

Les SMA multi-niveaux pour l'épidémiologie

Sébastien Picault

Y.L. Huang, V. Sicard, F. Beaudeau,
P. Ezanno



Bioepar, INRA / Univ. Lille



JFSMA 2017, Caen

Améliorer la santé animale

Diversité de causes





Améliorer la santé animale

Diversité de causes



Améliorer la santé animale

Diversité de causes



Améliorer la santé animale

Diversité de causes



Impacts sévères

- ▶ santé publique
- ▶ qualité de l'alimentation
- ▶ coût financier et humain



Projet MIHMES



- ▶ modèles **mécanistes** en épidémiologie animale
 - ▶ 4 maladies enzootiques non réglementées
 - ▶ modèles **multi-échelles**
 - ▶ multiples **paradigmes** de modélisation
 - ▶ intégration de données
- ▶ proposer et évaluer des **mesures de contrôle**



Projet MIHMES

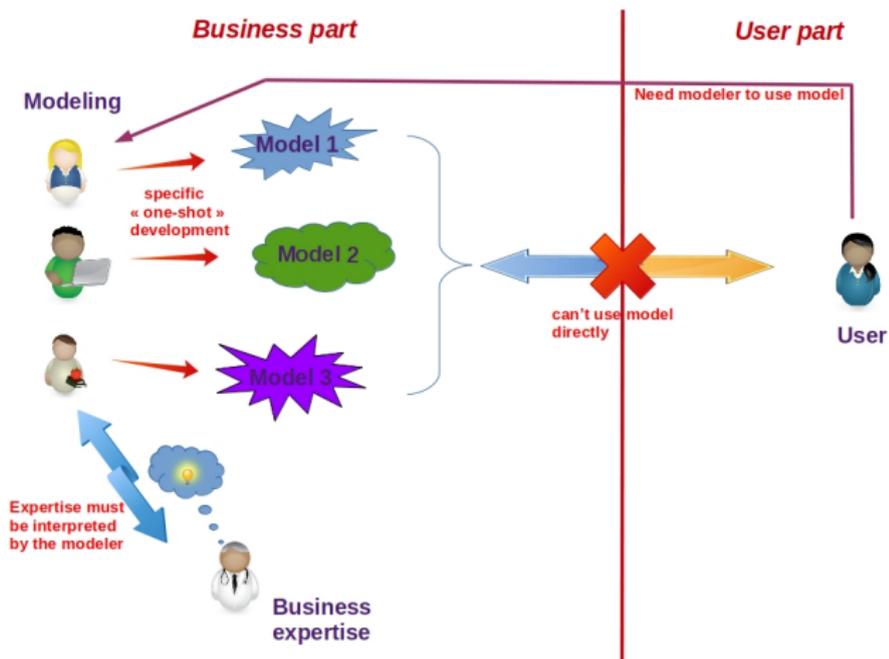


- ▶ modèles **mécanistes** en épidémiologie animale
 - ▶ 4 maladies enzootiques non réglementées
 - ▶ modèles **multi-échelles**
 - ▶ multiples **paradigmes** de modélisation
 - ▶ intégration de données
- ▶ proposer et évaluer des **mesures de contrôle**

