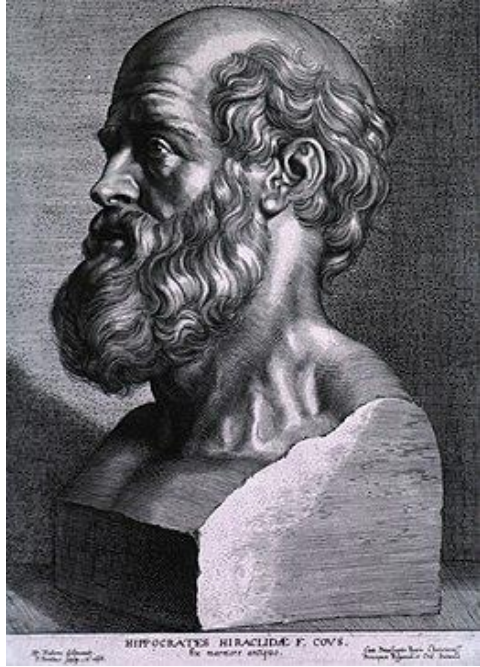


# Apport de l'écologie à l'épidémiologie en santé animale

Emmanuelle Gilot-Fromont

Mai 2022





# Epidémiologie

Etude des maladies et des facteurs de santé dans les **populations** : fréquence et répartition des problèmes de santé et des facteurs qui les déterminent

Depuis : Hippocrate, John Snow

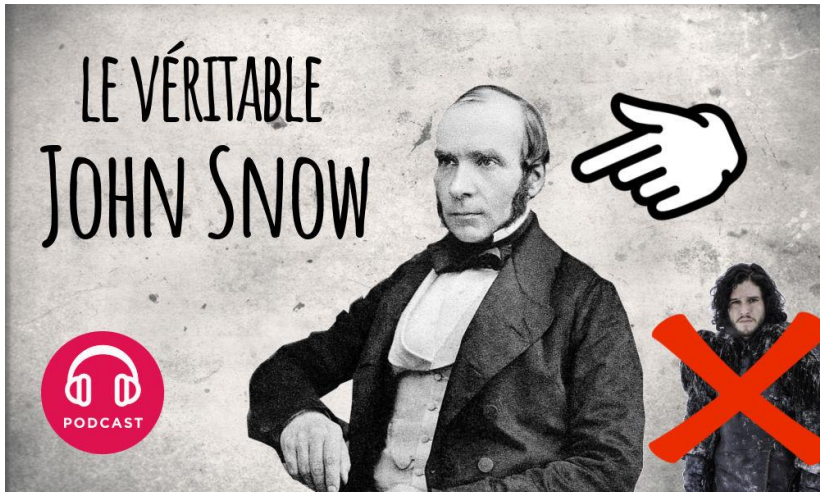
Objectif : gestion des problèmes de santé publique

Qui? médecins et mathématiciens

Structure méthodologique : épidémiologie descriptive, analytique, évaluative

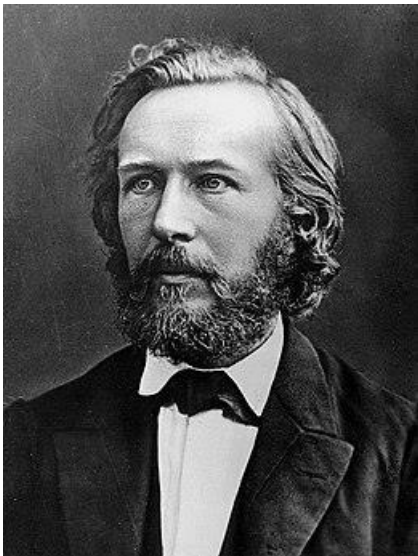
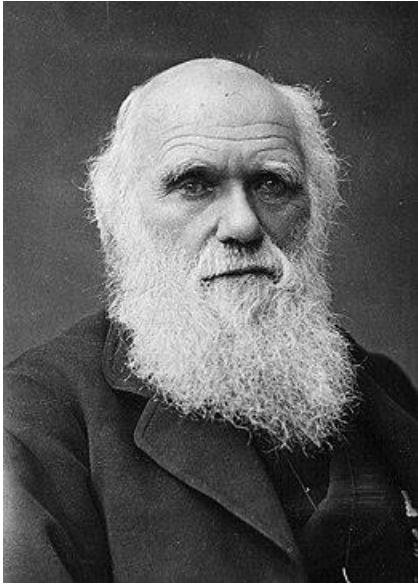
**Apport de l'écologie?**

« il est attendu que l'exposé aborde... »



- 1. **Les définitions** nécessaires à la bonne compréhension de ce qu'est l'écologie
- 2. **Les objectifs** de l'écologie en lien avec la gestion des maladies infectieuses dans les populations domestiques et sauvages
  - 3. **L'historique** de l'intégration de l'écologie dans les thématiques d'épidémiologie
- 4. **En quoi l'approche écologique améliore-t-elle** la compréhension et l'élaboration de stratégies de surveillance et de lutte?
  - 5. **Les avantages et inconvénients de ces approches**
- 6. **Les perspectives** de l'intégration de l'écologie dans les thématiques d'épidémiologie

## « 1. les **définitions** nécessaires à la bonne compréhension de ce qu'est l'écologie »



### **L'écologie**

Οἶκος la maison, la maisonnée -> le biotope, l'environnement

Etude des **interactions** des êtres vivants entre eux et avec leur milieu

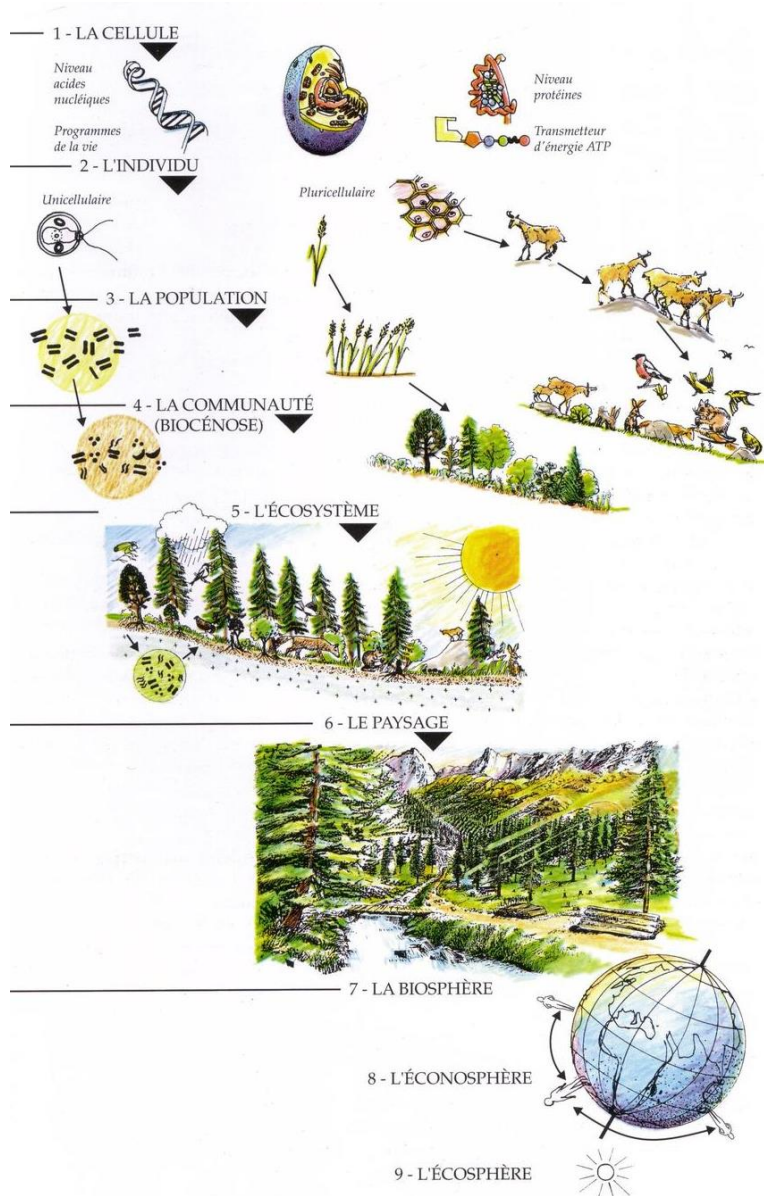
Charles Darwin 1859 : « L'économie de la nature » : les interactions entre espèces sont **les conditions dans lesquelles s'opère la sélection naturelle**

