

Propagation et maîtrise des maladies enzootiques du bétail : une modélisation multi-échelles pour hiérarchiser des stratégies complexes

Cas de la paratuberculose bovine

Pauline Ezanno

pauline.ezanno@oniris-nantes.fr



Paratuberculose & troupeaux bovins laitiers

- Une maladie chronique, à longue période d'incubation
 - *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* (Map)
- Un impact économique considérable
 - De 200 à 1500 MUSD / an (USA)
 - Endémique à des prévalences variables dans toutes régions à industrie laitière développée
- Des tests de dépistage peu sensibles
- Des méthodes de gestion peu efficaces et contraignantes
- Vaccination réglementée / limitée en France



Paratuberculose & troupeaux bovins laitiers

- Hétérogénéité des dynamiques d'infection entre troupeaux infectés

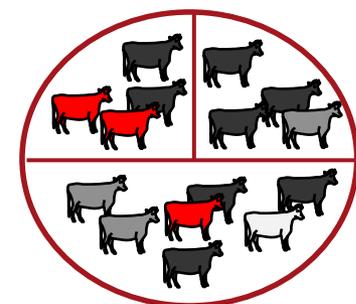
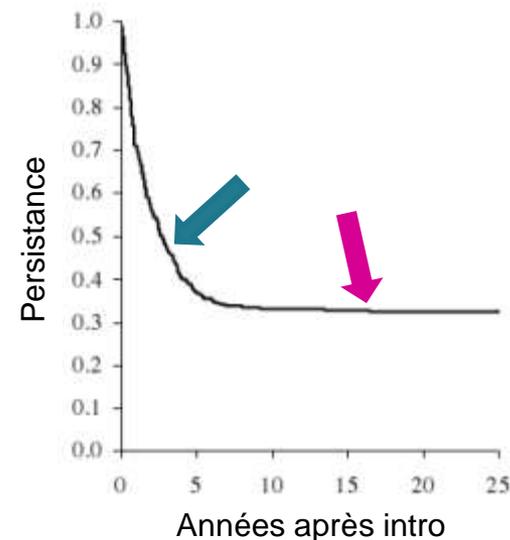
Marcé et al., *Vet Res* 2011

- Les troupeaux sont des populations gérées

- Structuration en lots → contacts hétérogènes
- Petites populations → processus aléatoires
- Fort renouvellement → processus démographiques
- Décision des éleveurs

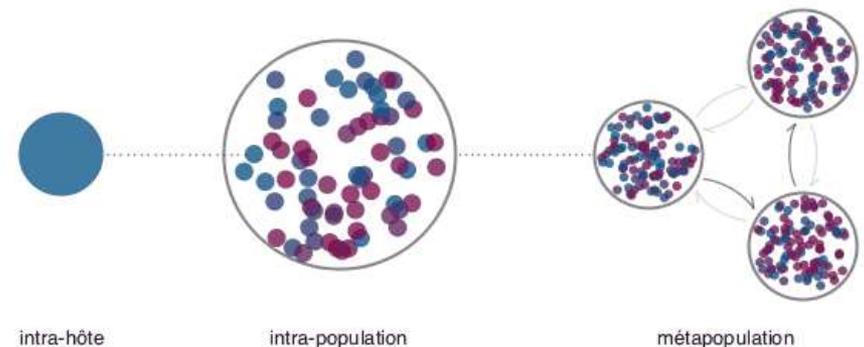
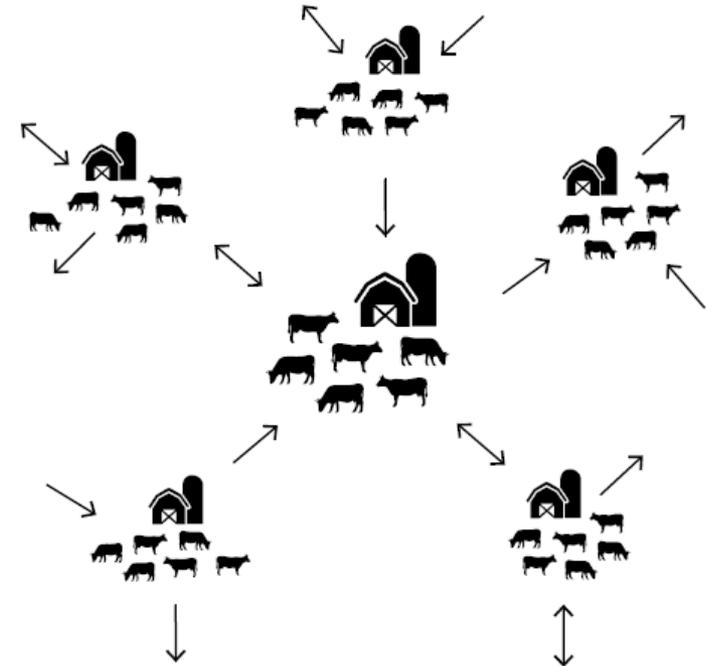
- Les troupeaux d'une région sont hétérogènes

- Race, démographie, structure, connectivité, décisions, ...