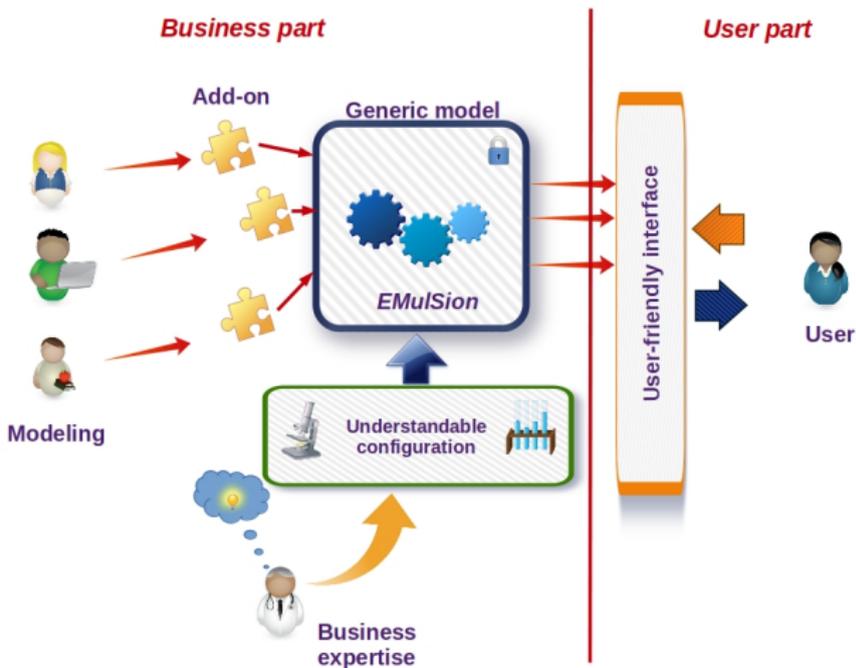
Pérennité du projet

- ▶ connaissances et savoir-faire
- ▶ utilité pratique (outils d'aide au conseil)

Situation actuelle



Objectifs (framework EMuLSion)

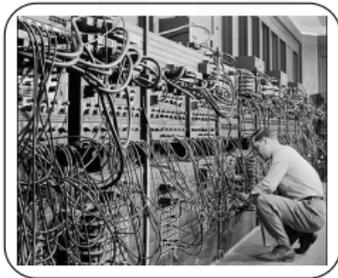


Ingénierie des connaissances

Code de
simulation

« Boîte noire »

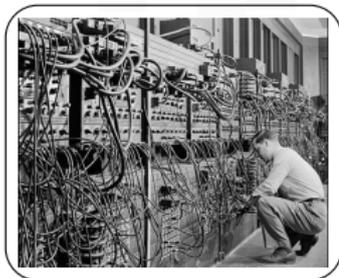
Ingénierie des connaissances



Code *ad hoc*

- ▶ dur à programmer
- ▶ faible fiabilité
- ▶ faiblement évolutif

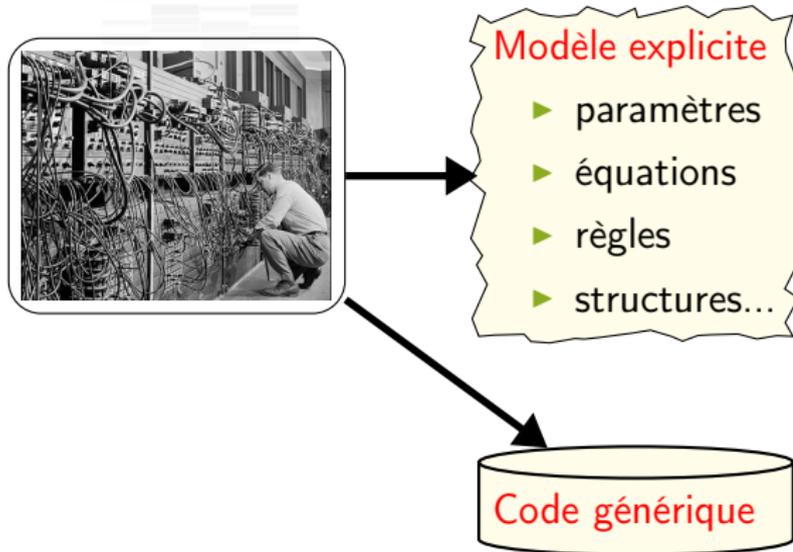
Ingénierie des connaissances



Code *ad hoc*

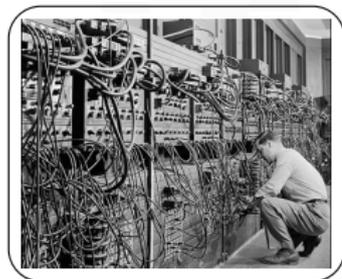
- ▶ dur à programmer → architecture logicielle
- ▶ faible fiabilité → standardisation + tests + versioning
- ▶ faiblement évolutif → ???

Ingénierie des connaissances



séparation déclaratif / procédural

Ingénierie des connaissances



Modèle explicite

- ▶ paramètres
- ▶ équations
- ▶ règles
- ▶ structures...