Ernst Haeckel 1866 : « **avec l'écologie nous regroupons l'ensemble des connaissances concernant (...) les relations des espèces animales avec leur environnement organique et inorganique** »

Objectif : « La compréhension de l'écologie en soi ne permettra pas la résolution de nos problèmes environnementaux, car ces problèmes ont également des dimensions politiques, économiques et sociales » (Ricklefs 2019)

Disciplines : Darwin = naturaliste et paléontologue (théologie et médecine), Haeckel = biologiste et philosophe

# 1. De l'individu à la biosphère



**Molécule**

Biologie moléculaire et cellulaire

**Cellule**

**Tissu**

**Organe**

**Système**

**Individu**

Médecine individuelle

**Population**

Epidémiologie

**Communauté**

**Ecosystème**

**Biosphère**

Unité de sélection naturelle

Unité d'évolution

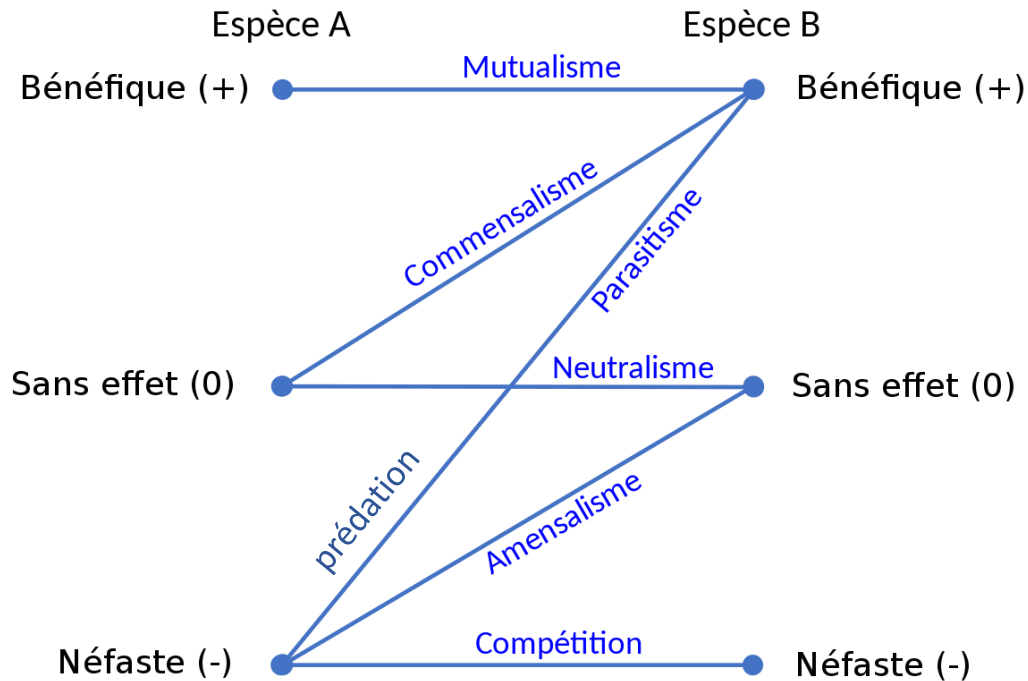
Interactions interspécifiques

Flux d'énergie et de matière

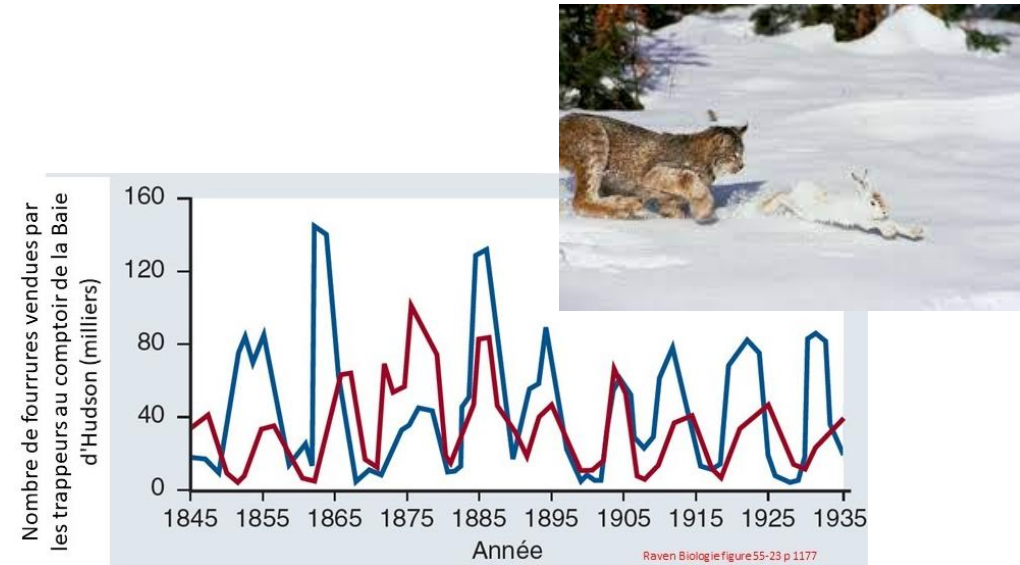
Ecologie

**Emergence de propriétés propre à chaque niveau d'organisation**

## 2. Les équilibres dynamiques, l'évolution



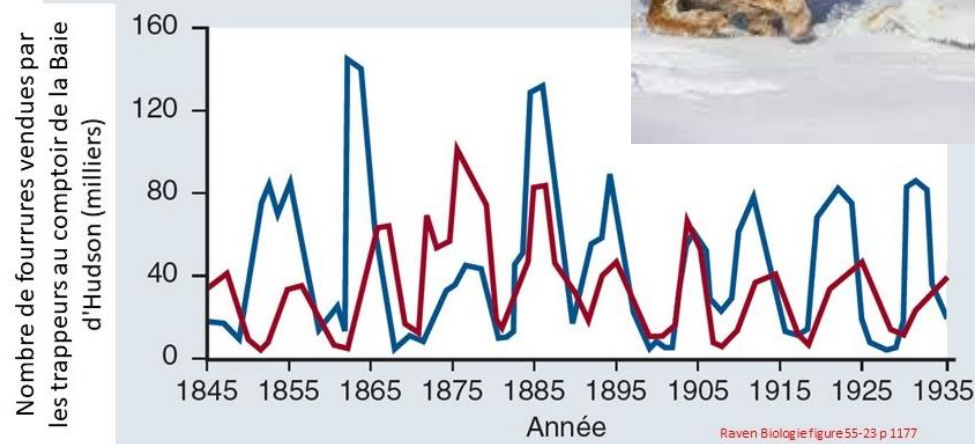
**Equilibre dynamique** des relations inter (et intra) spécifiques : ex : lynx canadien et lièvre arctique



**L'évolution** : changement dans la fréquence des gènes dans une **population** en fonction de la survie et de la reproduction différentielles des individus :

- Les organismes varient dans leurs caractères
- Les caractères sont transmises à la descendance
- Les caractères sont à l'origine de variations dans la valeur adaptative

### 3. La variabilité et sa mesure



Lièvre, lynx : observation = cycles de 10 ans décalés de 2 ans

Hypothèses :

**Physiologie ?** Peu probable

**Taches solaires ?** Elton 1924 : cycles déterminant la ressource alimentaire des lièvres : cycles de même durée mais pas de synchronisation

**Compétition entre lièvres ?** 1976 – 85 : expérimentation de nourrissage des lièvres : maintien des cycles

**Prédation ?** expérimentation d'exclus avec ressource alimentaire variable (mais prédation par des oiseaux) : plus de 90% des animaux meurent de prédation

**Diminution du succès reproducteur ?** 2009 : effet du stress lié à l'abondance des prédateurs et au déclin des lièvres

« 2. Les **objectifs** de l'écologie des populations en lien avec la gestion des maladies infectieuses dans les populations domestiques et sauvages »

**Un angle de vue différent**

**Epidémiologie**

L'objectif appliqué suscite le besoin pour des connaissances transférables en pratique (recherche des facteurs de risque)

