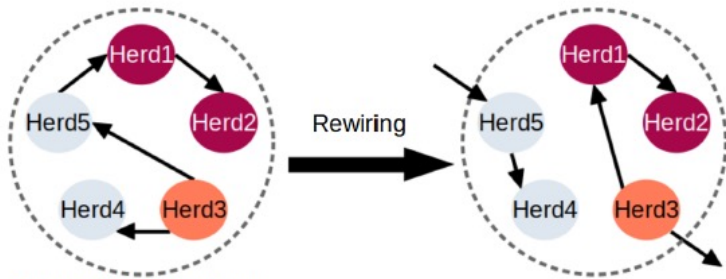


Network rewiring

RESEARCH ARTICLE Open Access

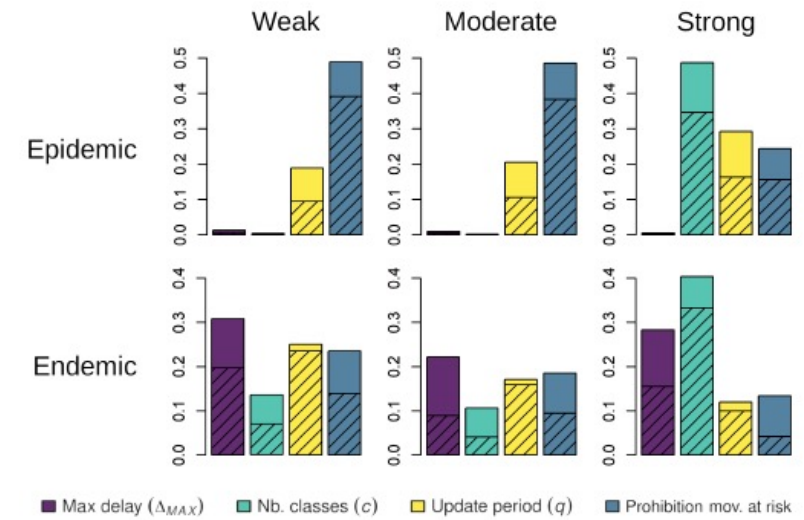
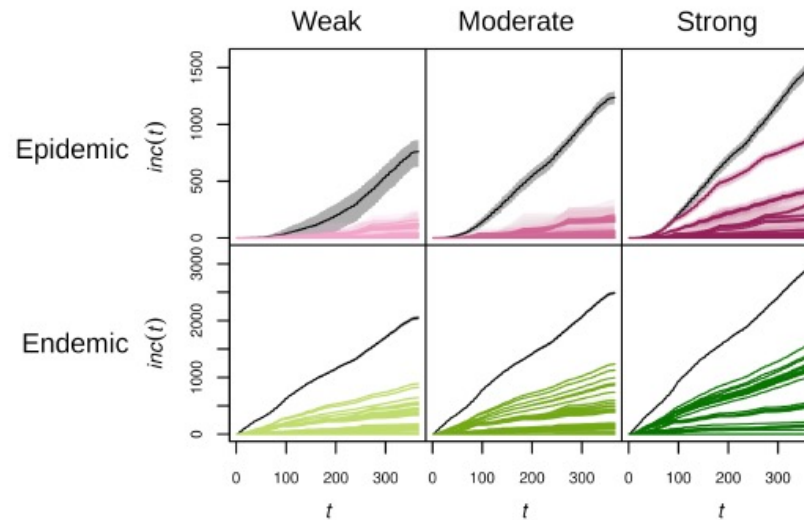
Minimizing the number of origins in batches of weaned calves to reduce their risks of developing bovine respiratory diseases

Thibaut Morel-Journel<sup>1,2</sup>, Sébastien Assié<sup>1</sup>, Elisabeta Vergu<sup>2</sup>, Jean-Baptiste Mercier<sup>3</sup>, Florence Bonnet-Beaugrand<sup>1</sup> and Pauline Ezanno<sup>1</sup>