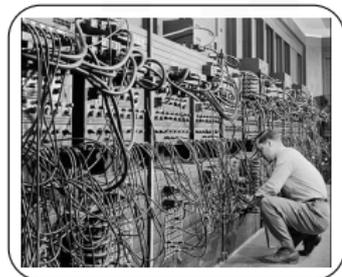
- ▶ lisibilité
- ▶ intelligibilité
- ▶ révisabilité

Code générique

- ▶ fiabilité
- ▶ modularité
- ▶ extensibilité

séparation déclaratif / procédural

Ingénierie des connaissances



Modèle explicite

- ▶ paramètres
- ▶ équations
- ▶ règles
- ▶ structures...

Code générique

Domain-specific language

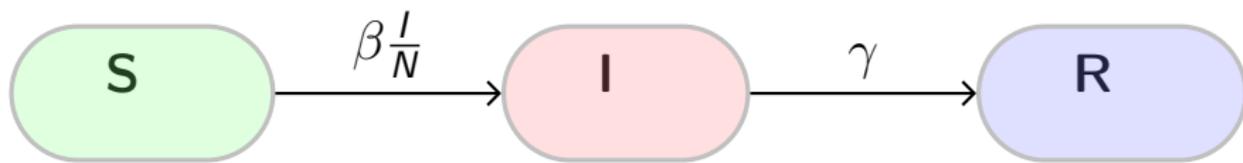


Simulation framework



séparation déclaratif / procédural + modularité

Existant : diagrammes de flux

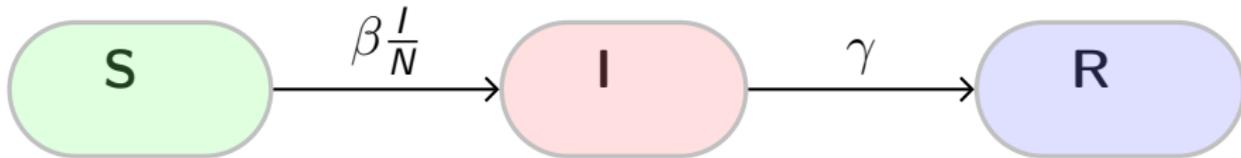


- ▶ traduction immédiate en système EDO

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta \frac{I}{N} S \\ \frac{dI}{dt} = \beta \frac{I}{N} S - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \end{cases}$$

- ▶ indépendant du paradigme (compartiments vs. IBM)

Existant : diagrammes de flux

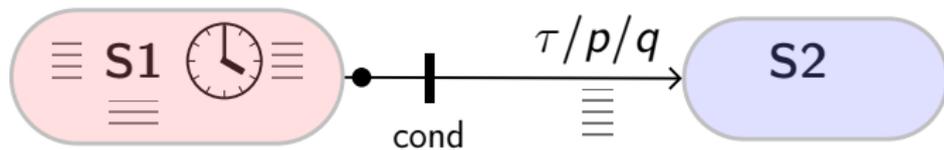


- ▶ traduction immédiate en système EDO
- ▶ indépendant du paradigme (compartiments vs. IBM)

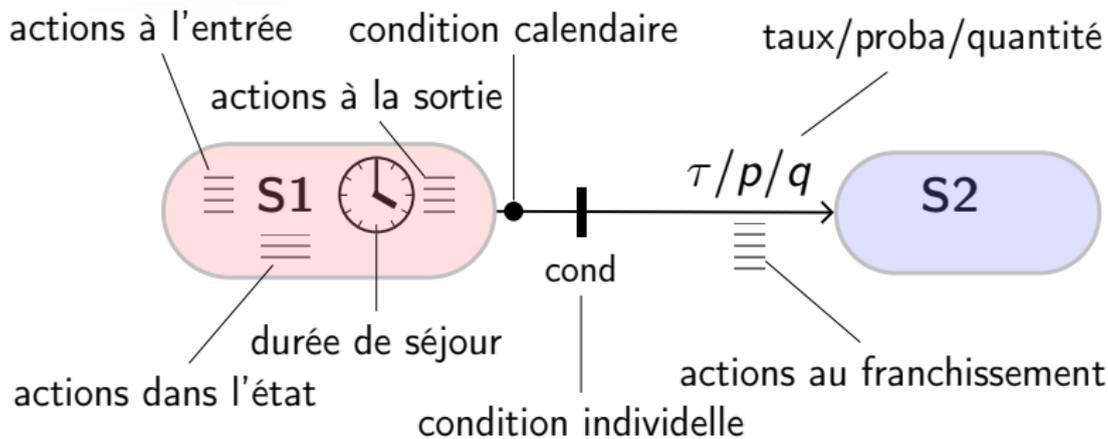
mais :

