

JOURNÉE SCIENTIFIQUE

CLIMAT ET SANTÉ



Changement climatique et santé

Vagues de chaleur



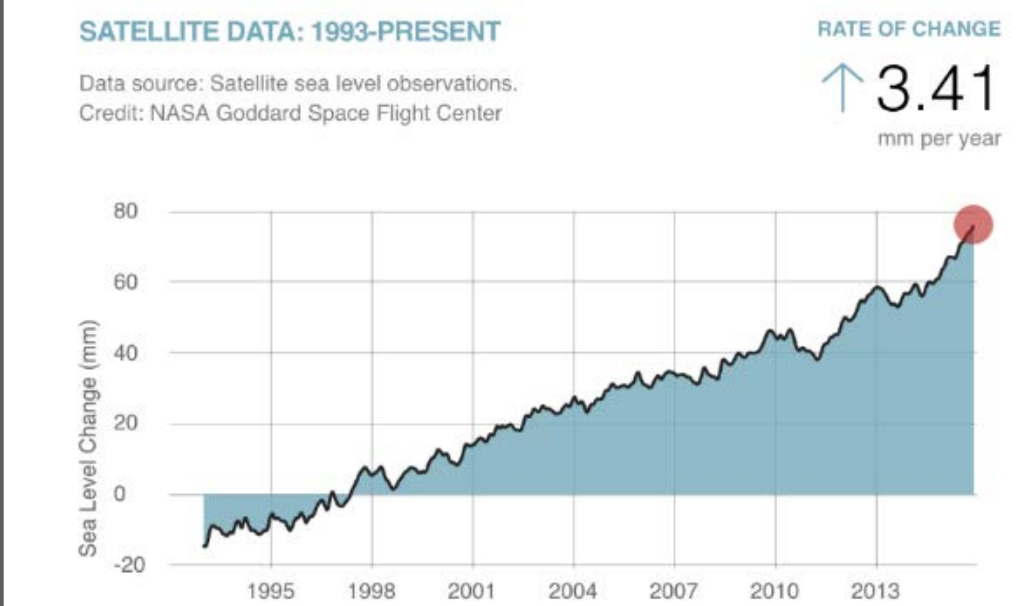
Cyclones et précipitations extrêmes



Pollution de l'air



Niveau marin



Maladies infectieuses



Arthropods are ectotherms

Vector, water and soil borne pathogens are impacted

Eau, agriculture et biodiversité



Migration climatique



Somali refugees flee flooding in Dabaab, Kenya (UNHCR)

Infrastructures



Genoa Morandi bridge collapsed in Aug 2018 due to heavy rainfall (ABC news)

Feux de forêts

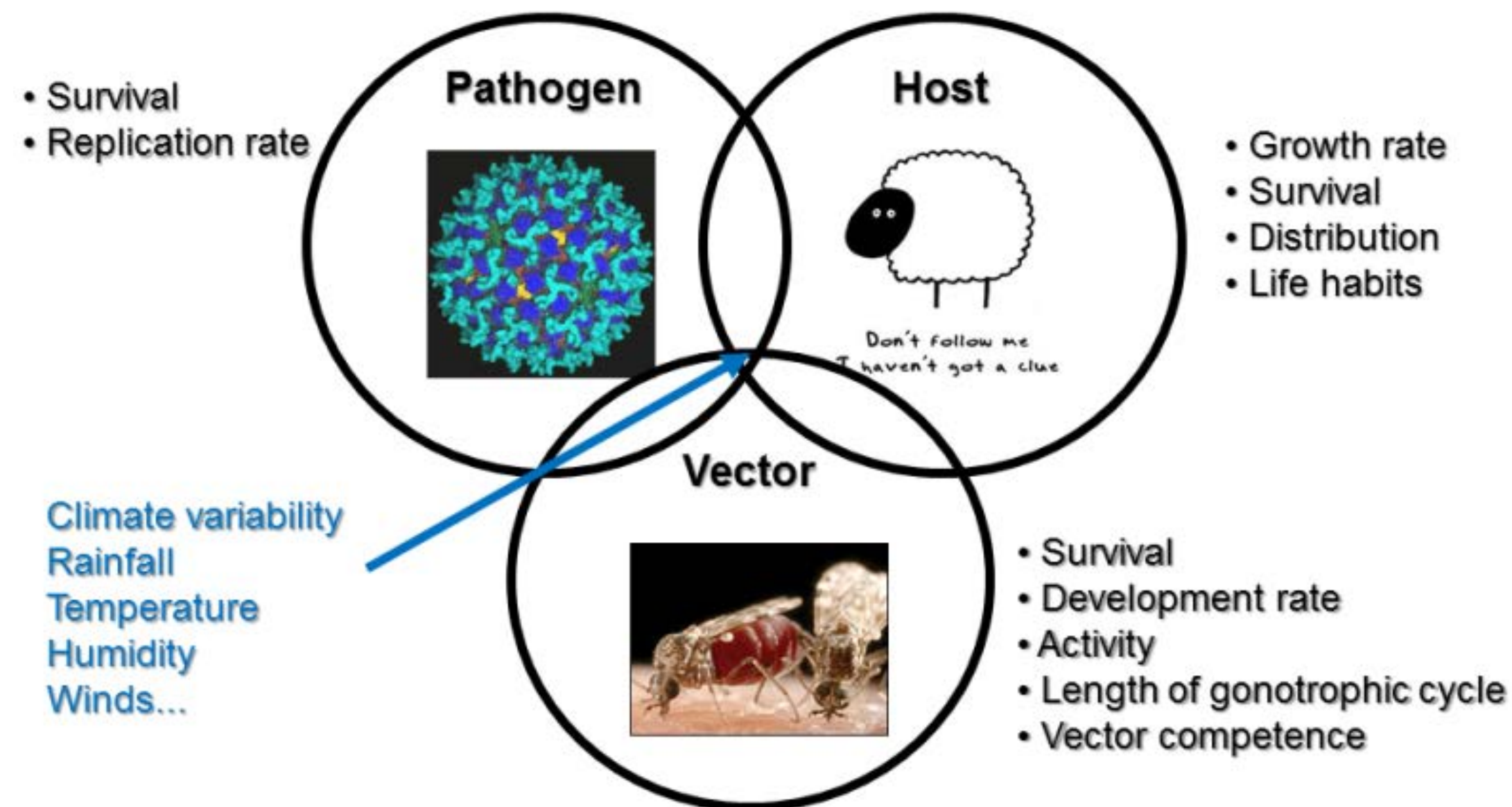


Forest fires in Gironde, France Aug 2022

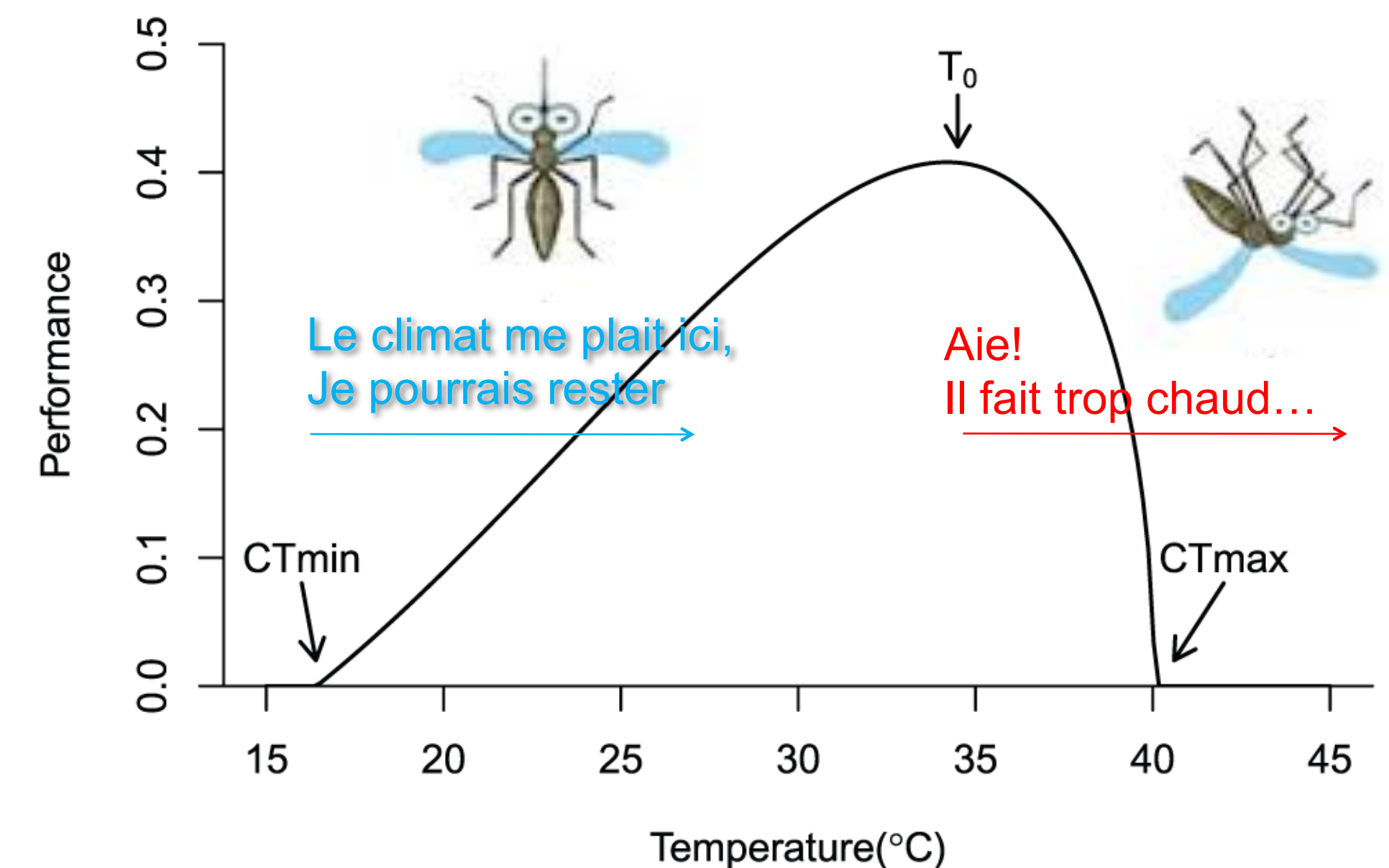
Climat et maladies vectorielles

Les maladies vectorielles ont une dépendance climatique

Diseases transmitted by blood sucking arthropods



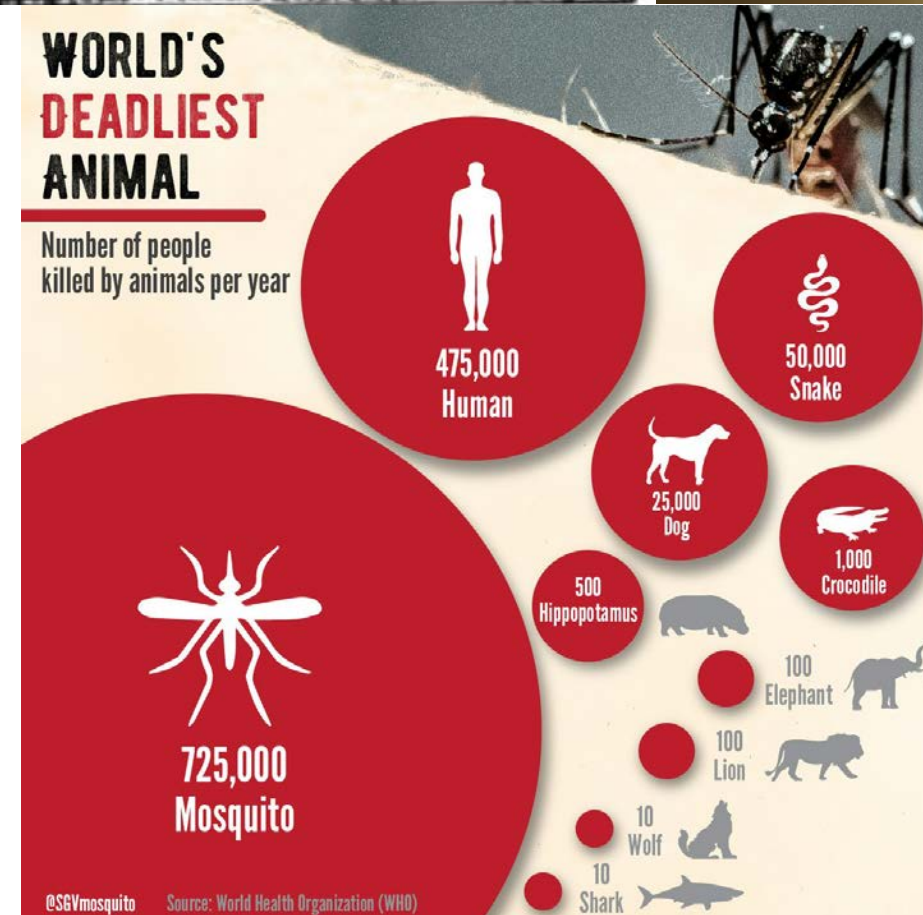
Capacité vectorielle = $F(T^\circ)$



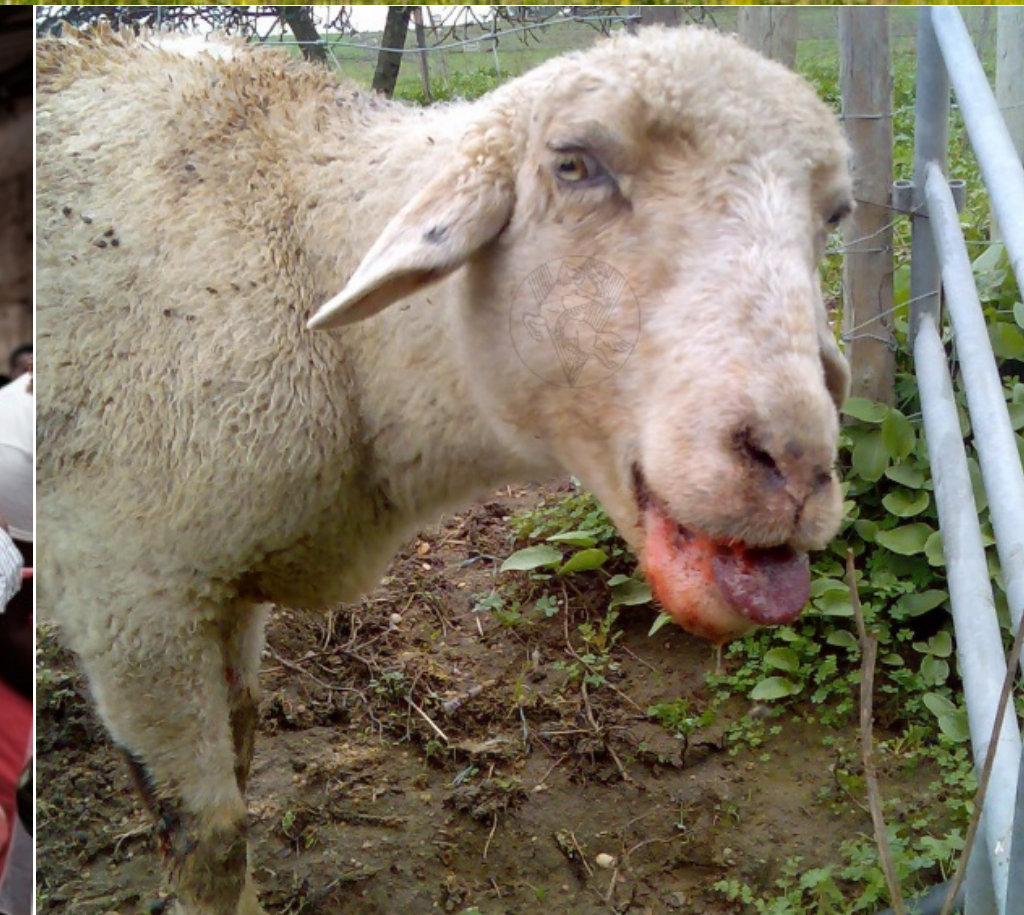
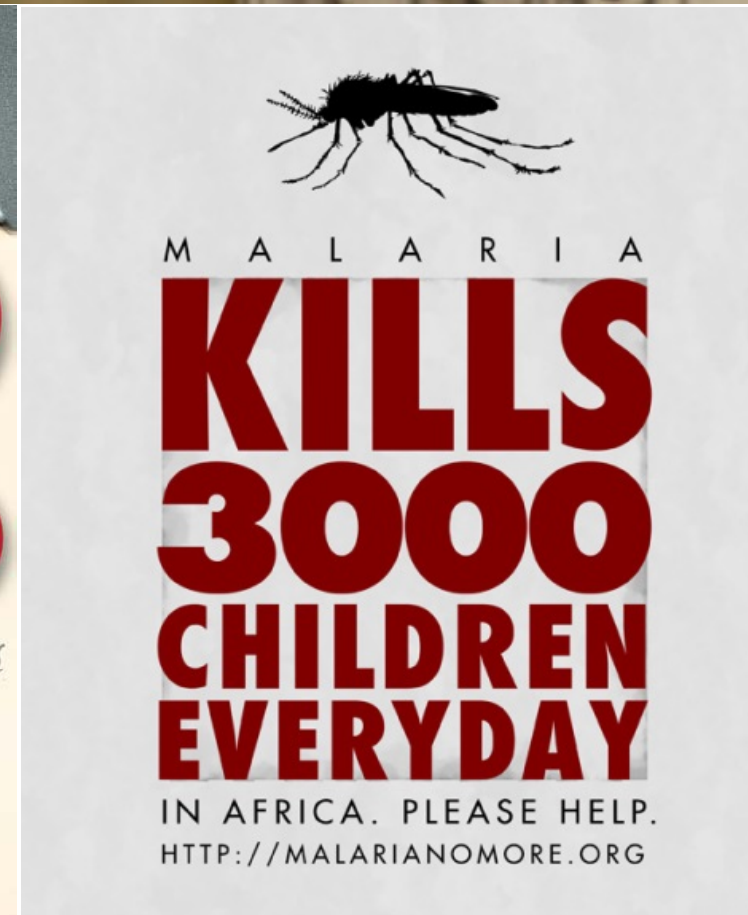
Lafferty KD and Mordecai EA 2016 - [F1000Research 2016, 5:2040](https://doi.org/10.1016/j.f1000research.2016.05.040)

Modéliser l'impact de la variabilité climatique sur le risque de transmission de maladies vectorielles, de l'échelle saisonnière à séculaire.