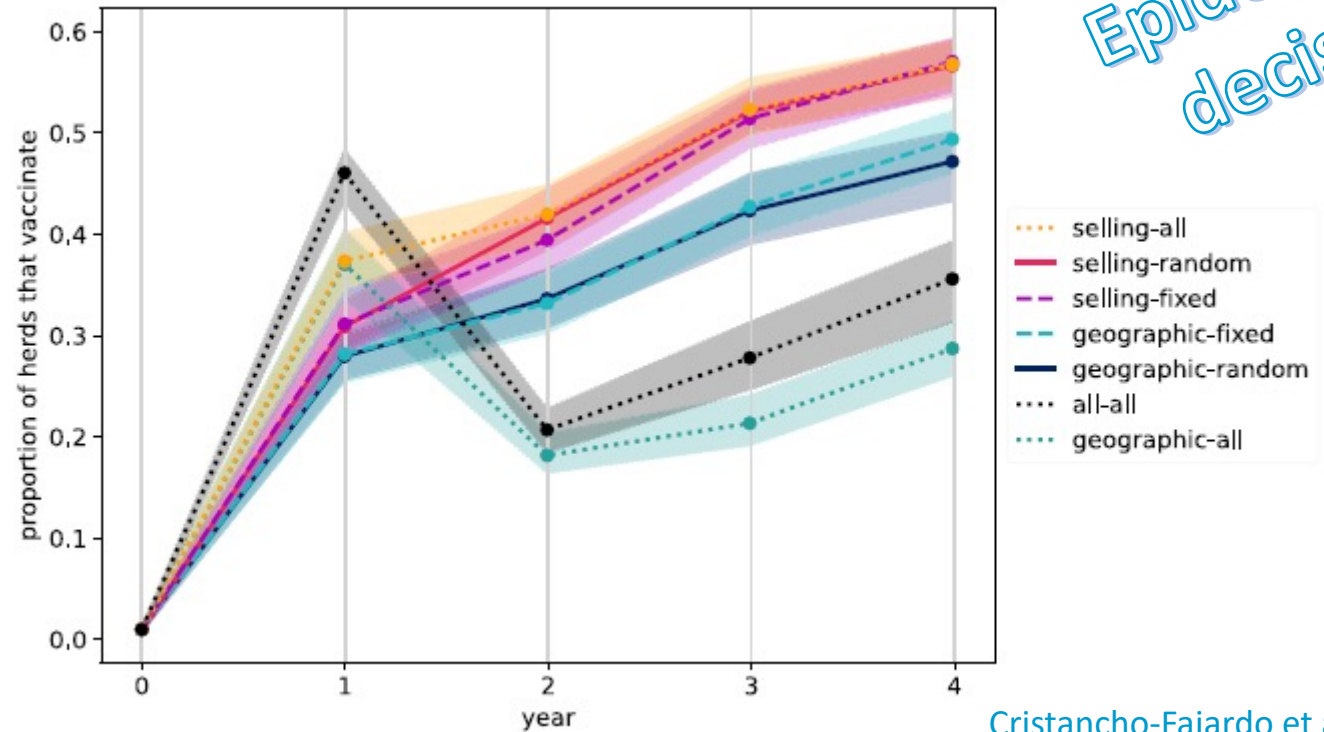
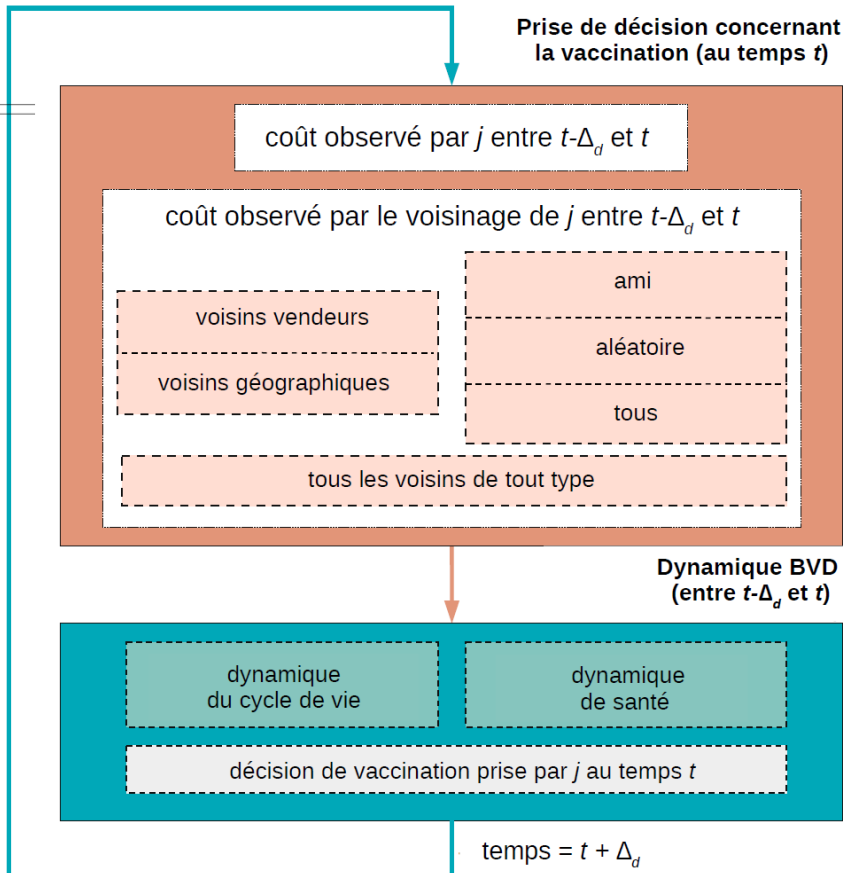
2 high-risk movements in metapopulation