Démarche hypothético-déductive, protocoles « type »: étude cas-témoin, essai expérimental de prévention...

**Ecologie**

L'observation suscite des questions : **qu'est-ce qui détermine l'abondance et la répartition des espèces dans le temps et dans l'espace?**  
Ex: est-ce que le parasitisme régule l'abondance des hôtes?

Démarche inductive et hypothético déductive (au laboratoire et en milieu naturel), pas de protocole type

Vocabulaire pas toujours cohérent : ex : parasite, cohorte, analyse multivariée...



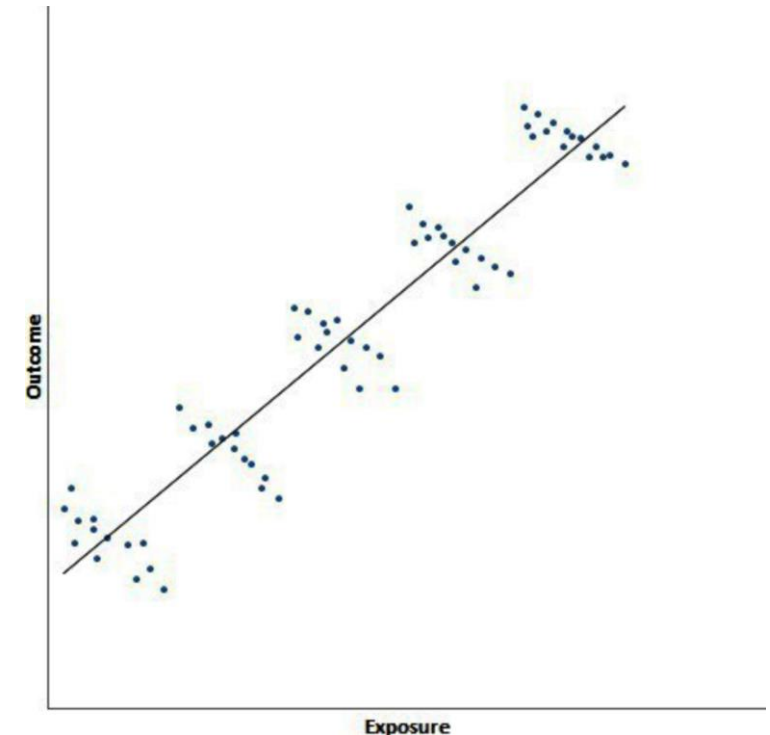
## « 3. L'historique de l'intégration de l'écologie des populations dans les thématiques d'épidémiologie des maladies infectieuses »

### Une méconnaissance mutuelle

**Etude écologique** : étude épidémiologique observationnelle dans laquelle les données sont analysées à l'échelle du groupe / de la population

**Erreur écologique** « ecological fallacy » (1958) : erreur d'inférence : interprétation de résultats statistiques au niveau individuel à partir de données à l'échelle des groupes  
ex: plus une région est riche plus le taux d'illettrisme est élevé; mais à l'échelle individuelle une personne plus riche est moins souvent illettrée

**En écologie** : impact du parasitisme sur la dynamique des populations : peu abordée jusqu'aux années 1980



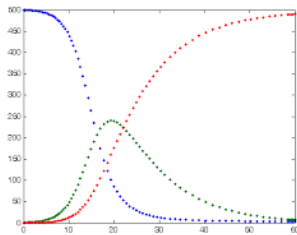
## Un point commun: les modèles



Premiers modèles développés en épidémiologie :

Daniel Bernoulli 1766 : variole  
Ronald Ross, George MacDonald (zoologiste) : malaria

Généralisations : « a priori pathometry » (Ronald Ross et Hilda Hudson), William Kermack et Anderson, McKendrick, Maurice Bartlett, Norman Bailey : modèle « SIR »



Roy Anderson, Robert May 1978 : comprendre la dynamique de systèmes hôte-pathogène variés (micro et macroparasites d'hôtes vertébrés et invertébrés) en tant que relations écologiques, dans un contexte multidisciplinaire : abondance, évolution



**Modèles épidémiologiques et écologiques : pas d'incompatibilité**

## « 4. En quoi l'approche écologique améliore-t-elle la compréhension et l'élaboration de stratégies de surveillance et de lutte »

### 1. La triade hôte-pathogène-environnement

Les parasites font partie de l'écosystème au même titre que les compétiteurs et les prédateurs :

### A l'échelle des espèces : une interaction durable

Théorie de la reine rouge, Van Valen 1973

« *Nous courons pour rester à la même place.* »