Paratuberculose & troupeaux bovins laitiers

- Introduction en élevage par achat d'animaux infectés
- Ces mouvements commerciaux forment des réseaux complexes reliant les troupeaux
 - Dynamiques
 - Pondérés
 - Orientés
- Dynamiques démographiques et d'infection intra-troupeau & mouvements : échelles de temps similaires



Objectif

Propagation de Map difficile à observer sur le terrain

Mesures de gestion efficaces requises

→ Evaluer et comparer des mesures de gestion
combinées et ciblées

Une modélisation multi-échelles mécaniste permet de

- mieux comprendre la propagation régionale de Map
- comparer des stratégies combinant biosécurité interne et gestion des mouvements

Un modèle multi-échelles mécaniste original

La propagation de Map entre troupeaux bovins laitiers dépend de

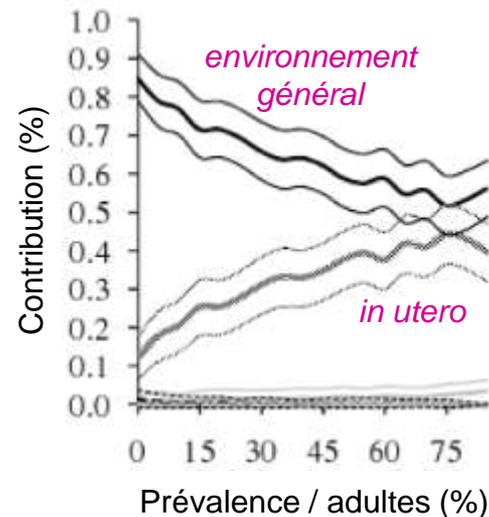
- Processus à l'échelle intra-troupeau
 - Dynamiques démographiques et d'infection stochastiques
 - Voies de transmission & niveaux d'excrétion hétérogènes
- Processus à l'échelle inter-troupeaux / régionale
 - Mouvements commerciaux d'animaux observés (2005-2013)

Un modèle intra-troupeau guidé par les données

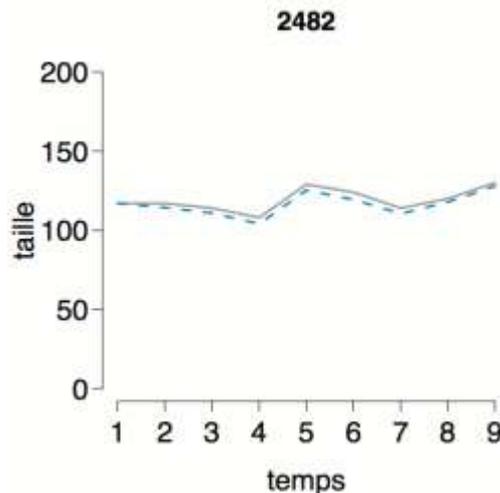
Coupler dynamique de population et d'infection par Map

- 5 voies de transmission
in utero, colostrum, lait
environnements : local & général
- Sensibilité = $f(\text{âge})$
- Hétérogénéité d'excrétion entre animaux
et dans le temps
- Saisonnalité
- Taille et gestion
troupeau-centrées
calibrées sur données