- ▶ beaucoup d'implicite (durées, actions...)
- ▶ mélanges de domaines (ex : infection + démographie)
- ▶ **orienté populations**

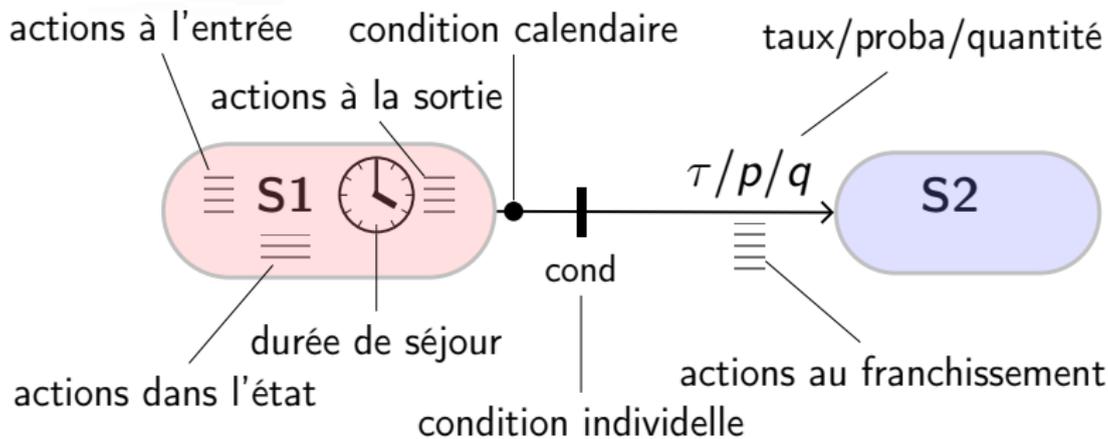
Transformation en machines à états



Transformation en machines à états



Transformation en machines à états



- ▶ un seul processus (e.g. infection, démographie, gestation...)
- ▶ durées, conditions, actions individuelles explicites
- ▶ **orienté individus**



Multiplicité des échelles et des paradigmes...