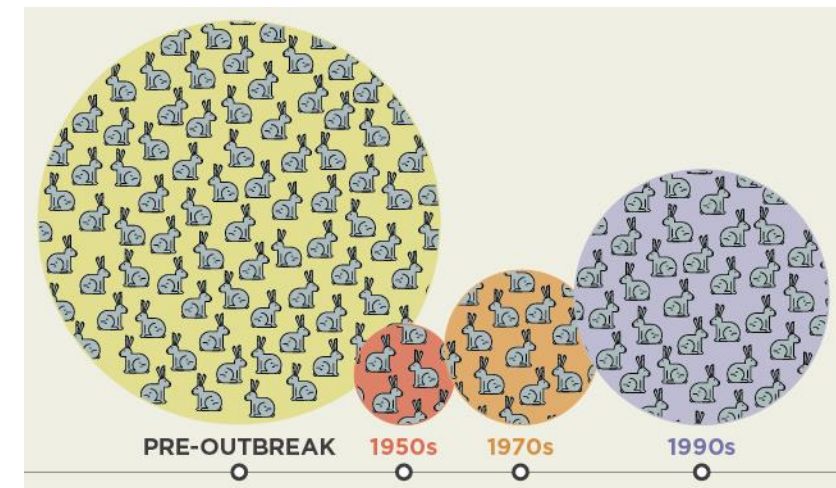
Dawkins et Krebs 1979: la course aux armements



Claude Combes : la dynamique de la relation résulte d'une coévolution entre traits des hôtes (comportement, réceptivité) et des parasites (déplacement, infectiosité)



Ex : évolution de la virulence de la myxomatose en Australie



## A l'échelle de la population : Les populations cycliques

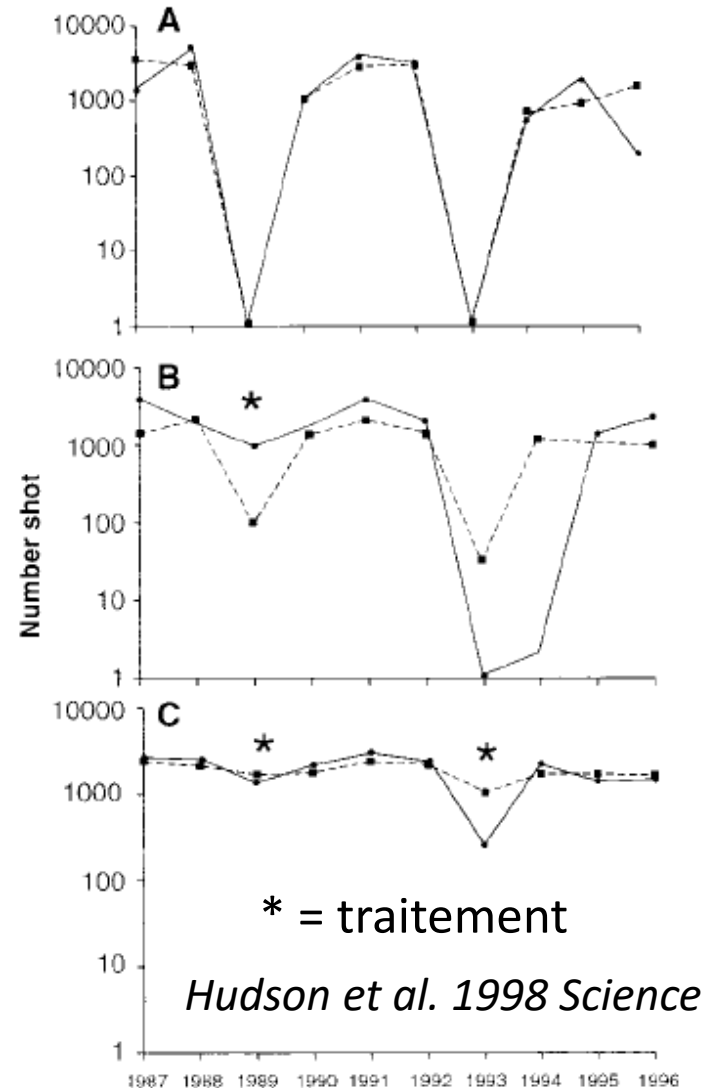
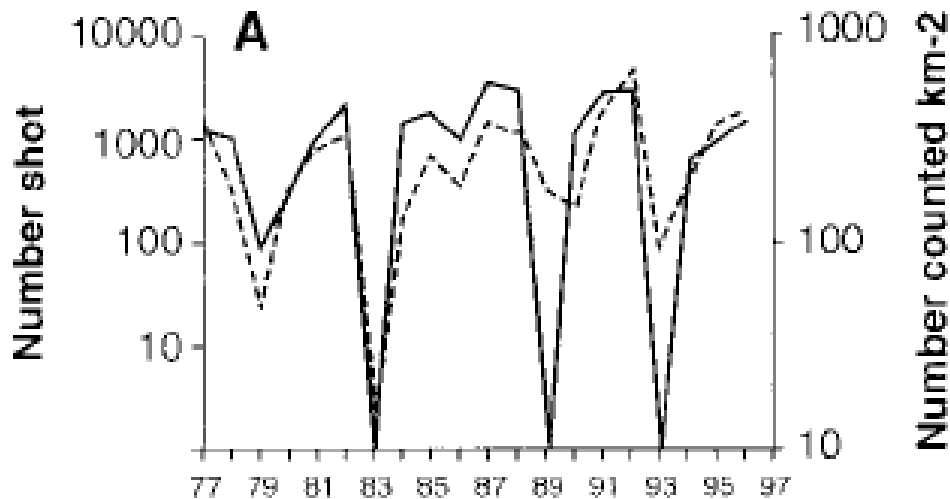