Beaunée et al., Vet Res 2015

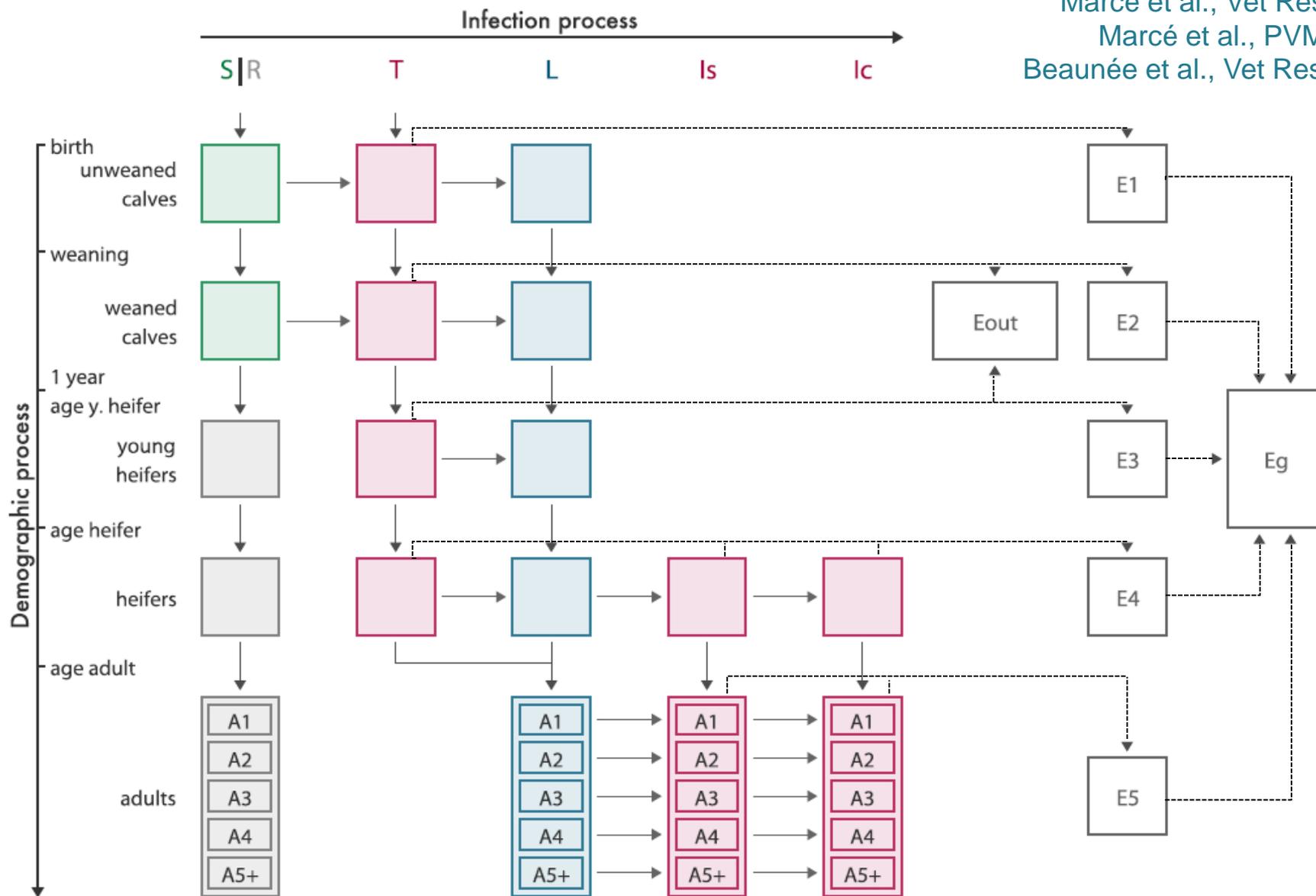


Marcé et al., Vet Res 2011



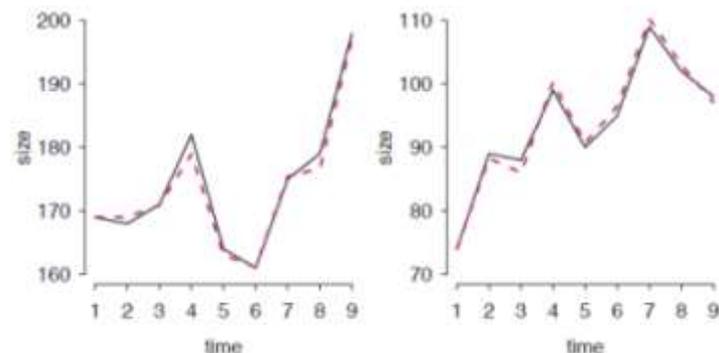
Disease progression + herd management

Marcé et al., Vet Res 2011
 Marcé et al., PVM 2011
 Beaunée et al., Vet Res 2015



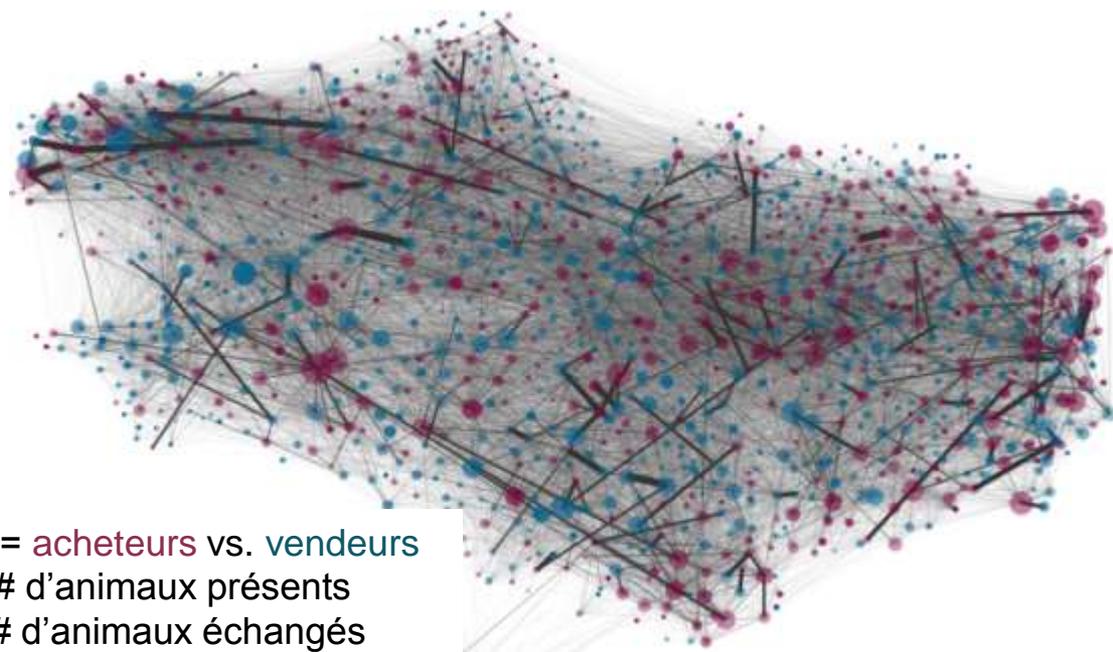
Un modèle multi-échelles guidé par les données