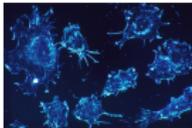
échelle régionale



échelle troupeau



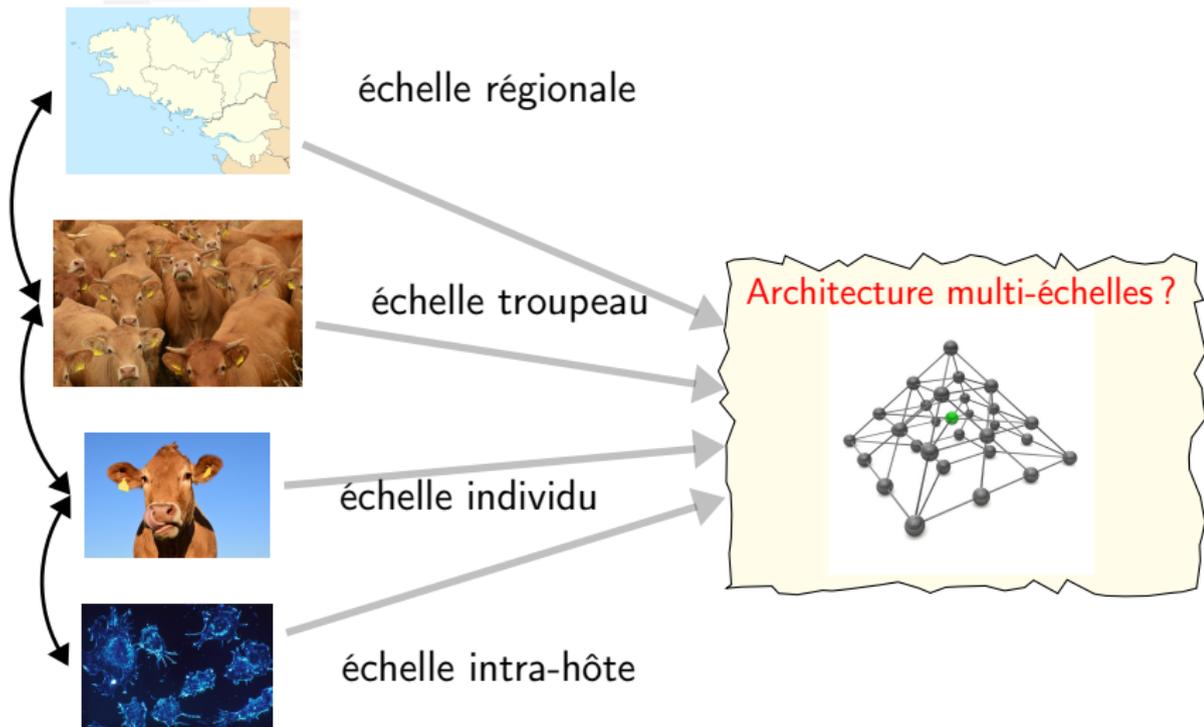
échelle individu



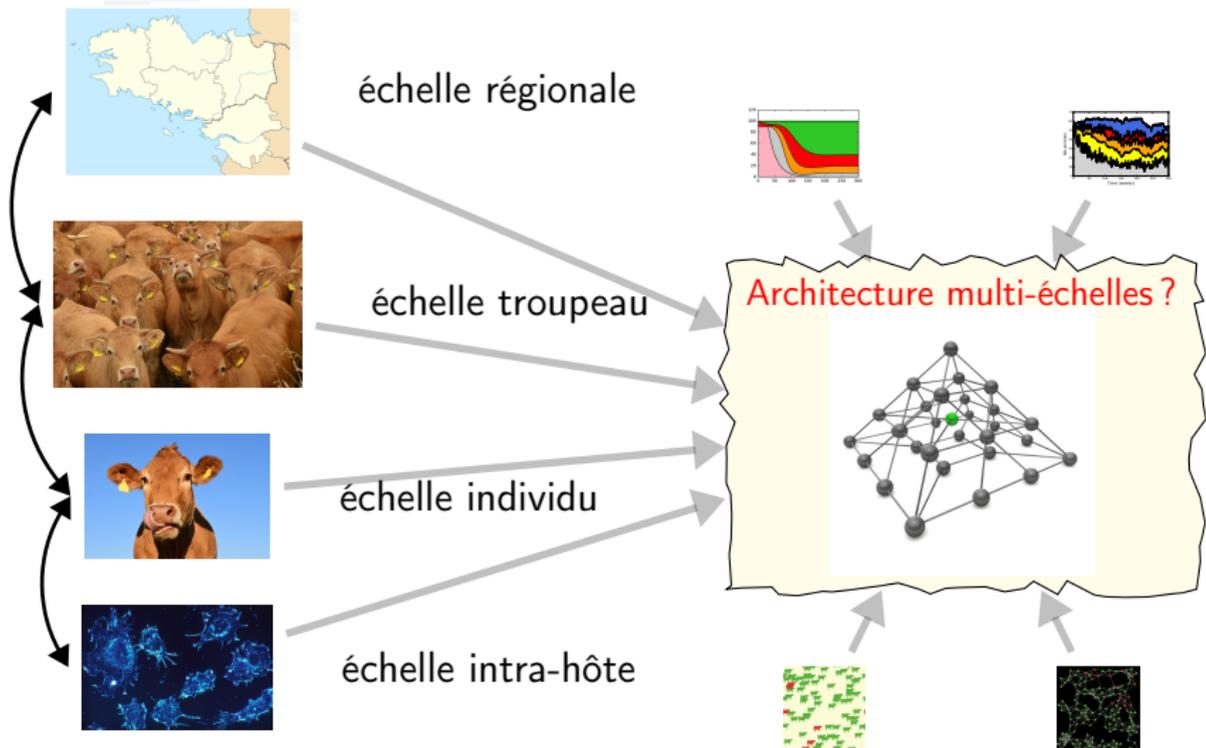
échelle intra-hôte



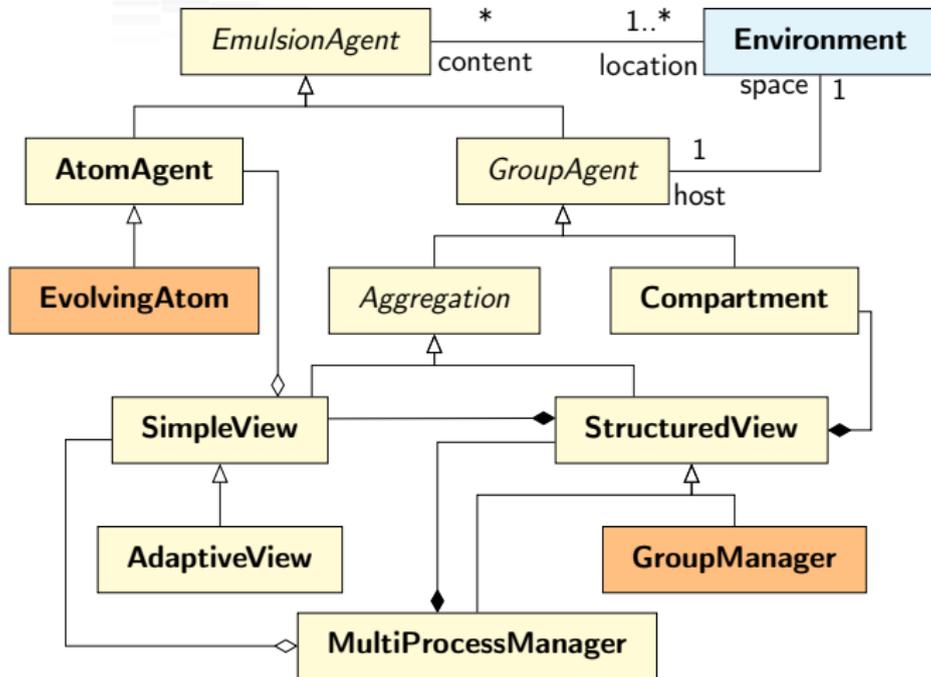
Multiplicité des échelles et des paradigmes...



Multiplicité des échelles et des paradigmes...