Impact des maladies vectorielles

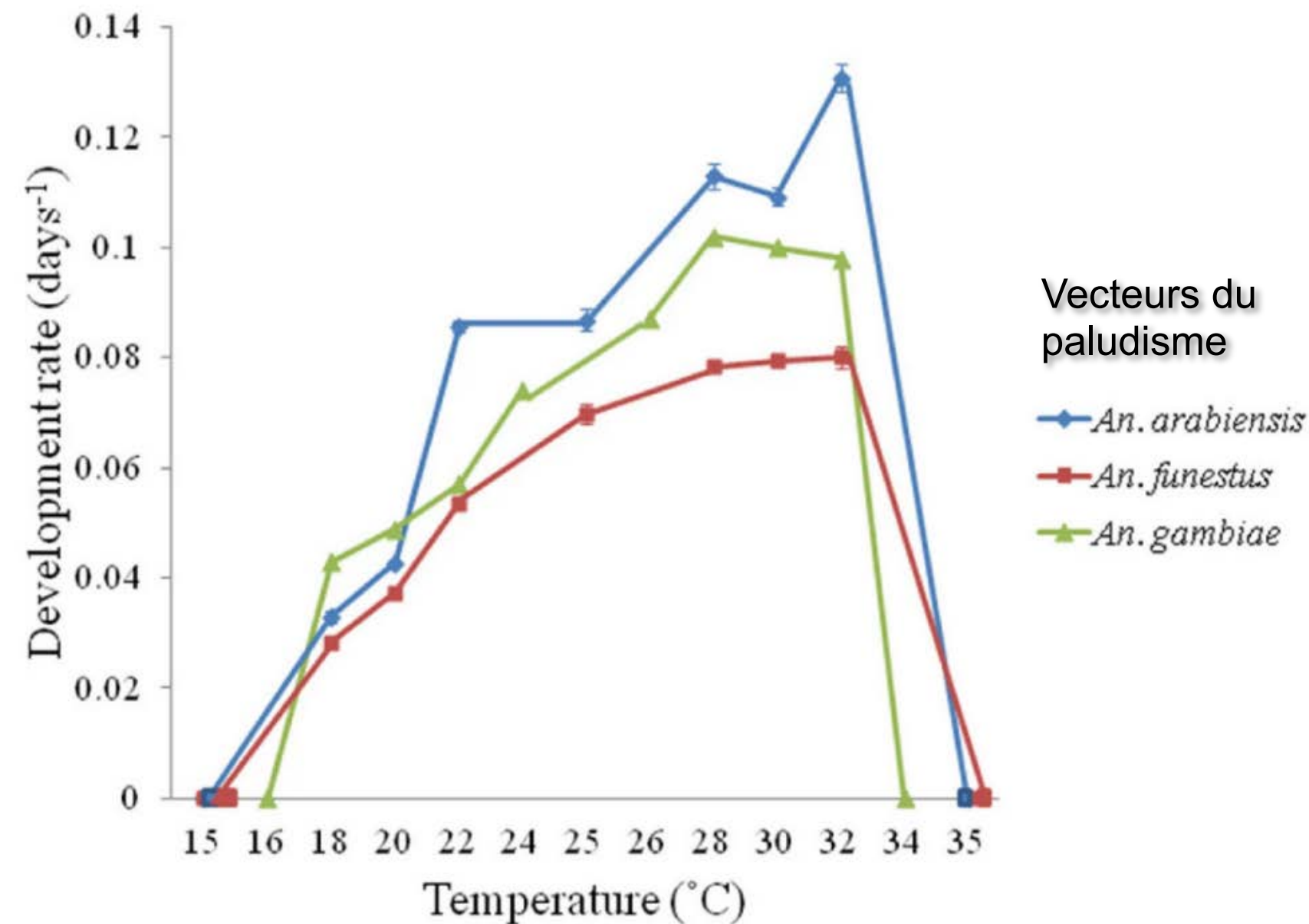


“Culex homini lupus est”

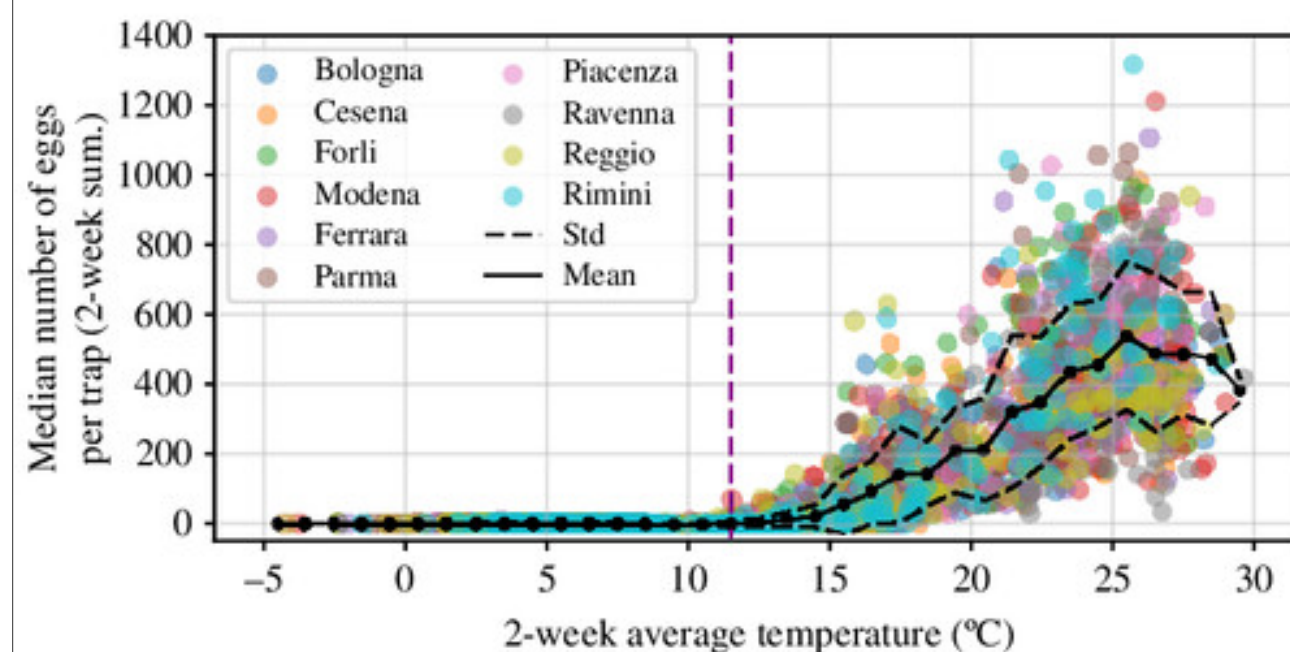


Paramètres affectés par T° et précipitation

Mortalité des vecteurs et T°

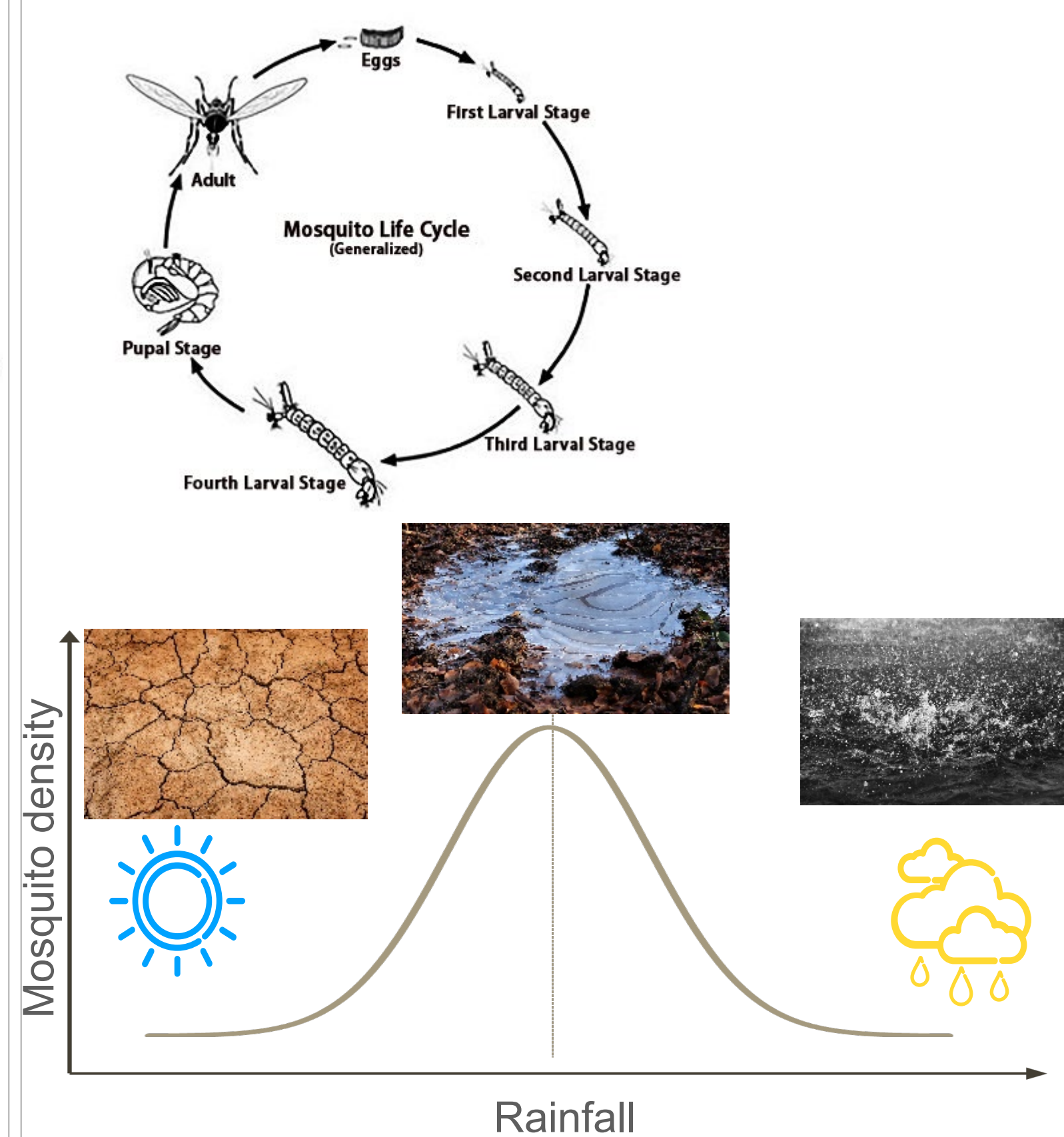


Lyons et al. 2013. [Parasites Vectors 6, 104](#)



Garrido Zornoza et al. 2024. [J. Roy. Soc. Int., 21:20240319](#)

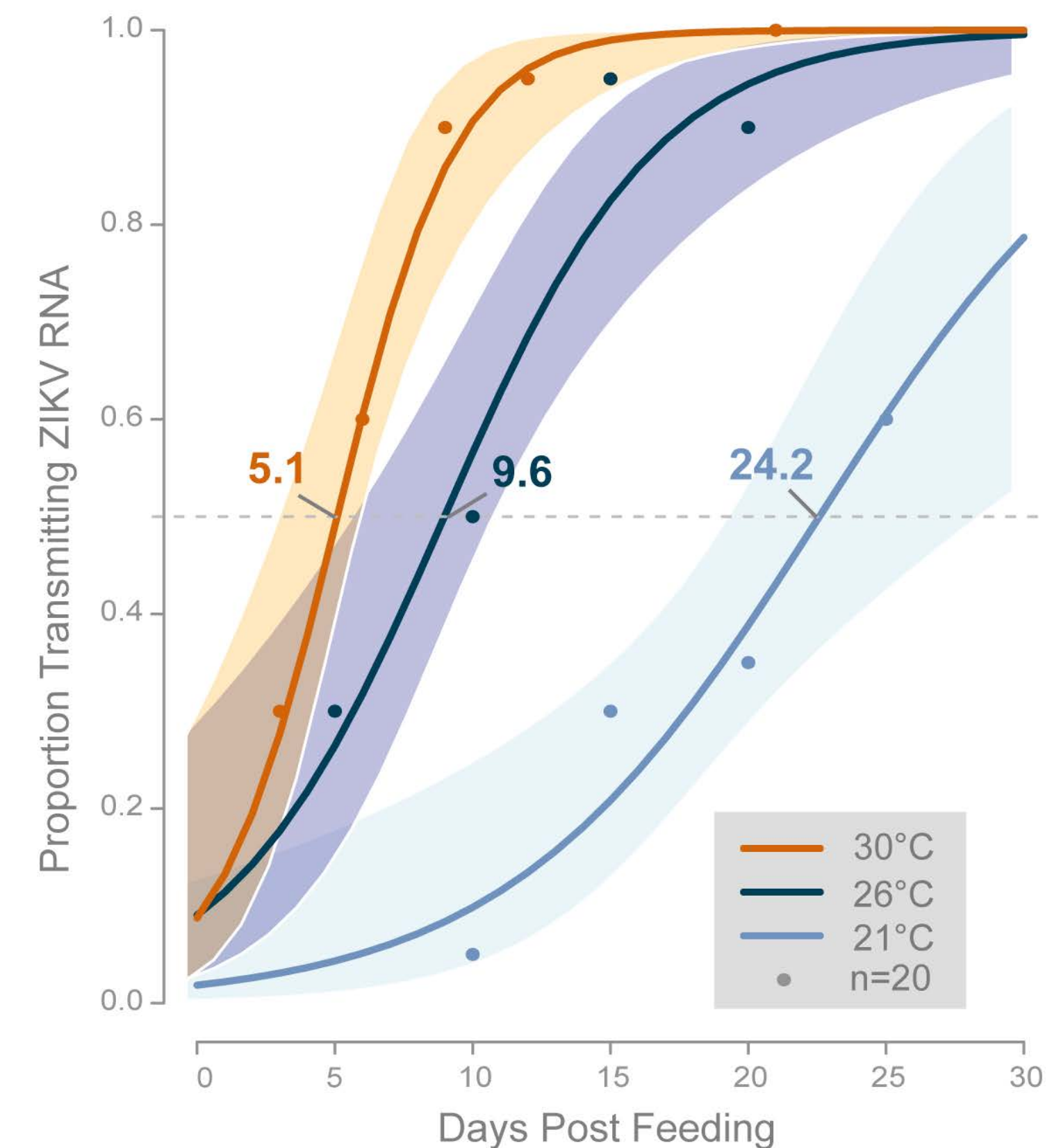
Précipitations et gîtes larvaires



Pas d'eau, pas de larves; Trop d'eau, lessivage des larves avec un rebond des populations quelques semaines plus tard.

Bourgouin & Paul 2021. [Med.Sci. 37\(1\):11-14.](#)

Période d'incubation extrinsèque et T°



Proportion de moustiques *Ae. aegypti* infectieux pour le virus du Zika à différentes températures.

Winokur et al. 2020. [PLoS Negl Trop Dis 14\(3\): e0008047](#)

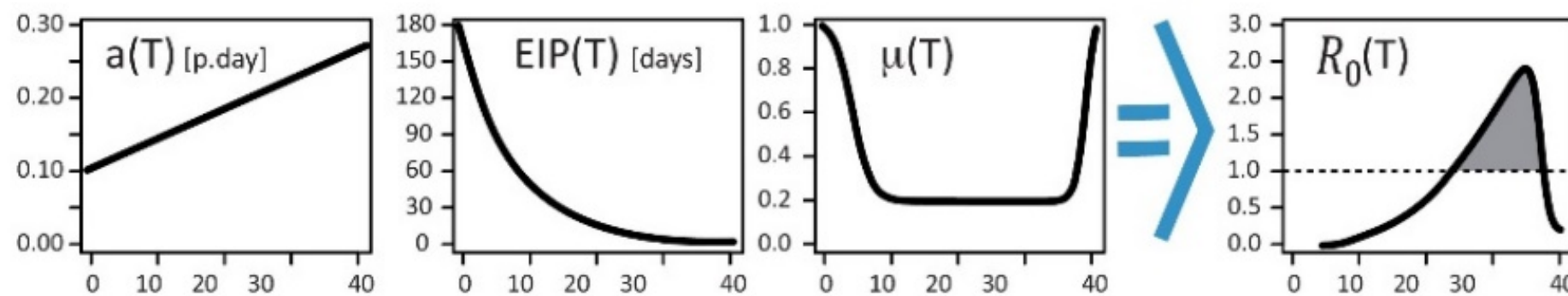
Modéliser les maladies “climato-sensibles”

(A) Dynamical model framework

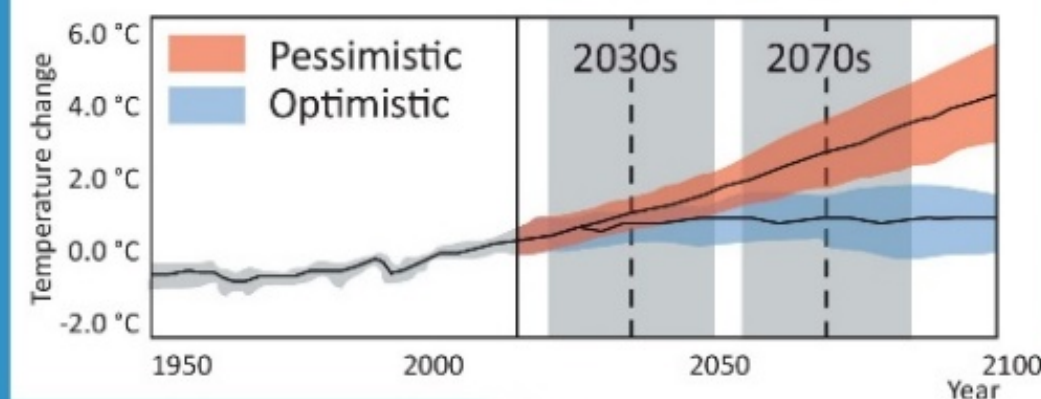
$$R_0^2(T) = \left(\frac{b\beta a(T)^2}{\mu(T)} \right) \left(\frac{v(T)}{v(T) + \mu(T)} \right) \left(\frac{m}{r+d} \right)$$

$R_0 > 1$ epidemic expands
 $R_0 < 1$ epidemic shrinks

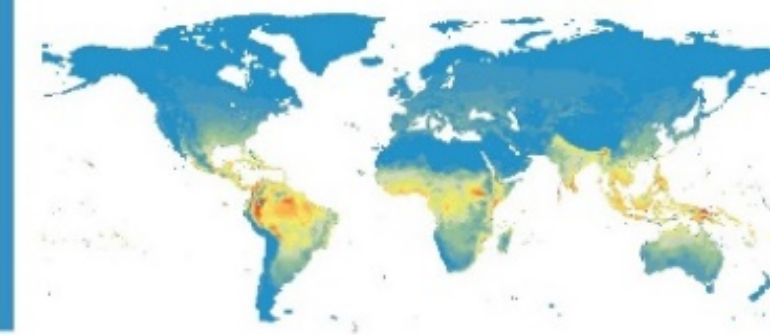
(B) Epidemiological parameters



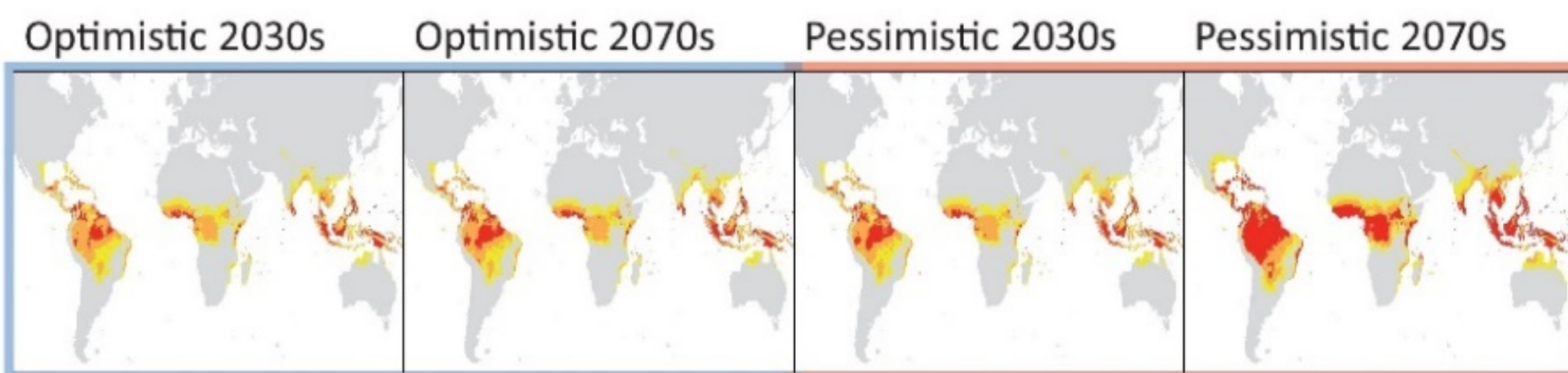
(D) Climate scenario



(C) Integration + validation

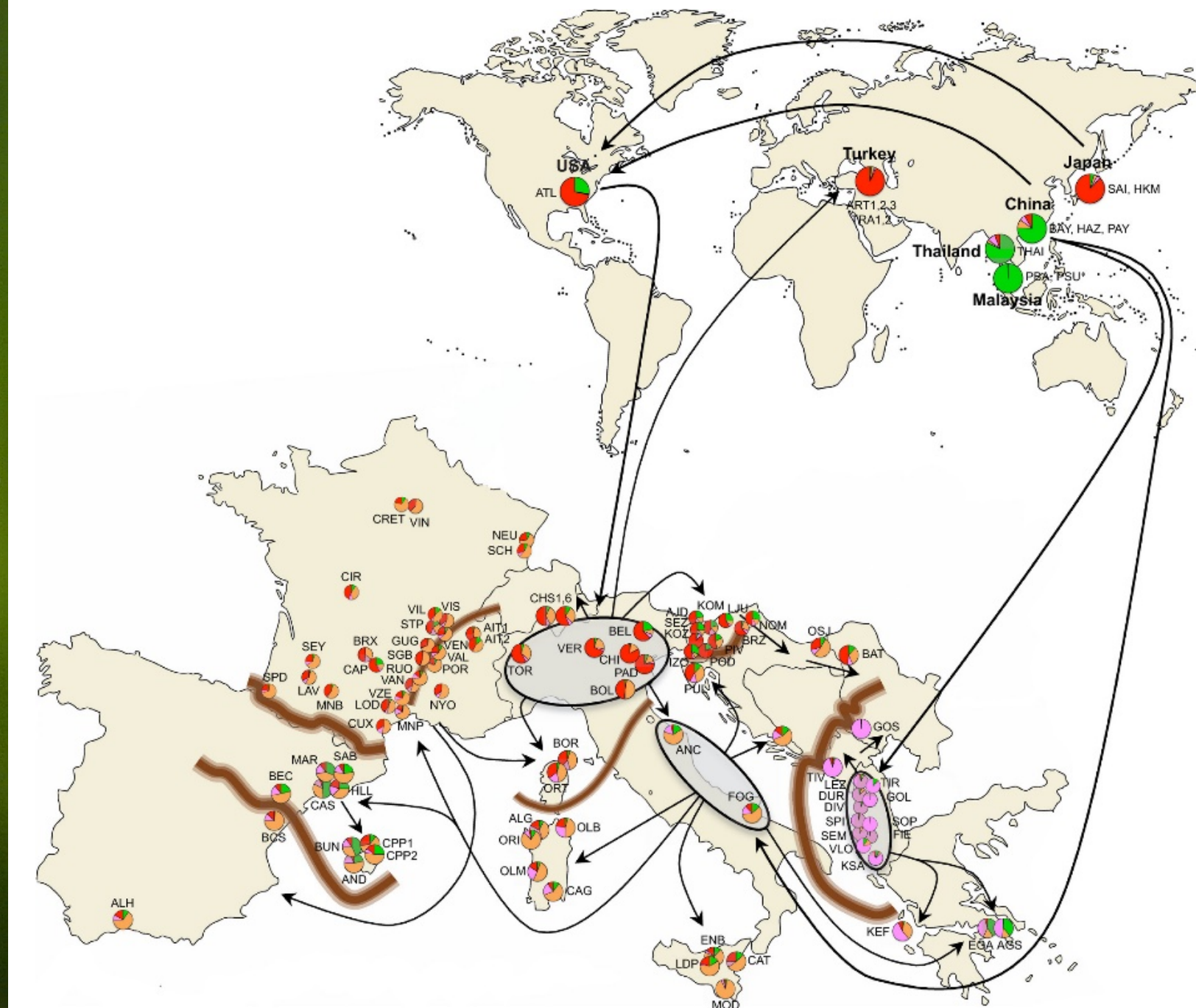


(E) Future maps - $R_0 > 1$



- Modèle $R_0(T^\circ)$, nombre de reproduction de base pour un vecteur et une hôte, pour la dengue.
- Les taux de morsure (a), de mortalité (μ) et la période d'incubation extrinsèque ($1/v$) dépendent de la T° .
- $R_0(T^\circ)$ a un optimum dans une gamme de températures tropicales / semi-tropicales.
- Le modèle est piloté par des données climatiques grillées observées.
- Les sorties du modèle sont ensuite validées avec des données épidémiologiques et entomologiques de terrain.
- Le modèle est ensuite piloté par des projections climatiques basées sur différents modèles de climat, scénarios d'émission et démographique, pour des horizons futurs.
- Les zones potentiellement à risque dans le futur sont identifiées, ainsi que les changements en saisonnalité et les incertitudes associées.

Le moustique tigre



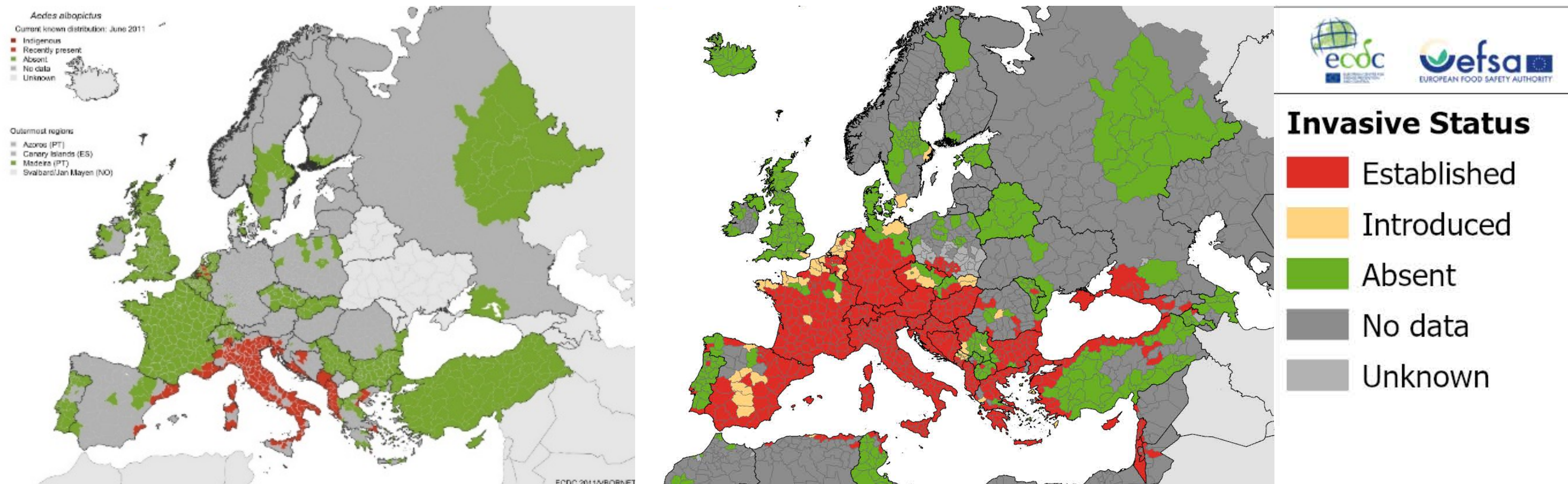
Sherpa et al., 2019. <https://doi.org/10.1111/mec.15071>

- *Ae. albopictus* est l'une des espèces les plus invasives à l'échelle mondiale
- Il peut transmettre la dengue, le chikungunya, le Zika et la fièvre jaune
- Introduit d'Asie du Sud-Est par containers, il s'est propagé rapidement

Le moustique tigre en Europe

June 2011

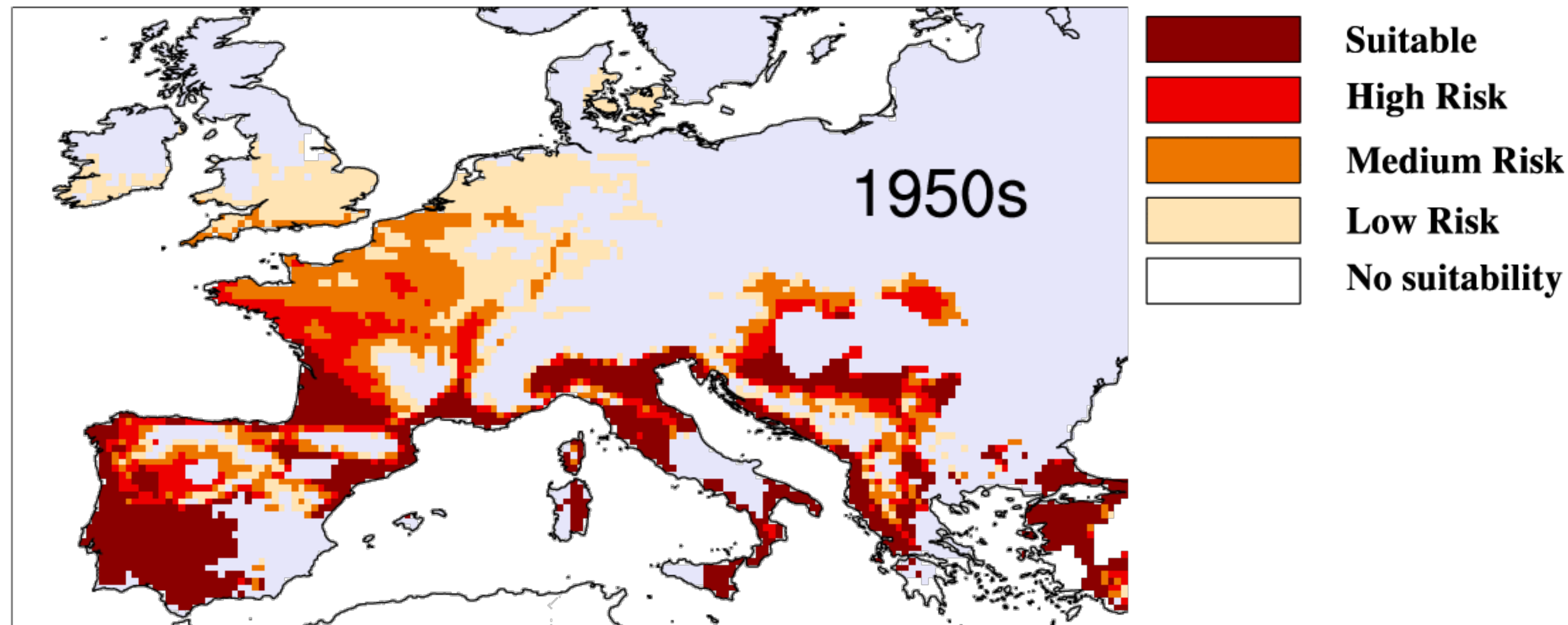
July 2024



European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority. Mosquito maps [internet]. Stockholm: ECDC; 2025

Observations

- Propagation et établissement rapide du moustique tigre en Europe.
- *Ae. albopictus* pond des oeufs diapausant qui peuvent résister aux hivers tempérés.
- *Ae. albopictus* adapté au milieu urbain.

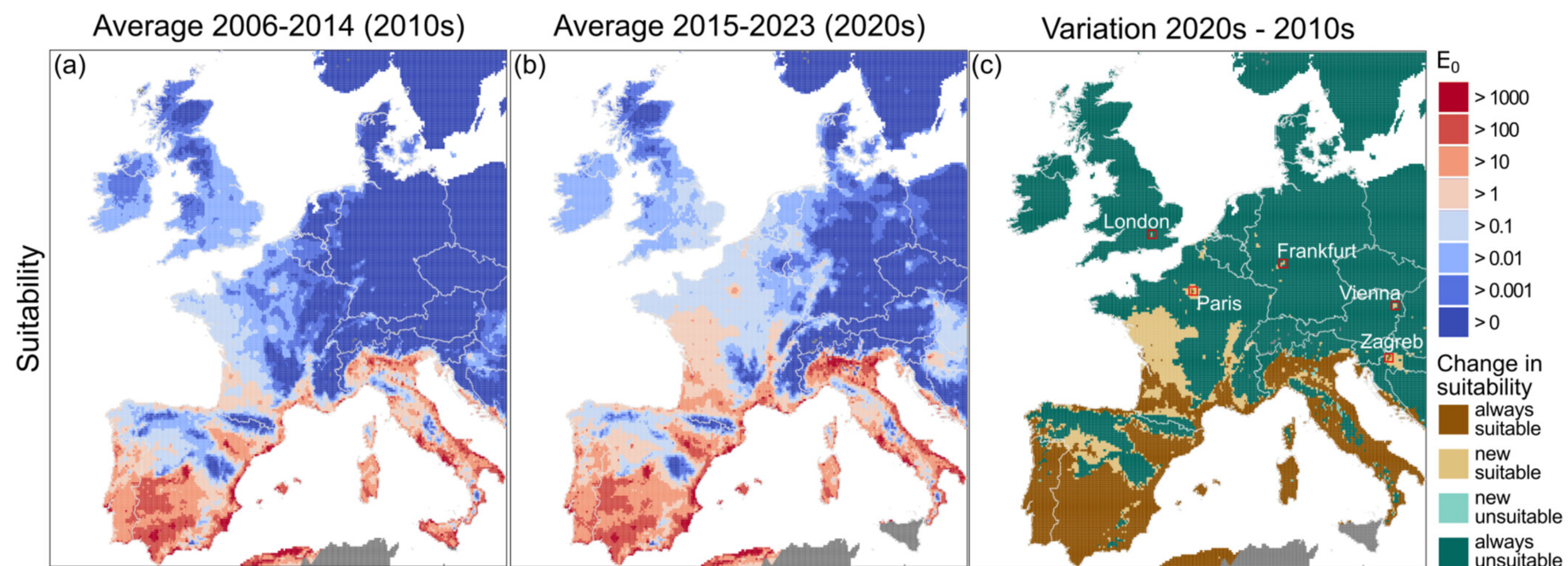


Caminade et al. (2012) *J. R. Soc. Int.* (9), 75, 2708-2717

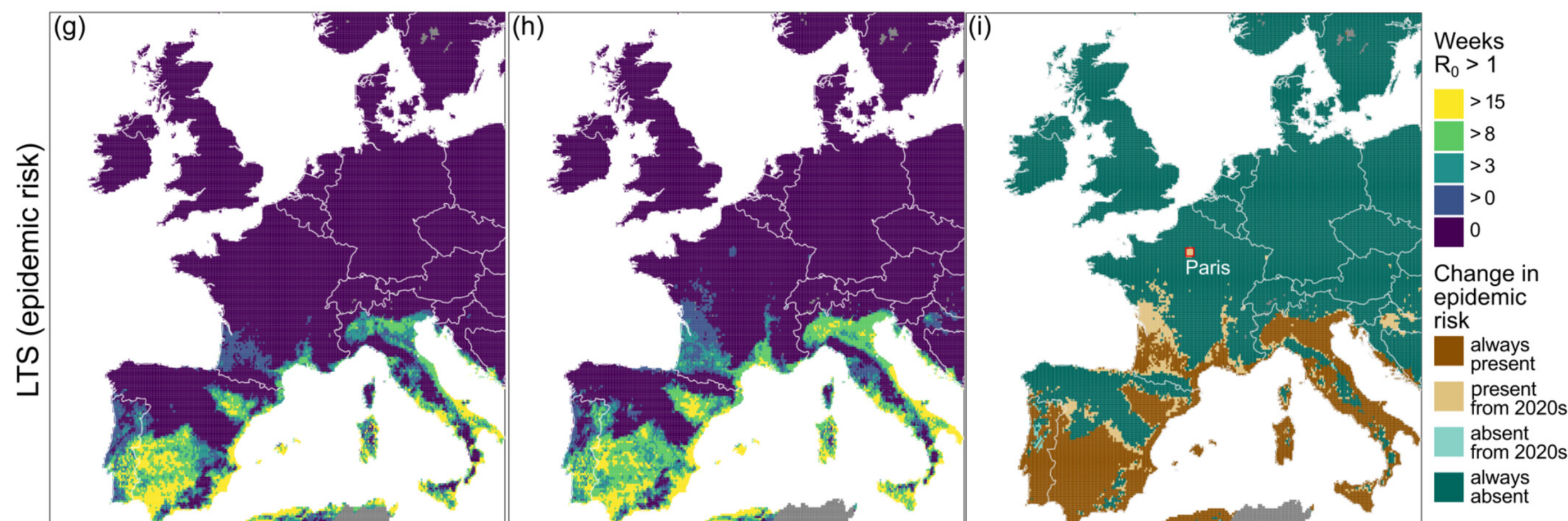
Simulations

- Les conditions climatiques historiques étaient déjà hospitalières à l'établissement du moustique tigre en Europe.
- Le climat européen devient plus hospitalier sur le centre et le Nord de l'Europe et moins hospitalier dans le Sud.

Le moustique tigre en France



Aires hôpitalières à l'établissement d'*Ae. albopictus*



Risque de transmission de dengue par *Ae. albopictus*

- Climat plus hôtepitalier dans le Nord de la France et grandes villes du centre-Nord de l'Europe pour *Ae. albopictus* sur la période récente.
- Risque de transmission autochtone de dengue plus élevé dans le Sud de la France, avec une augmentation récente en Aquitaine ainsi qu'à Paris.
- Le moustique a rapidement rattrapé sa niche climatique théorique en France métropolitaine.

Radici A. et al. (2025) [Glob. Chang. Biol., 31\(8\):e70414](https://doi.org/10.1016/j.glo.2025.100414).

Cas autochtones d'arboviroses en augmentation

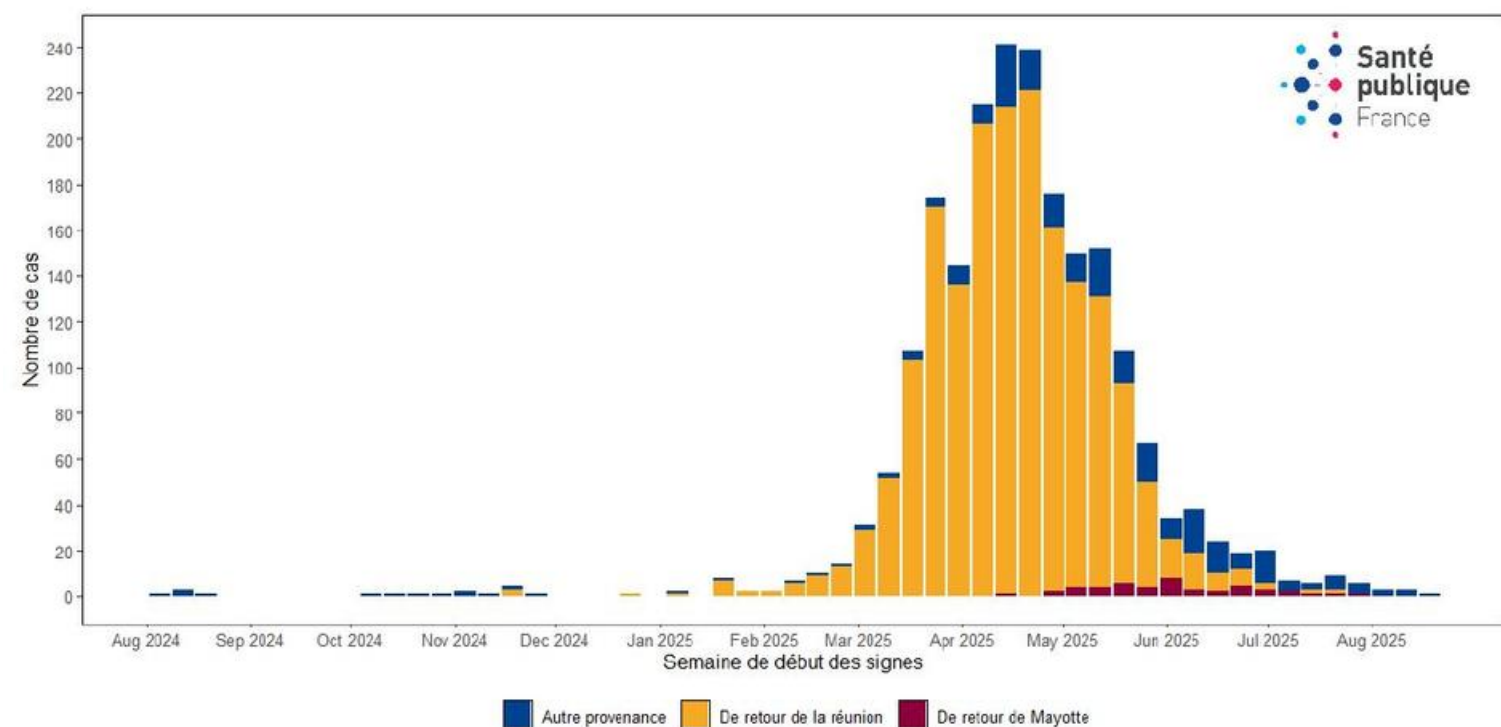
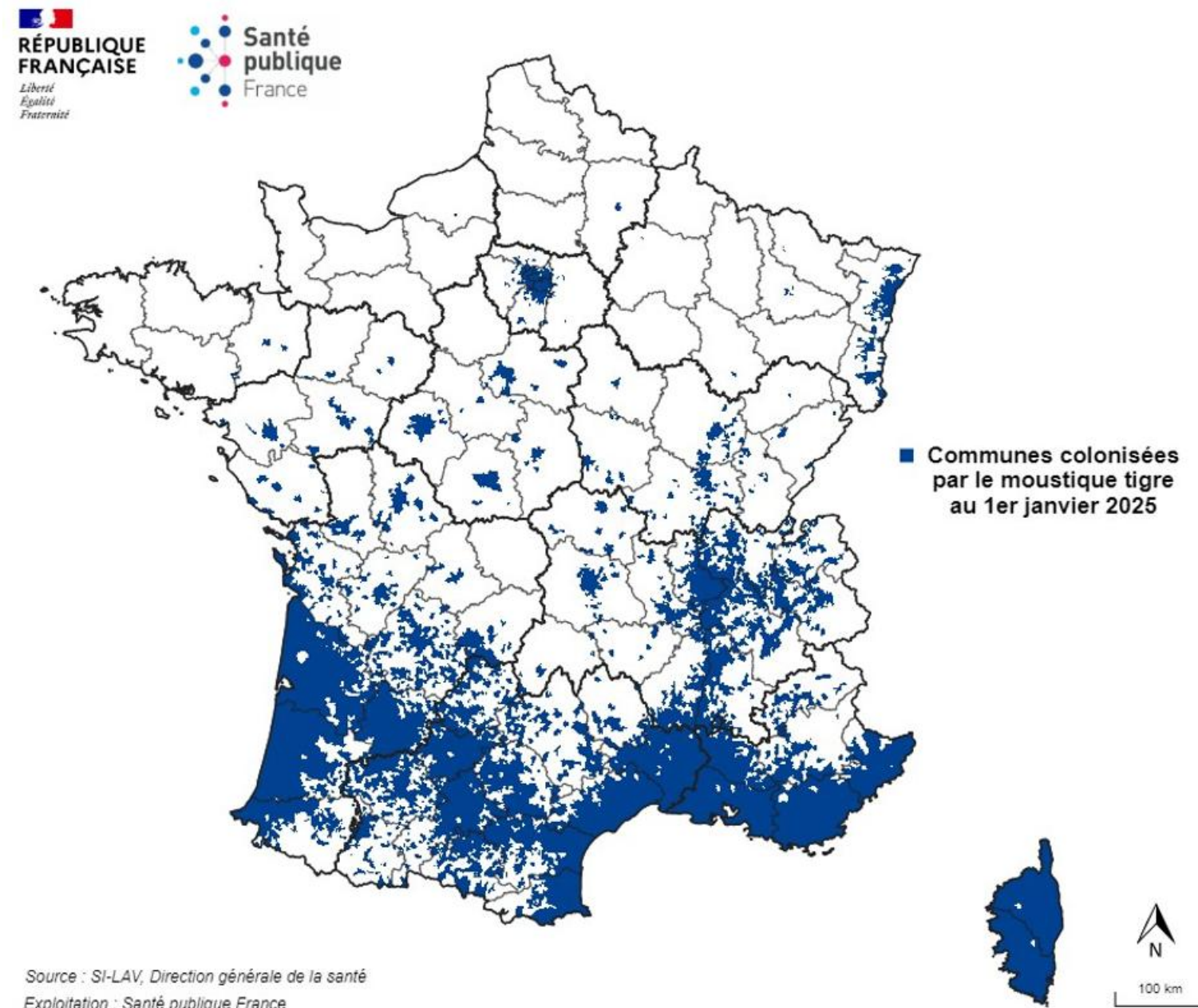


Figure 3 : Nombre de cas de chikungunya importés en France hexagonale, par zone de séjour (août 2024 - août 2025), données non consolidées arrêtées au 26 août 2025

Localisation des épisodes de transmission autochtone - 2025

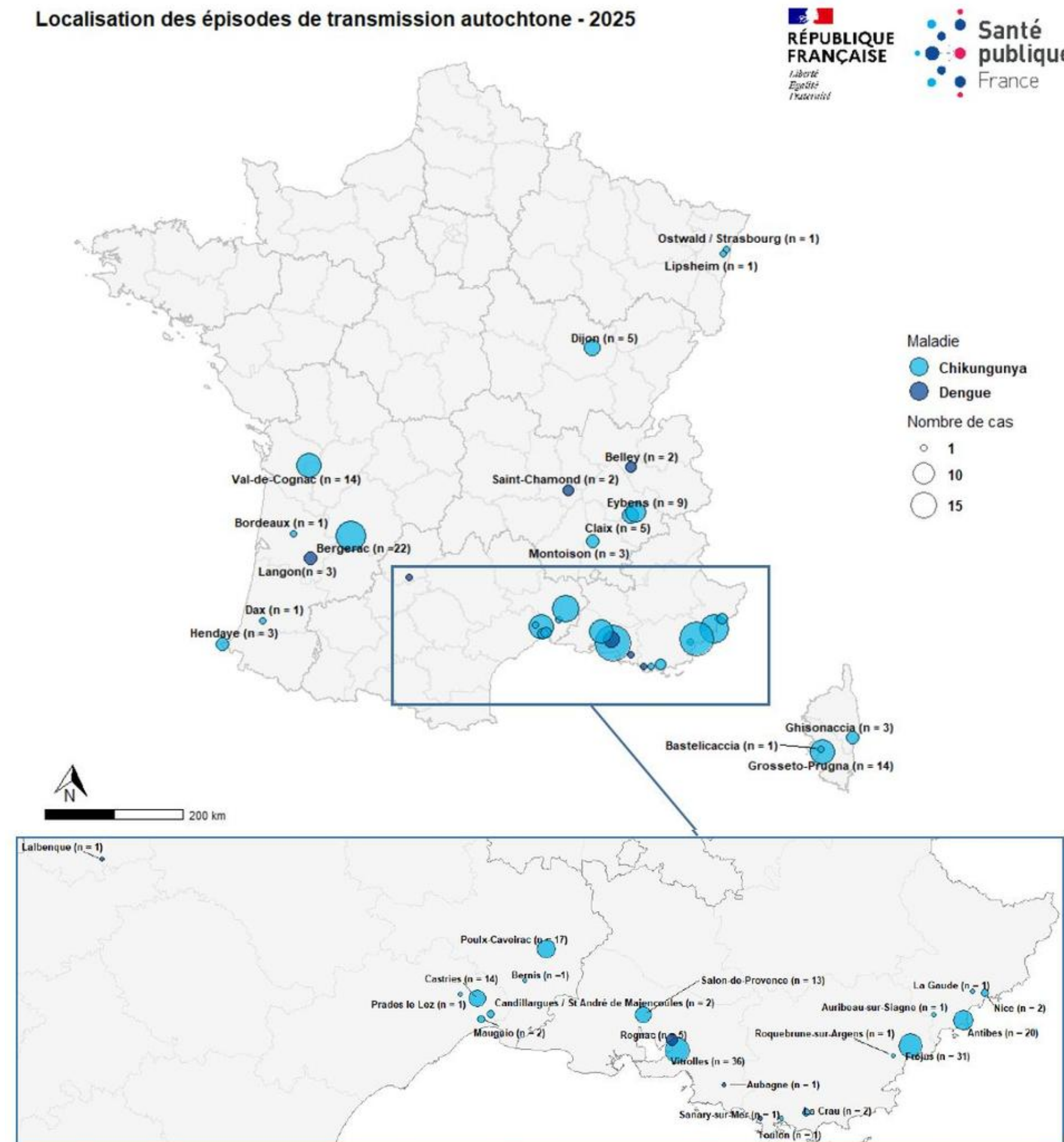
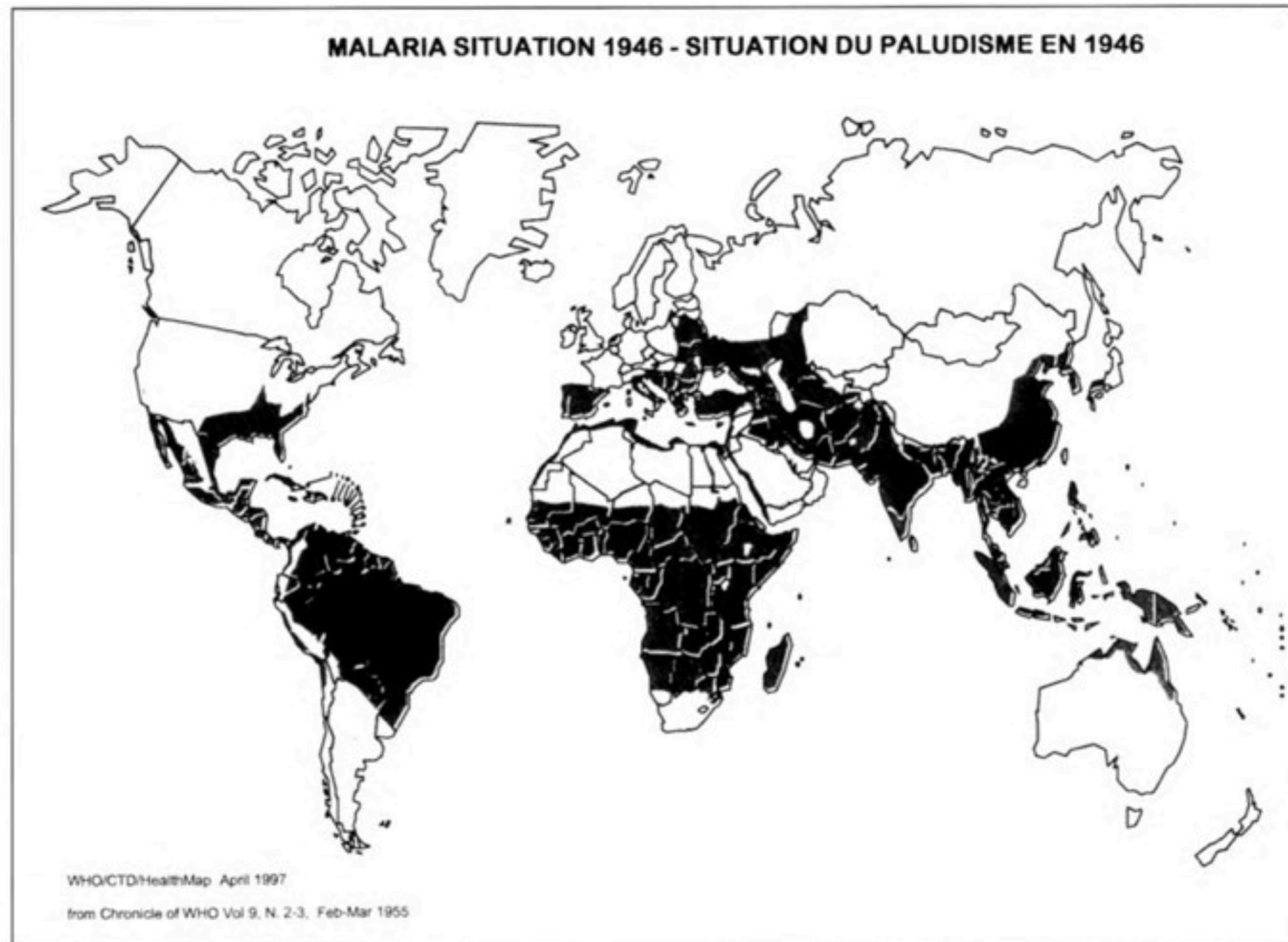


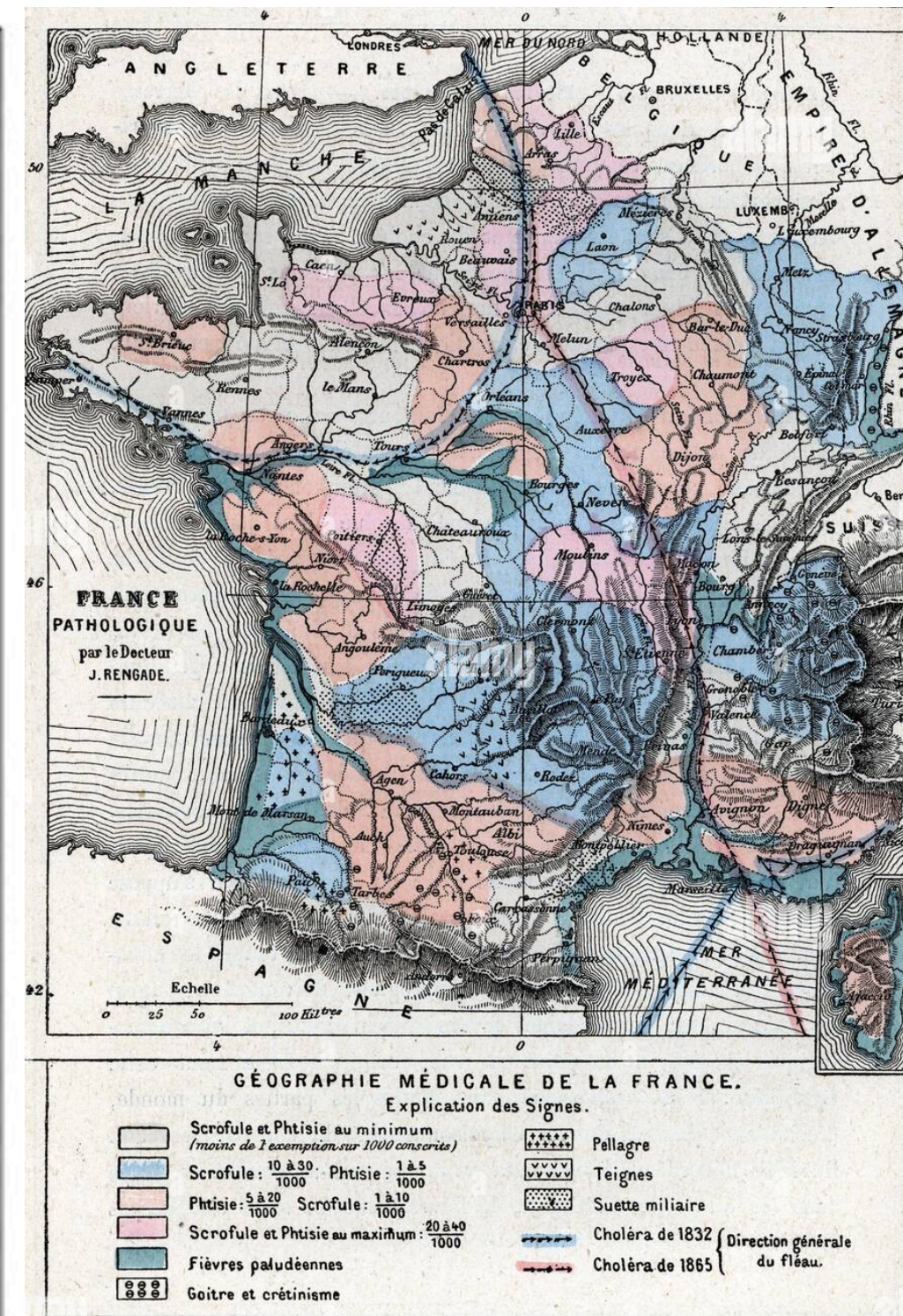
Figure 1 : Carte des épisodes de transmission autochtone de chikungunya et de dengue en France hexagonale, saison 2025, à la date du 26/08/2025

- Le moustique tigre a déjà colonisé une grande partie du territoire et des villes en France (*en haut à gauche*).
- Le nombre de cas importés de chikungunya provenant de la Réunion a explosé en Avril-Mai 2025, coïncidant avec le début de la saison d'activité du moustique tigre en France (*en bas à gauche*).
- De nombreux cas **autochtones** de **chikungunya** (n=749) et de **dengue** (n=29) ont ensuite été rapportés, avec un foyer important de chikungunya à Bergerac et de nombreux cas dans le Sud-Est (*à droite*).

Le paludisme



1946 map by kind permission of the World Health Organisation) - **Malaria in the Great War** by Dr David Payne



"La nature et l'homme" de Rengade 1881
Private collection.



Carta della Malaria, Luigi Torelli (Florence: 1882)



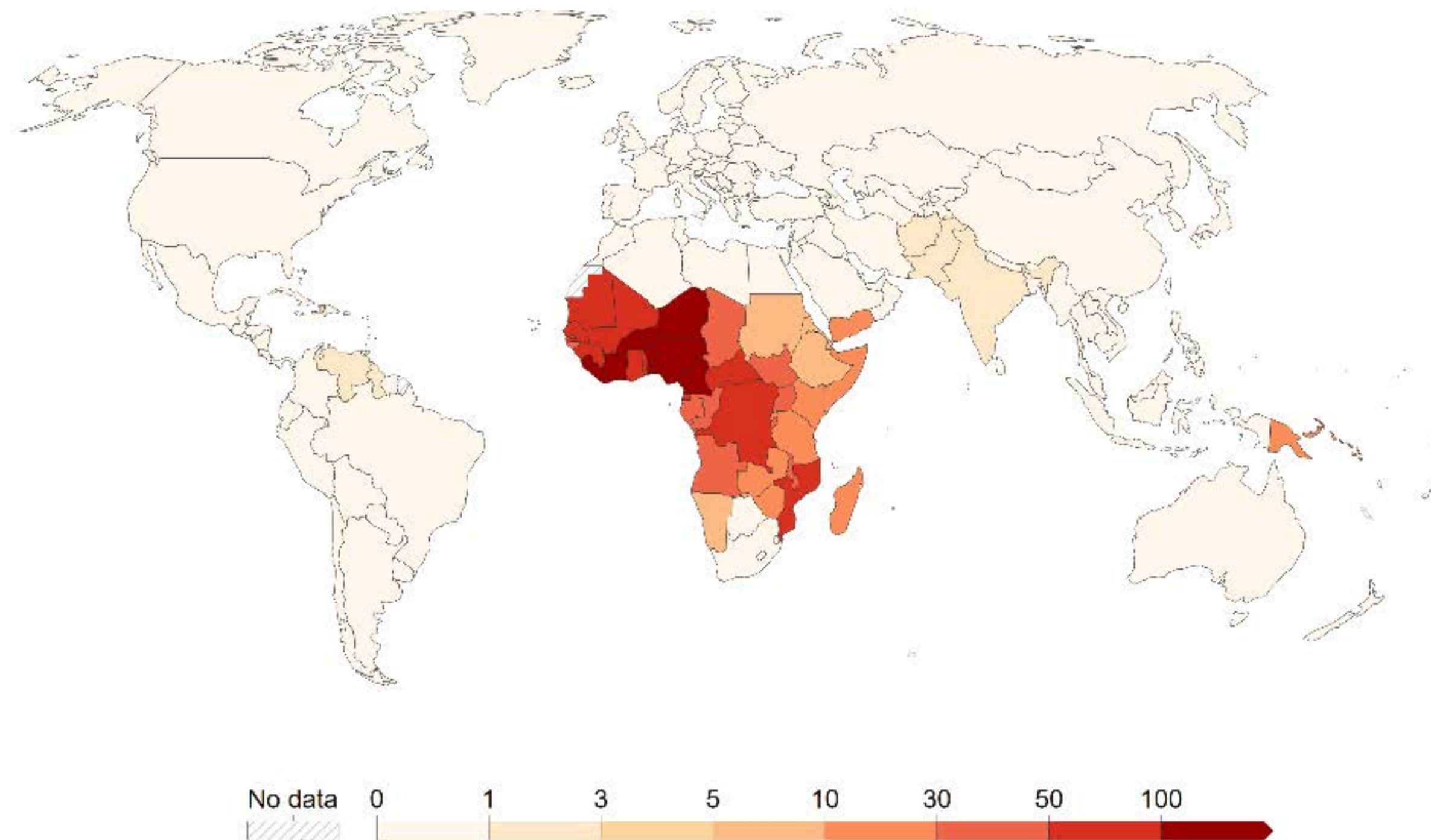
- Le paludisme est une maladie parasitaire (5 types de *Plasmodium*) transmise par des moustiques du genre Anophèles.
- La maladie affectait les zones tempérées avant l'implémentation des méthodes de contrôle (DDT) post WWII.
- Toropov (1864) a noté ce qui suit dans « L'expérience de la géographie médicale dans le Caucase en ce qui concerne les fièvres intermittentes » : « Les fièvres n'existent pas dans les endroits où la température estivale moyenne est inférieure à 16,2°C.
- Vieille maladie affectant l'humanité: la mort du pharaon Tutankhamon aurait été causée par une fracture de sa jambe gauche et un épisode sévère de paludisme.

Le paludisme aujourd'hui

Death rate from malaria, 2019

The number of deaths from malaria¹ per 100,000 people.

Our World
in Data



Source: IHME, Global Burden of Disease (2019)

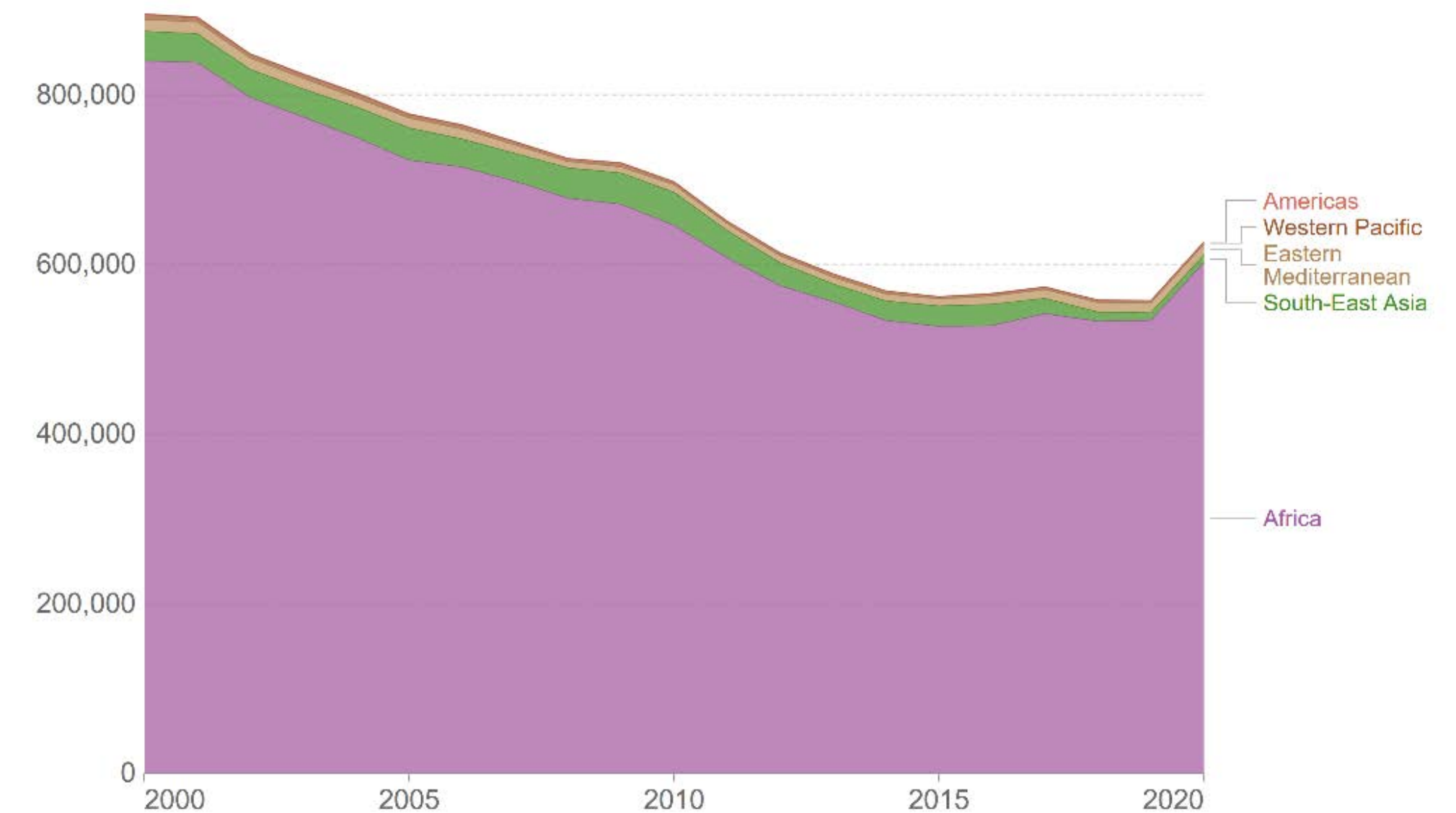
Note: To allow comparisons between countries and over time this metric is age-standardized.

OurWorldInData.org/malaria • CC BY

Malaria deaths by world region

The estimated annual number of deaths from malaria¹.

Our World
in Data



Source: WHO, Global Malaria Programme (2021)

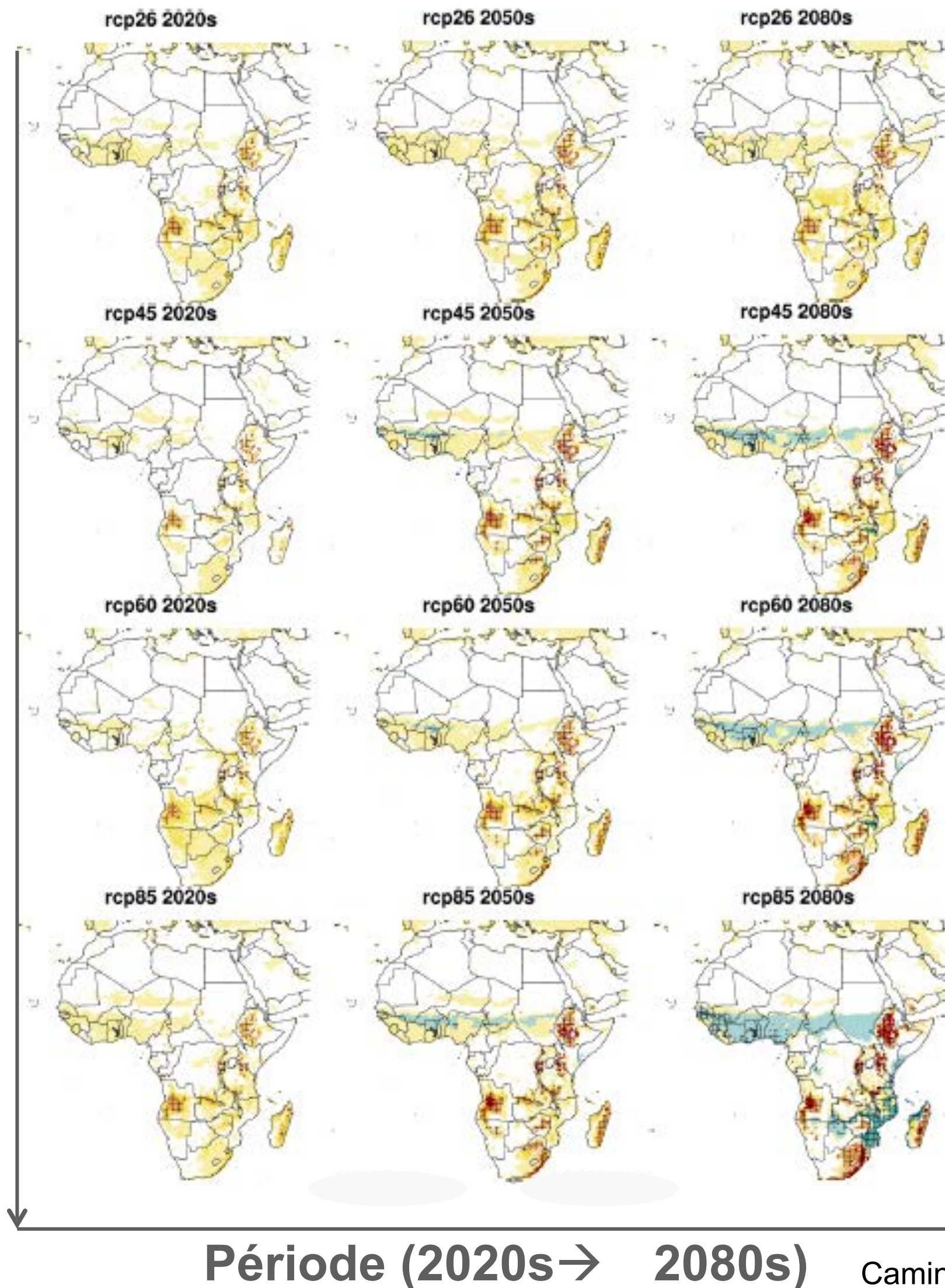
OurWorldInData.org/malaria • CC BY

1. Malaria: Malaria is a life-threatening disease caused by parasites that are transmitted by female Anopheles mosquitoes. There are five parasite species that cause malaria in humans. Two of these species – *P. falciparum* and *P. vivax* – pose the greatest threat. The first symptoms – fever, headache and chills – usually appear 10 to 15 days after the infective mosquito bite and may be mild and difficult to recognize as malaria. Left untreated, *P. falciparum* malaria can progress to severe illness and death within 24 hours.

- Le paludisme affecte principalement le continent Africain.
- Le nombre de cas et la mortalité associée ont diminué de manière significative depuis le début des années 2000, ce progrès est principalement lié aux méthodes de contrôle mises en place (moustiquaires, campagnes d'insecticides, tests rapides, traitements).
- Rebond récent du nombre de décès en Afrique, mais aussi dans d'autres zones géographiques.

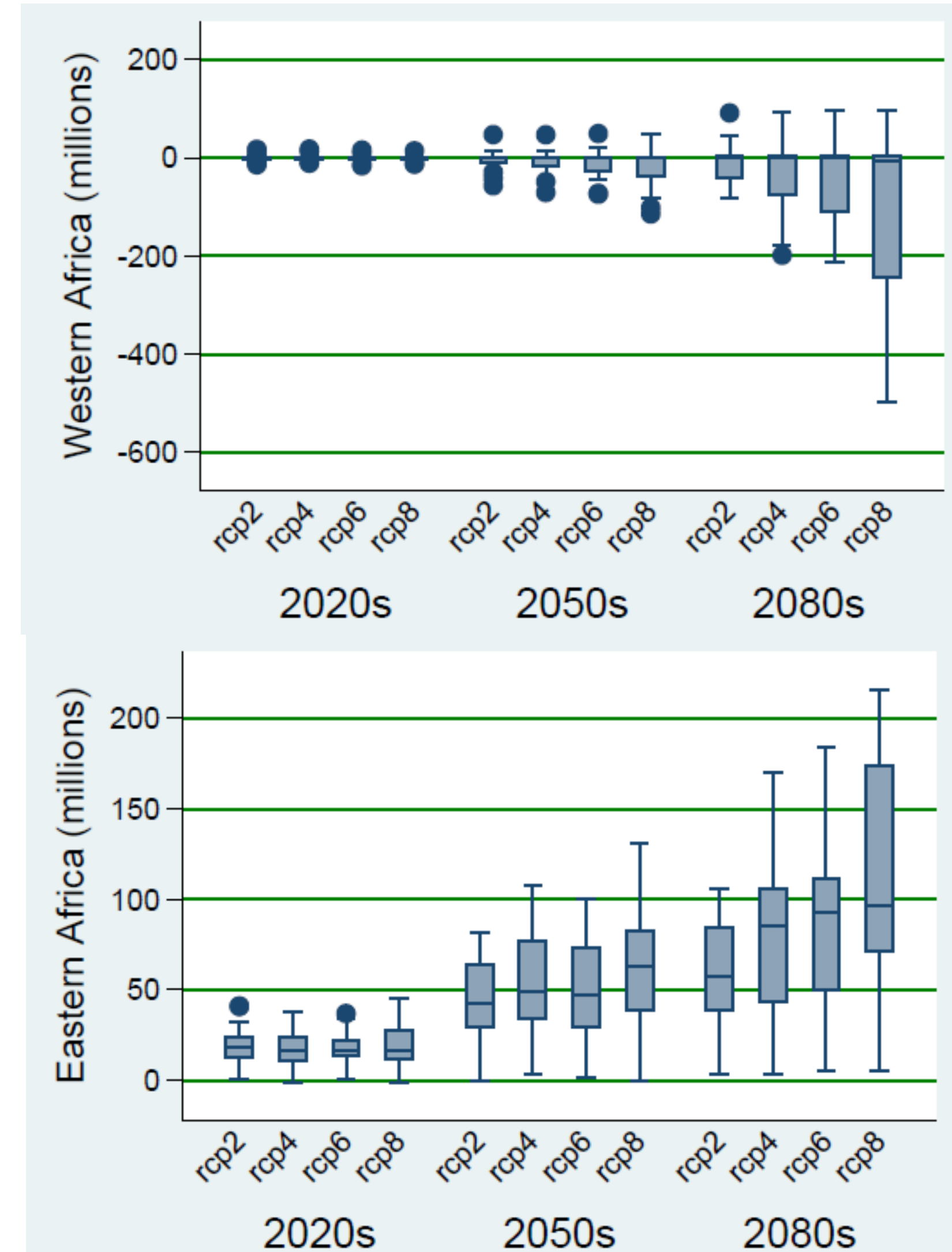
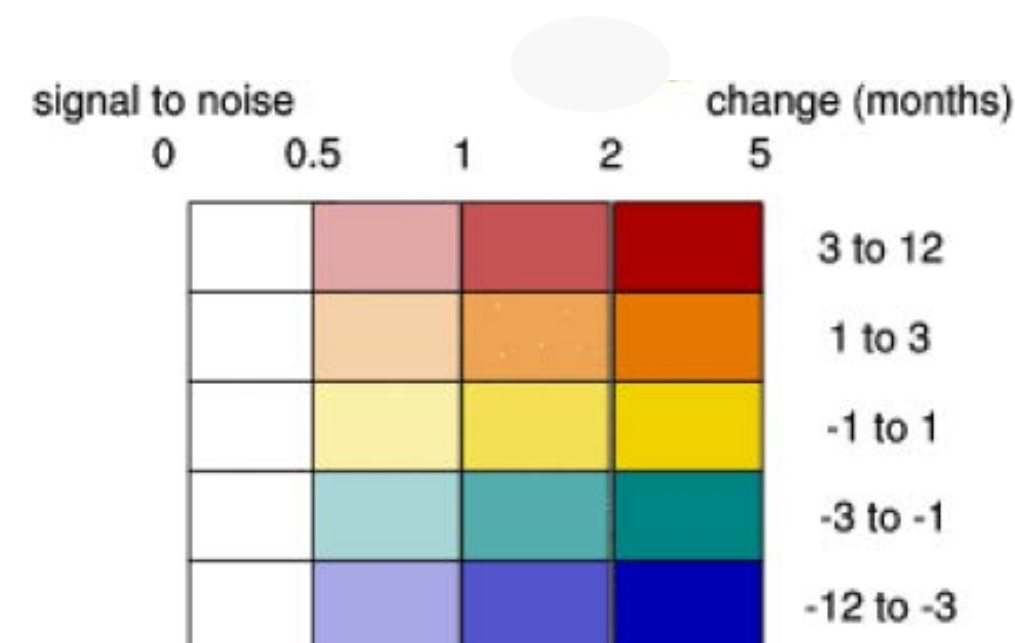
Paludisme: scénarios futurs

Scénario d'émission (extrême ← modéré)



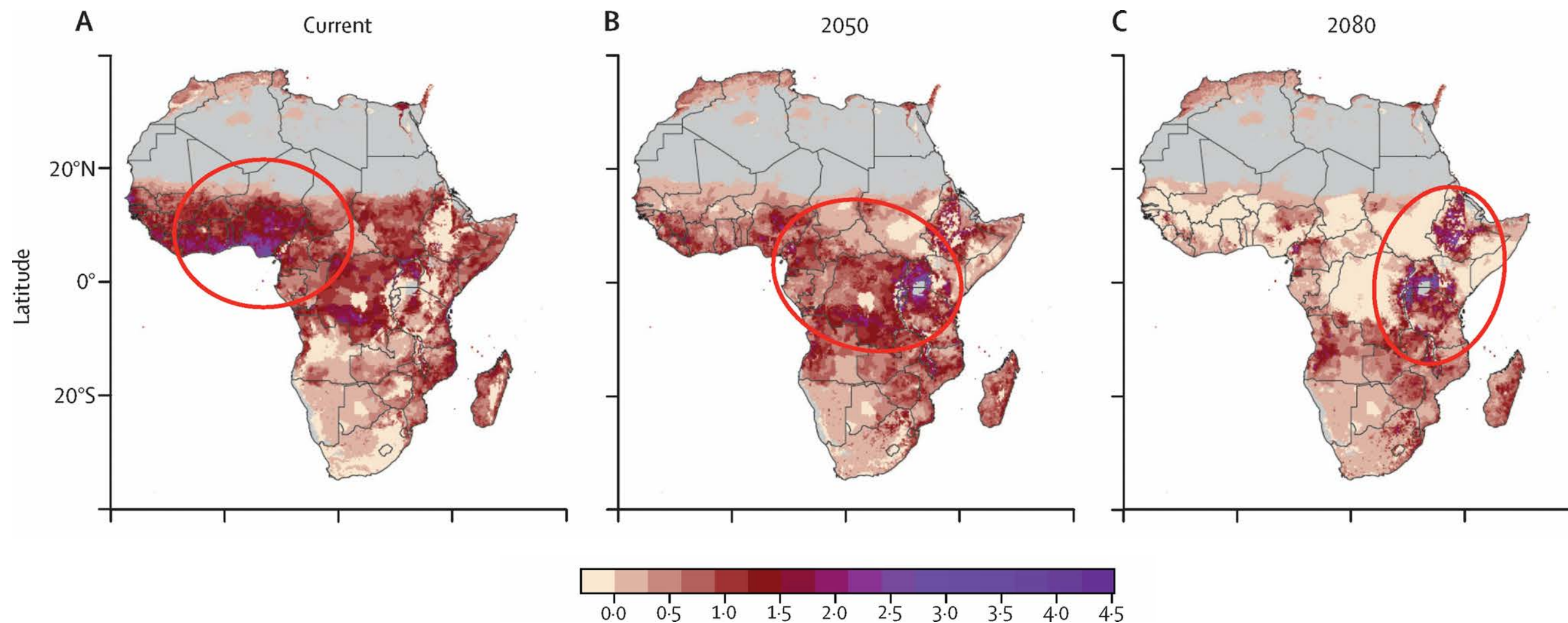
Changement de la durée de la saison de transmission du paludisme (en mois, à gauche). Population additionnelle à risque (en millions, à droite).

- Allongement de la saison de transmission simulé sur les zones d'altitude en Afrique et sur la côte Est de l'Afrique du Sud.
- Contraction sur la zone Sahélienne et sur les côtes du Mozambique.
- Population à risque augmente en Afrique de l'Est et diminue en Afrique de l'Ouest.



Paludisme: scénarios futurs

Scénario classique (RCP8.5) du GIEC

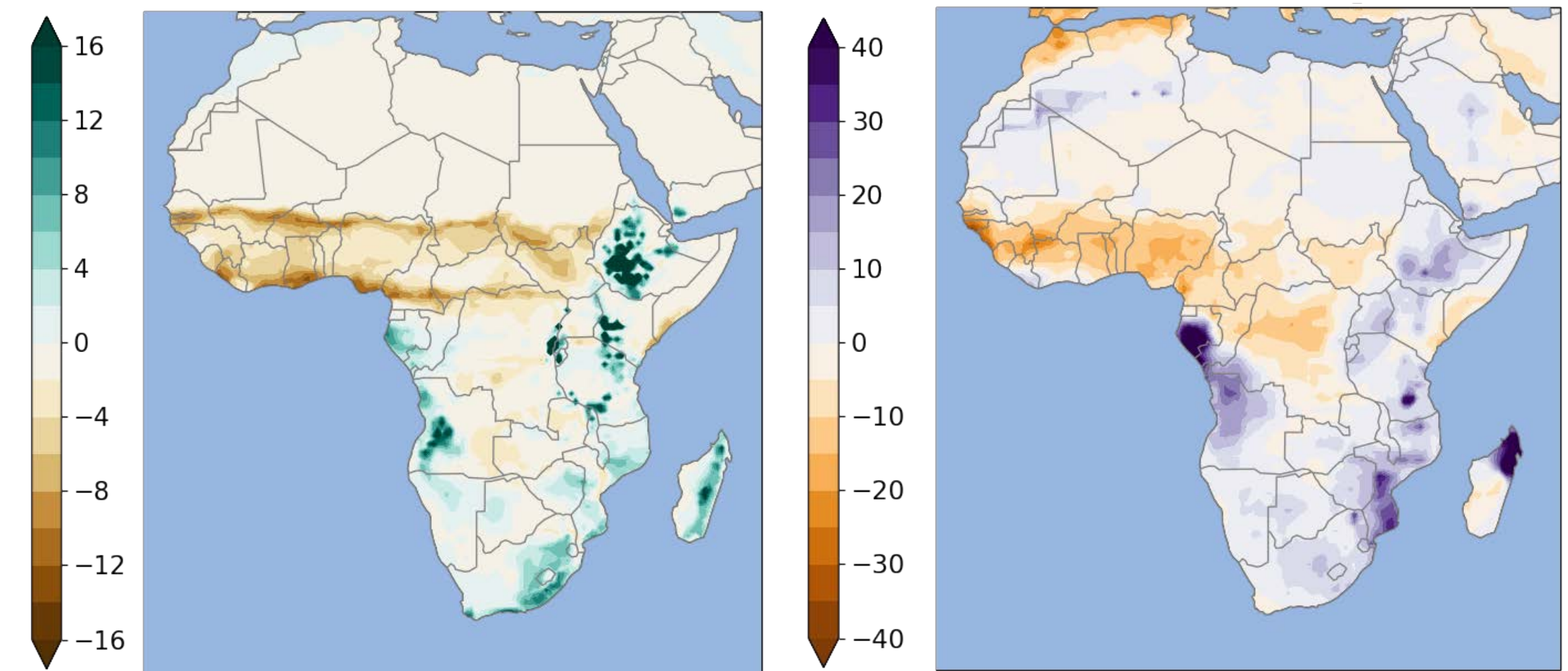


Résultats similaires mais plus marqués avec une diminution très forte du risque de transmission sur l'Afrique de l'Ouest et centrale.

Temperature-driven malaria risk hotspot

Mordecai, Erin A et al. [The Lancet Planetary Health](#), 4(9): e416-423

Fonte accélérée de la glace au Groenland



Décalage vers le Sud de la bande de pluie ainsi que de la zone de transmission du paludisme dans le cas d'un scénario de rupture (fonte de glace du Groenland équivalente à +3m SLR).

Chemison, A. et al (2021) [Nat Commun](#) **12**, 3971

Paludisme: autres challenges

Malaria on the rise in Madagascar as climate change leaves healthcare out of reach

News and Press Release • Source: [MSF](#) • Posted: 25 Apr 2024 • Originally published: 25 Apr 2024 • Origin: [View original](#)



Primary country:

[Madagascar](#)

Source:

[Médecins Sans Frontières](#)

Format:

[News and Press Release](#)

Themes:

[Climate Change and Environment](#) / [Food and Nutrition](#) / [Health](#)

Disaster type:

[Flood](#) / [Tropical](#)

Language:

[English](#)

Invasive *Anopheles stephensi* Could Redefine the Epidemiology of Malaria in Africa

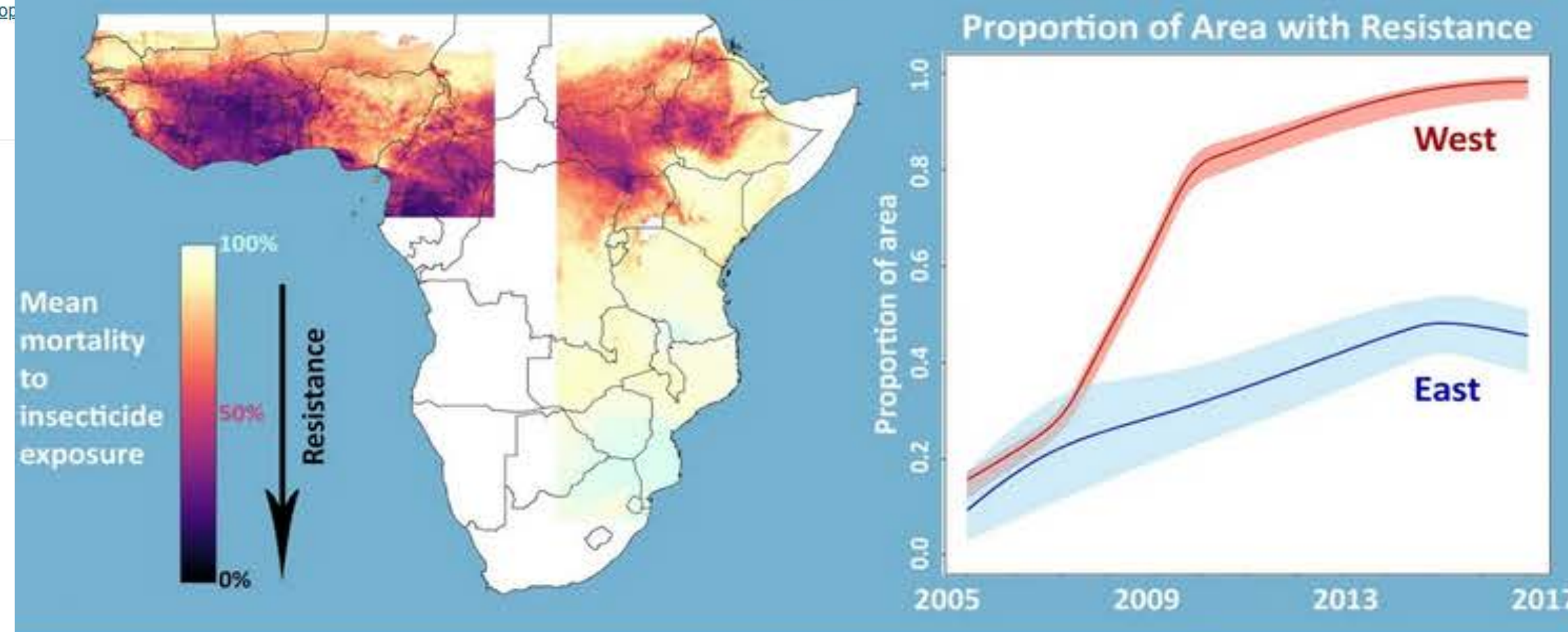
Episode 708

Thomas Locke

Host of the Malaria Minute podcast



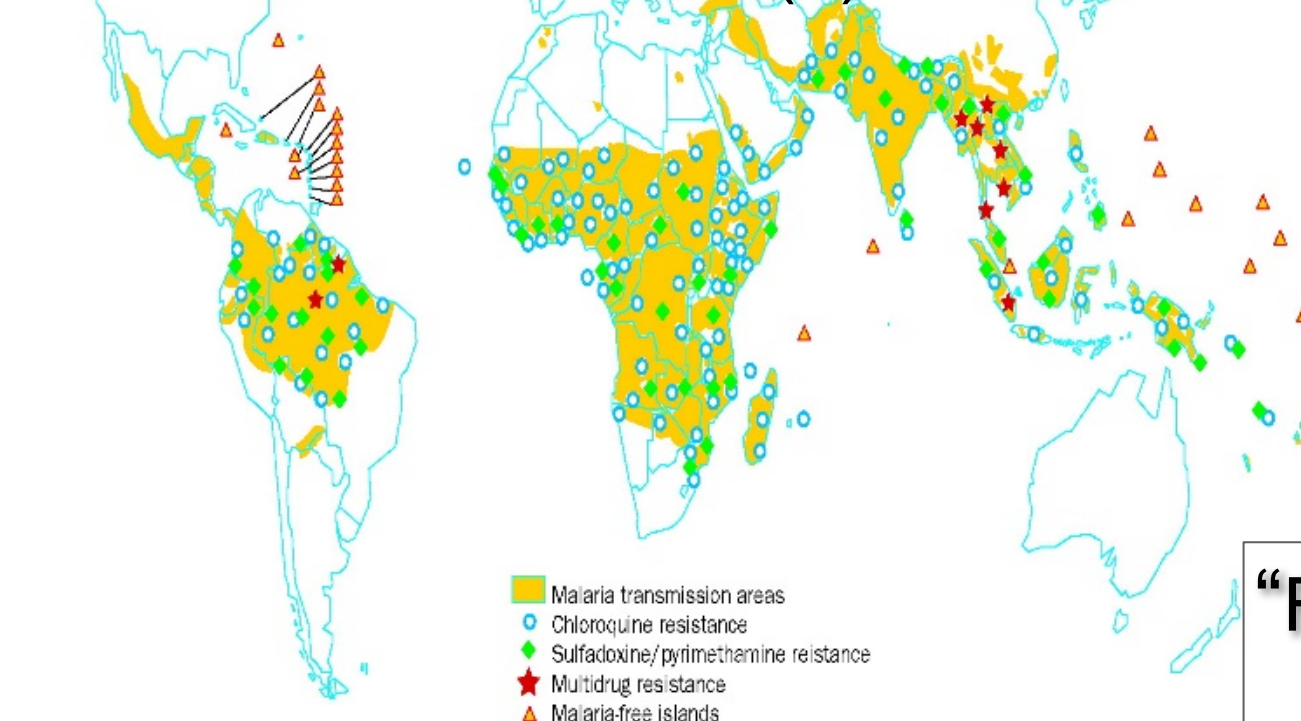
Deltamethrin Resistance in *Anopheles gambiae* s.l. mosquitoes



<https://www.bdi.ox.ac.uk/news/tracking-the-spread-of-mosquito-insecticide-resistance-across-africa>

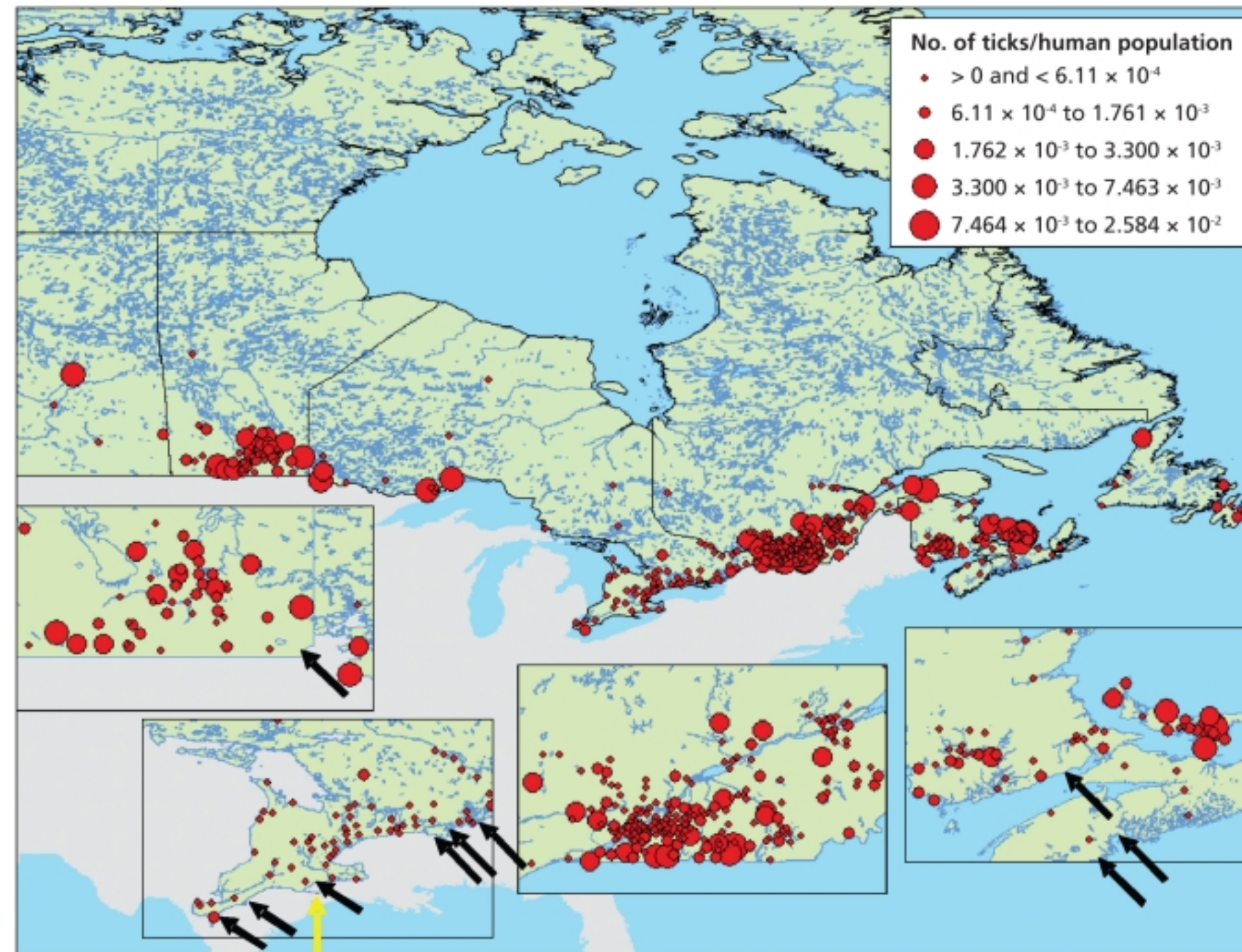
Drug resistance

Wongsrichanalai, C. et al. [The Lancet Infectious Diseases](#), 2(4):209-18



“Following the floods in Pakistan, a major malaria epidemic ensued, leading to a fivefold increase in malaria cases in 2022, compared with the previous year” ([WHO 2024 malaria report](#))

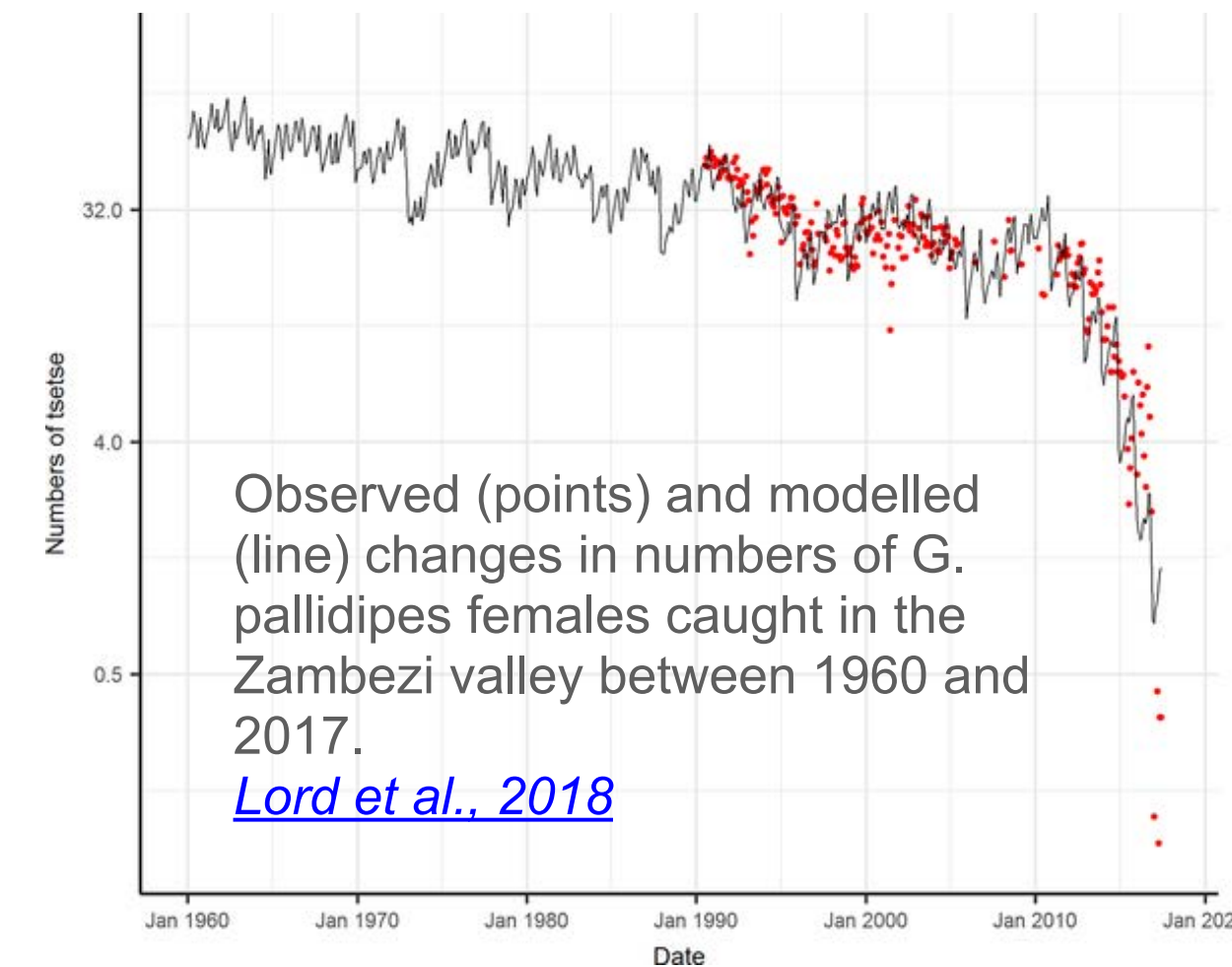
Autres vecteurs et maladies vectorielles



The distribution of *Ixodes scapularis*, reflecting information submitted to provincial and federal public health agencies from January 1990 to December 2003 and to the Lyme Disease Association of Ontario for 1993 to 1999

[Ogden et al., 2008](#)

African Trypanosomiasis in Zambezi valley



Observed (points) and modelled (line) changes in numbers of *G. pallidipes* females caught in the Zambezi valley between 1960 and 2017.

[Lord et al., 2018](#)

Tick-borne encephalitis northern Russia

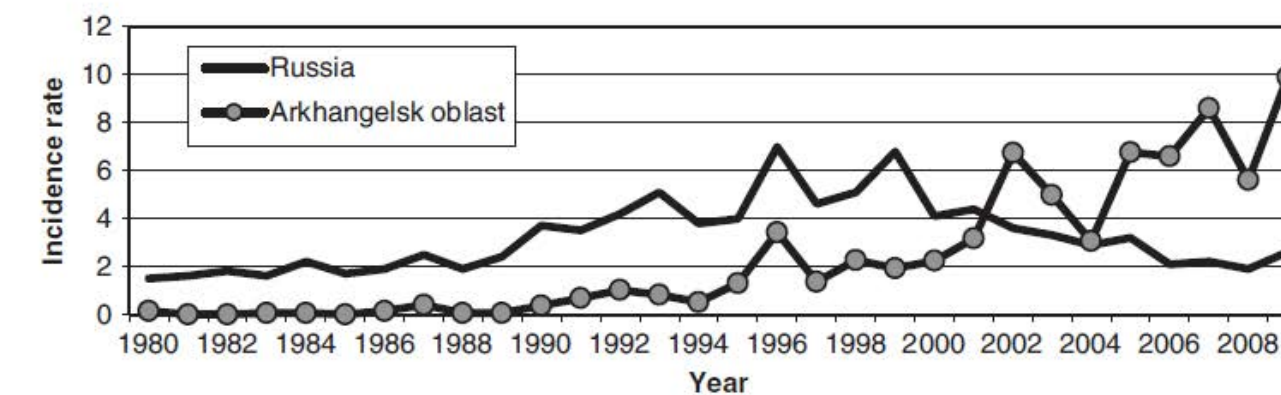


Fig. 3. TBE incidence in AO and in Russia as a whole in 1980—2009.

[Tokarevich et al., 2011](#)

[Caminade et al., 2019](#)

Ann. N.Y. Acad. Sci. ISSN 0077-8923

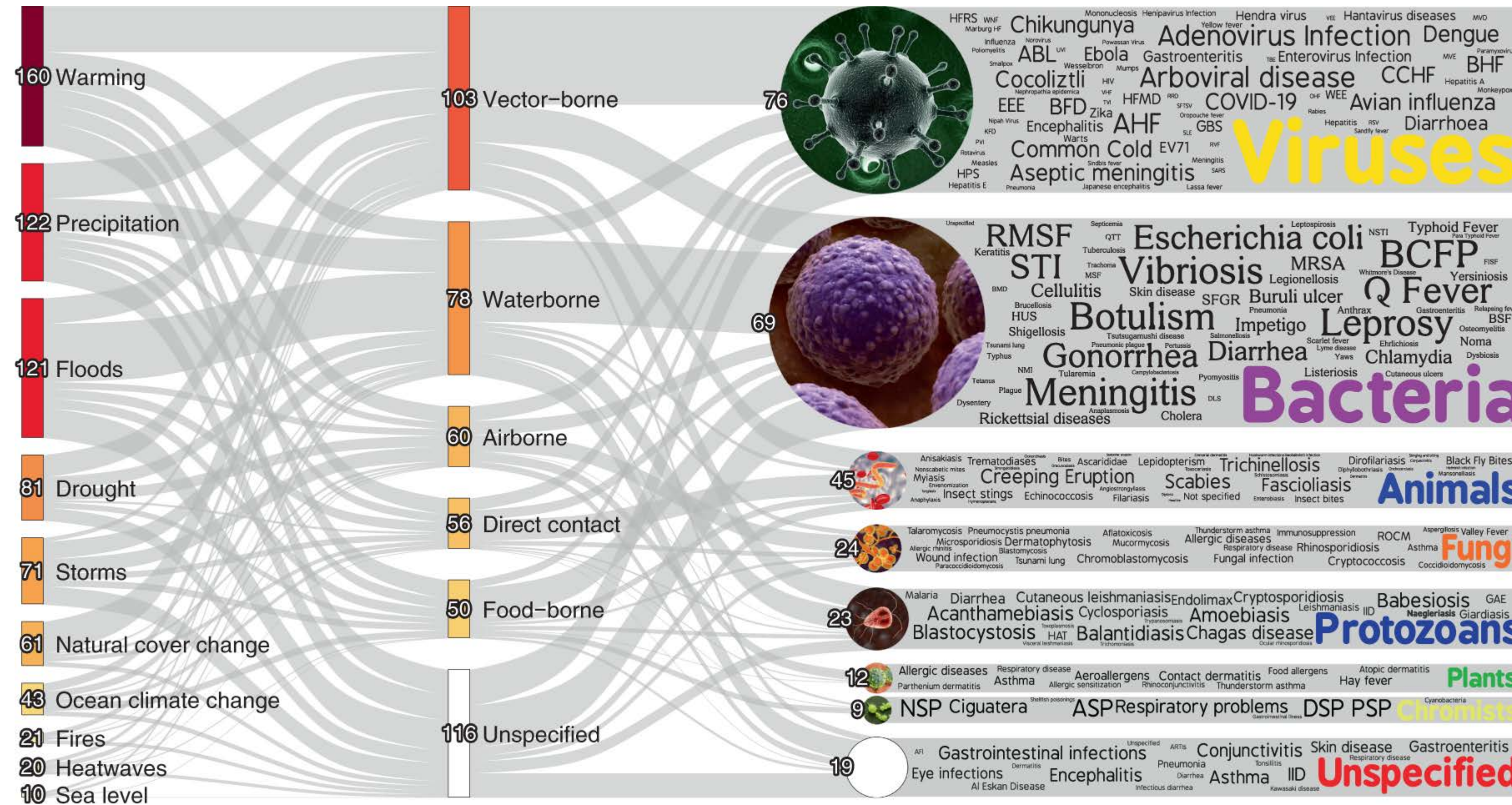
ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES
Special Issue: Climate Sciences
REVIEW

Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases

Cyril Caminade, ^{1,2} K. Marie McIntyre, ^{1,2} and Anne E. Jones ³

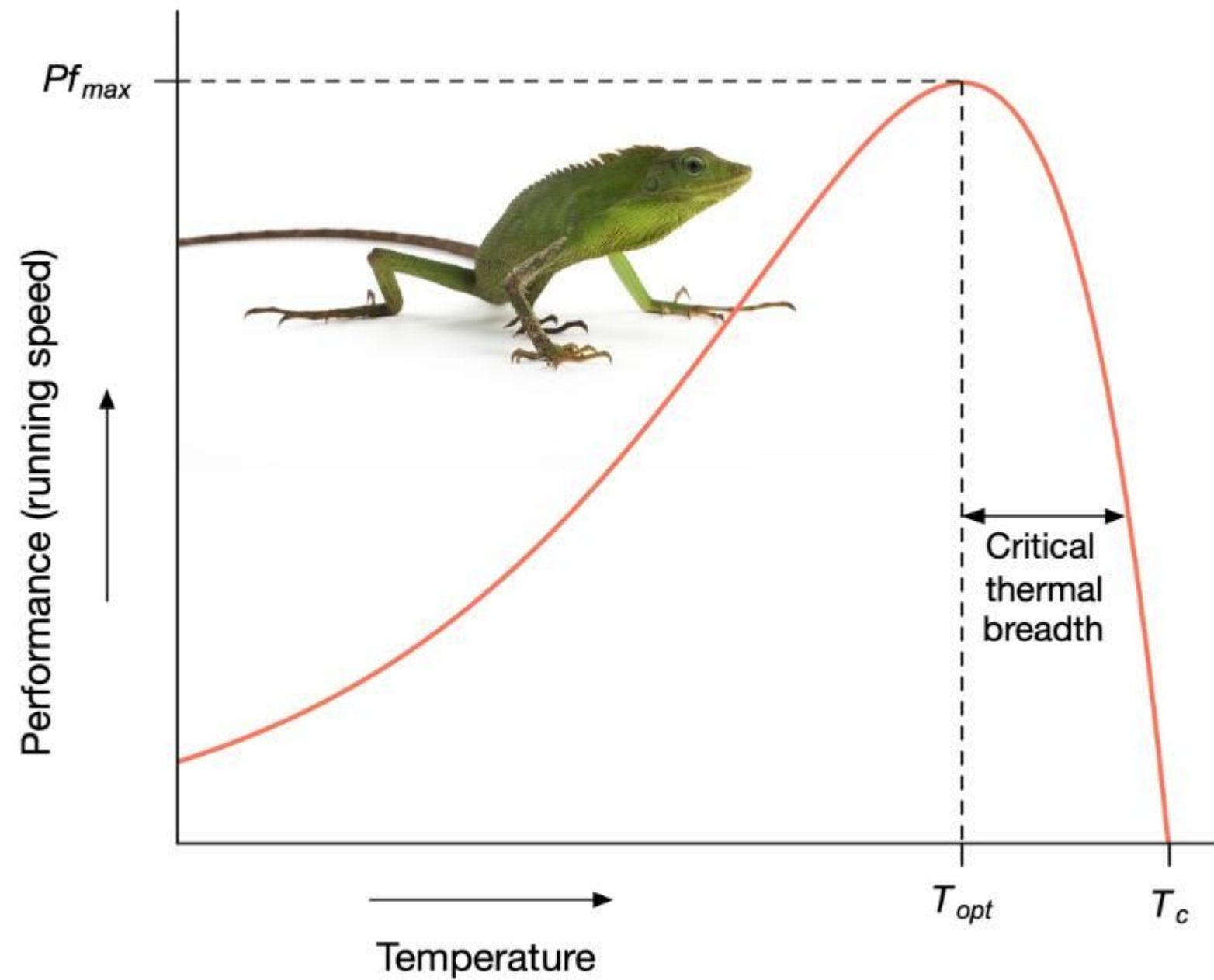
¹Department of Epidemiology and Population Health, Institute of Infection and Global Health, University of Liverpool, Liverpool, UK. ²NIHR Health Protection Research Unit in Emerging and Zoonotic Infections, Liverpool, UK. ³Department of Mathematical Sciences, University of Liverpool, Liverpool, UK

Autres maladies infectieuses



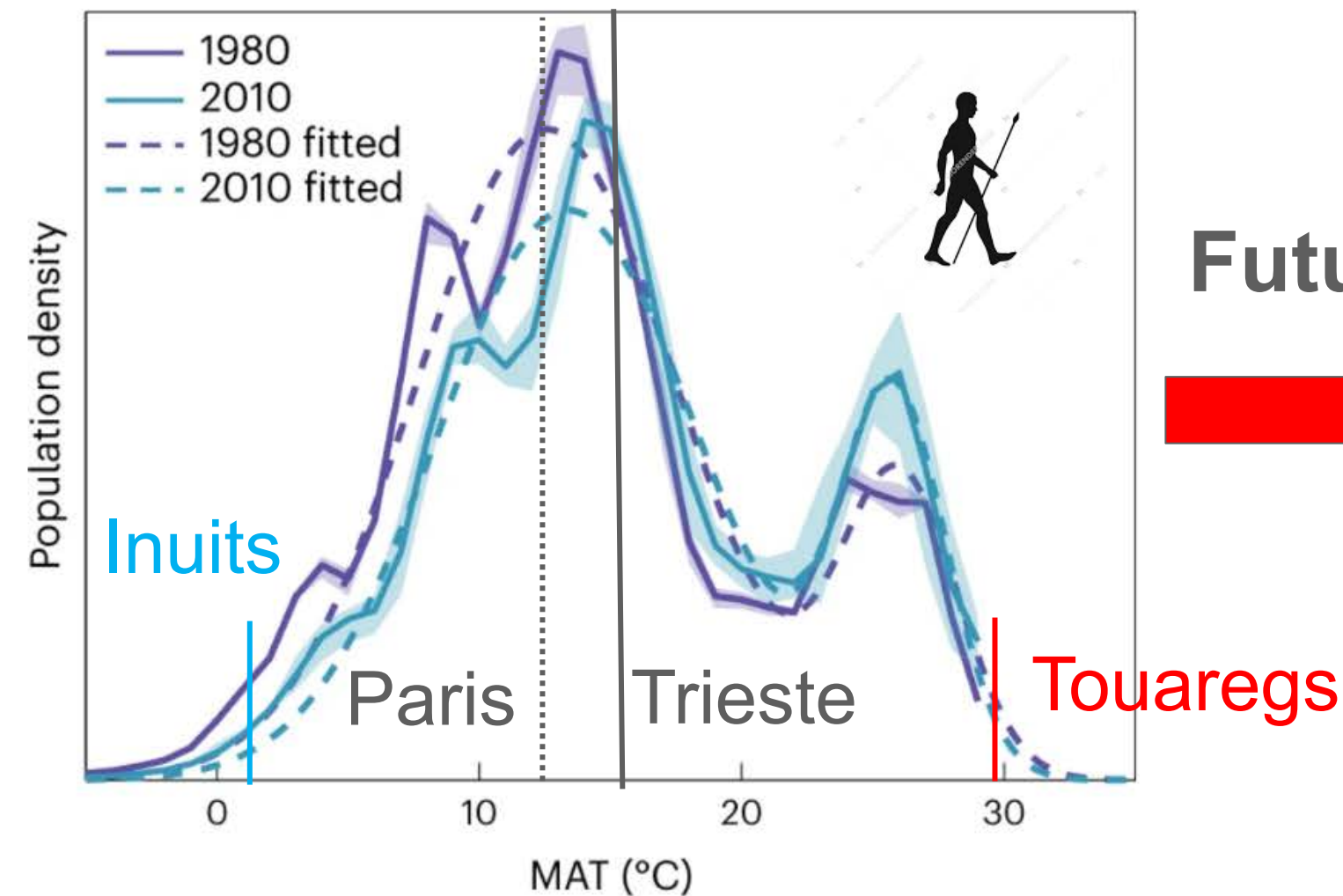
« 58 % (soit 218 sur 375) des maladies infectieuses auxquelles l'humanité est confrontée dans le monde ont été, à un moment donné, aggravées par des aléas climatiques; 16 % ont été diminuées. »

Niche thermique: *Homo Sapiens*



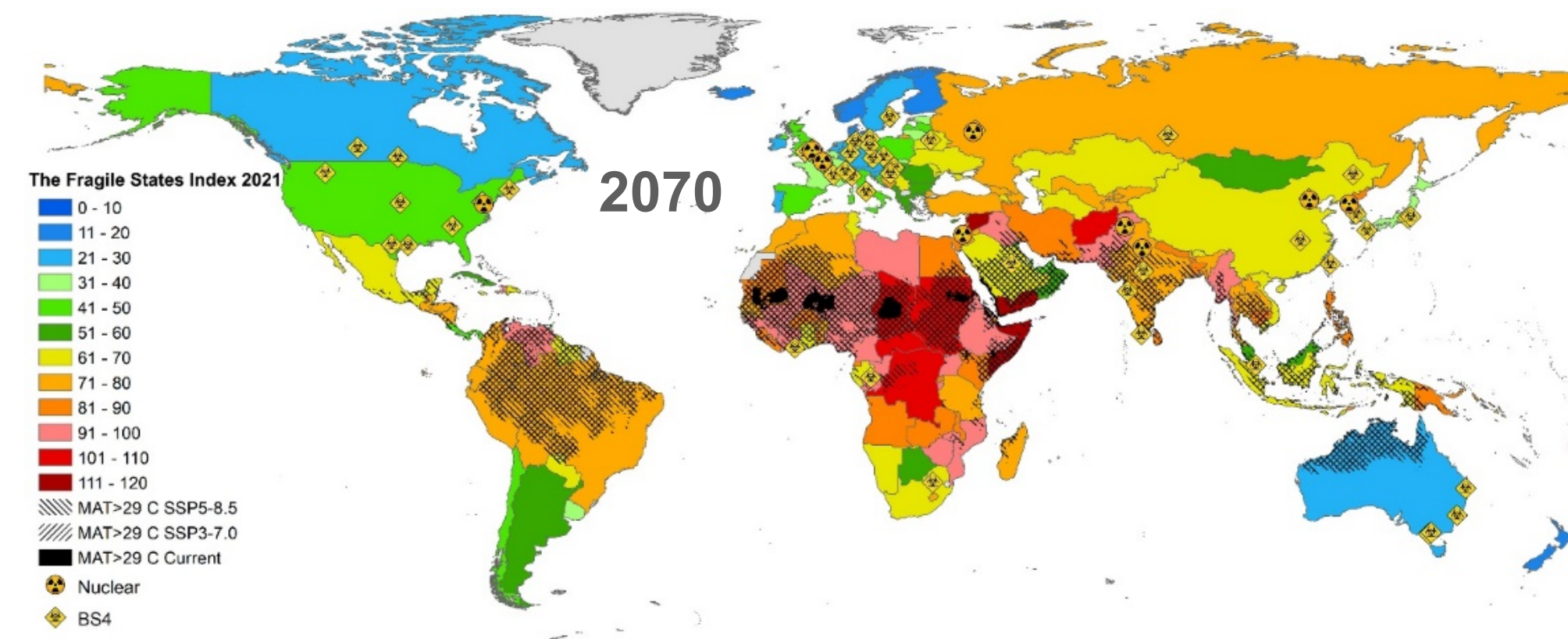
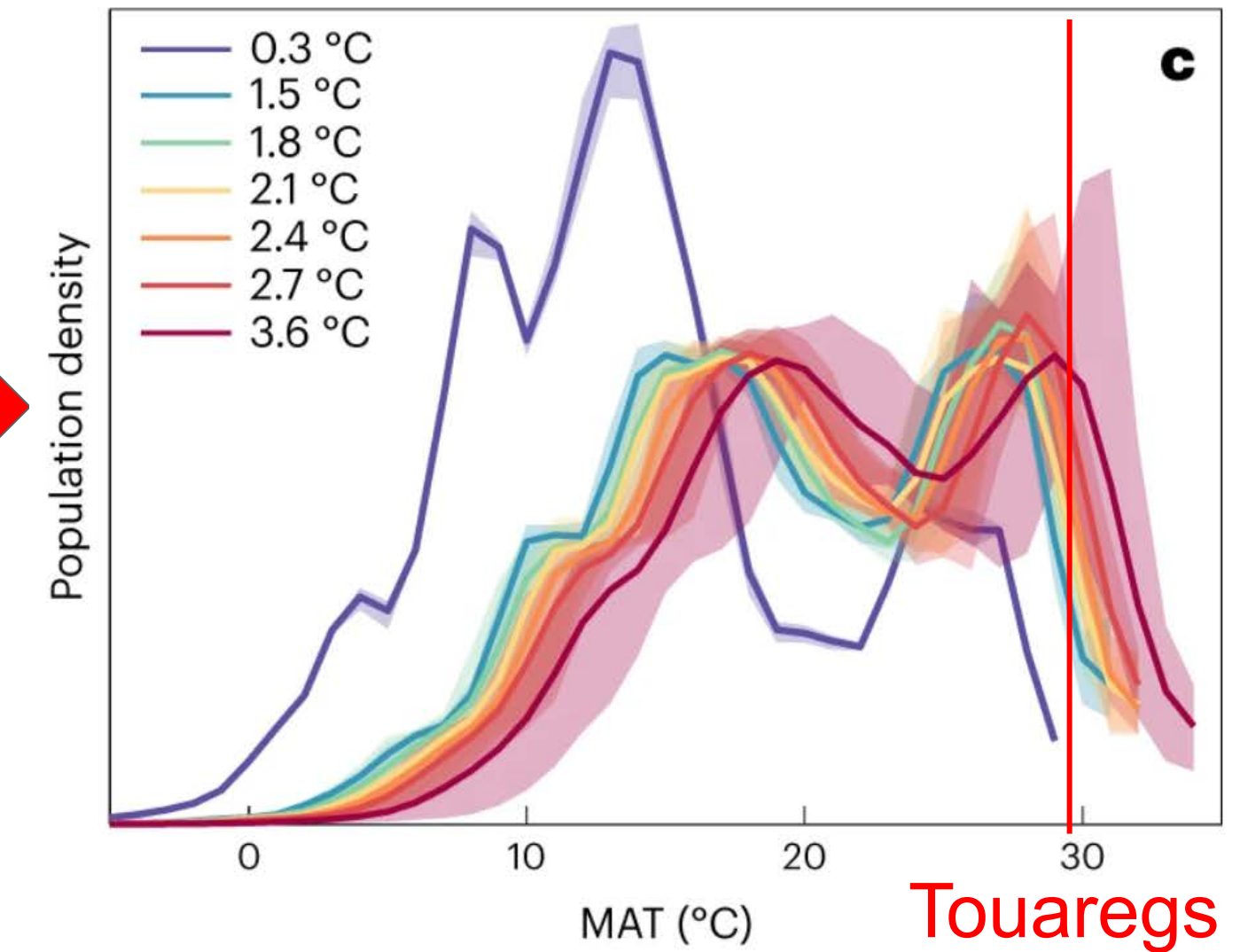
Arnoldi JF, et al. 2025. [PNAS 28;122\(43\):e2513099122](#)

1980-2010



Une majeure partie de la population globale vie ou la T° annuelle < 29°C

Kemp et al. 2022. [PNAS 119\(34\)](#)



Conclusions

- Le réchauffement climatique affecte la dynamique des vecteurs et la transmission de maladies en toile de fond.
- Le risque de transmission devrait augmenter en altitude et latitude ainsi que diminuer dans les zones les plus chaudes. Les saisons de transmission pourraient se décaler dans le futur, avec des impacts importants sur les méthodes de contrôle et de prévention.
- Grandes incertitudes associées avec les scénarios.
- Impact des extrêmes climatiques sur les maladies, les systèmes de santé et autres secteurs.
- Le “vrai futur” des maladies infectieuses sera piloté par un ensemble de facteurs socio-économiques, démographiques, les conditions de surface (urbanisation), la résistance aux insecticides et aux traitements disponibles.
- Pour finir sur une note positive, nette amélioration de la situation depuis le début des années 2000, et prototypes de vaccins et de nouvelles méthodes de contrôle sont en cours d'implémentation.

Merci pour votre attention !



Prochaine pandémie?

SPILLOVER HOTSPOTS

Models suggest that by 2070, climate change will be driving many mammal species to cooler regions, where they will meet for the first time and could exchange viruses. If Earth warms by 2 °C, they say, the regions with the highest chance of virus sharing will overlap with areas of dense human population, including parts of India and Indonesia. That will increase the risk of pathogens transferring to people.