- Taille & localisation des troupeaux
- Processus démographiques
- Mouvements commerciaux



Bretagne (France)
2005-2013

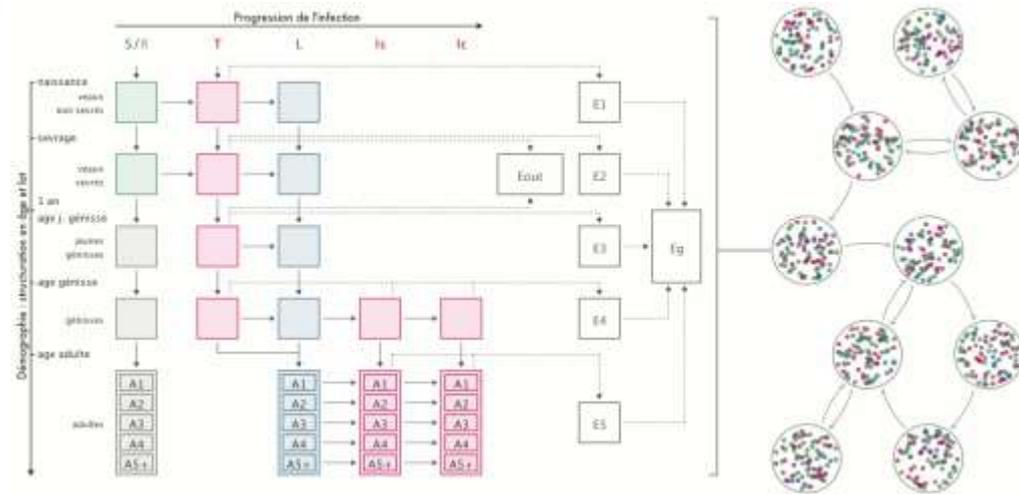
12 857 exploitations actives
919 304 animaux échangés
(**223 968** intra-région)



Nœuds = acheteurs vs. vendeurs
Taille ~ # d'animaux présents
Lien ~ # d'animaux échangés

Modèle inter-troupeaux

Dynamiques intra-troupeaux couplées par les mouvements d'animaux observés



Beaunée et al., Vet Res 2015

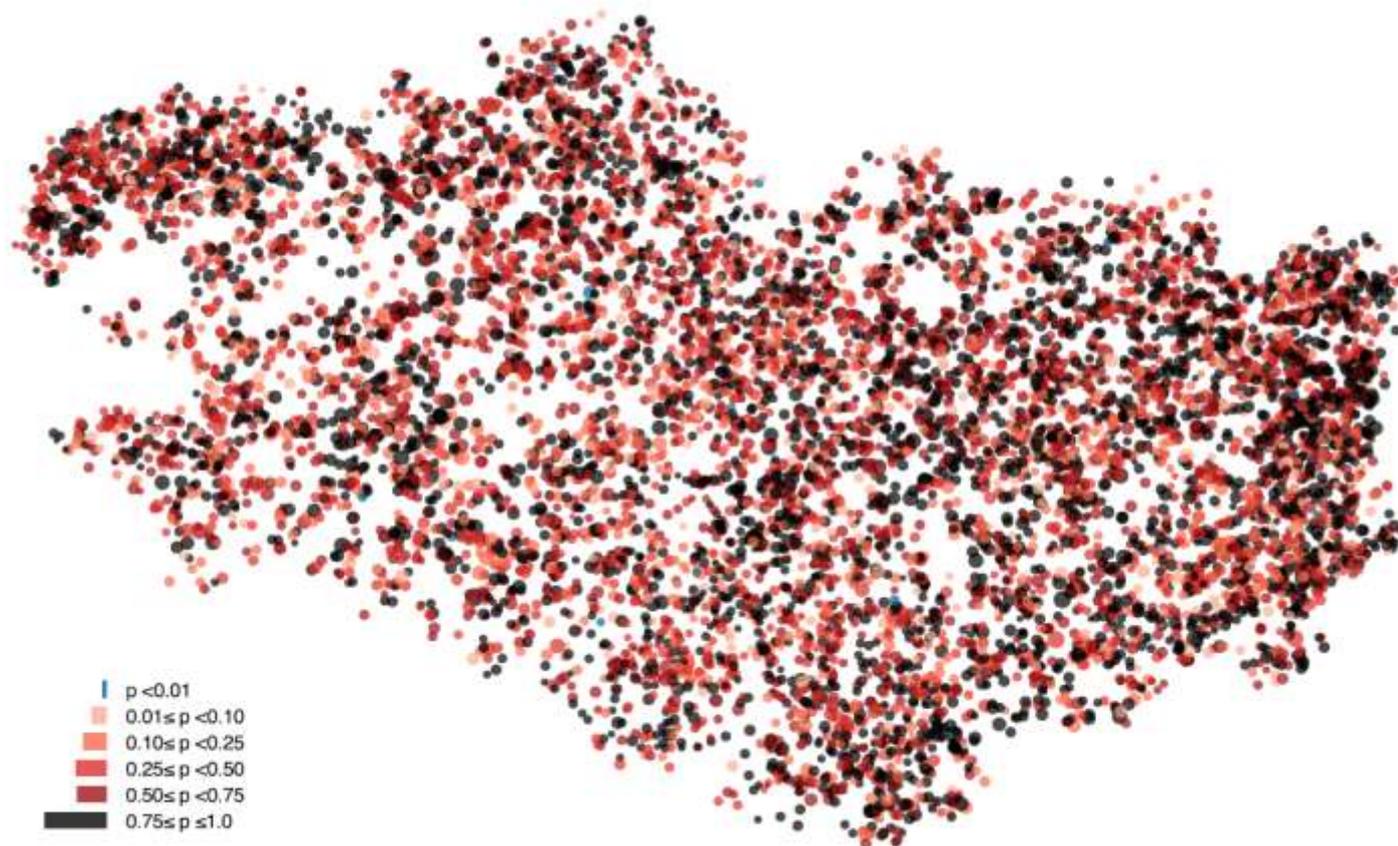
- Date, origine, destination, âge = déterministe (données)
- Etat de santé des animaux = stochastique
f(prévalence troupeau-centrée)

