



Le rôle du changement climatique et de la  
déforestation dans l'émergence des maladies  
infectieuses

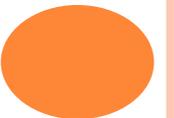
**Rodolphe E. GOZLAN**

[rudy.gozlan@ird.fr](mailto:rudy.gozlan@ird.fr)

IRD UMR ISEM



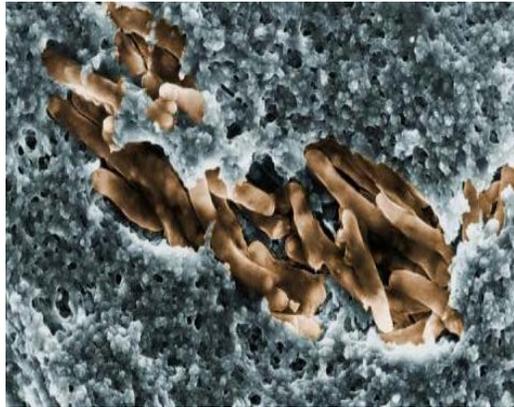
**D'OÙ VIENNENT LES MALADIES INFECTIEUSES ?**



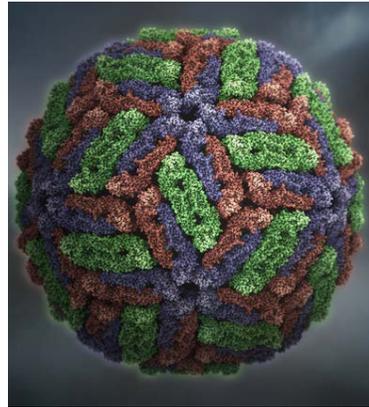
# BIODIVERSITÉ



# MAIS AUSSI



Bactérie (U.  
Buruli)



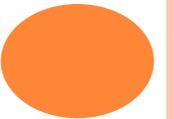
Virus  
(Dengue)



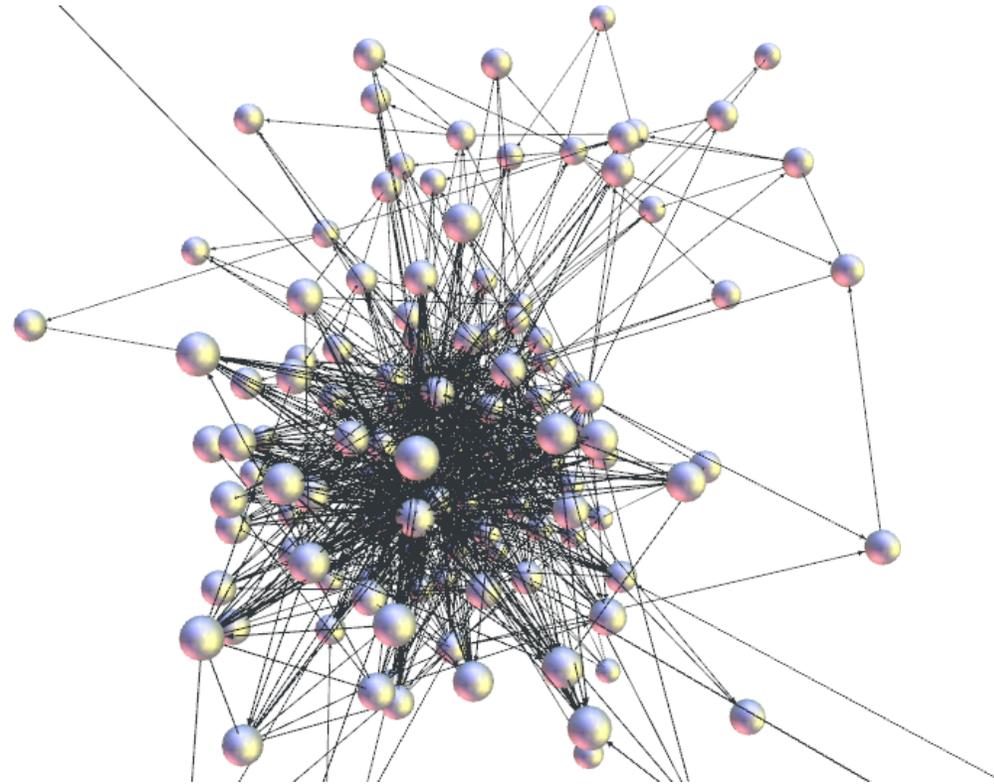
Parasite  
(Malaria)



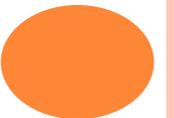
COMMENT ÇA MARCHE ?



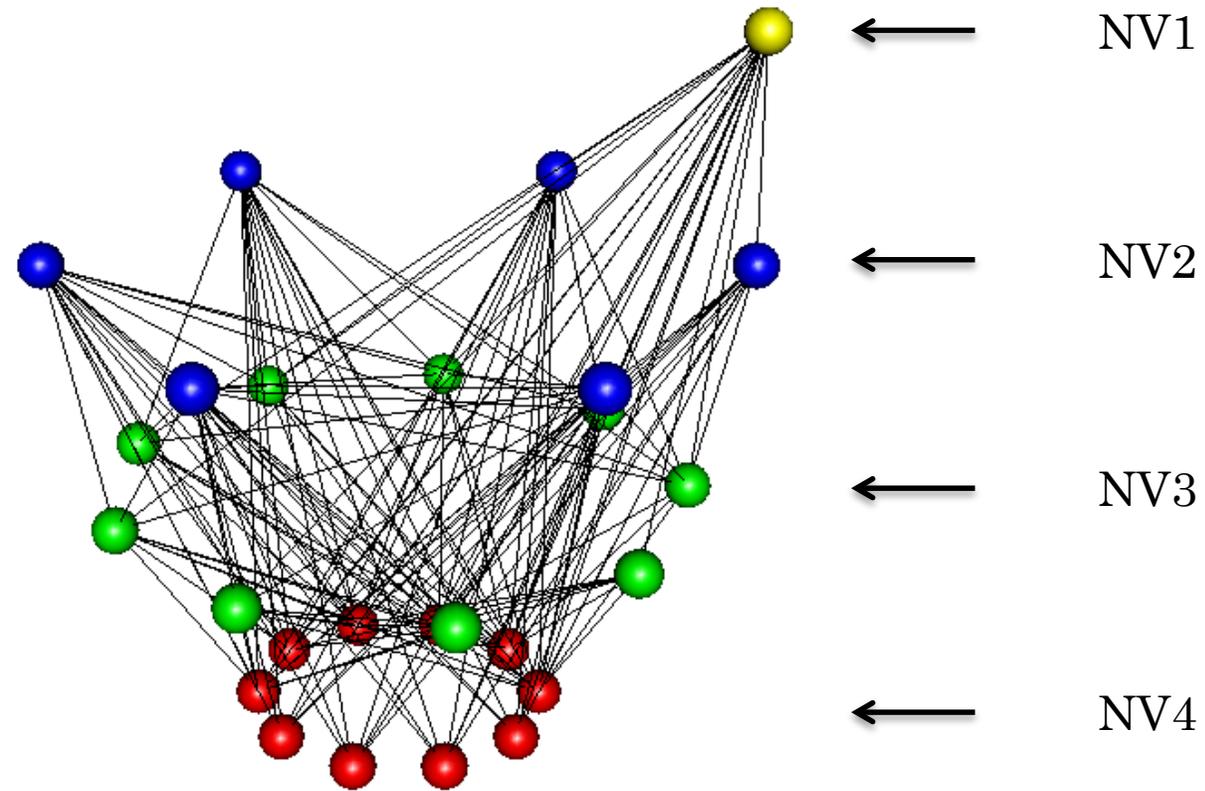
# TOUT S'ORGANISE



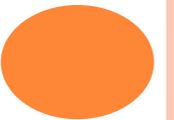
Réseau Trophique



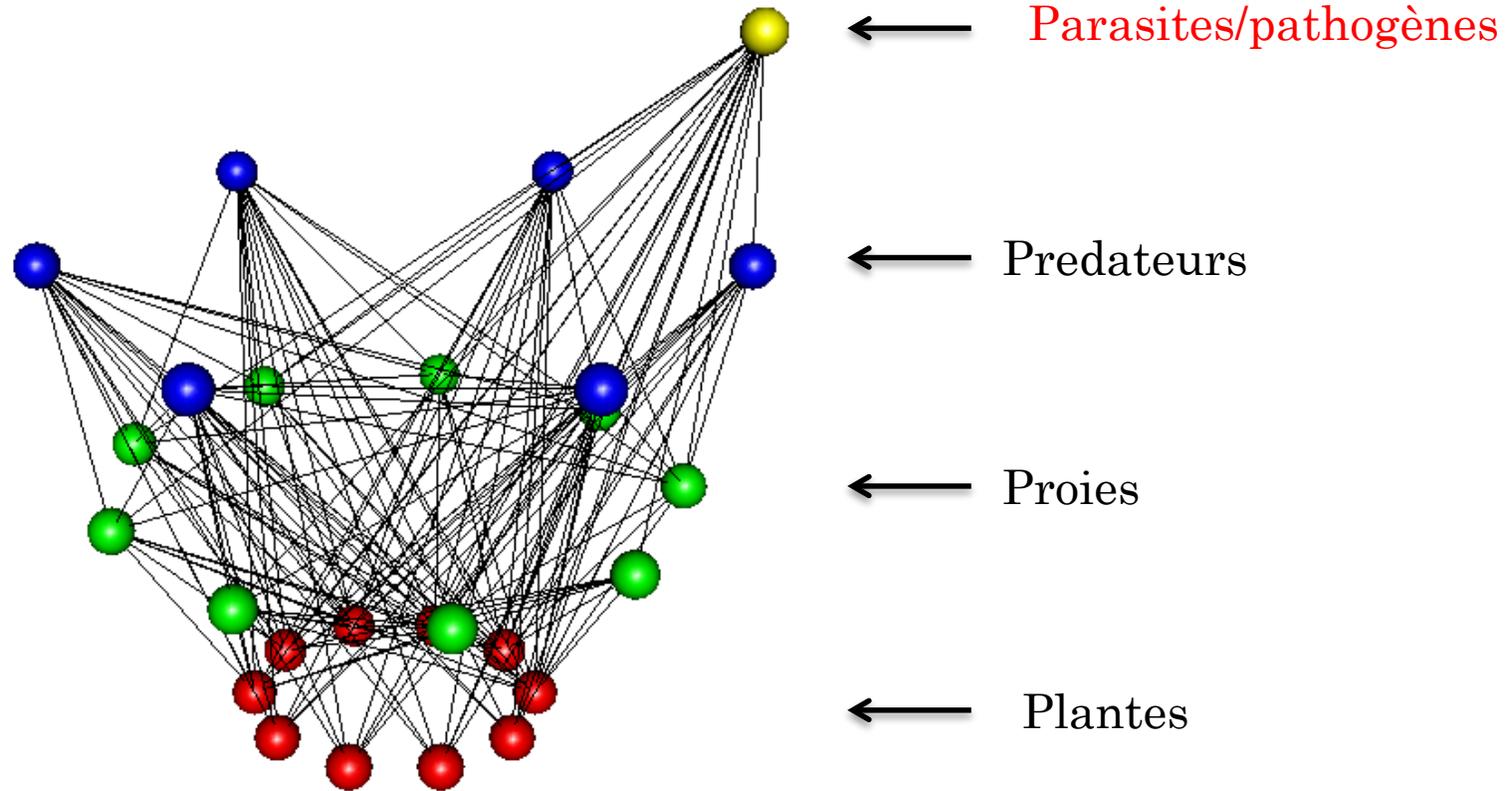
# A PRIORI



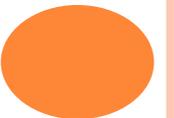
Organismes avec différents niveaux trophiques



# COMPLEXITÉ DES RELATIONS HÔTES PATHOGÈNES

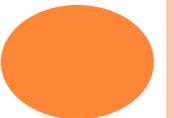


RESEAUX TROPHIQUES

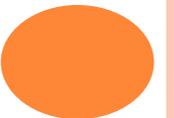


# ONEHEALTH

- **Il s'agit de penser une approche globale de la santé en prenant en compte les liens et les interactions entre la santé de l'humain, la santé animale et leur environnement, le sort des humains et des animaux étant liés**

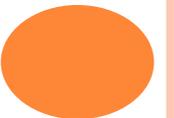


**UN MILLION D'ESPÈCES SONT MENACÉES D'EXTINCTION. PLUS DE 60% DES ANIMAUX SAUVAGES ONT VU LEURS POPULATIONS RÉGRESSER DEPUIS LES ANNÉES 1970 (RAPPORT IPBES). ON DÉSÉQUILIBRE DES SYSTÈMES NATURELS ET ON CRÉE DES « PATHOSYSTÈMES ». L'HOMME DÉTRUIT LA RÉSILIENCE NÉCESSAIRE À LA NATURE ET À NOTRE SANTÉ.**



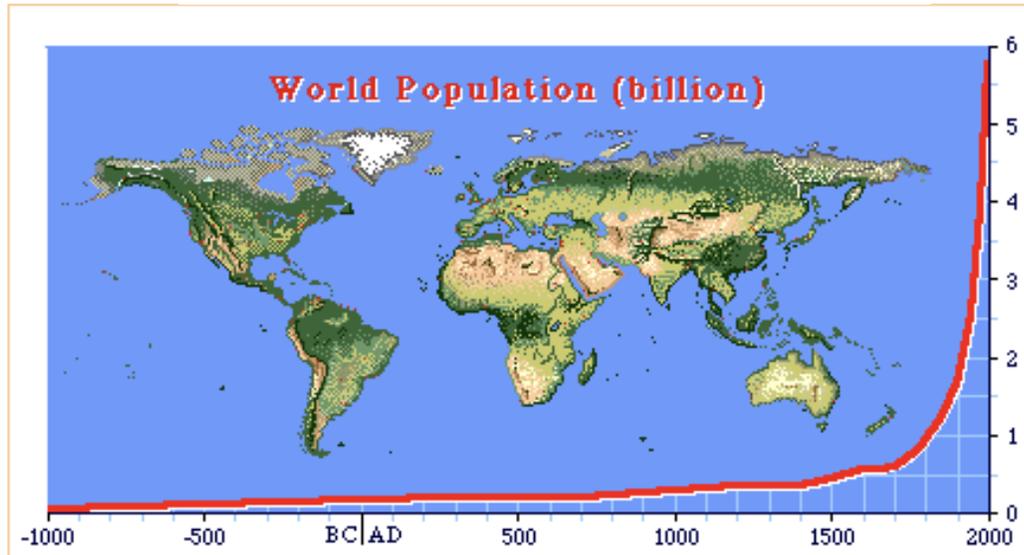
# LE NOMBRE D'ÉPIDÉMIES A ÉTÉ MULTIPLIÉ PAR PLUS DE 10 ENTRE 1940 ET AUJOURD'HUI.