Lagopède d'Ecosse

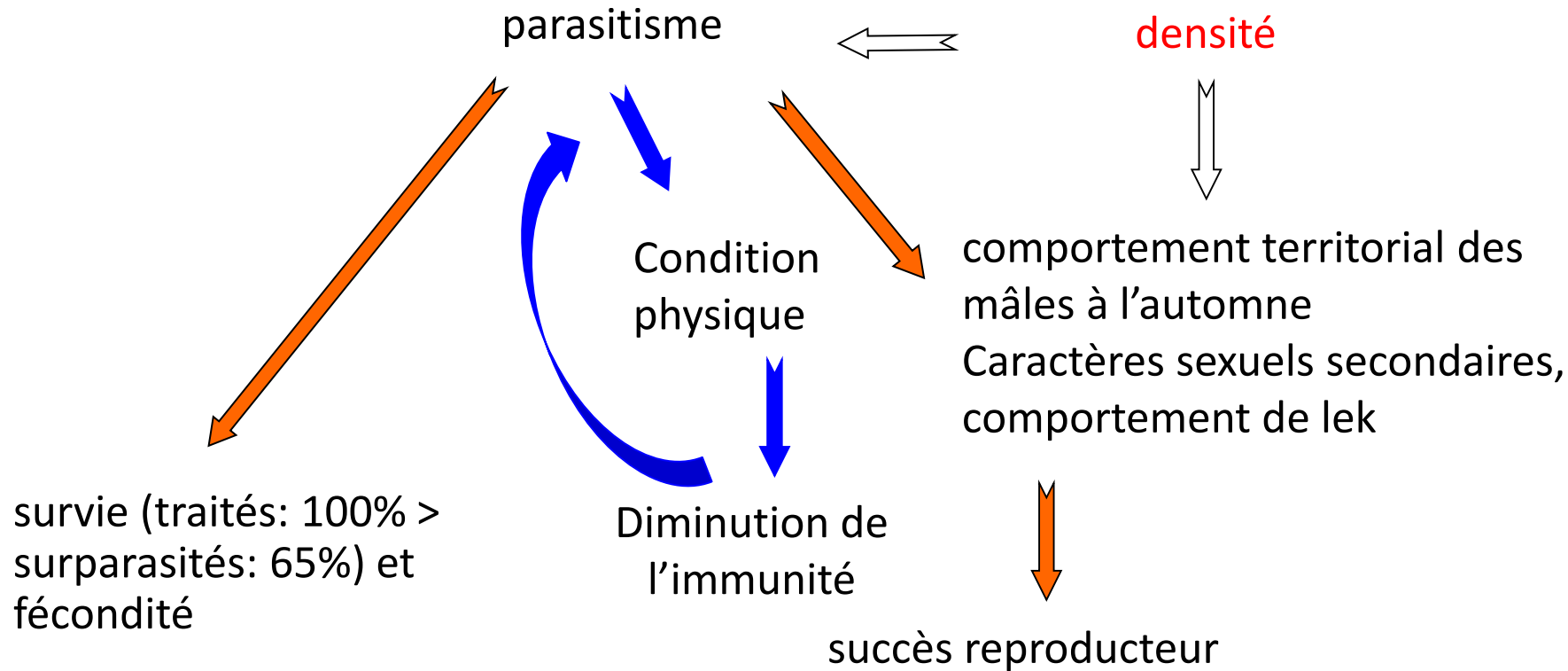
Fluctuations, cycles dans 77% des populations

Rôle de *Trichostrongylus tenuis* : le déparasitage (15 à 50% de la population) supprime la baisse de densité cyclique

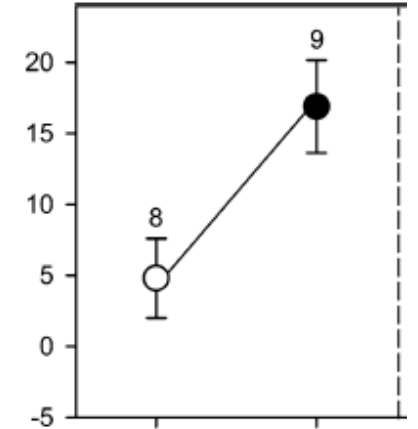
Résultats incomplètement reproduits : le parasitisme contribue au déclenchement de la phase de mortalité et entraîne d'autres mécanismes



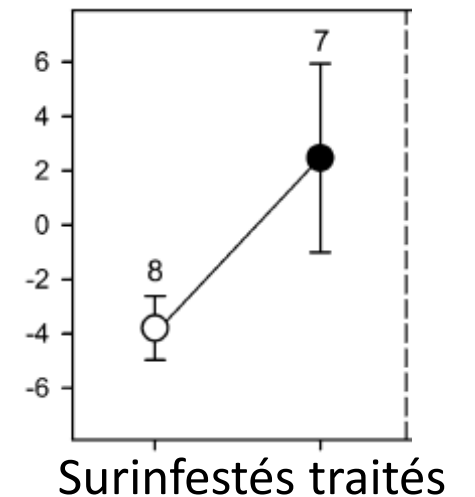
## Un mécanisme comportemental et immunitaire



Croissance de la crête



Surinfestés traités  
Taux d'appel



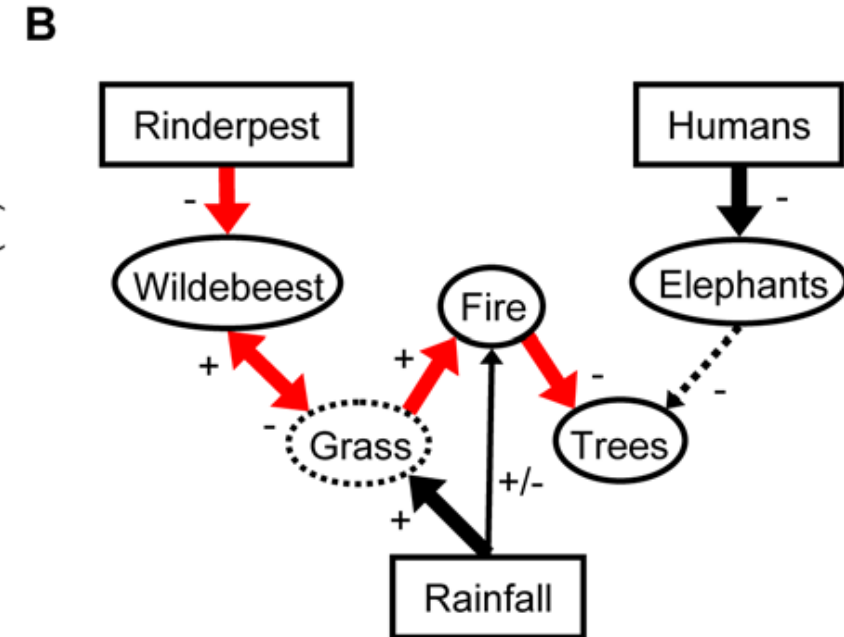
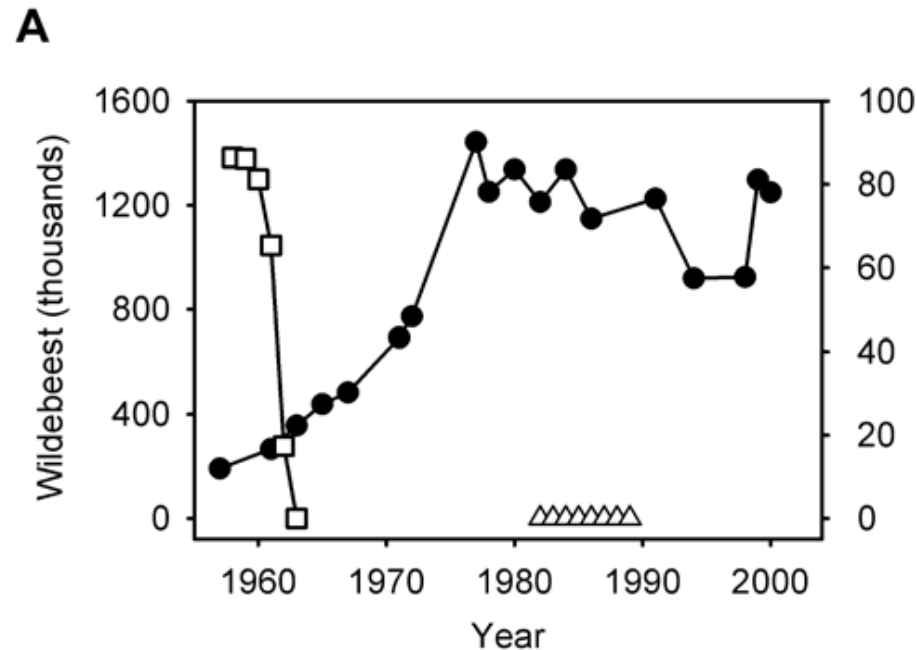
## A l'échelle de la communauté: la peste bovine dans le Serengeti