$$X_{i \rightarrow j}^a \sim \text{Multinomial} \left(1, \left(p_i^{a,S/R}, p_i^{a,T}, p_i^{a,L}, p_i^{a,Is} \right) \right)$$

with $\sum_{X \in (S/R, T, L, Is)} p_i^{a,X} = 1$, (animals *Ic* are not allowed to move)

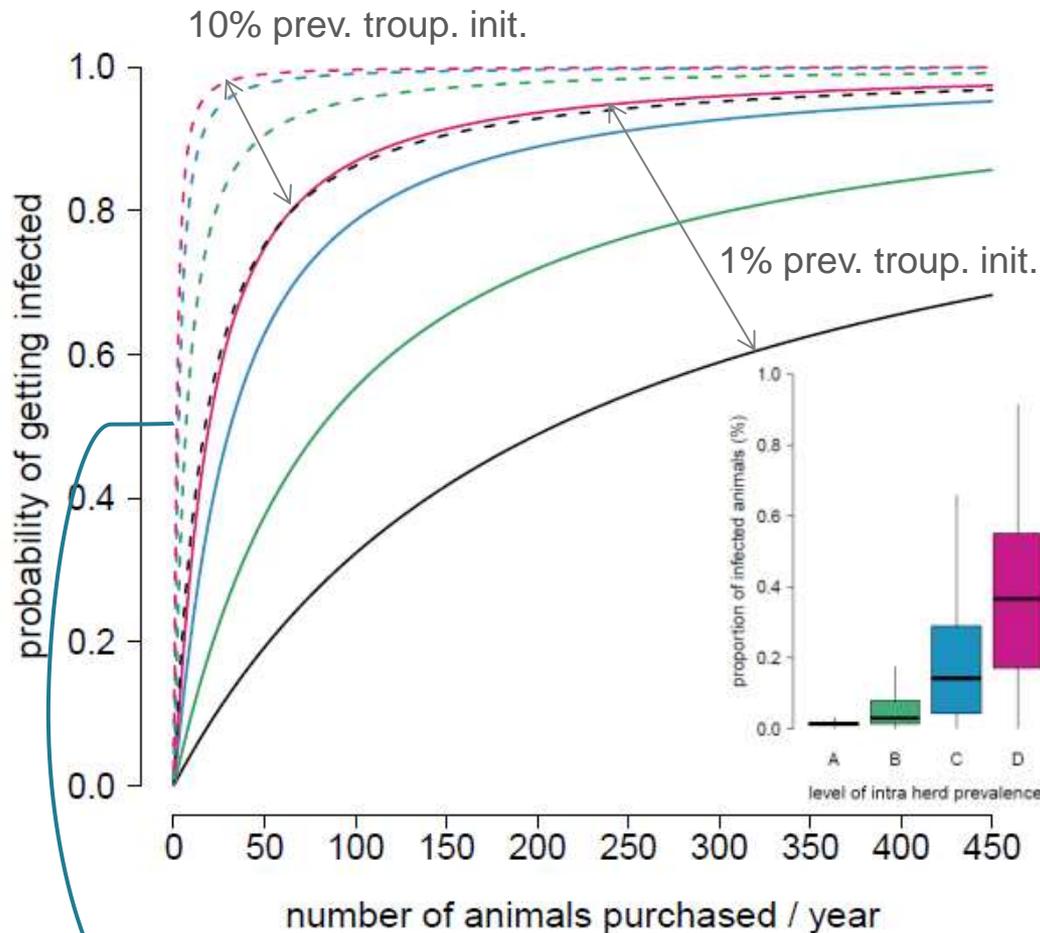
**Mieux comprendre
la dynamique de propagation de Map
à une échelle régionale**