- **Rift valley fever** décrit en **1931 Kenya** mais avec une forte épidémie en **1970 Égypte** [domestic animals],
- la première description du virus le **Zika** identifié chez l'homme en **1952** en **Ouganda** mais avec une pandémie en **2015** [moustique Tigre],
- **Fièvre Lassa 1969 Nigéria** [rongeurs],
- **1976 Ebola (Sud Soudan)** puis la grande épidémie de **2013-2016** qui n'est toujours pas finit [chauves-souris],
- **Nippah** en **1998 Malaisie** [chauves-souris, porc],
- **Maladie du virus Marburg (virus disease) 2000** en **Republique Démocratique du Congo, Angola** [chauves-souris],
- **SARS nov 2002 début 2003 Chine** [civette],
- **MERS 2012 Arabie Saoudite** [dromadaire],
- **Crimean-Congo haemorrhagic fever** [ticks],

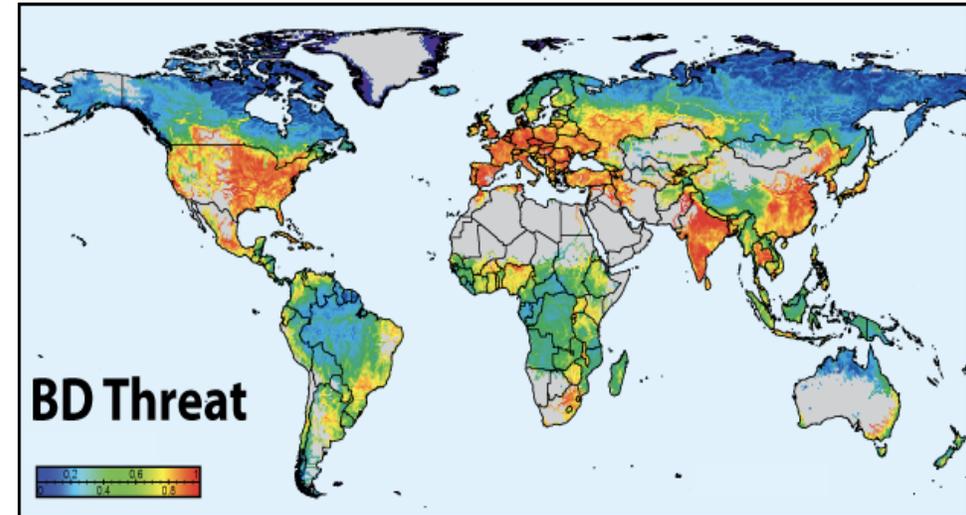


# LIENS ENTRE BIODIVERSITÉ ET MALADIES INFECTIEUSES

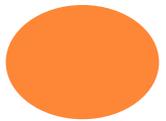
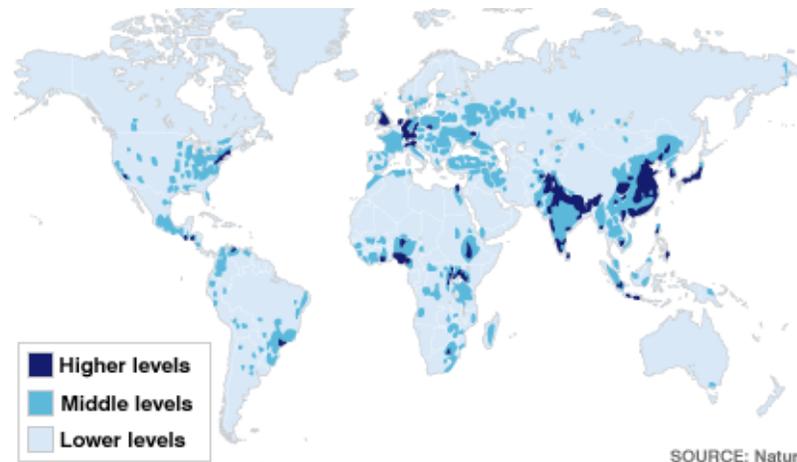
## POPULATION HUMAINE



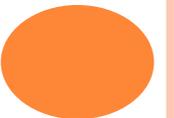
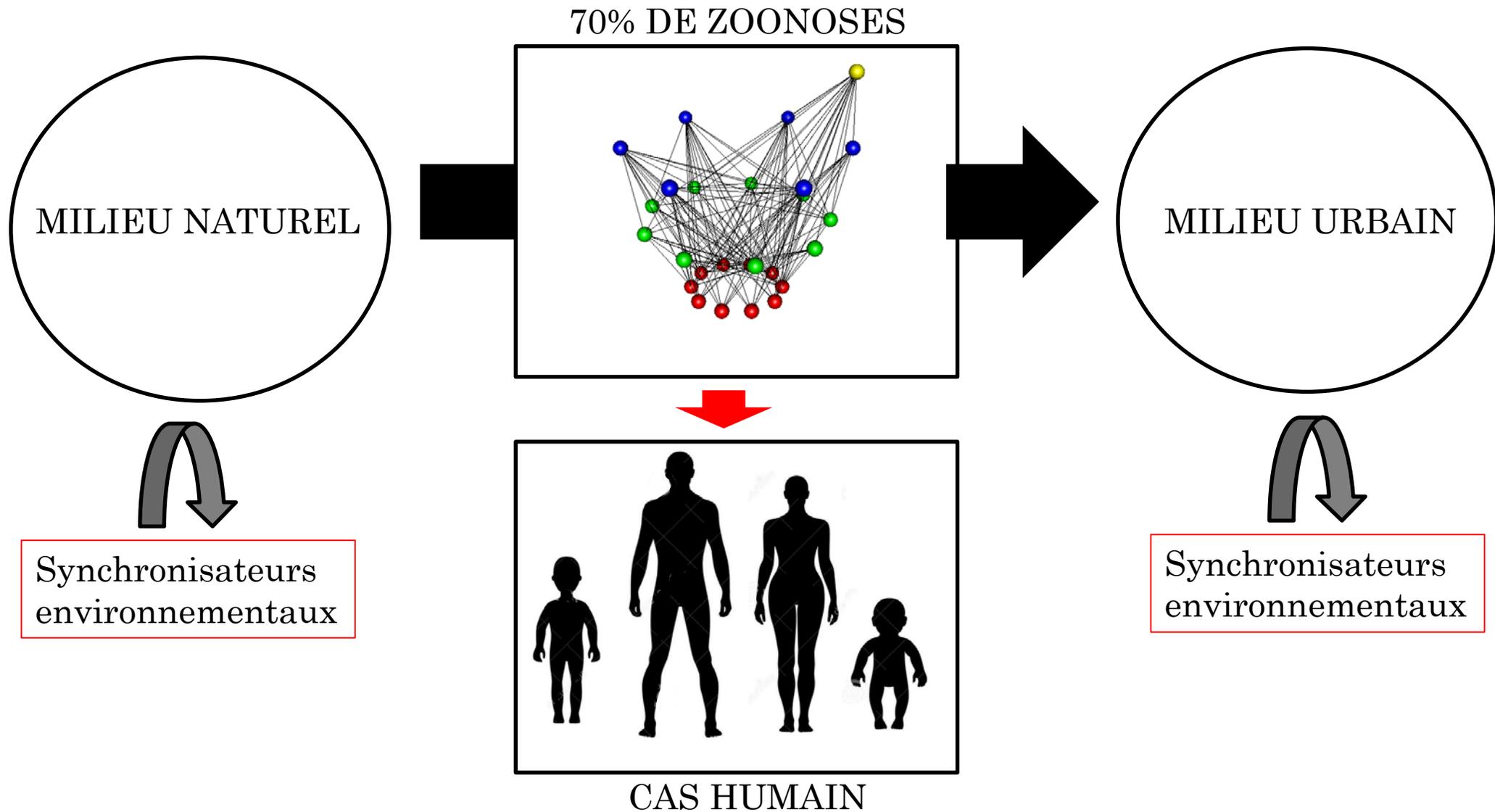
## MENACE SUR LA BIODIVERSITÉ



## MALADIES INFECTIEUSES TRANSMISSIBLES ENTRE ANIMAUX ET HUMAINS



# SYNCHRONISATEURS ENVIRONNEMENTAUX



# L'ENJEUX C'EST D'ANTICIPER LES LIENS

## **Synchronisateurs environnementaux**

- Changement d'utilisation des terres
- Déforestations
- Baisse de la biodiversité spécifique et fonctionnelle
- Changement de structure de communautés
- Augmentation des connexions environnement naturels et urbain
- Changements climatiques

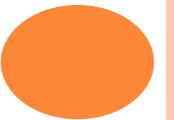
## ET

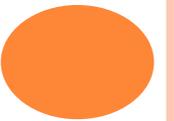
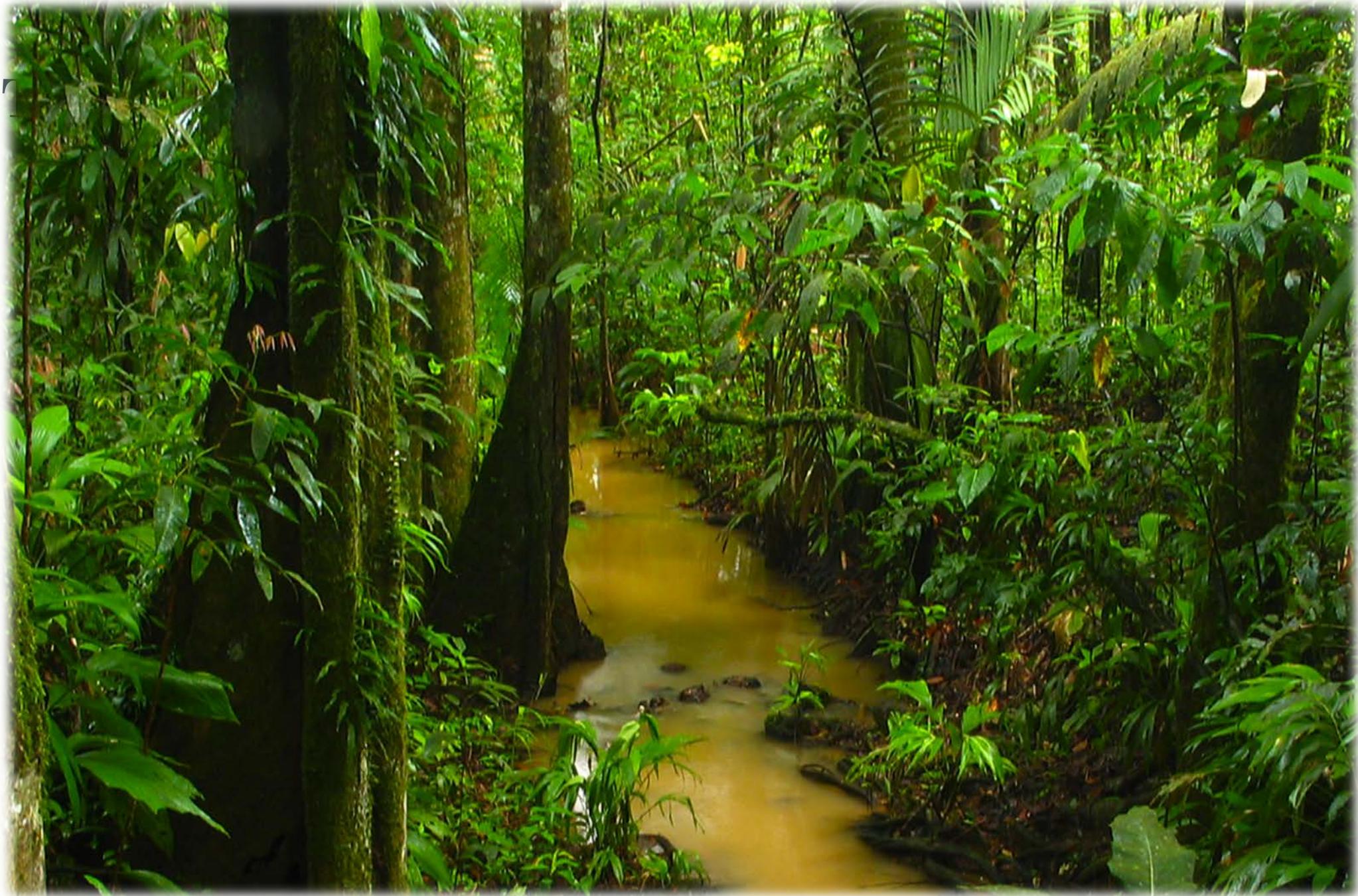
## **Dynamiques des épidémies**

- Déplacement de l'empreinte géographique des pathogènes et/ou des hôtes qui amènent à l'émergences de maladies infectieuses.