Epidémie des années 1890: famine, déplacement des populations, déprise agricole; mortalité des ongulés sauvages et des prédateurs



Gnous (noir)

Prévalence de la  
PB (blanc)

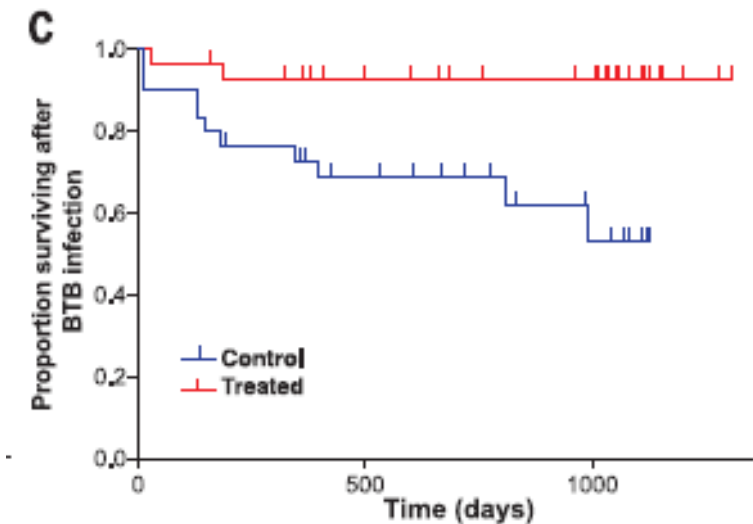
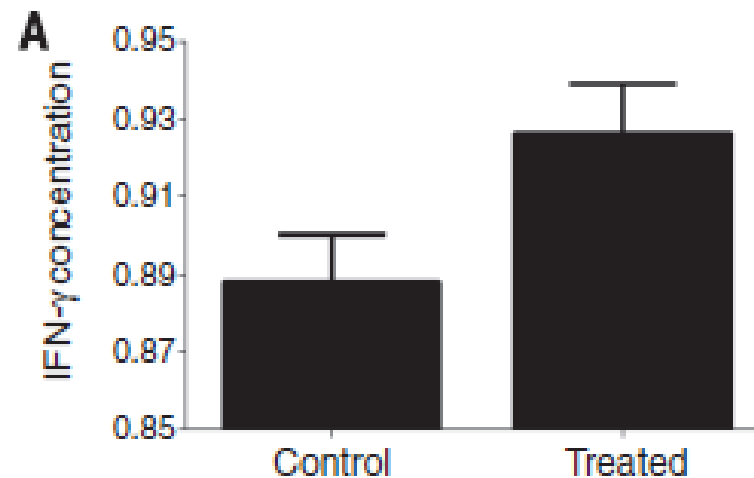


Depuis 1960: augmentation des populations de gnous bleus, reprise du pâturage: réduction des feux, retour de la forêt. Les gnous représentent le facteur majeur de régulation des feux et donc des arbres et de l'absorption de carbone de l'écosystème

## « 4. En quoi l'approche écologique améliore-t-elle la compréhension et l'élaboration de stratégies de surveillance et de lutte »

### A l'échelle de l'individu : compromis intra-immunitaire

Effet pathogène = prélèvement énergétique (compromis énergétique), modulation physiologique  
Coûts et bénéfices différentiels des réponses immunitaires : innée / adaptative, ...



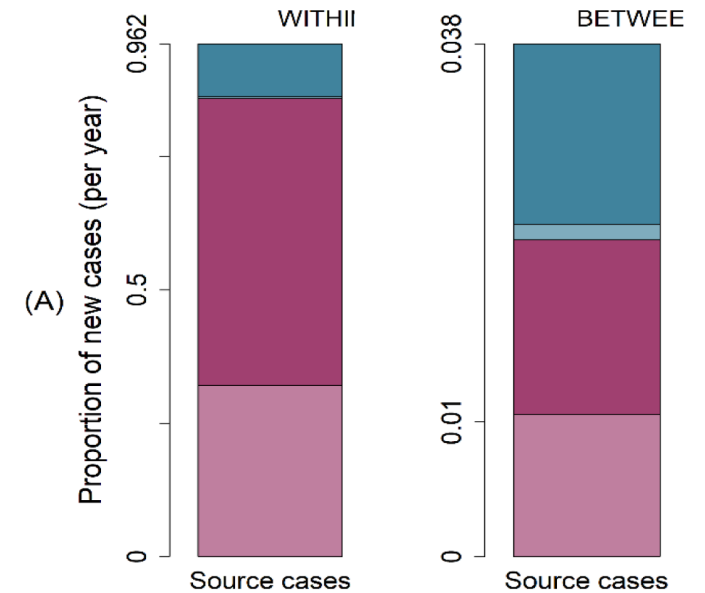
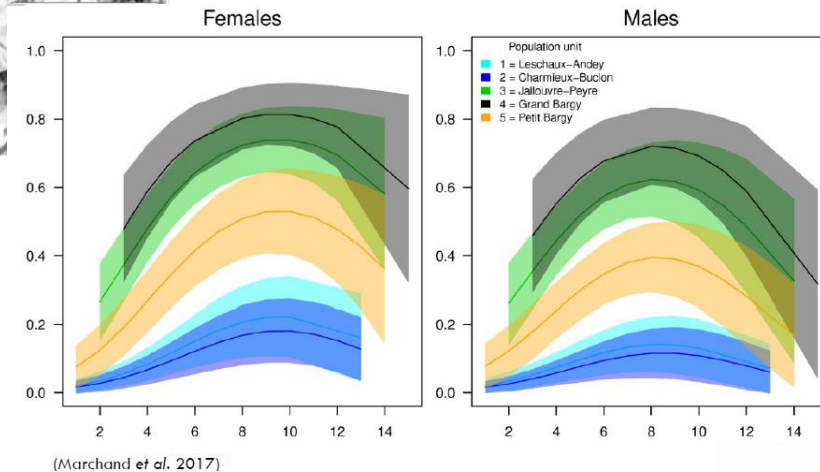
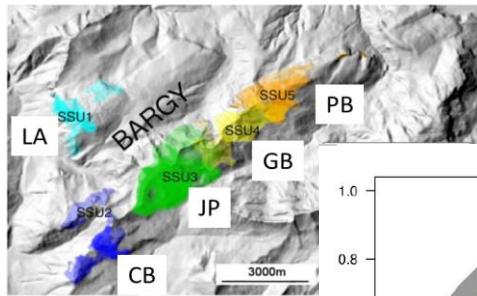
Buffles d'Afrique, strongles digestifs et tuberculose bovine : les buffles traités par des anthelminthiques ont une immunité Th1 renforcée : acquisition de la tuberculose identique, survie meilleure : favorisation de la tuberculose