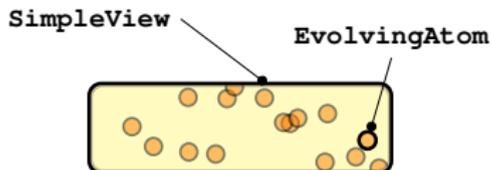
... encapsulé dans des agents multi-niveaux



application de [Mathieu et al 2016]

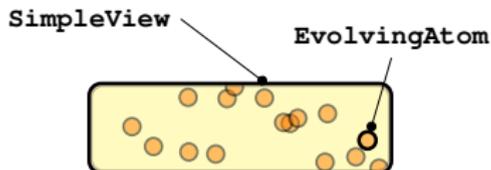
Regroupements par processus

IBM :

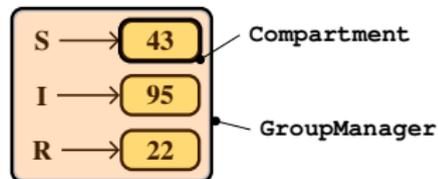


Regroupements par processus

IBM :

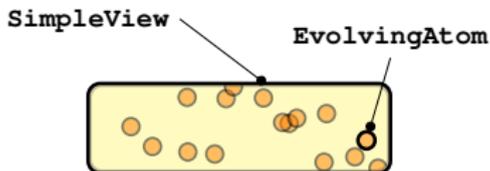


Compartments :