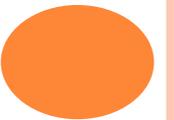


# BASÉ EN GUYANE FRANÇAISE POUR 4 ANS





# LE CAS DE L'ULCÈRE DE BURULI



# QU'EST-CE QUE L'ULCÈRE DE BURULI



Maladie de peau sous forme d'ulcération



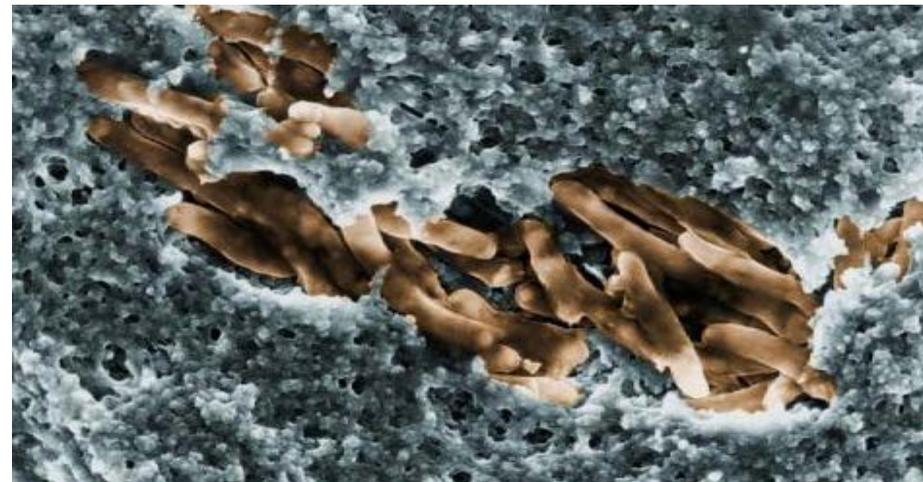
# QU'EST-CE QUI CAUSE L'ULCÈRE DE BURULI

**Agent Infectieux :** *Mycobacterium ulcerans*

**Famille :** Lèpre *Mycobacterium leprae* et Tuberculose *Mycobacterium tuberculosis*

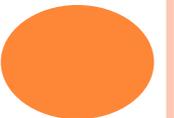
**Type d'agent :** Bactérie généraliste

**Milieu :** Aquatique d'eau douce

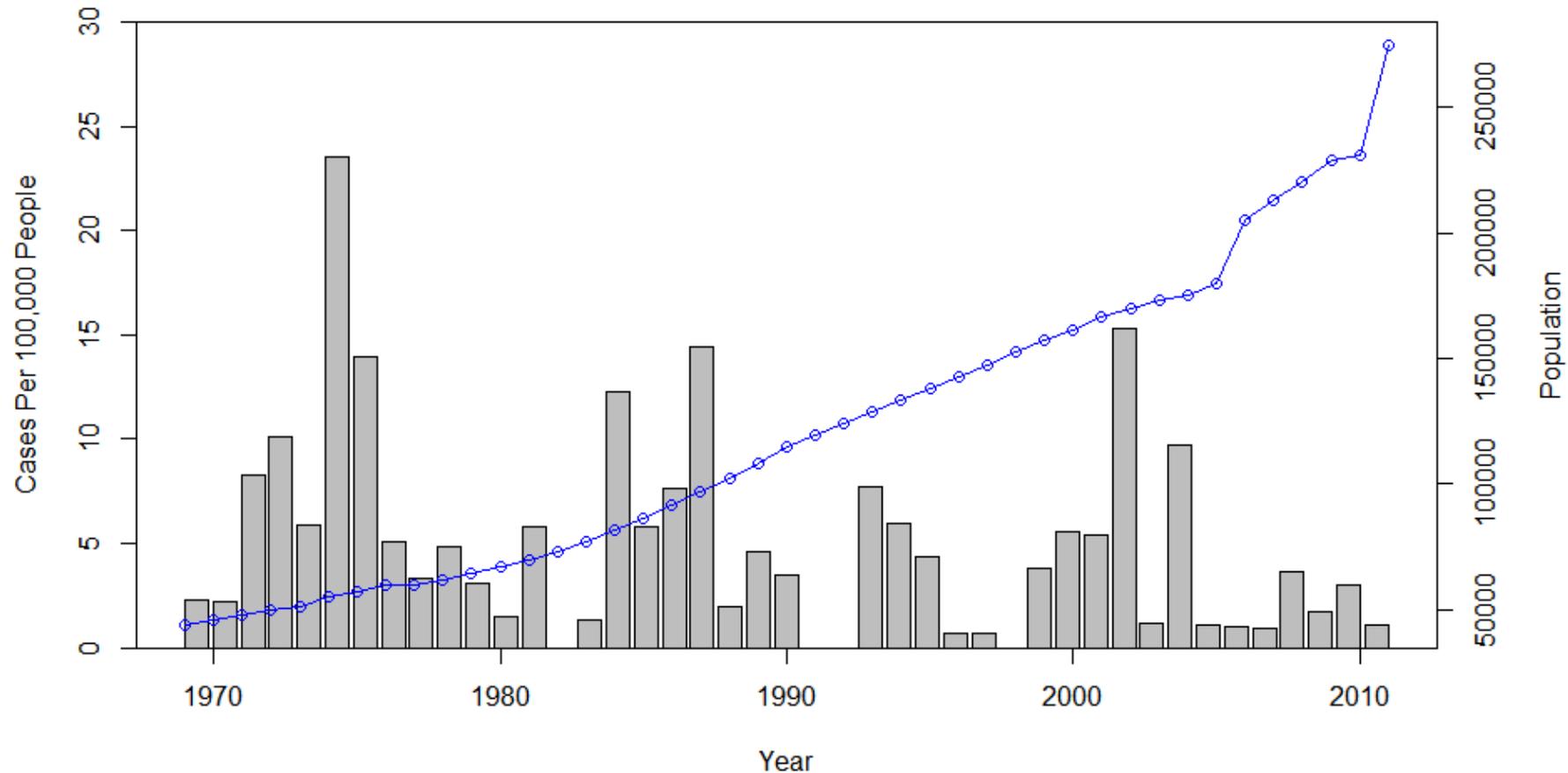


# QUELQUES CHIFFRES

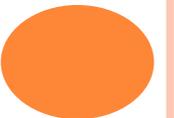
- **33 pays** Afrique, Amériques, Asie et Pacifique occidental
- En moyenne **5000 cas** chaque année (12 pays), en Guyane (moyenne 5-8 cas/100000 hab)
- **35%** des lésions affectent les membres supérieurs, **55%** les membres inférieurs et **10%** d'autres parties du corps.
- Lésion de petite taille (**32 %**); Lésion non ulcéreuse, ou une plaque ulcéreuse ou une forme œdémateuse (**35%**); Formes diffuses ou mixtes, ostéite, ostéomyélite, implication d'une articulation (**33%**).
- 48% des sujets affectés sont des **enfants <15 ans**
- Administration d'une association d'antibiotiques (8 semaines)



# EVOLUTION DES CAS D'UB EN GUYANE



Distribution des cas d'ulcère de Buruli de 1969 à 2012 pour 100,000 personne. La ligne pointillé représente l'augmentation de la population vivant en Guyane



# ANALYSE RELATIONS CLIMAT – UB

## Signal Brute

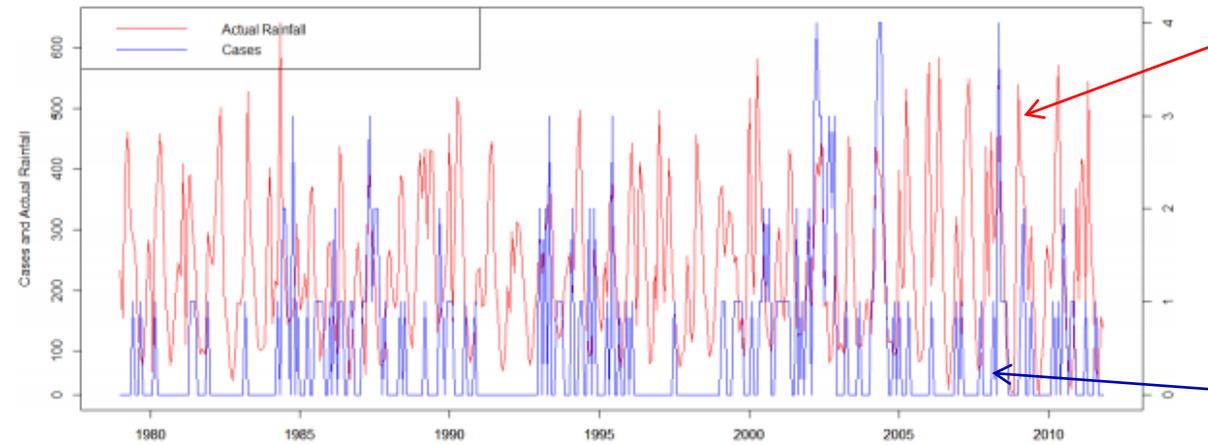
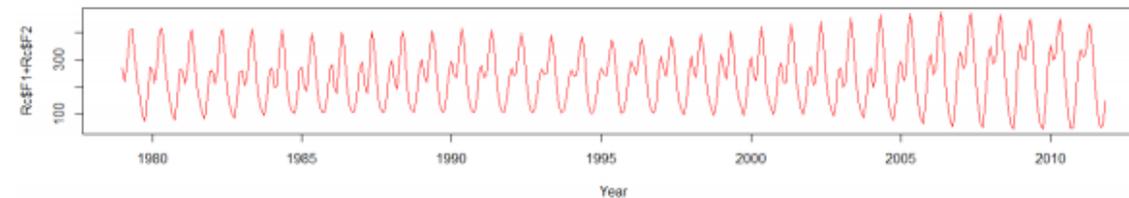
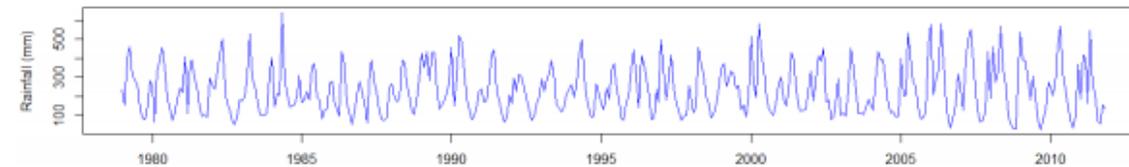
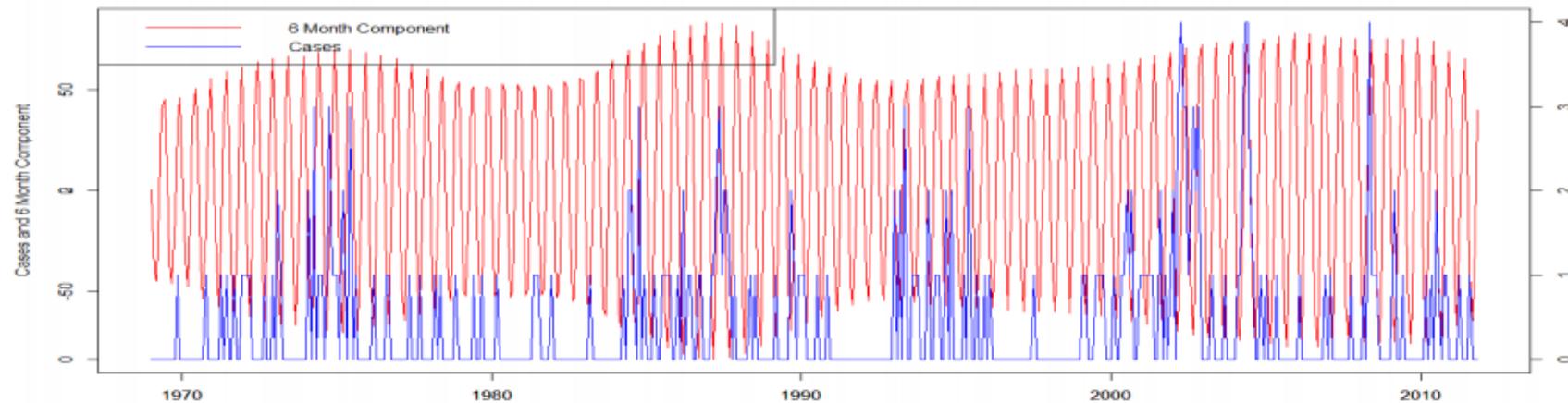


Figure 7.1. Edema in the area affecting the entire upper limb. B. Large ulnar head bones affecting the entire lower limb.