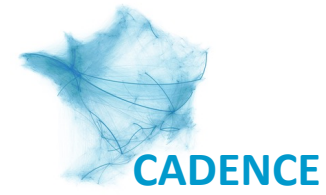
Morel-Journel et al. 2021a&b, preprint





Epidemics & decisions





MIDIIVEC



2012

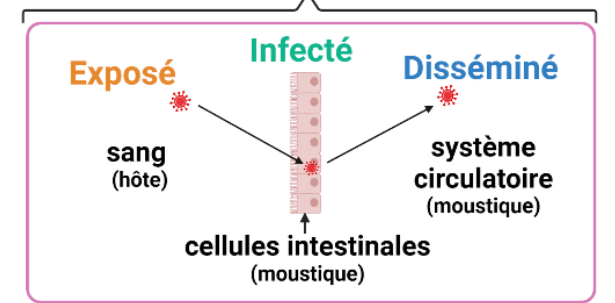
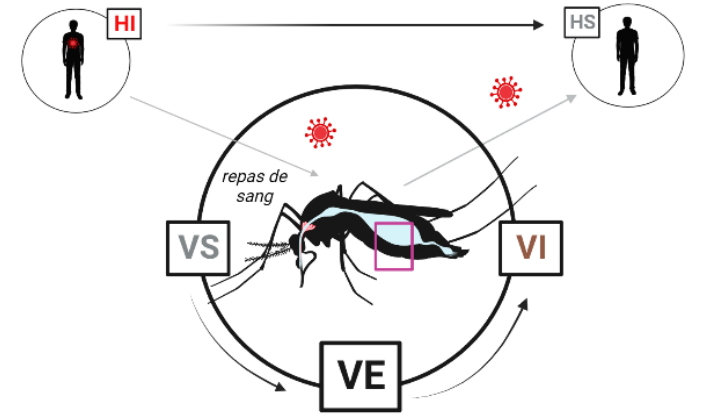
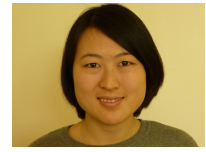
2015

2017

2020

2022

2024



## Perspectives

Projets, articles d'opinion, méta-réseau international, challenges, conférence...

Quid de l'IA ?

et des grands défis mondiaux : santé globale, climat, biodiversité ?

Un chemin (et trois formidables animateurs) pour réinventer le réseau