## 2. La variabilité dans les processus épidémiologiques



Brucellose des bouquetins des Alpes: variations spatiales et génétiques (données), démographiques (modélisation) : hétérogénéité de la contribution épidémiologique  
 La transmission a lieu principalement intra-secteurs (96%).  
 Les femelles sont à l'origine de :

- 89% des transmissions intra-secteur (avortements > mise-bas > vertical)
- 60% des transmissions inter-secteur (vénérienne > avortements)

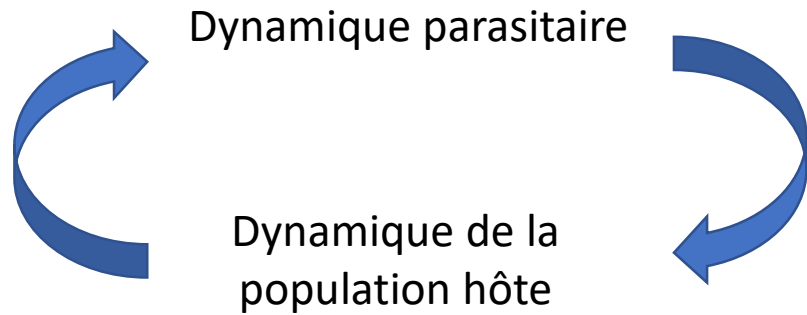


**Possibilité de concentrer la surveillance et la gestion**

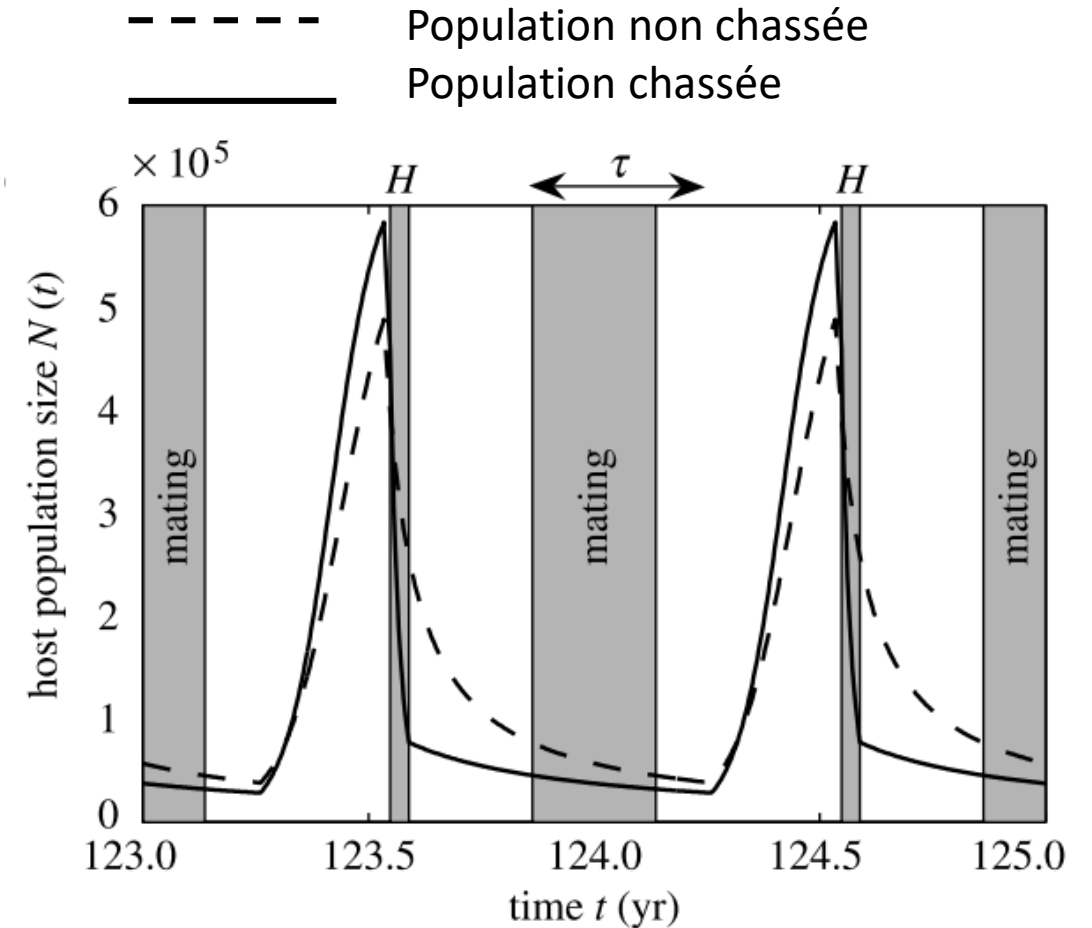
Marchand et al. *Sci Rep*,  
 Lambert et al. 2020 *Ecol Model*



### 3. Imbrication entre les processus épidémiologiques et écologiques



Ex: peste porcine classique du sanglier : densité-dépendance des paramètres populationnels et influence de la chasse sur la dynamique épidémique



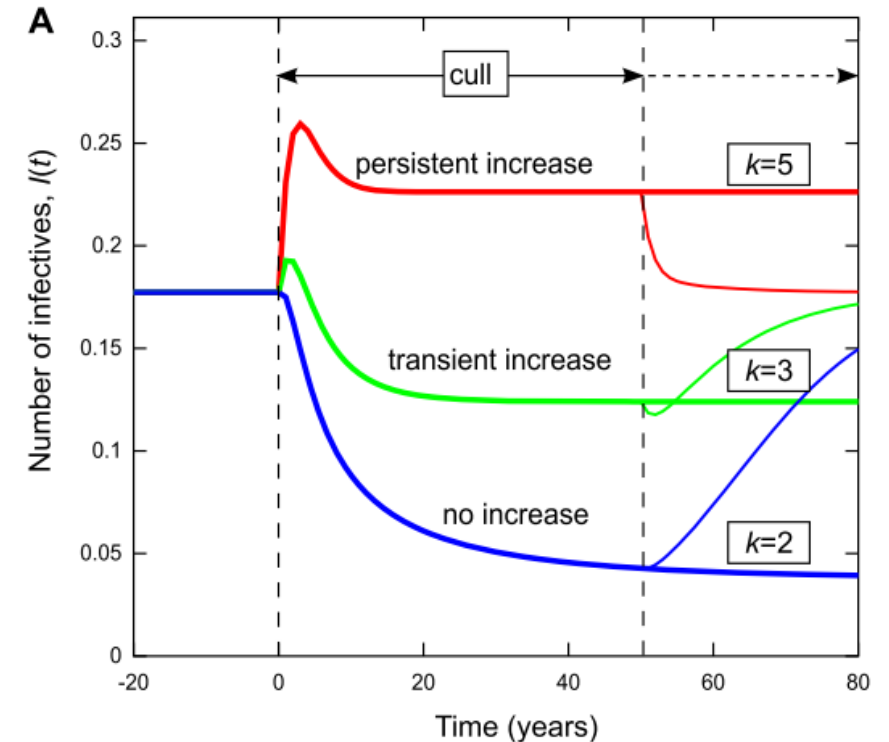
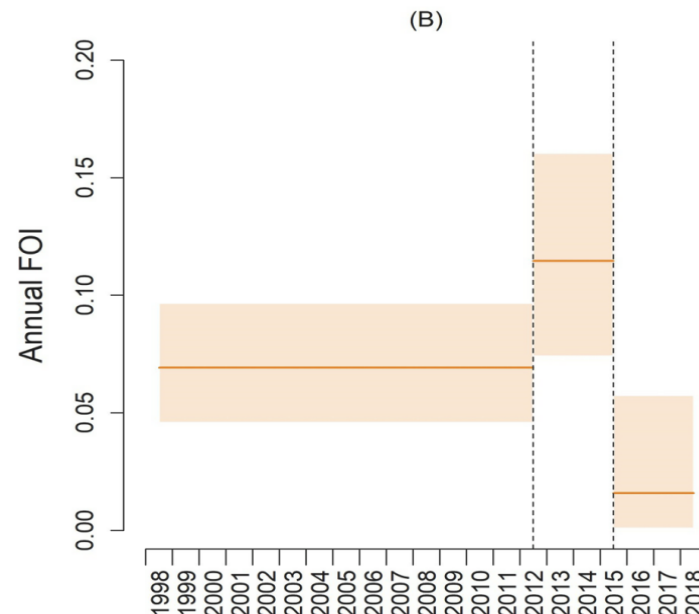
Choisy & Rohani 2006 Proc R Soc Lond B