Probabilité d'acheter ≥ 1 animal infecté en 9 ans si aucune mesure de gestion de la maladie



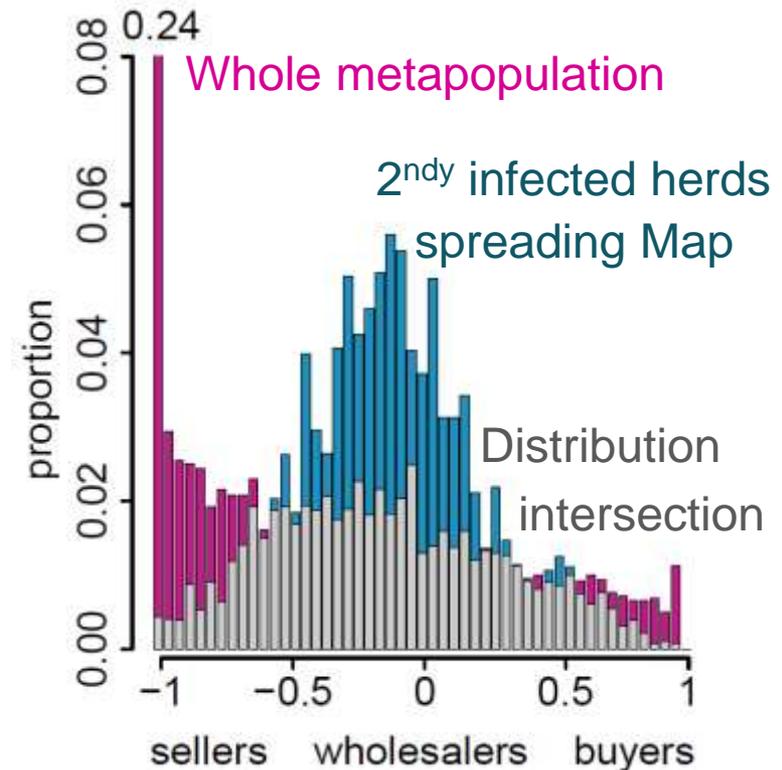
30% des troupeaux sont initialement infectés ~ prévalence en Bretagne
En moyenne, 10% des animaux sont infectés en troupeaux infectés

P(infection du troupeau) & nombre d'achats



P(≥ 24 achats/an) > 50%

Grossistes forts contributeurs à la propagation régionale



Comparer des stratégies de gestion complexes et ciblées, combinant biosécurité interne et gestion des mouvements commerciaux

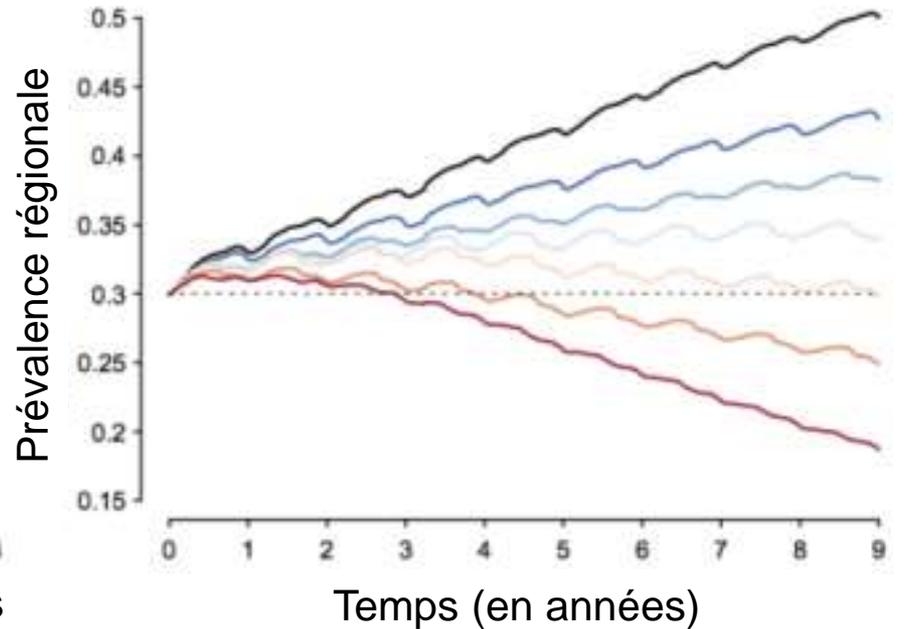
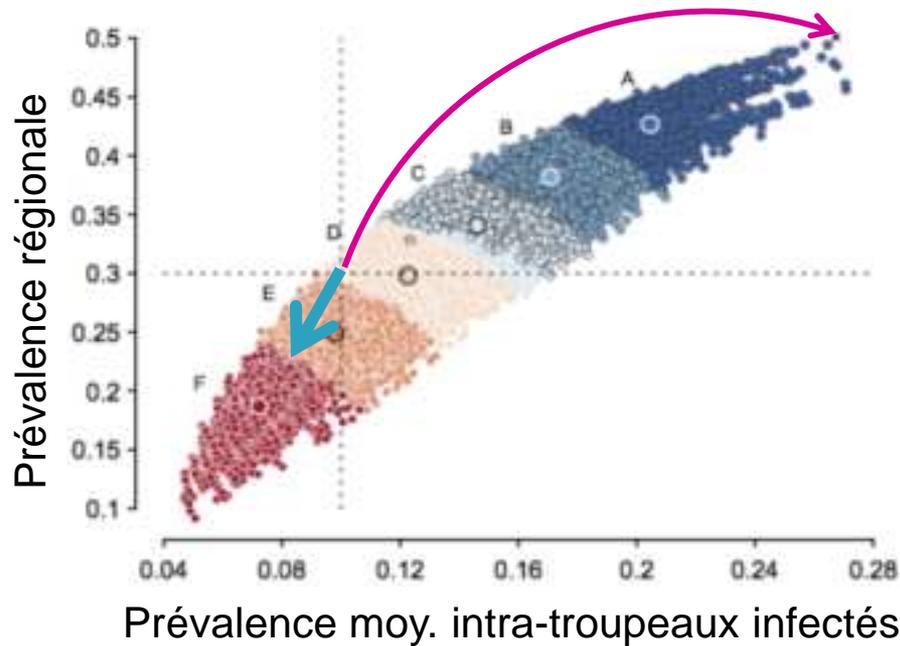
Evaluation de stratégies de gestion complexes