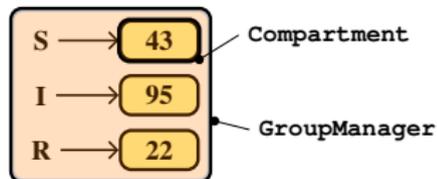


Regroupements par processus

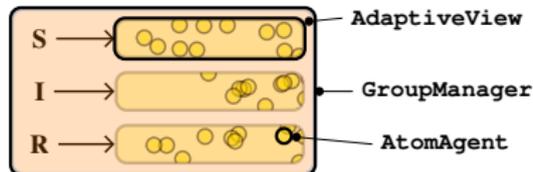
IBM :



Compartments :



Adaptive groups :



La fièvre Q

- ▶ zoonose endémique des ruminants
- ▶ modèle centré individus intra-troupeau (Courcoul *et al.* 2011)
- ▶ données sur l'incidence inter-troupeaux

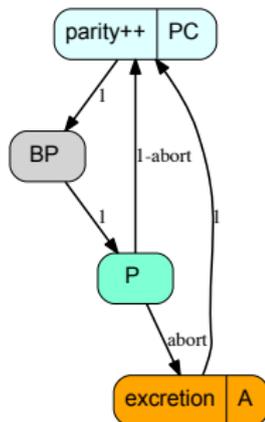
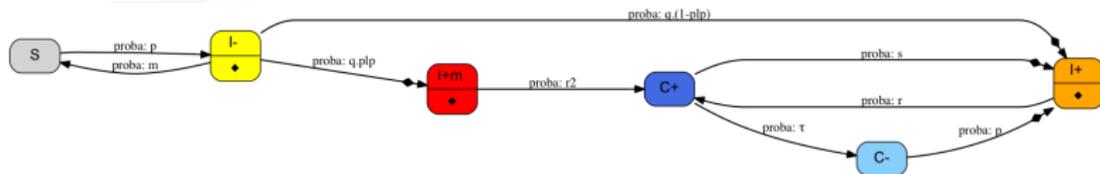
La fièvre Q

- ▶ zoonose endémique des ruminants
- ▶ modèle centré individus intra-troupeau (Courcoul *et al.* 2011)
- ▶ données sur l'incidence inter-troupeaux

Banc d'essai pour les principes d'EMuLSion

1. Expliciter le modèle
2. Le simplifier
3. Explorer des hypothèses alternatives
4. Passer à l'échelle inter-troupeaux
5. Calibrer la transmission aérienne

Modèle initial : health state + life cycle

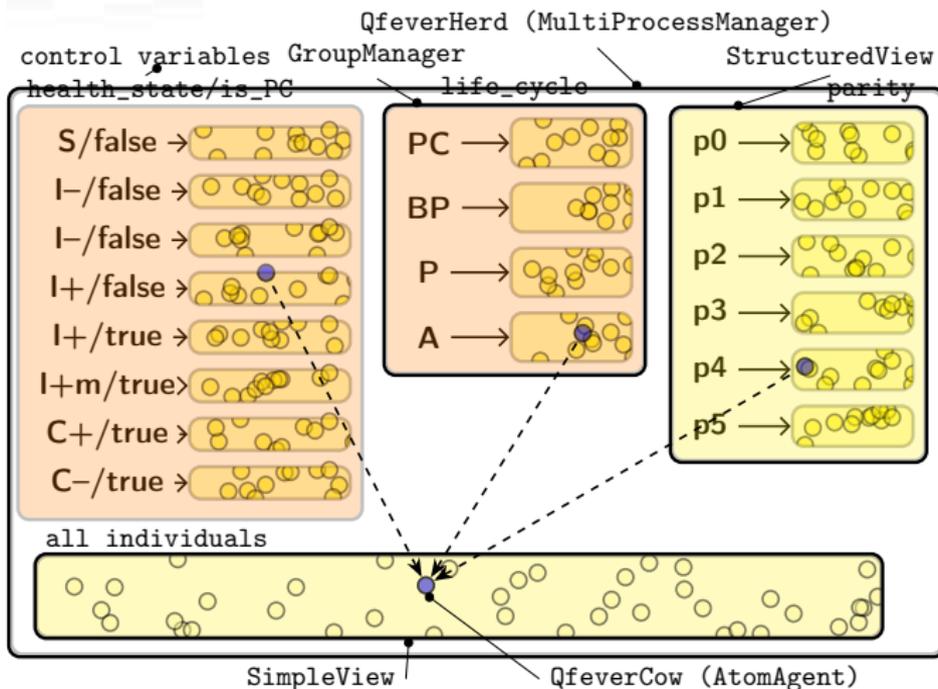


processes:

herd: # list of processes for the 'herd' level

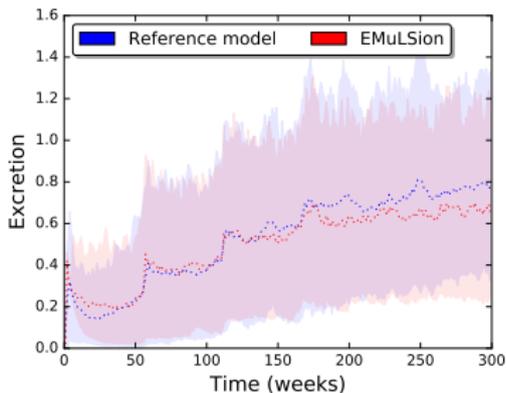
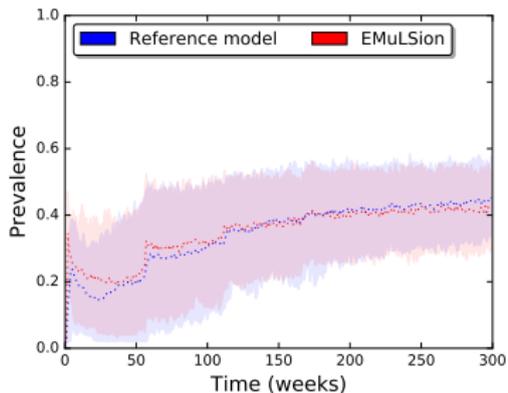
- culling_process # -> write code
- renewal_process # -> write code
- infection # state-machine driven
- lifecycle # state-machine driven
- parity_grouping # group update (automatic)
- bacterial_dispersion # -> write code

Architecture multi-niveaux



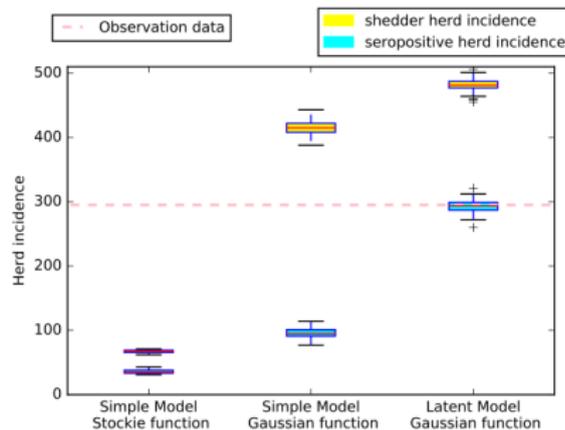
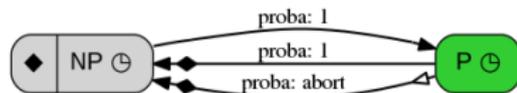
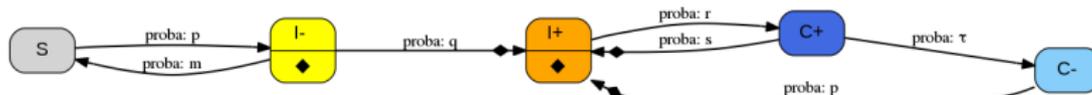
Comparaison / modèle de référence

comparaison avec modèle intra-troupeau (Courcoul *et al.* 2011)



- ▶ simplification du modèle intra-troupeau
- ▶ extension et calibration du modèle inter-troupeaux

Exploring assumptions





Work in progress !

- ▶ application à d'autres maladies + **tutoriels**
→ **large spectre de fonctionnalités** en épidémiologie
- ▶ avantages :
 - ▶ réduire le temps de développement des modèles
 - ▶ améliorer fiabilité + réutilisabilité
 - ▶ explorer rapidement des hypothèses alternatives
 - ▶ description explicite et lisible des modèles

Retour vers les SMA

- ▶ travail sur les patterns de conceptions de SMA multi-niveaux
- ▶ agrégation / désagrégation adaptatives