## Effet de perturbation

Un abattage massif peut entraîner:

- Stress, immunosuppression
- Dispersion, réorganisation socio-spatiale
- Paramètres de reproduction densité-dépendants
- Changement de structure démographique

Ex: rage et échinococcose (renard), tuberculose (blaireau), brucellose des bouquetins :



*Prentice et al. 2014 PLoS One*

*Lambert et al. 2022 Epidemics*

## « 5. les principaux avantages et inconvénients de ces approches »

Une étude écologique pertinente:

- 1) collecte de données d'observation de terrain sur le long terme
- 2) combinaison d'observation et d'expérimentation de terrain et de laboratoire
- 3) composante théorique forte, modèles statistiques et mathématiques
- 4) combiner des approches variées (moléculaire, physiologique, statistique)

Cadre  
conceptuel  
complet



Long, complexe,  
approche  
interdisciplinaire

## « 6. les perspectives de l'intégration de l'écologie dans les thématiques d'épidémiologie »

L'éco-épidémiologie, ou de l'épidémiologie écologique, comme "approche de la complexité en épidémiologie"  
*Ducrot et al. 1996 Nature Sciences Société*

### One Health



Une seule santé : *une approche intégrée et unificatrice qui vise à équilibrer et à optimiser durablement la santé des personnes, des animaux et des écosystèmes.*  
*Il reconnaît que la santé des humains, des animaux domestiques et sauvages, des plantes et de l'environnement en général (y compris des écosystèmes) est étroitement liée et interdépendante.*

**Décembre 2021, OHHLEP, FAO, OIE, PNUE, OMS**

## De l'échelle intra-individuelle à l'échelle des communautés

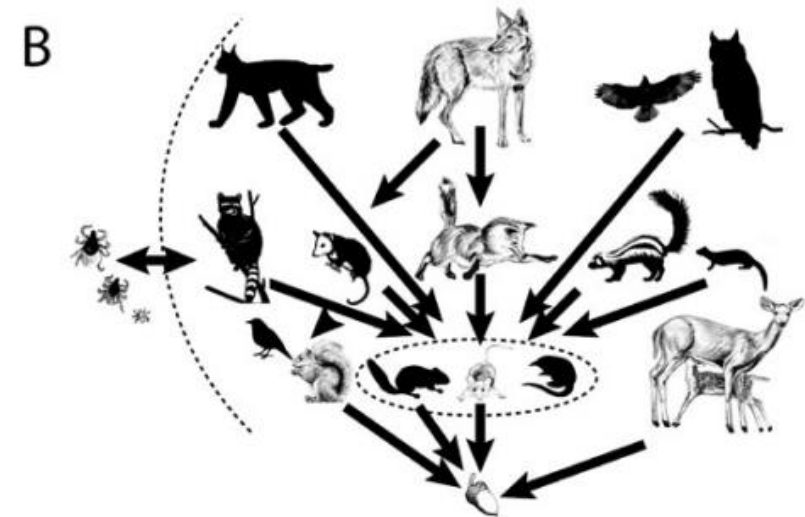
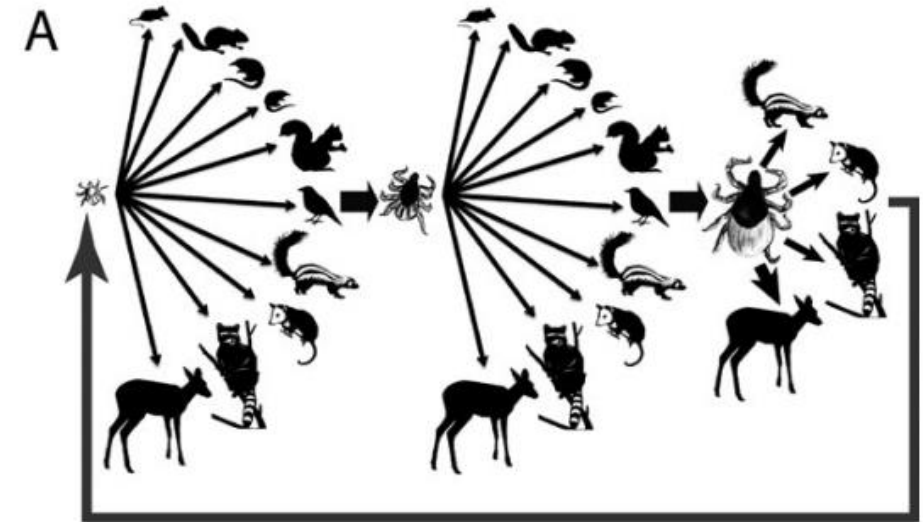
L'émergence de maladies multi-espèces  
Réduction de la biodiversité



Lien entre la composition en espèces de la communauté, leurs abondances et compétences respectives et la transmission des agents pathogènes

**Maladie de Lyme en Amérique du nord : effet de dilution** (hôtes non compétents : écureuil gris, opossum, prédateurs, compétiteurs), **effet d'amplification** (hôtes compétents : souris à pattes blanches, tamias...), **effets complexes** (hôtes non compétents mais hébergeant des tiques, effets retard des changements d'abondance...)

Application?



# Comment?

## Il n'y a pas de One-Healthologue

Dialogue entre disciplines = épidémiologistes, écologues, mais aussi , ...

Chacun possède une part d'information, une vision et un objectif , qui évoluent au fil du temps

Ex : traitements antiparasitaires vétérinaires

**Apprendre des autres** =  
parler le même langage,  
(se/leur) poser les  
bonnes questions



**Enseigner aux autres** = qu'ont-ils  
besoin de savoir pour  
comprendre ? Pour être capables  
de communiquer à d'autres? Ex:  
épidémiologie du COVID

S'approprier **et se dé-approprier** la connaissance

A suivre...