19110 scénarios combinant des mesures implémentées avec une intensité & une couverture-troupeau variables (25-100%)

| Test | Se for T | Se for L | Se for I_s | Se for I_c | Sp |
|--------|------------|------------|--------------|--------------|------|
| Test 1 | 0.15 | 0.07 | 0.75 | 0.80 | 0.95 |
| Test 2 | 0.50 | 0.25 | 0.80 | 0.85 | 0.99 |

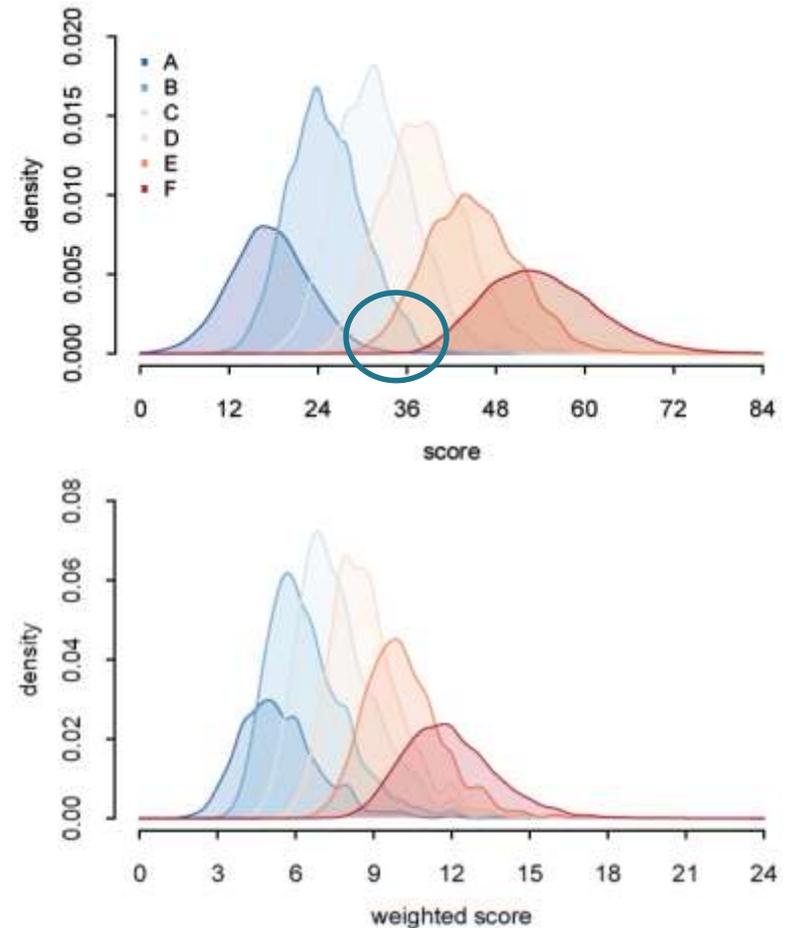
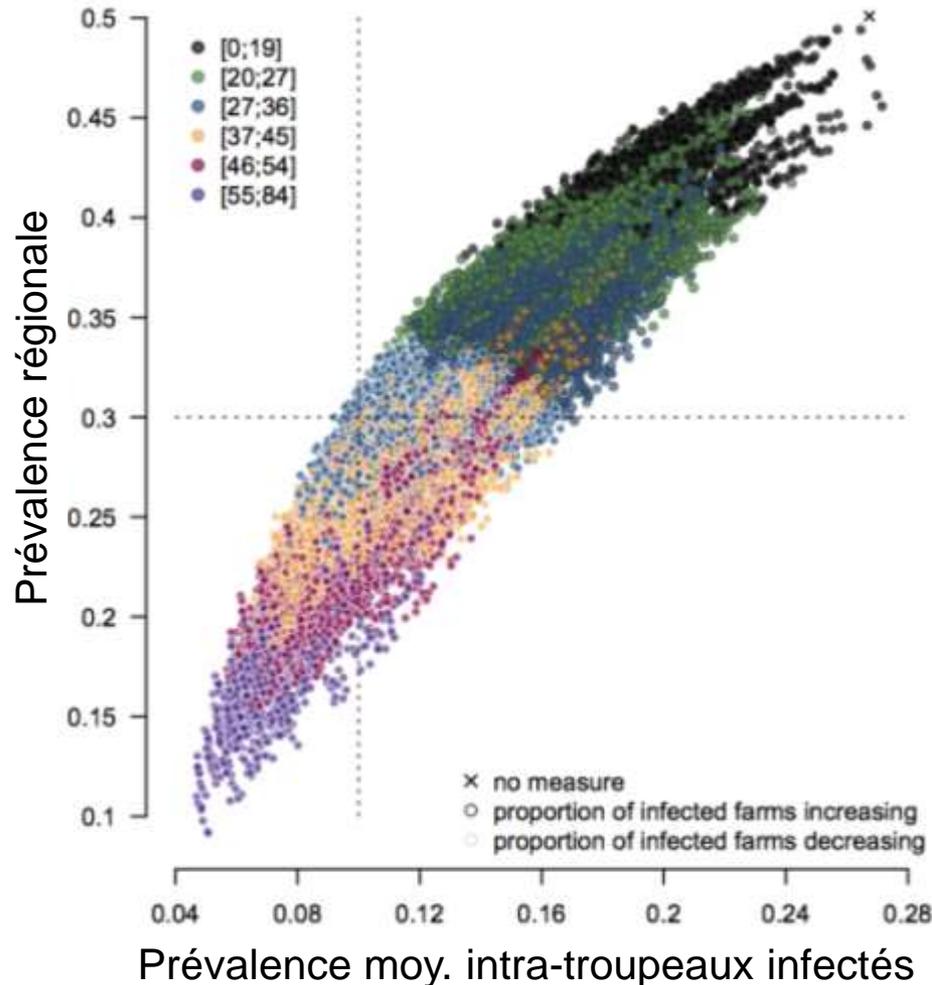
- Tests ciblés à l'achat
 - Aléatoire, troupeaux avec symptômes, f(degré dans le réseau)
- Hygiène & gestion des veaux
 - Améliorer le nettoyage, lait/colostrum non contaminé
 - Réduire l'exposition des veaux à l'environnement général
- Réforme des animaux infectés
 - Réforme précoce des animaux affectés / cliniques
 - Test & cull : 6 mois après le 1^{er} cas clinique, 1/an, adultes (>24 mois)
 - ➔ réforme & remplacement de 50%-100% des animaux positifs