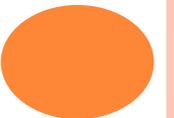


# ANALYSE RELATIONS CLIMAT – UB

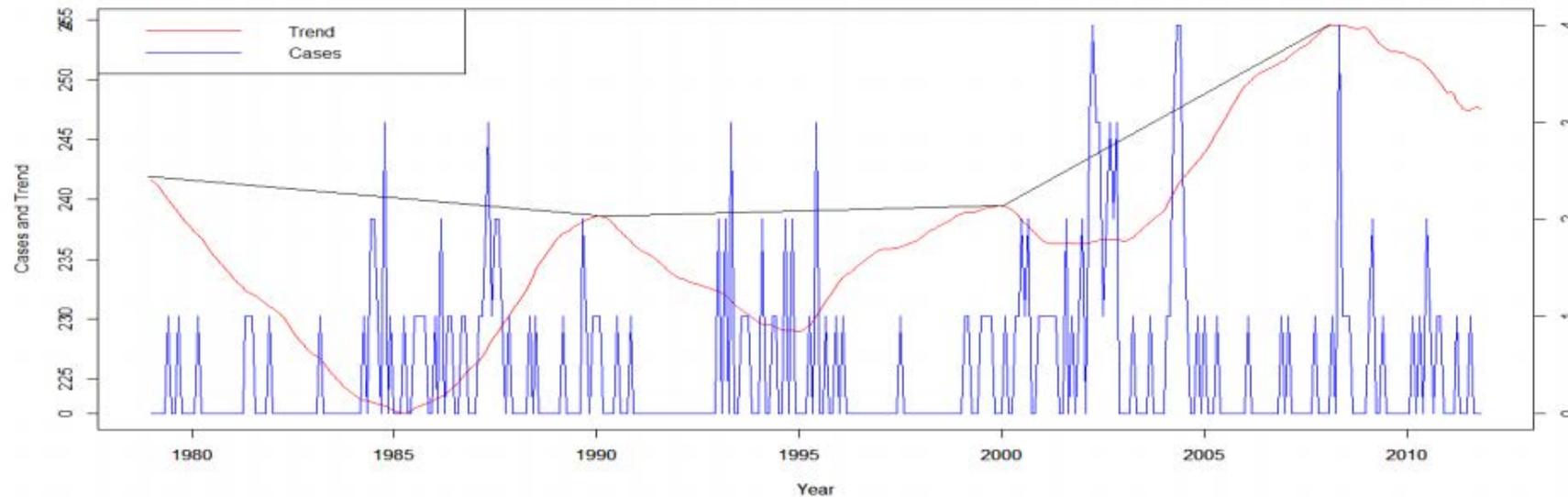
Les cas d'UB en Guyane coïncident sur **2 échelles temporelles** avec des périodes sèches suivant de fortes périodes de pluies



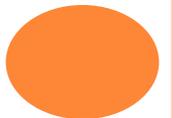
Saison pluie & sèche  
(6 mois)



# ANALYSE RELATIONS CLIMAT – UB

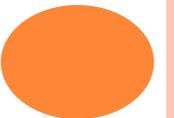


Augmentation des cas d'UB dans les périodes de déficit en eau suivant des périodes pluvieuses



# BESOIN DE MIEUX COMPRENDRE

- Dynamique des cas en milieu urbain vs communautés aquatiques
- Changement globaux (climat) et locaux (déforestation) avec risque infectieux



# APPROCHE DE TERRAIN

- **23** Sites échantillonnés
- Suivi d'un gradient de changement de l'occupation des sols (**urbain, agriculture, forêts modifiées, forêts naturelles**)



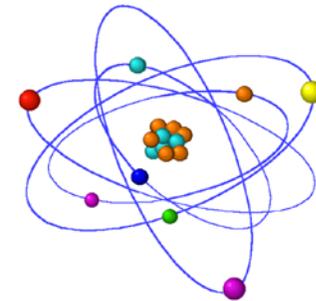
# APPROCHE DE TERRAIN

- On a récupéré des **invertébrés**, des **poisons** et des **sediments**
- Chaque **espèce** a été **identifiée**



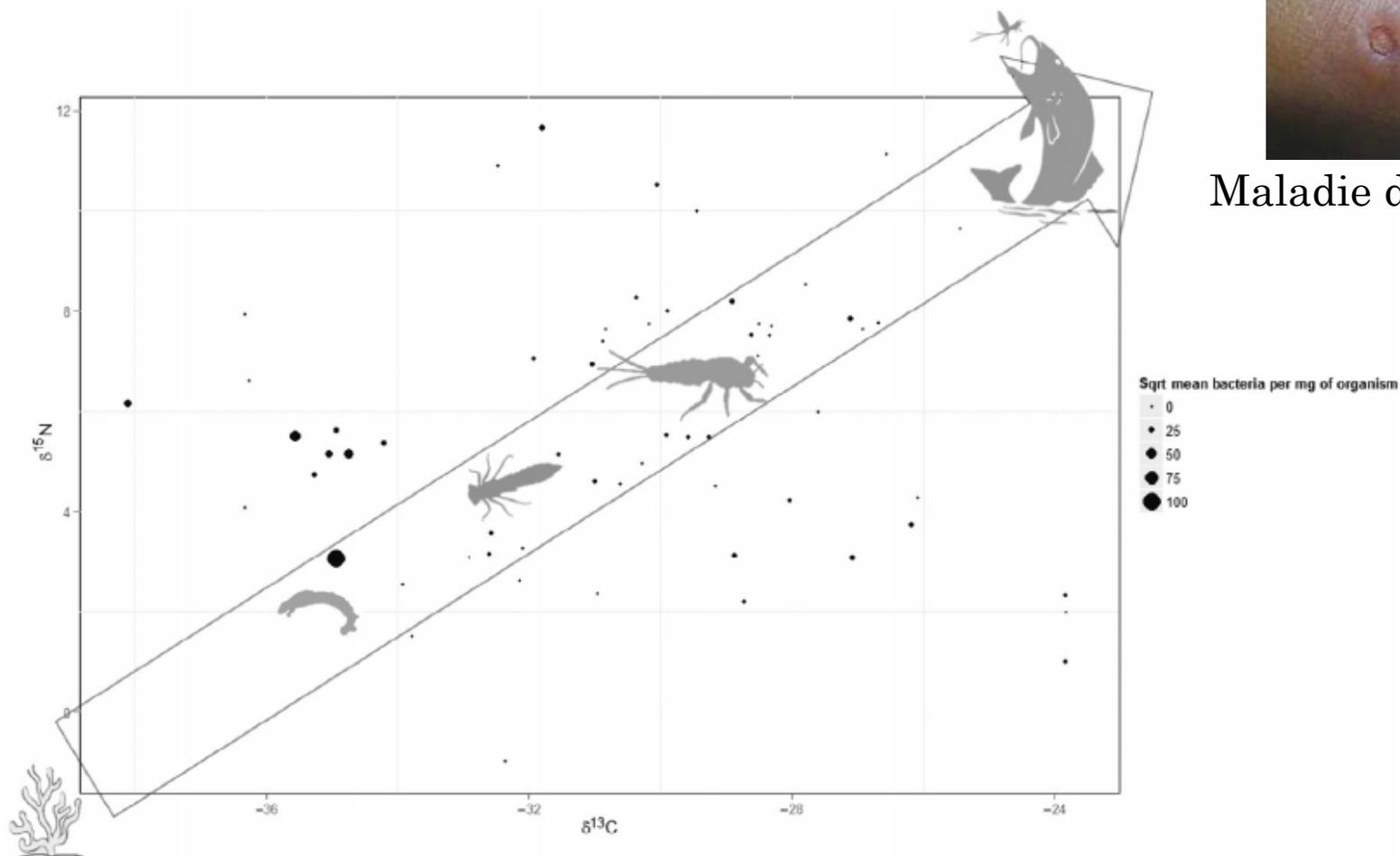
# APPROCHE AU LABORATOIRE

- **Analyse génétique** afin de mesurer la **présence** et l'**abondance** de Mycobactérie
- On a aussi **analysé** le **niveau trophique** de chaque **espèce** grâce à une analyse chimique (**isotopes stable**  $\delta^{13}\text{C}$  /  $\delta^{15}\text{N}$ )



# RELATION NIVEAU TROPHIQUE - MU

## ULCÈRE DE BURULI



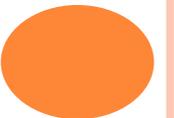
Maladie de peau sous forme d'ulcération



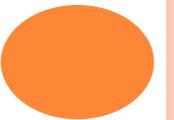
POUR AUTANT

## **Risque Infectieux**

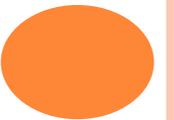
= Aléa (bactérie)+Vulnérabilité (contact Humain)



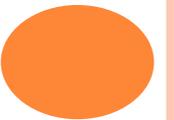
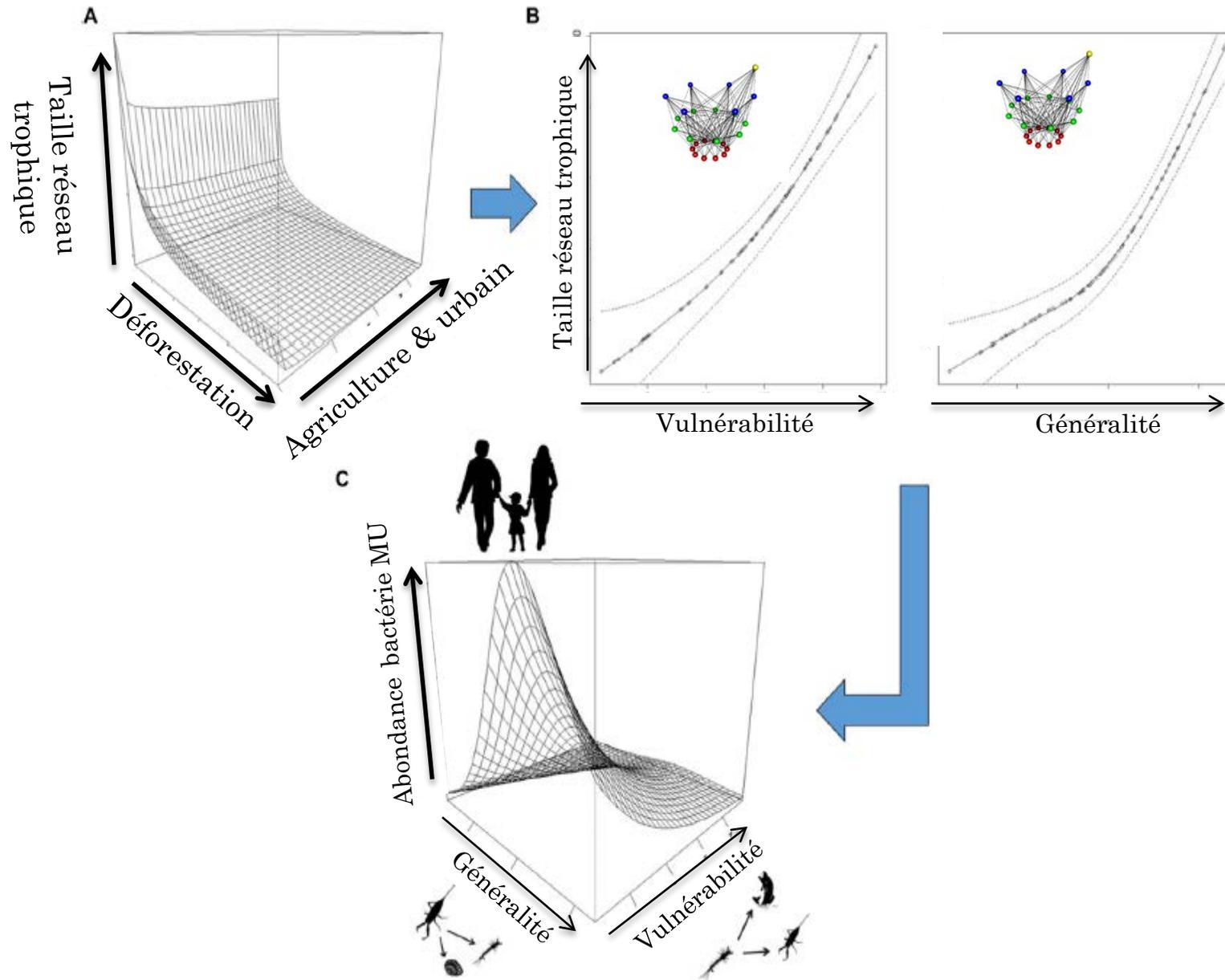
# DÉFORESTATION



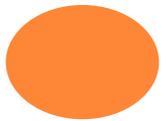
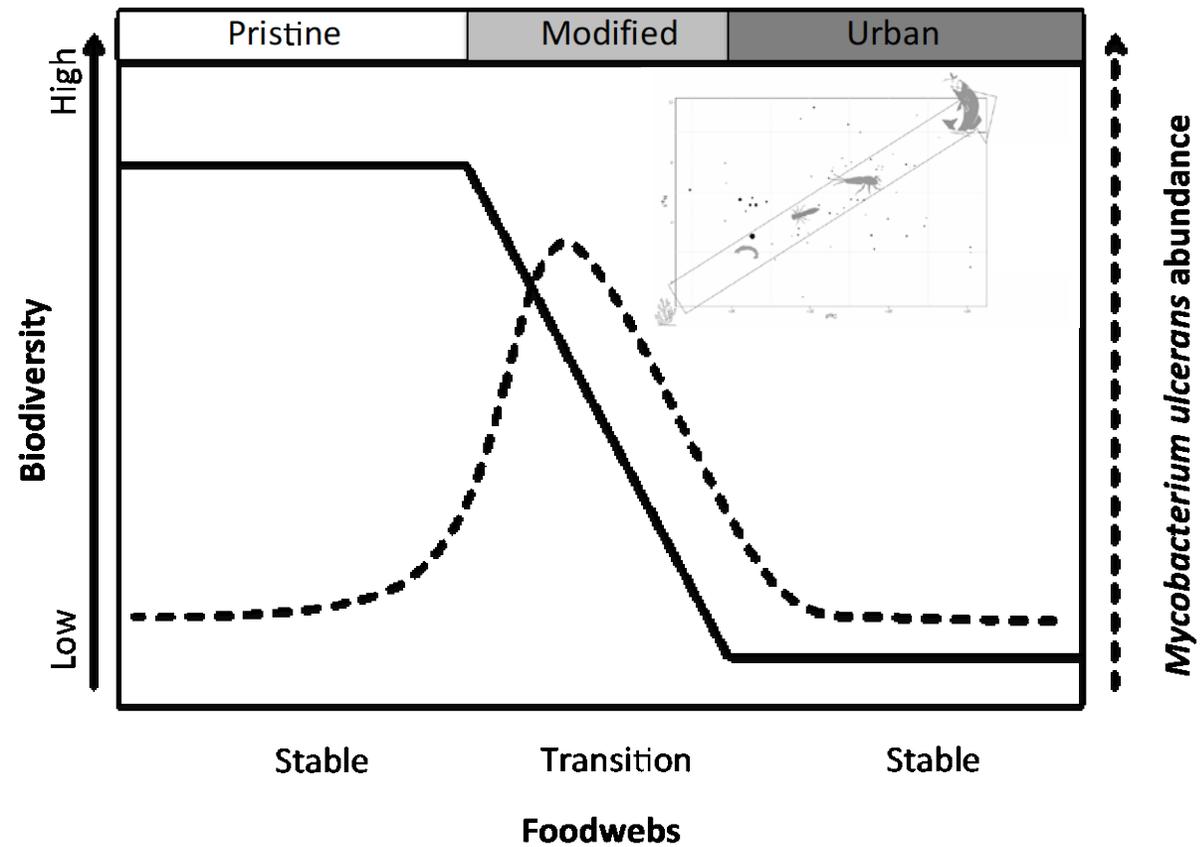
# DÉFORESTATION

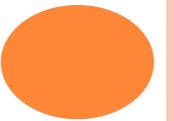
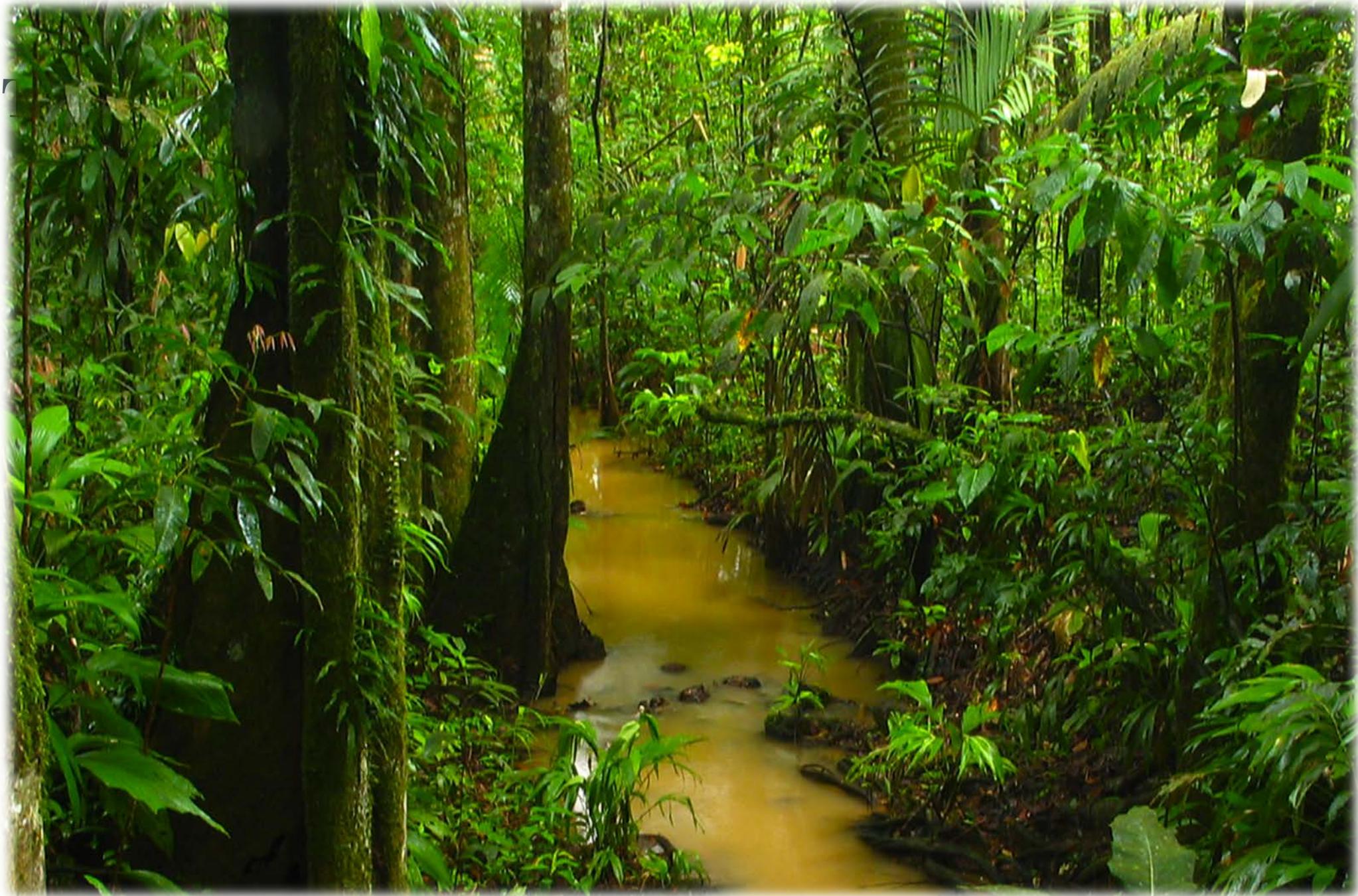


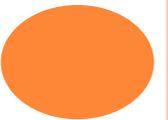
# DÉFORESTATION



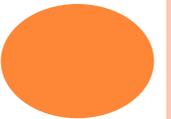
# RELATION DÉFORESTATION - MU

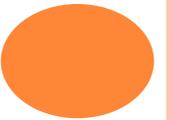






# EN MILIEU URBAIN



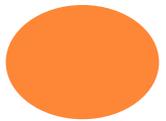
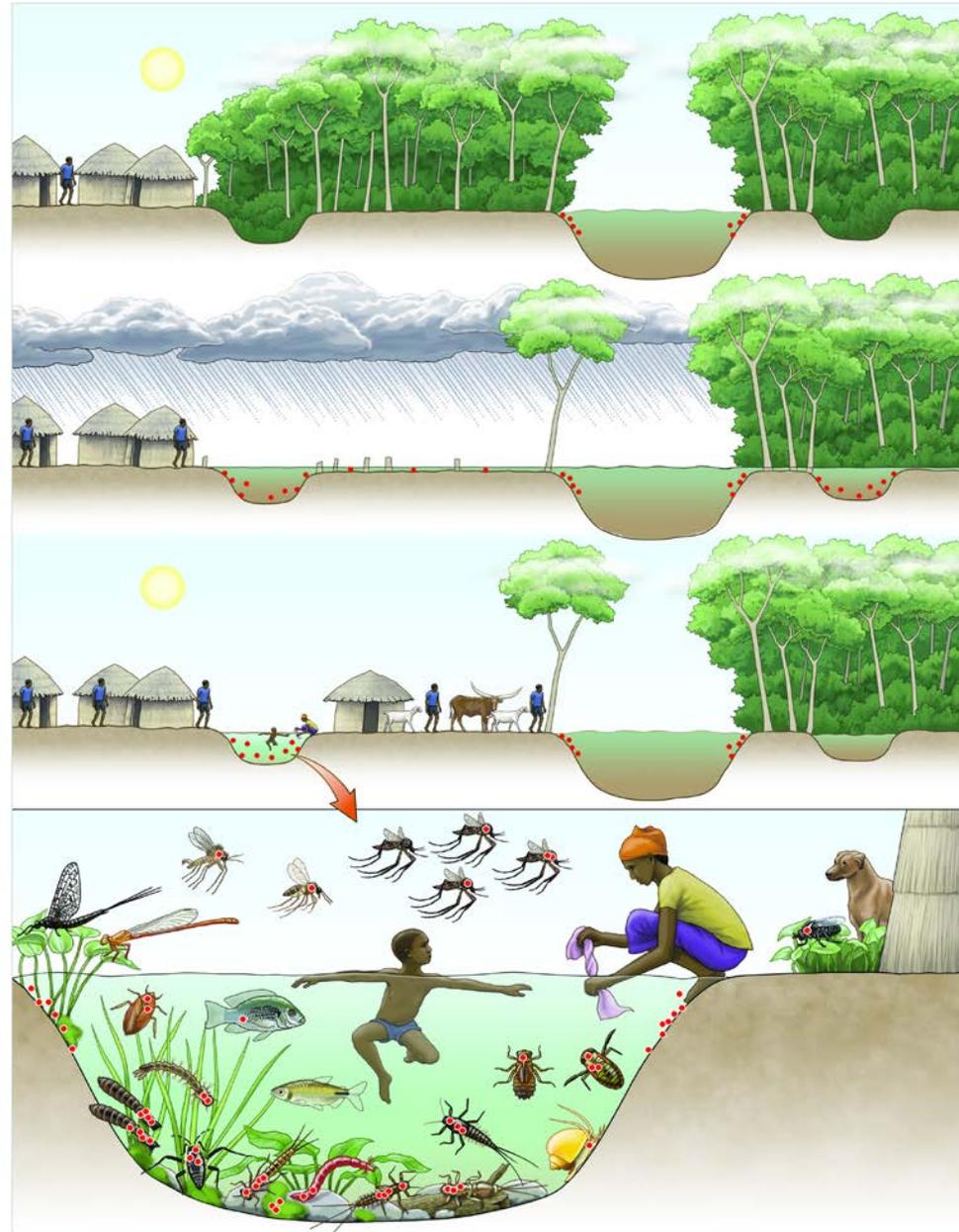




# APPROCHE ONE HEALTH

## Risque Infectieux

= Aléa (bactérie)+Vulnérabilité  
(contact Humain)



# POUR RETROUVER L'ÉTUDE DANS LE DÉTAIL



The image shows a screenshot of a Science Advances article page. At the top, there is a black navigation bar with a menu icon, the word "Science" in white, and links for "NEWS", "CAREERS", "COMMENTARY", and "JOURNALS". Below this is the "ScienceAdvances" logo in red and black. To the right of the logo are links for "Current Issue", "First release papers", "Archive", and "About". A breadcrumb trail reads "HOME > SCIENCE ADVANCES > VOL. 2, NO. 12 > DEFORESTATION-DRIVEN FOOD-WEB COLLAPSE LINKED TO EMERGING TROPICAL INFECTIOUS DISEASE,...". Below the breadcrumb is a red lock icon, the text "RESEARCH ARTICLE", and "DEFORESTATION". To the right are social media icons for Facebook, Twitter, LinkedIn, Reddit, WeChat, and Email. The main title is "Deforestation-driven food-web collapse linked to emerging tropical infectious disease, *Mycobacterium ulcerans*". Below the title are the authors: "AARON L. MORRIS  , JEAN-FRANÇOIS GUÉGAN, DEMETRA ANDREOU, LAURENT MARSOLLIER, KEVIN CAROLAN, MARIE LE CROLLER, DANIEL SANHUEZA, AND RODOLPHE E. GOZLAN" with a link "Authors Info & Affiliations". At the bottom, it says "SCIENCE ADVANCES • 7 Dec 2016 • Vol 2, Issue 12 • DOI: 10.1126/sciadv.1600387".

Science

ScienceAdvances

Current Issue First release papers Archive About

HOME > SCIENCE ADVANCES > VOL. 2, NO. 12 > DEFORESTATION-DRIVEN FOOD-WEB COLLAPSE LINKED TO EMERGING TROPICAL INFECTIOUS DISEASE,...

RESEARCH ARTICLE | DEFORESTATION

f t in r w e

## Deforestation-driven food-web collapse linked to emerging tropical infectious disease, *Mycobacterium ulcerans*

AARON L. MORRIS  , JEAN-FRANÇOIS GUÉGAN, DEMETRA ANDREOU, LAURENT MARSOLLIER, KEVIN CAROLAN, MARIE LE CROLLER, DANIEL SANHUEZA, AND RODOLPHE E. GOZLAN [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE ADVANCES • 7 Dec 2016 • Vol 2, Issue 12 • DOI: 10.1126/sciadv.1600387



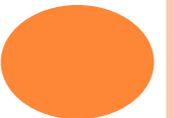
# MERCI POUR VOTRE ATTENTION



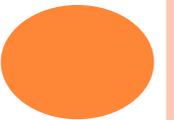
**Google :**

**Biodiversité et santé : Juliette Binoche à la rencontre de scientifiques en Guyane**

Film de Marie-Monique Robin avec Juliette Binoche



*La prochaine pandémie ?*



# RESISTANCE AUX ANTIBIOTIQUES

48,700 familles aux US & 700,000 dans le monde perdent un proche chaque année à cause de la résistance aux antibiotiques



19-06-2021

**Edith Heard**, the scientist who heads the **European Molecular Biology Laboratory**, warns: "If we don't do something, the antibiotics that exist today will no longer be able to fight infections. That will be the next pandemic."

[lefigaro.fr/sciences/dans-...](https://lefigaro.fr/sciences/dans-...)



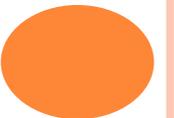
Tweetez votre réponse.



IL Y A 79 ANS...



*1942, au New Haven Hospital, Anne Miller est devenue la première patiente Américaine à recevoir de la pénicilline*



# EN 2021... LES RECOMMANDATIONS DU CDC

- **Arrêtez de parler d'une ère post-antibiotique à venir - elle est déjà là.**
- **Cessez de jouer au jeu des reproches.** Chaque personne, chaque industrie et chaque pays peut influencer sur le développement de la résistance aux antibiotiques.
- **Cesser de ne compter que sur les nouveaux antibiotiques qui tardent à être commercialisés** et que, malheureusement, ces germes rendront un jour inefficaces.
- **Cesser de croire que la résistance aux antibiotiques est un problème " là-bas ",** dans l'hôpital, l'État ou le pays de quelqu'un d'autre - et non dans notre propre cour.



## ÉTAT DES LIEUX

On estime qu'environ **2,6 milliards de personnes** dans le monde en développement doivent vivre avec **moins de 2 dollars par jour**, dont **1,4 milliard** sont "extrêmement" pauvres, c'est-à-dire qu'elles survivent avec **moins de 1,25 dollar par jour**.



## ÉTAT DES LIEUX

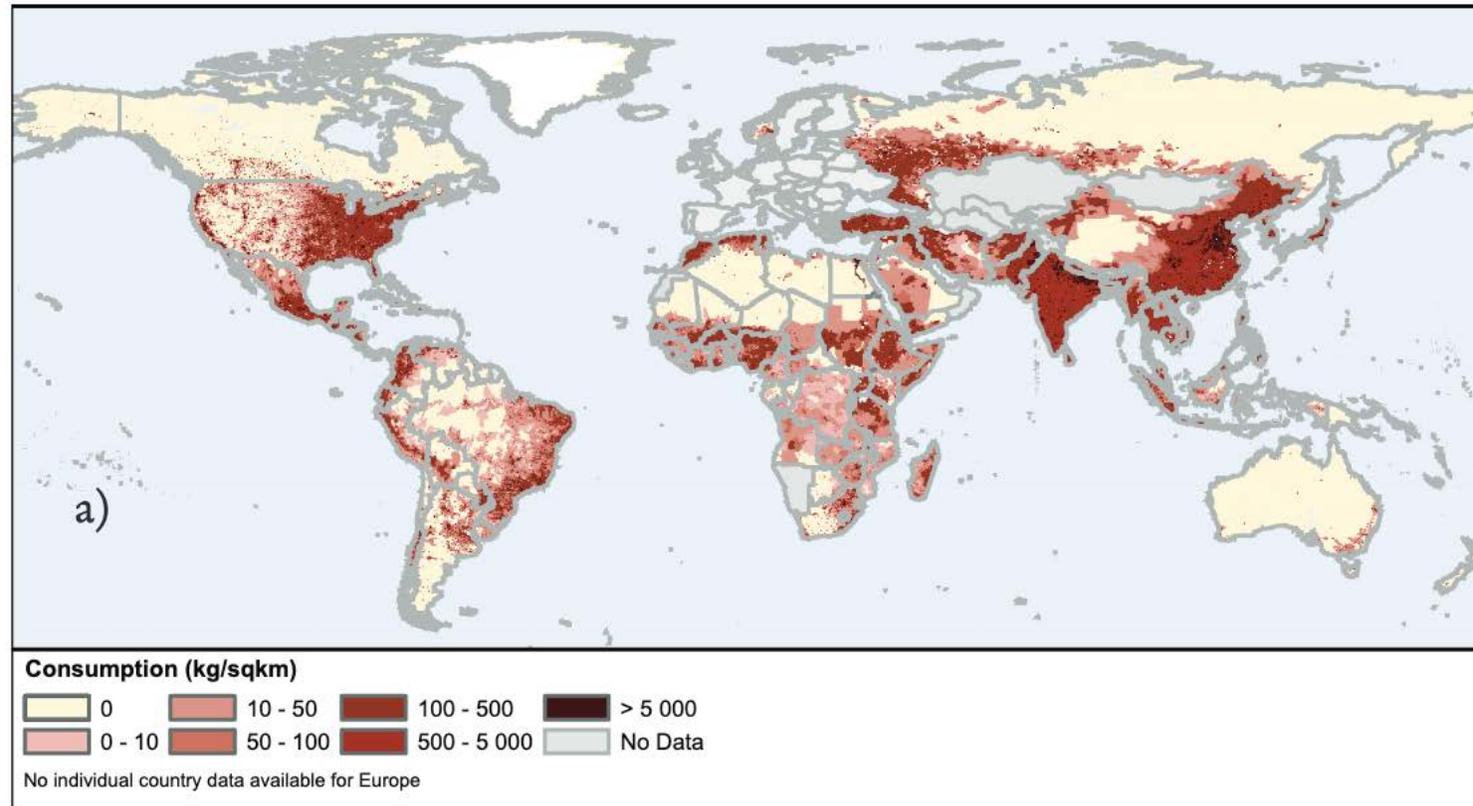
Près des  $\frac{3}{4}$  des personnes extrêmement pauvres (soit **1 milliard de personnes**) - vivent dans des **zones rurales**.

La plupart des **ménages ruraux dépendent** de **l'agriculture** pour leur subsistance et **l'élevage** fait généralement partie intégrante de leur système de production.



# ÉTAT DES LIEUX

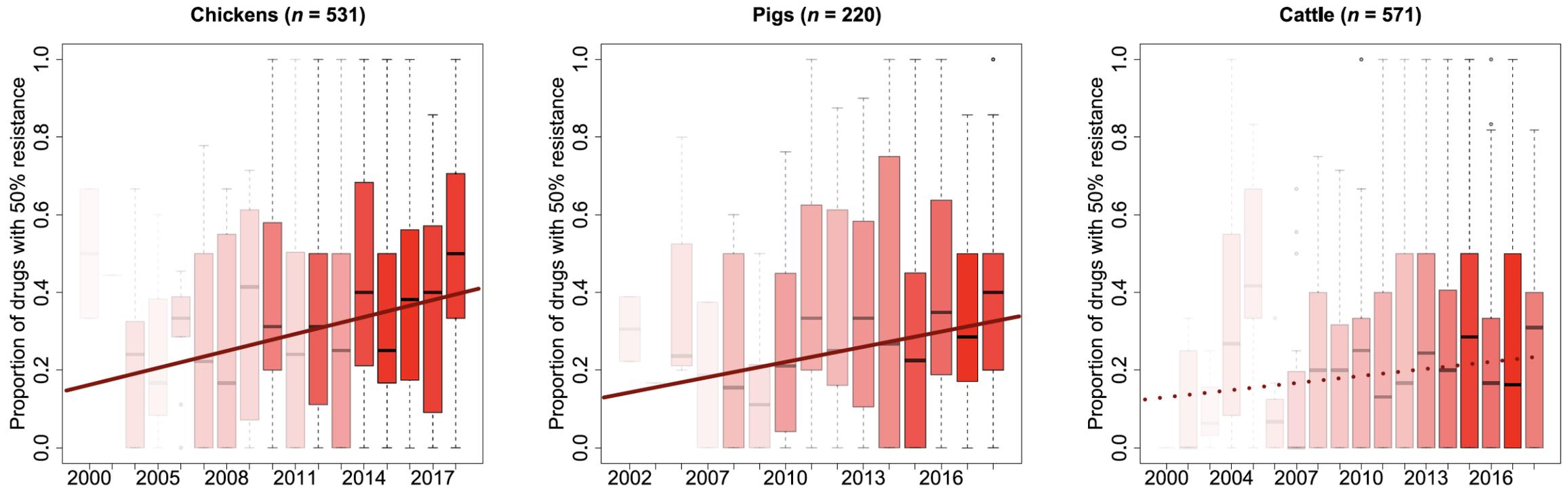
*FAO 2011 Working paper*



Consommation prévue de **protéines** provenant d'aliments d'**origine animale** en **2030** par kilomètre carré [Sans poisson ni fruits de mer]



# AUGMENTATION DE LA RÉSISTANCE AUX ANTIMICROBIENS DANS LES PAYS À FAIBLES REVENUS (LMICs)

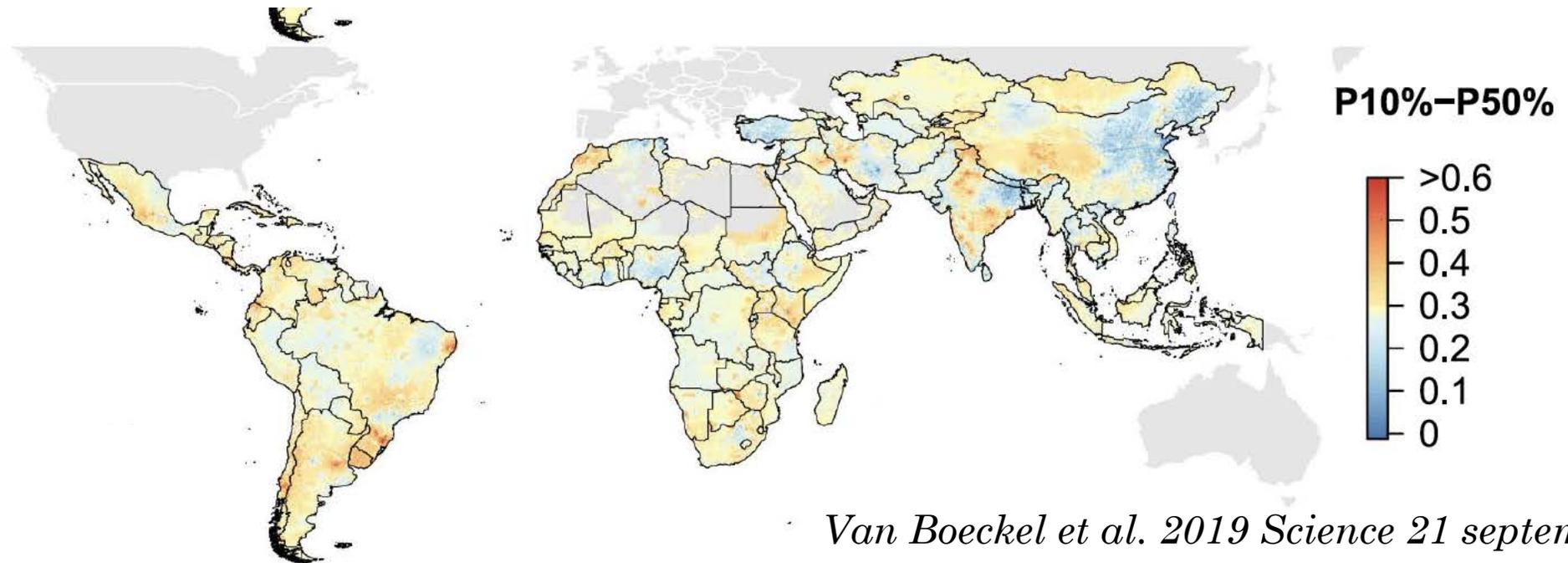


*Van Boeckel et al. 2019 Science 21 september*

**Proportion de composés antimicrobiens présentant une résistance supérieure à 50% (P50).** Les lignes pleines indiquent l'augmentation de P50 dans le temps (P 0,005). En grisé, nombre d'enquêtes/année par rapport au nombre total d'enquêtes par espèce.



# DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DE LA RÉSISTANCE AUX ANTIMICROBIENS DANS LES PAYS À FAIBLE REVENUS (LMICs)



*Van Boeckel et al. 2019 Science 21 september*

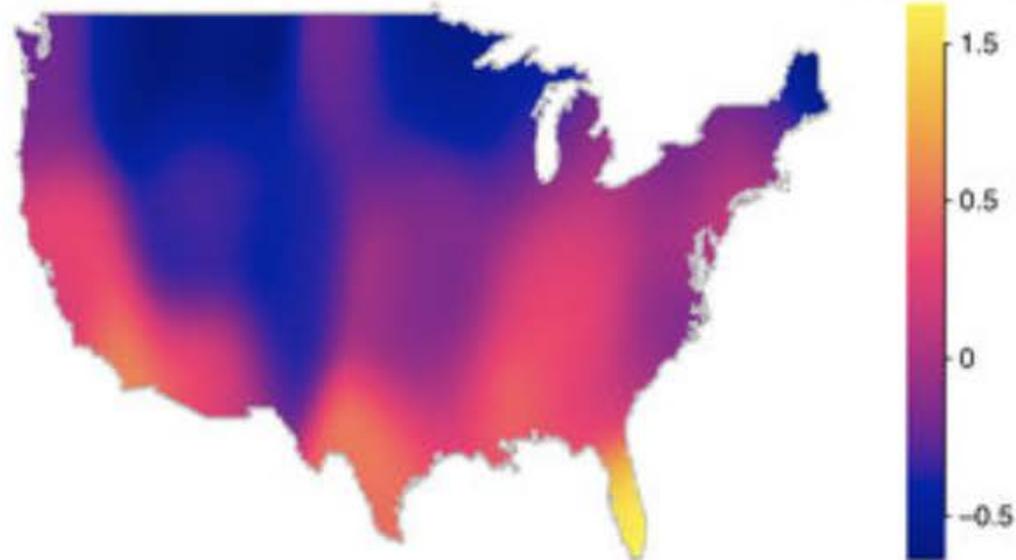
Les zones **ROUGES** indiquent de nouveaux points chauds de résistance à plusieurs médicaments ; les zones **BLEUES** sont des points chauds établis. Différence dans la proportion d'antimicrobiens présentant une résistance de 10% et une résistance de 50%.



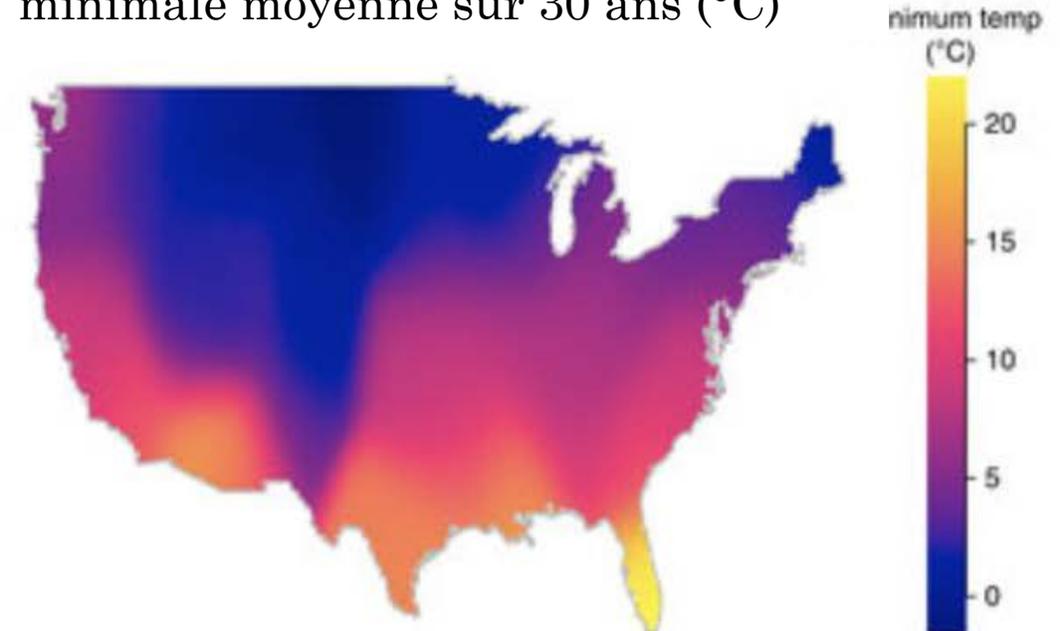
# LA RÉSISTANCE AUX ANTIBIOTIQUES AUGMENTE AVEC LA TEMPÉRATURE

+ 10 °C dans les régions => + 3% résistances aux antibiotique, pour les pathogènes les plus communs.

Carte thermique de la résistance moyenne normalisée aux antibiotiques pour E. coli pour tous les antibiotiques.



Carte thermique de la température minimale moyenne sur 30 ans (°C)

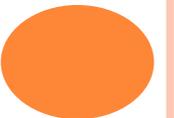


L'augmentation de la température locale et de la densité de population est associée à une résistance accrue aux antibiotiques.

*Mc Fadden et al. (2018) Nat. Clim. Chang. 8, 510.*

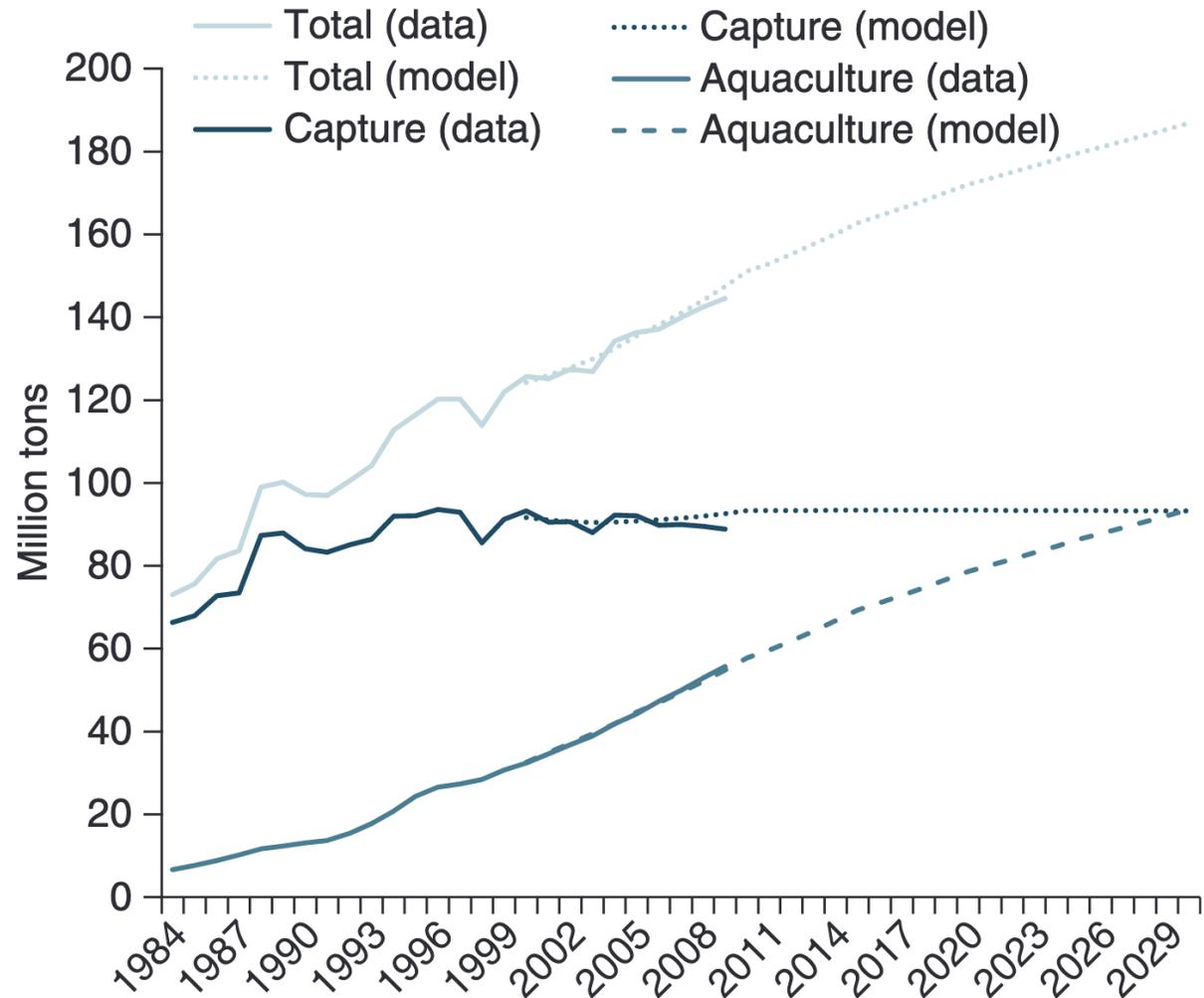
# ÉTAT DES LIEUX

- **Réduire les pressions de la production alimentaire sur l'environnement** tout en nourrissant une population humaine en constante augmentation est l'un des grands défis auxquels l'humanité est confrontée.
- **L'ampleur des incidences** de la production alimentaire sur l'environnement, principalement en ce qui concerne l'utilisation des terres, a motivé l'évaluation des avantages pour l'environnement et la santé d'un **changement de régime alimentaire**, généralement en **abandonnant la viande au profit** d'autres sources, notamment le **poisson** et les **fruits de mer**.



# ÉTAT DES LIEUX

## Données et modèle de **production** mondiale de **poisson** pour **2030**

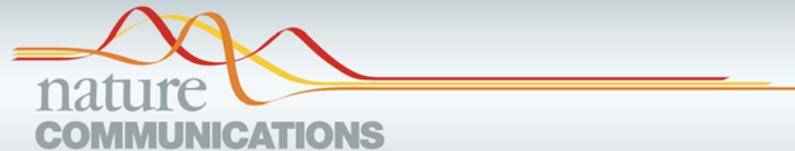




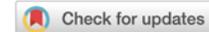
### 3- COMMENT L'AQUACULTURE VA ÊTRE AU CARREFOUR DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET DE LA RÉSISTANCE AUX ANTIBIOTIQUES ?



# DÉTAILS DE L'ÉTUDE



ARTICLE



<https://doi.org/10.1038/s41467-020-15735-6>

OPEN

## Aquaculture at the crossroads of global warming and antimicrobial resistance

Miriam Reverter <sup>1,2</sup>✉, Samira Sarter <sup>1,3</sup>, Domenico Caruso<sup>1</sup>, Jean-Christophe Avarre <sup>1</sup>, Marine Combe<sup>1</sup>, Elodie Pepey<sup>1,3</sup>, Laurent Pouyaud<sup>1</sup>, Sarahi Vega-Heredía <sup>1</sup>, Hugues de Verdal <sup>1,3</sup> & Rodolphe E. Gozlan <sup>1</sup>✉



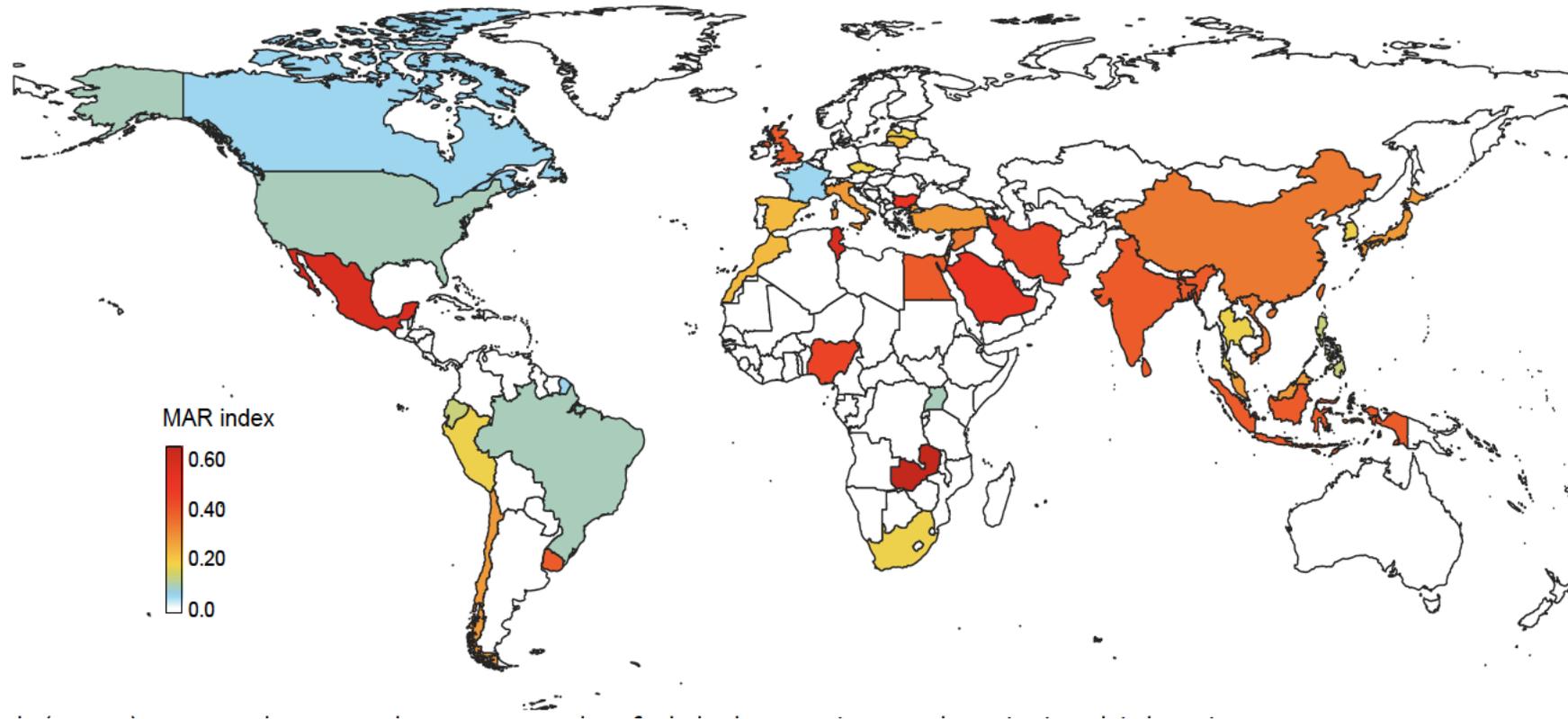
## OBJECTIFS

- Évaluation globale de l'incidence de la résistance aux antimicrobiens (AMR) dans les environnements aquacoles.
- Identifier les facteurs environnementaux et sociaux contribuant à la AMR observée.
- Réchauffement climatique et gravité des maladies aquatiques  
- une source d'utilisation d'antibiotiques et de AMR



# RÉSISTANCE AUX ANTIMICROBIENS (AMR) INCIDENCE DANS LES AQUACULTURES

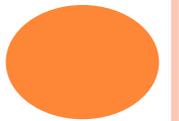
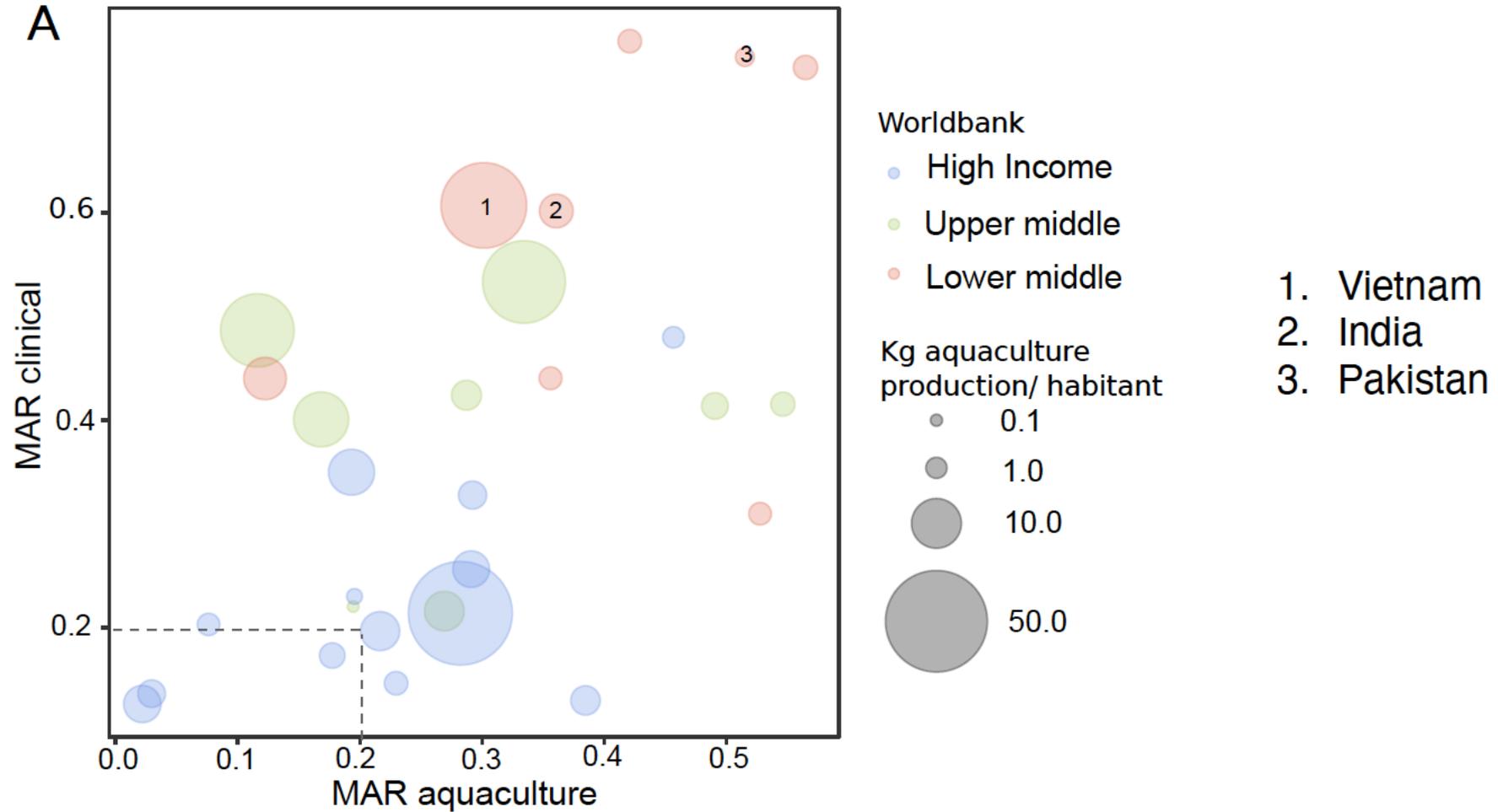
MAR = n° isolats résistant / n° d'antibiotique \* n° d'isolats différents



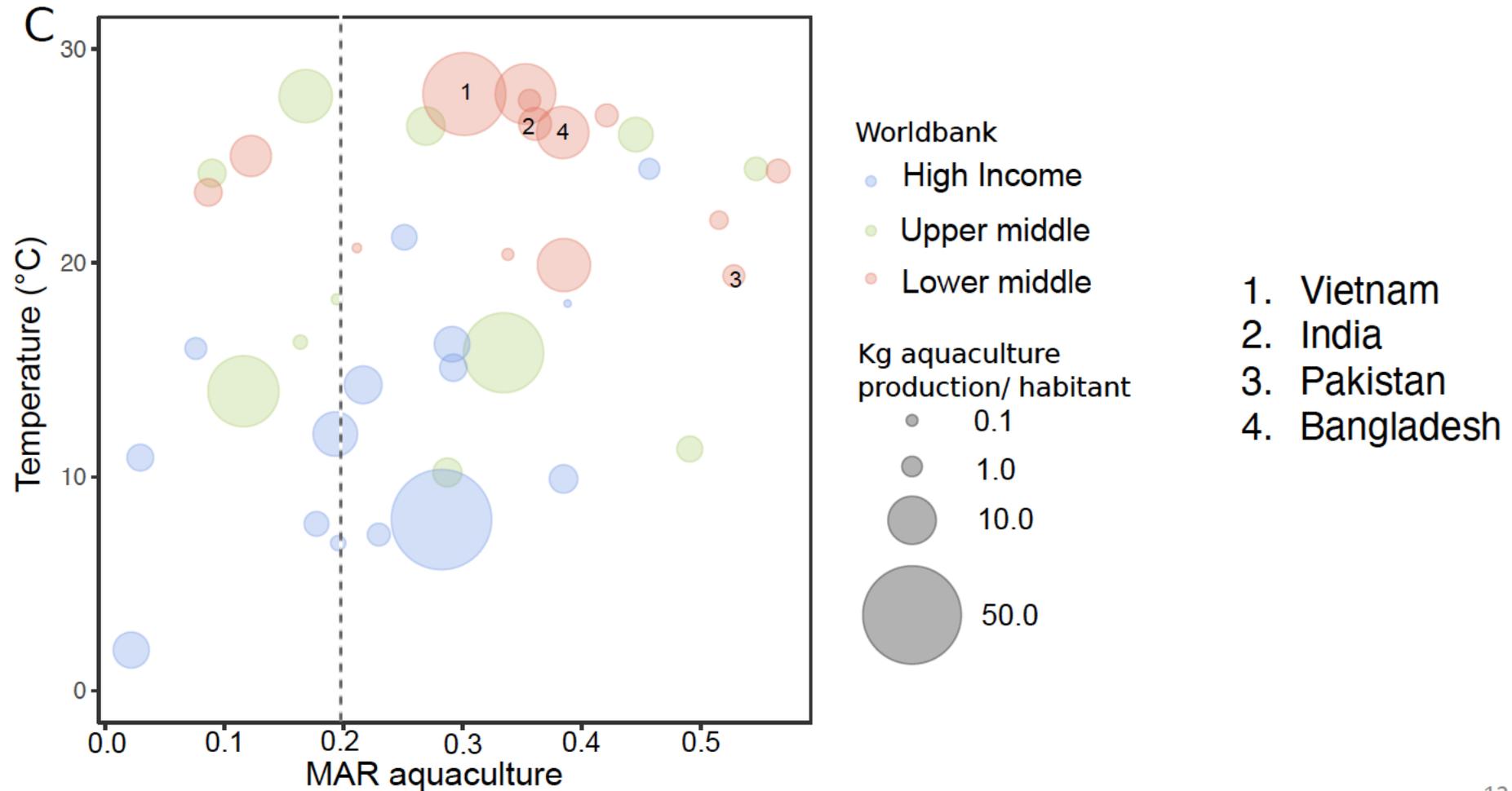
Meta-analyse (187 études): Indice de résistance à plusieurs antibiotiques (MAR, 40 pays, 11,274 isolats)



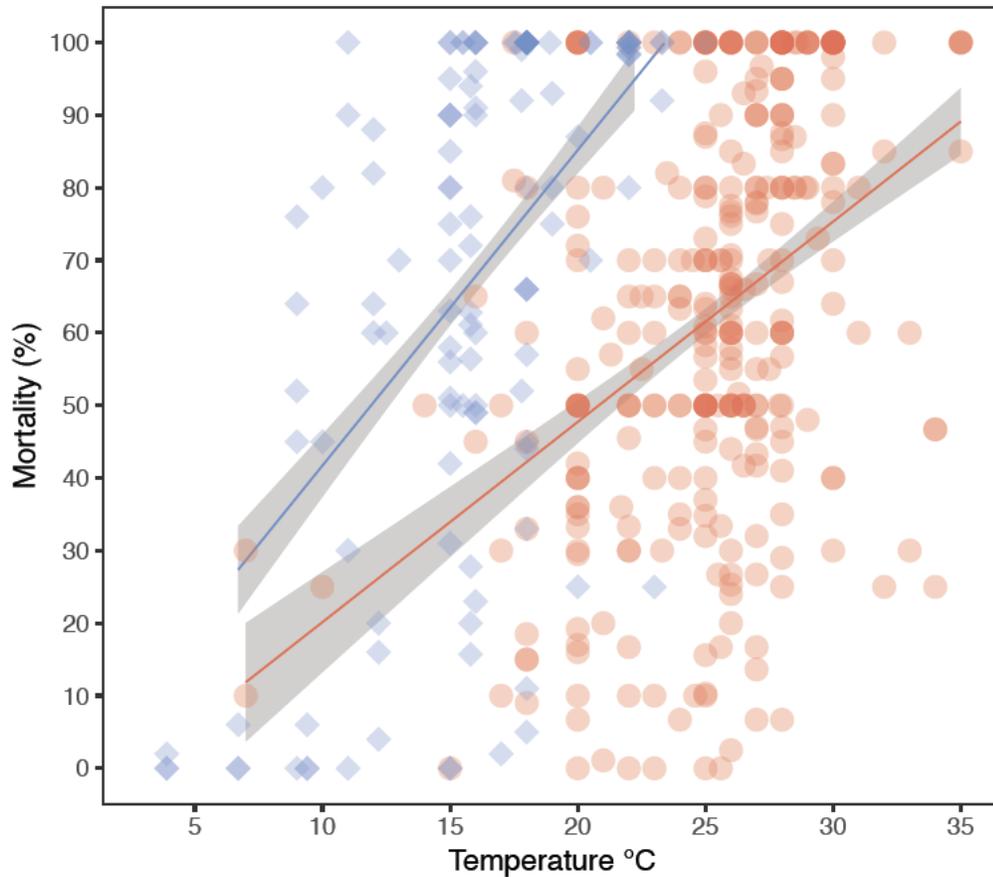
# FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX DES AMRS



# FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX DES AMRS



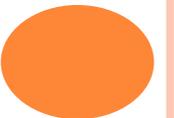
# TEMPERATURE ET VIRULENCE DES PATHOGÈNES



Fish, shrimp and shellfish infected by bacterial pathogens:  
*Aeromonas* spp., *Edwardsiella* spp., *F. columnare*, *Lactococcus* spp.,  
*Streptococcus* spp., *Vibrio* spp. and *Yersinia* spp.

- Tropical/sub-tropical hosts
- ◆ Temperate hosts

**+ 1°C -> +2.82 to 6 % augmentation de mortalité**



# CONCLUSIONS

Nous devons produire **plus de nourriture**, mais de **manière durable**, afin de limiter la crise actuelle de la RAM.

Nous devons **réglementer l'utilisation des antibiotiques** dans les régions du monde où la réglementation n'est pas aussi stricte.

Nous devons **atténuer l'effet du réchauffement climatique** sur l'aquaculture.

Nous devons **surveiller de plus près les écosystèmes aquatiques** en tant que points chauds de la RAM.

Nous devons **communiquer les risques** à un large éventail de parties prenantes.

On a besoin d'une approche **ONE HEALTH**  
[Santé animal, Santé de l'écosystème, Santé humaine et Santé des socio-systèmes]



## COMMENT ON FAIT

- Voies potentielles vers plus de durabilité dans la production.

- *Coupler l'aquaculture et la plantation forestière pour la résilience alimentaire, énergétique et hydrique.*

*Shifflett et al. 2016 Sci. Total Environ.*

- *Perspectives futures des vaccins pour la pisciculture industrialisée.*

*Brudeseth et al. Shellfish Immunol.*

- *Utilisation d'extraits de plantes en pisciculture comme alternative.*

*Reveter et al. 2014 Aquaculture*

- *Pharmacopée traditionnelle chez les petits producteurs d'eau douce*

*Caruso et al. 2013 Aquaculture*

- *Probiotiques comme moyen de contrôle des maladies en aquaculture.*

*Hoseinifar et al. 2018 Front. Microbiol*

# Un grand **merci** à un grand nombre de **collègues** très **talentueux**

Marine Combe (Microbiologiste, CR IRD)



## Financements

ANR PRIME

Labex CEBA

Université de Guyane

Soushieta Jagadesh (Médecin, doctorante)



Aaron Morris (Ecologue, doctorant)



Roland Ruffine (Taxonomiste, technicien)