Selon la stratégie retenue, différents niveaux de maîtrise sont possibles à une échelle régionale



Identifier quelles mesures combiner pour atteindre un niveau de maîtrise donné → analyses inverses

Plusieurs mesures doivent être combinées, avec un effort d'implémentation requis modéré à fort



Une combinaison pertinente de mesures induit une large réduction régionale de la probabilité d'acheter au moins un animal infecté en 9 ans (cluster F)



Conclusions & perspectives scientifiques

Un modèle épidémiologique multi-échelles guidé par les données

- Cadre réaliste, flexible & performant
- Tenant compte des spécificités territoriales
- Permettant des simulations intensives

- Pas de sortie générique → besoin de modèles mécanistes
- Estimation des paramètres incertains intra & inter
- Quelle robustesse de la hiérarchisation ?
- Comment tenir compte de décisions de maîtrise & observances hétérogènes ?

Transférer des outils de simulation de scénarios de maîtrise vers les professionnels de la santé des bovins



EvalParaTuB

Un outil d'aide à la décision et au conseil Pour les vétérinaires – échelle troupeau

Pour visualiser l'interface web des outils développés, voir :

www.mihmestools.eu

[prochainement disponible]

EvalParaTuB

Un outil d'aide à la décision et au conseil

Pour visualiser l'interface web des outils développés, voir :

www.mihmestools.eu

[prochainement disponible]

Conclusions & perspectives finalisées

Des stratégies de maîtrise alternatives / complémentaires

- Intra-troupeau
 - Sélection de phénotypes résistants (projet en cours & thèse)
- Inter-troupeaux
 - Restrictions des mouvements fonction des statuts des troupeaux (CIFRE en cours)
 - Autres critères pour cibler / combiner les mesures intra-troupeaux

OAD échelle régionale

- BD de simulation interfacée, complétée à la demande ?



E. Vergu & G. Beaunée



INRA
SCIENCE & IMPACT



S. Arnoux, V. Sicard & M. De Joybert

A. Joly & G. Camanès



pauline.ezanno@oniris-nantes.fr ; <http://www.inra.fr/mihmes/>

MiHMES



L'EUROPE S'ENGAGE EN PAYS DE LA LOIRE



CE PROJET EST COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL