

Changement climatique et risques infectieux vectoriels

Observer, comprendre, prévenir, réduire,
accompagner, ou subir ?

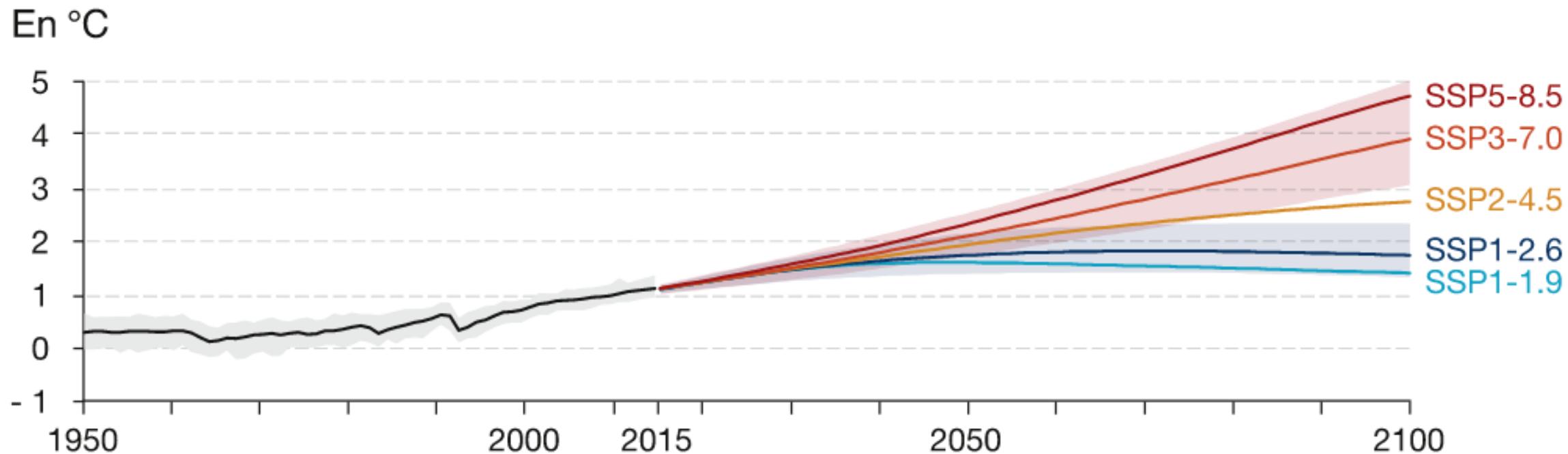
Didier Fontenille

Chercheur émérite de l'IRD, UMR MIVEGEC , Entomologiste médical
Membre du COVARs



Observer

Projection de la variation de température moyenne mondiale par rapport à la période 1850-1900



Source : Giec, 1^{er} groupe de travail, 2021

Mais aussi niveau de la mer, pluviométrie / sécheresse, évènements extrêmes, ...

Diapositive de Valérie Masson Delmotte, Haut Conseil pour le Climat :

Dans le monde, le changement climatique dû à l'influence humaine affecte de manière négative la santé physique et mentale



Stress thermique

*Mortalité, morbidité
Productivité au travail
Activité physique, bien-être
Performances cognitives*



Evènements extrêmes

*Santé physique et mentale
Accès aux services de santé
Pathogènes aquatiques*



Production agricole

*Insécurité alimentaire
Malnutrition*



Aires de répartition

Vecteurs de maladies



Polluants atmosphériques

Allergènes



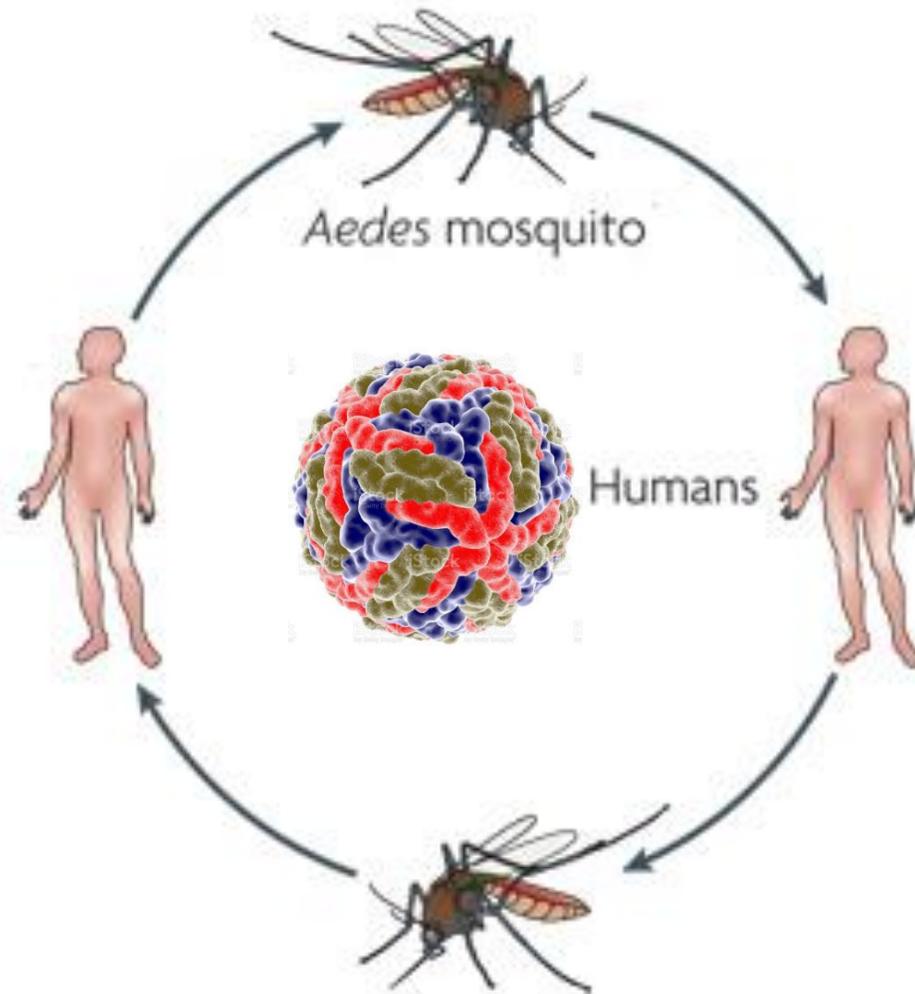
Santé mentale

*Traumatismes évènements extrêmes / déplacement
Pertes de repères culturels
Chagrin environnemental (solastalgie)
Par procuration (éco-anxiété)*



C'est quoi une maladie vectorielle – un vecteur ?

le cycle de transmission de la dengue



C'est quoi une maladie vectorielle – un vecteur ?

ANIMALS

Diseases - vectors

Bluetongue	Culicoides
African Horse sickness	Culicoides
Borrelioses	Ticks Ixodidae
Babesiosis	Ticks
Theileriosis	Ticks
Crimean Congo Haemorrhagic fever	Ticks
African swine fever	Ticks (Ornithodoros)
<i>Nagana</i>	Tse tse flies (Glossina)
Rift valley fever	Mosquitoes
Canine Leishmaniasis	Sand flies
Anaplasmosis	Ticks and mec. transmission



HUMANS

Diseases - vectors

Dengue, Zika, Chikungunya	Mosquitoes (Aedes)
Rift Valley fever	Mosquitoes (Aedes, Culex)
Japanese encephalitis, West Nile, Usutu	Mosquitoes (Culex)
Malaria	Mosquitoes (Anopheles)
Typhus	Lice
Rickettsiosis	Fleas, Ticks
Plague	Fleas
Onchocerciasis	Black flies (Simuliids)
Loase	Tabanids (Chrysops)
Lymphatic filariasis	Mosquitoes
Sleeping sickness	Tse tse flies (Glossina)
Chagas diseases	Bugs (Triatoms)
Leishmaniasis	Sand flies
Tick borne encephalitis	Ticks (Ixodes)
Tick b. haemorrhagic fever	Ticks (Hyalomma)



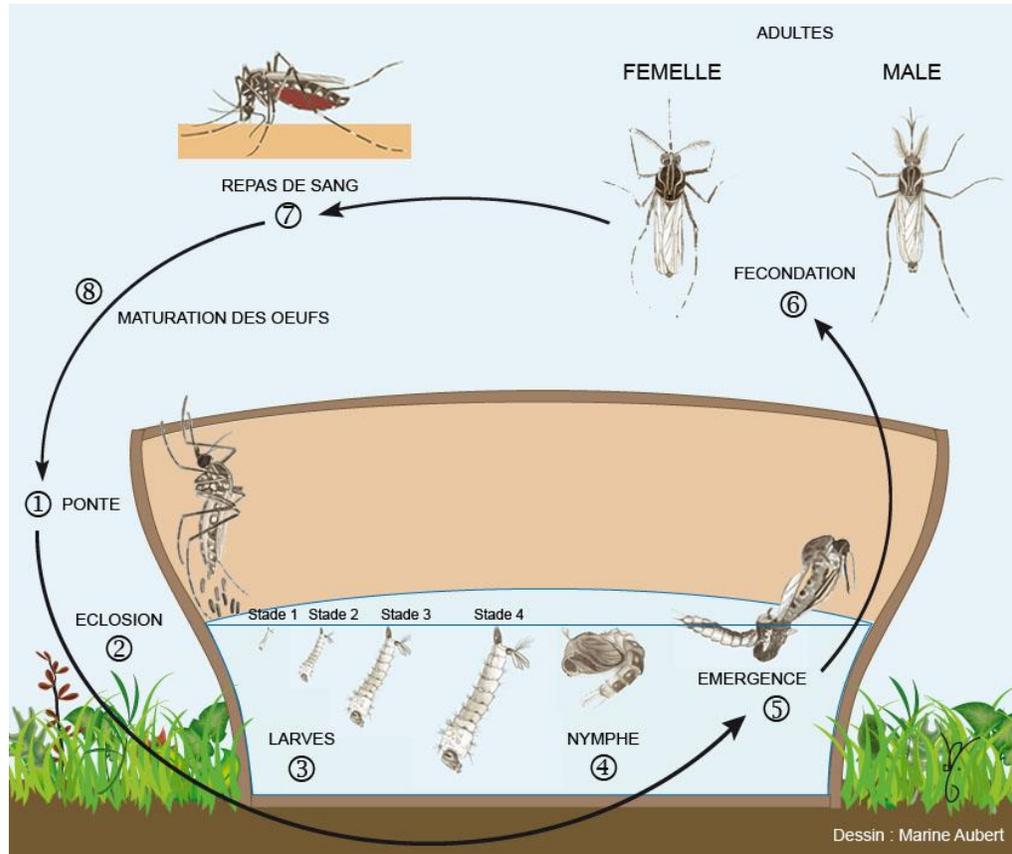
PLANTS

Diseases - vectors

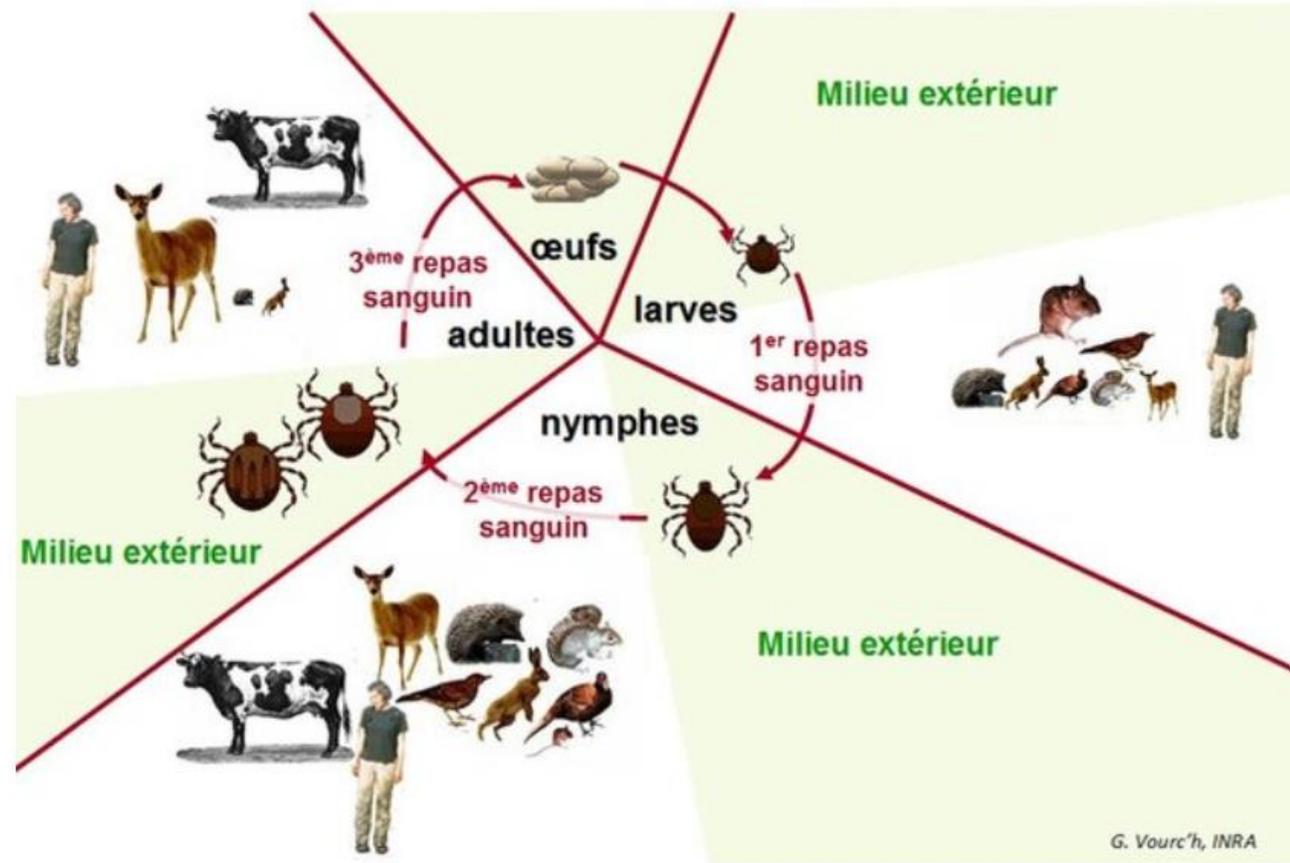
Sharka (Plum pox)	Aphids
Apricot chlorotic leafroll	Psylla
Flavescence dorée of grapevine	leafhoppers Cicadella
Banana bunchy top	Aphids
Tungro rice disease	leafhoppers Cicadella
Cacao swollen-shoot disease	Mealybugs Coccoidea
<i>Xylella fastidiosa</i> (incl Pierce's disease)	Cercopoidea



Cycle de vie d'un moustique



Cycle de vie d'une tique (*Ixodes ricinus*)



Des enjeux extrêmement importants liés aux maladies vectorielles, pas uniquement sanitaires (de santé publique et de bien-être des habitants)

Enjeux environnementaux (biodiversité, pollution, aménagements, ..)

Enjeux économiques (les moustiques nous coûtent cher)

Enjeux socio-anthropologiques

Enjeux politiques (que fait l'état ? La collectivité ?)

Enjeux de formation des élus, des décideurs, des citoyens

Enjeux de recherche

Les moustiques sont des objets politiques, relevant des politiques publiques

Une inquiétude nationale croissante (120 ans après le rapport Laveran)

Une structuration nationale très hétérogène de la lutte contre les moustiques et autres vecteurs ou insectes nuisants : opérateurs publics, privés, voire associatifs

Des épidémies traumatisantes récentes en France: Chikungunya (La Réunion 2004), Dengue (Antilles, tous les ans), une émergence de la dengue autochtone en Europe

Un plan national de lutte contre les moustiques vecteur d'arboviroses, hexagone et outre-mer

(Instruction N° DGS/VSS1/2019/258 du 12 décembre 2019 relative à la prévention des arboviroses)

Une commission d'enquête de l'Assemblée Nationale (rapport du 29 juillet 2020) sur les maladies et le contrôle des maladies liées aux moustiques (*Aedes*)

Un risque croissant: 3 rapports du COVARIS, concernant les maladies à moustiques et la lutte antivectorielle

Maladies à transmission vectorielle (décembre 2022)

Dengue, Zika, chikungunya (avril 2023)

Fièvre à virus West Nile (juin 2024)

Un volet Vecteurs dans le PNSE4, et souvent dans les PRSE

Des journées thématiques de ANSES, Santé publique France, INSERM, Vectopôle Sud, etc..

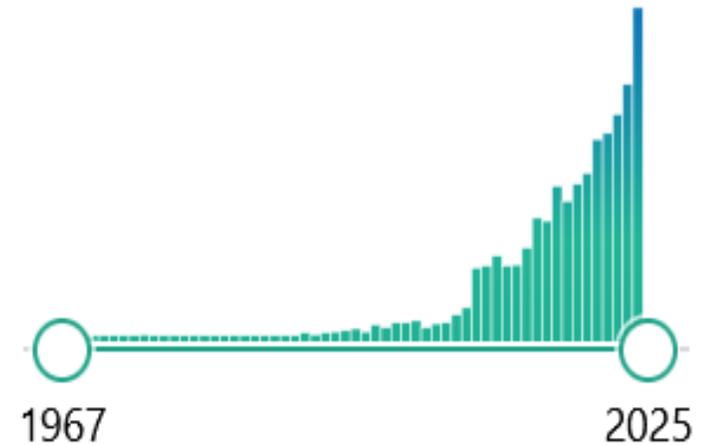
Changement climatique et maladies vectorielles : une littérature et une recherche foisonnante

- 2500 entrées dans la base de données d'articles scientifique pubmed avec **climate change** (CC) et **vector borne diseases** (VBD)
- Climate change et paludisme (malaria) > 880,
- CC et Dengue > 7500
- > 340 articles en 2024. En constante augmentation

Google :

Changement climatique et santé : 44 000 000 résultats

Climate change and Health : 724 000 000 résultats



EST-CE SI SIMPLE ? LIEN RECHAUFFEMENT ET INCIDENCE DE LA DENGUE ET DU PALUDISME (1993 – 2013)

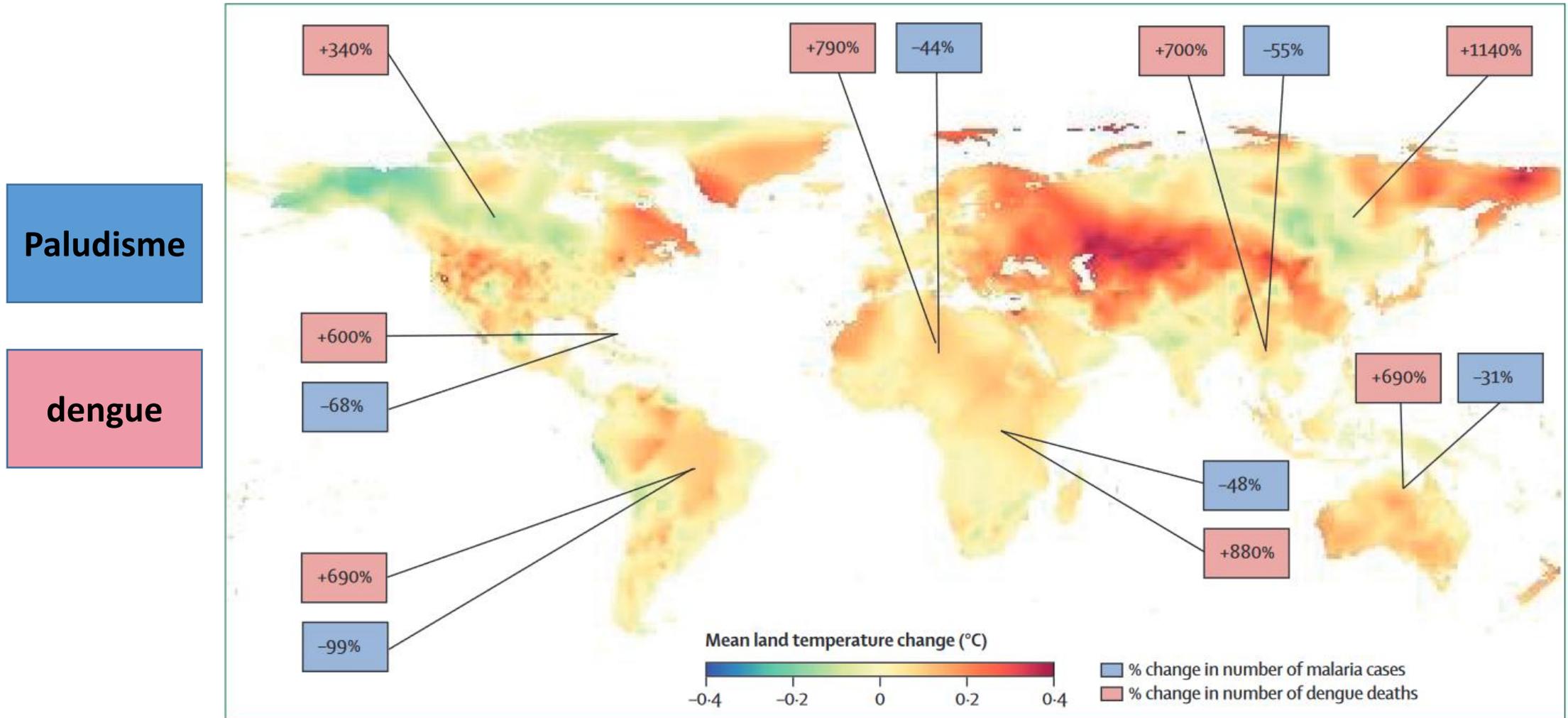


Figure 2: Percentage change in dengue cases and malaria deaths and annual mean land temperature change between 1993 and 2013

WHO regions include Latin America, the Caribbean, North America, north Africa and the Middle East, south and southeast Asia, central and east Asia, Oceania, sub-Saharan Africa. Climatic data were accessed via the Climatic Research Unit¹²⁶ and case data retrieved from the Global Burden of Disease Survey 2013.^{5,127}

Déjà 18% de plus de cas de dengue avec réchauffement climatique récent

L'impact de l'augmentation des températures sera plus fort en zone tempérée que dans les zones déjà chaude

*Our findings indicate that historical climate change has already increased dengue incidence 18% (12 - 25%) in the study region, and projections suggest a **potential increase of 40% (17 - 76) to 57% (33 - 107%) by mid-century** depending on the climate scenario, with some areas seeing up to 200% increases*

a) dengue-temperature response

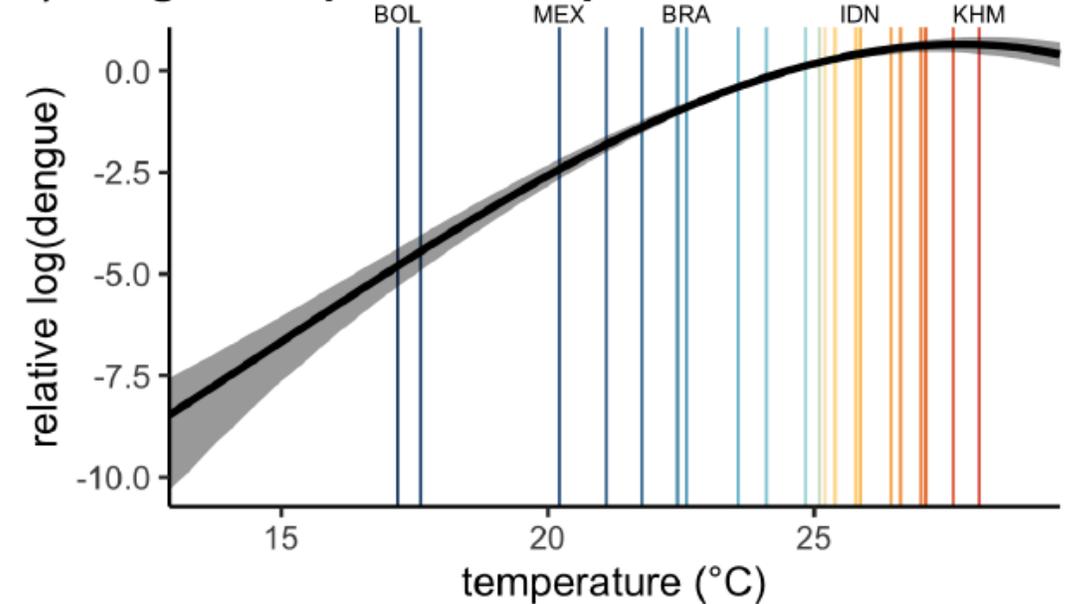
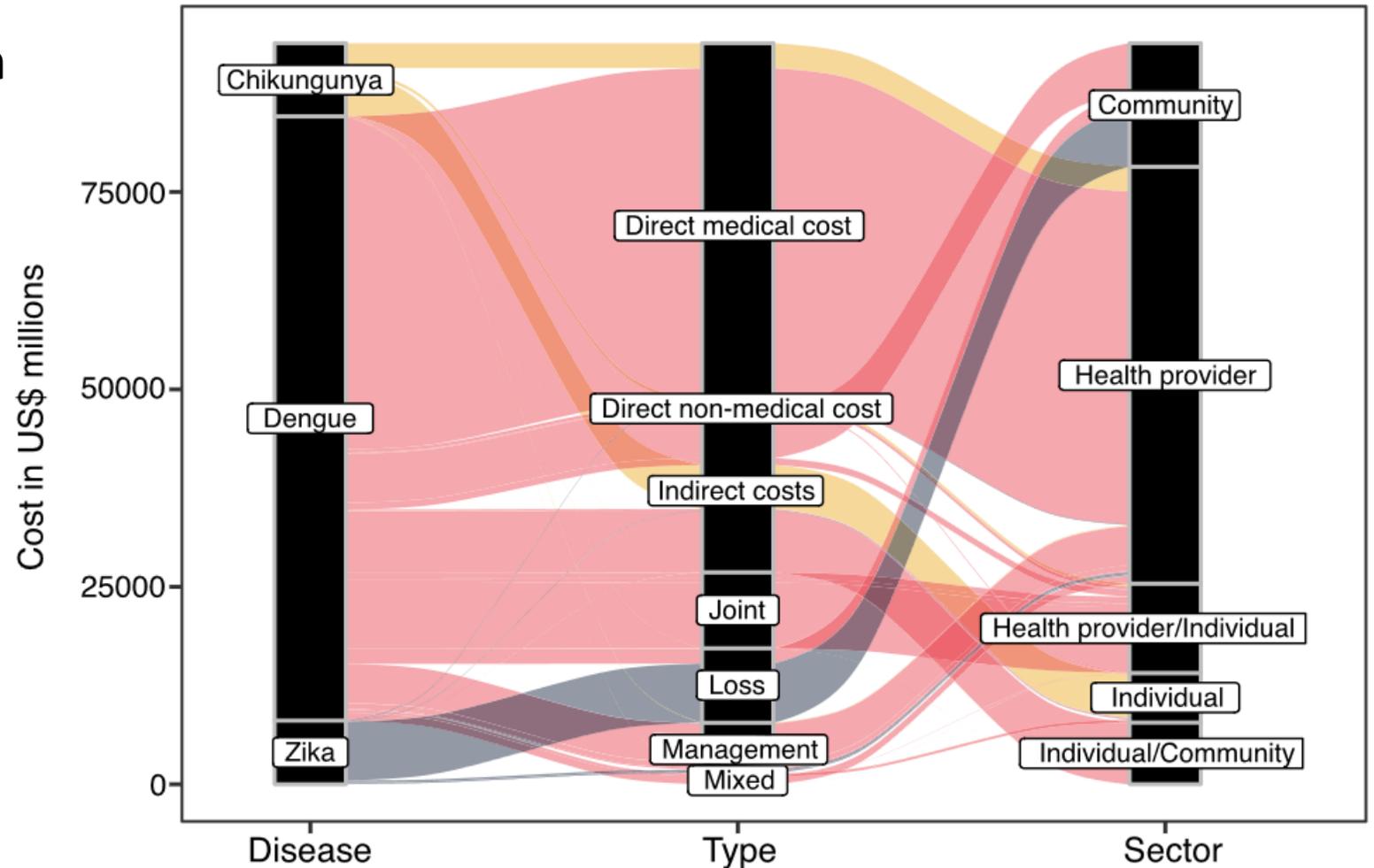
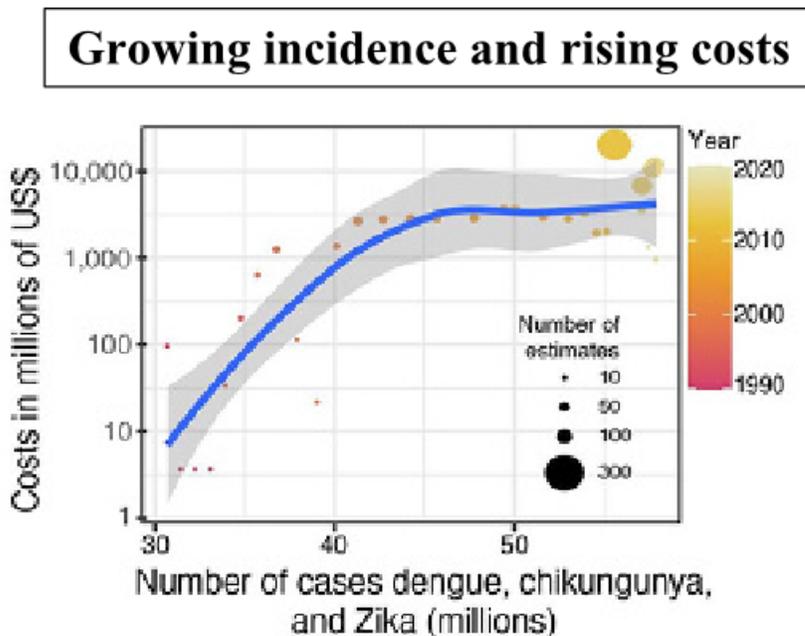


Figure 2: Effect of temperature on dengue. (a) Global nonlinear relationship between dengue cases and temperature and (b) the slope of that relationship indicating the marginal effect of temperature on dengue incidence. Main panel regression model fit in black with 95% confidence interval in gray shading. Vertical lines in (a) indicate country mean temperatures, with labels highlighting the coldest and warmest countries as well as the three highest population countries in the sample: Bolivia (BOL), Mexico (MEX), Brazil (BRA), Indonesia (IDN), and Cambodia (KHM). Thin gray lines in (b) represent variations on the main model using alternative specifications. Histogram in (b) shows the distribution of observed monthly temperatures. Model estimates are restricted to the 1st to 99th percentiles of the observed temperature distribution.

Les moustiques nous coutent cher, et ce n'est pas fini

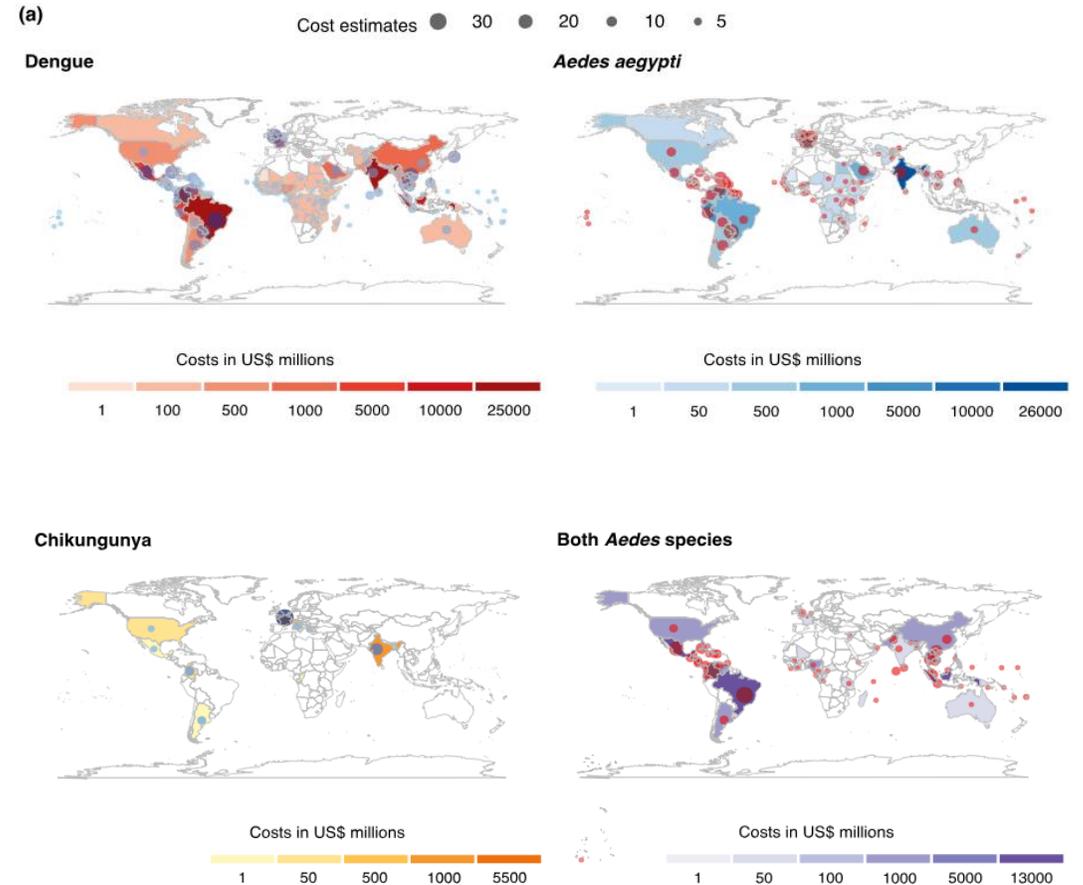
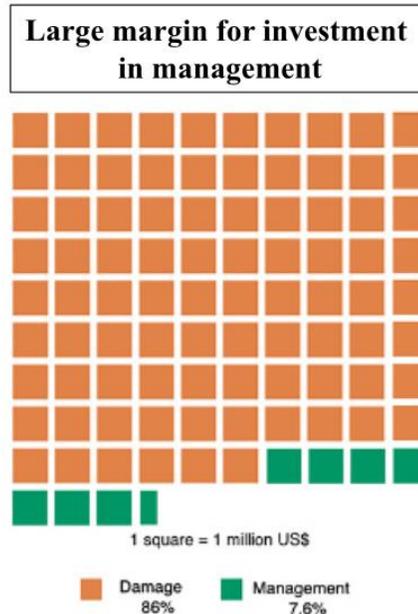
Cout annuel (monetary cost, pas Daly, calculé sur 45 ans et 166 pays):
de 3 à 20 milliards de US\$ par an
(sous estimé)



Coût des moustiques

La majorité des coûts sont dus aux **dommages**: coûts médicaux au sens large, perte de productivité, mort prématurée, effet sur tourisme, économie, ..

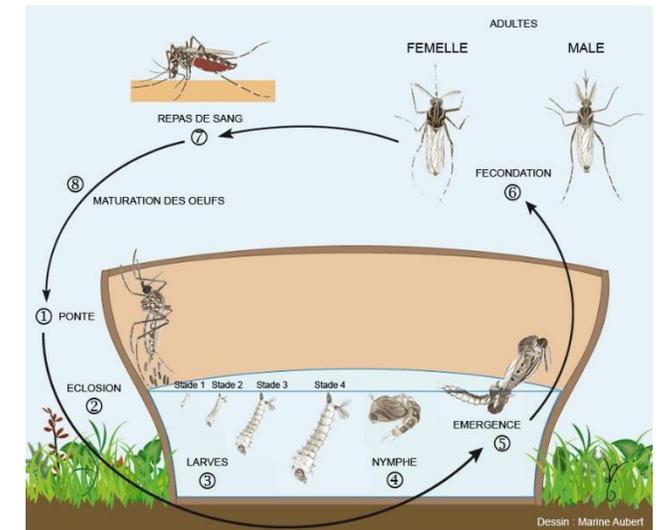
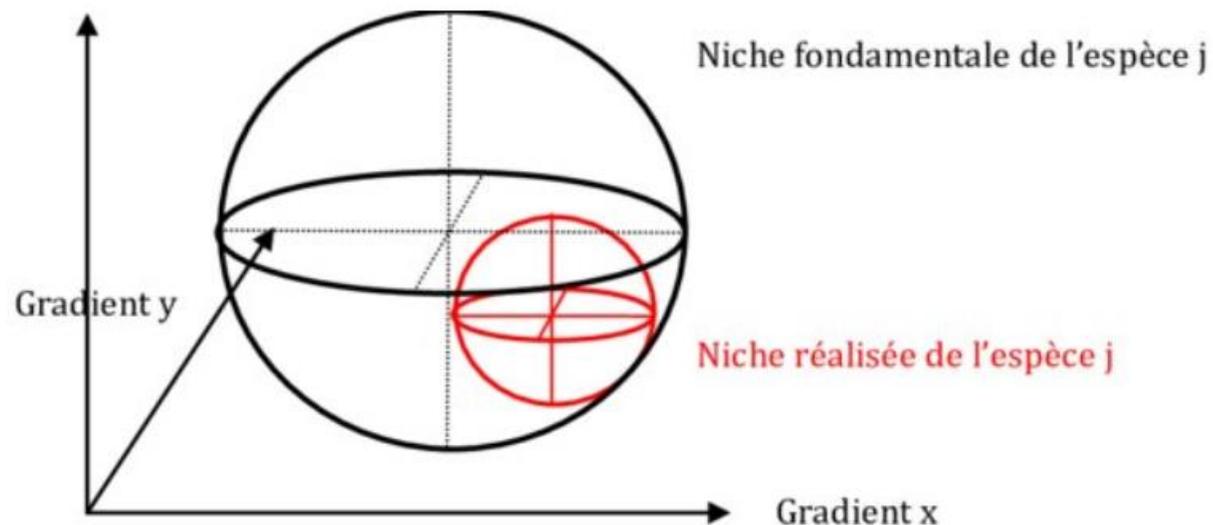
L'investissement dans le management et la prévention est faible (vaccins, lutte préventive contre les moustiques, ..)



Comprendre

Un peu de biologie des vecteurs, des agents infectieux et des hôtes : les niches écologiques

- **niche fondamentale** : elle réunit tous les composants et toutes les conditions environnementales nécessaires à l'existence d'un organisme. (ensemble des conditions dans lesquelles une espèce peut vivre et se reproduire)
- **niche réalisée** : comprise dans la niche fondamentale, réduite à l'espace qu'elle est contrainte d'occuper, du fait des interactions biotiques (par ex. compétitions) avec les autres espèces présentes dans cet espace donné. (ensemble des conditions REELLES dans lesquelles l'espèce vit et se reproduit)



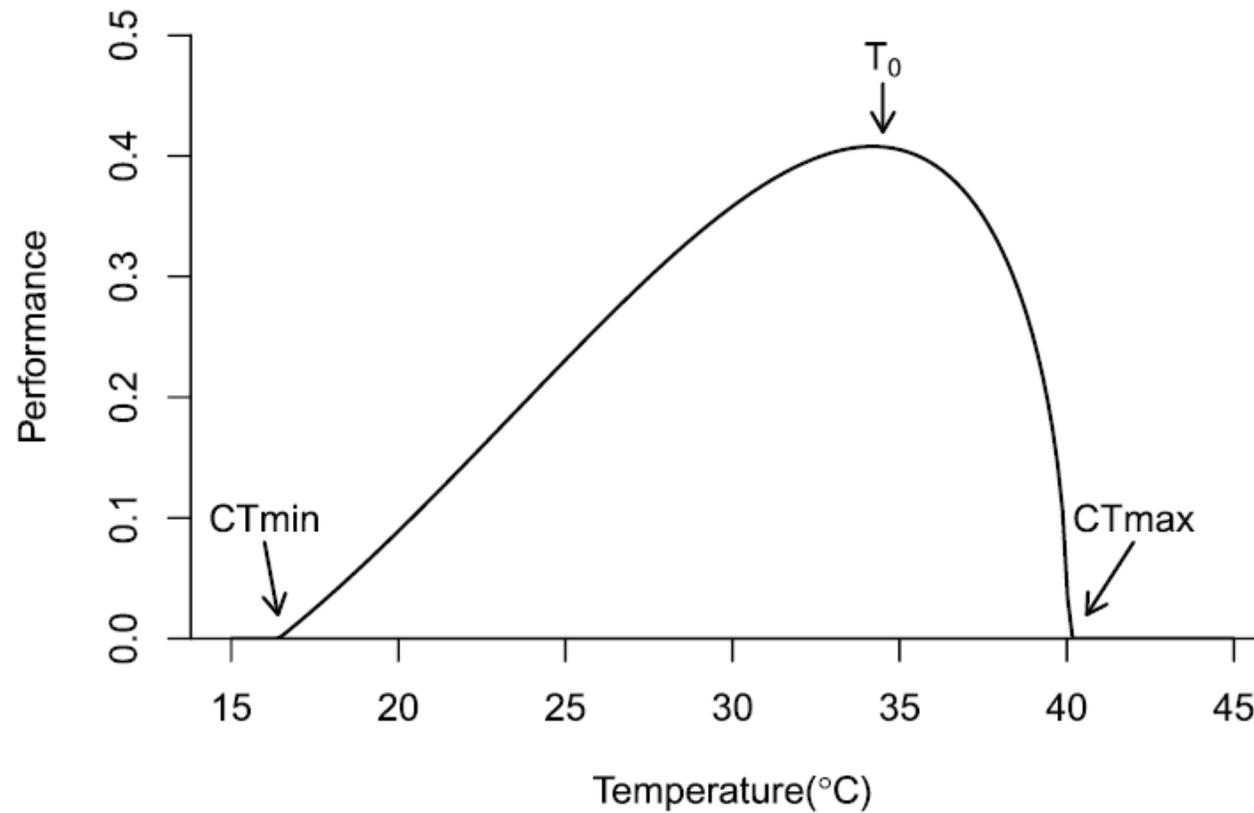
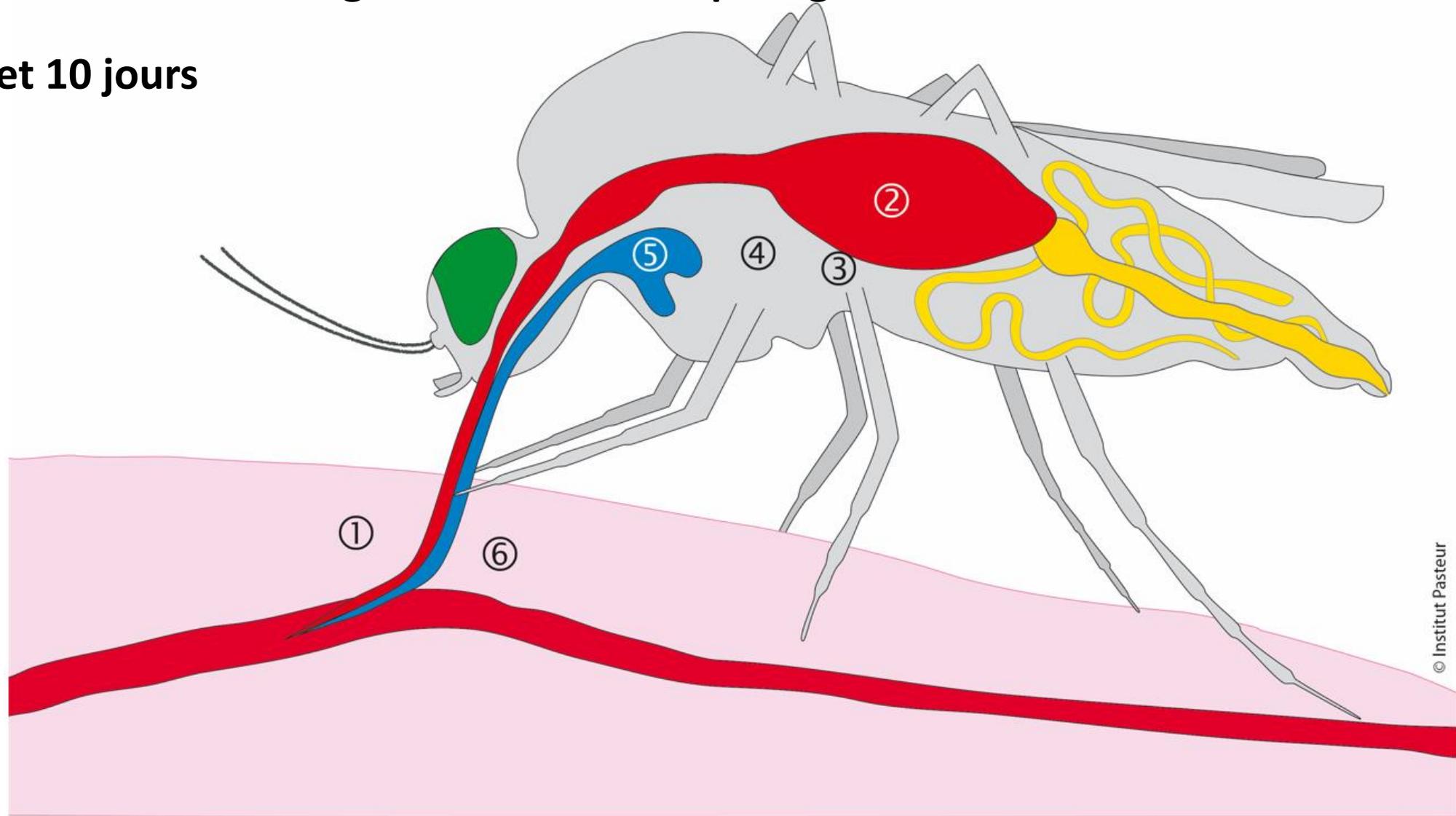


Figure 1. A thermal performance curve for a hypothetical ectotherm. All species, whether free-living or parasitic, rise and fall with temperature. Performance rises slowly from the critical thermal minimum (CT_{min}) to a thermal optimum (T₀), declining sharply to the critical thermal maximum (CT_{max}).

Le « circuit » du virus Dengue chez le moustique tigre

Entre 5 et 10 jours

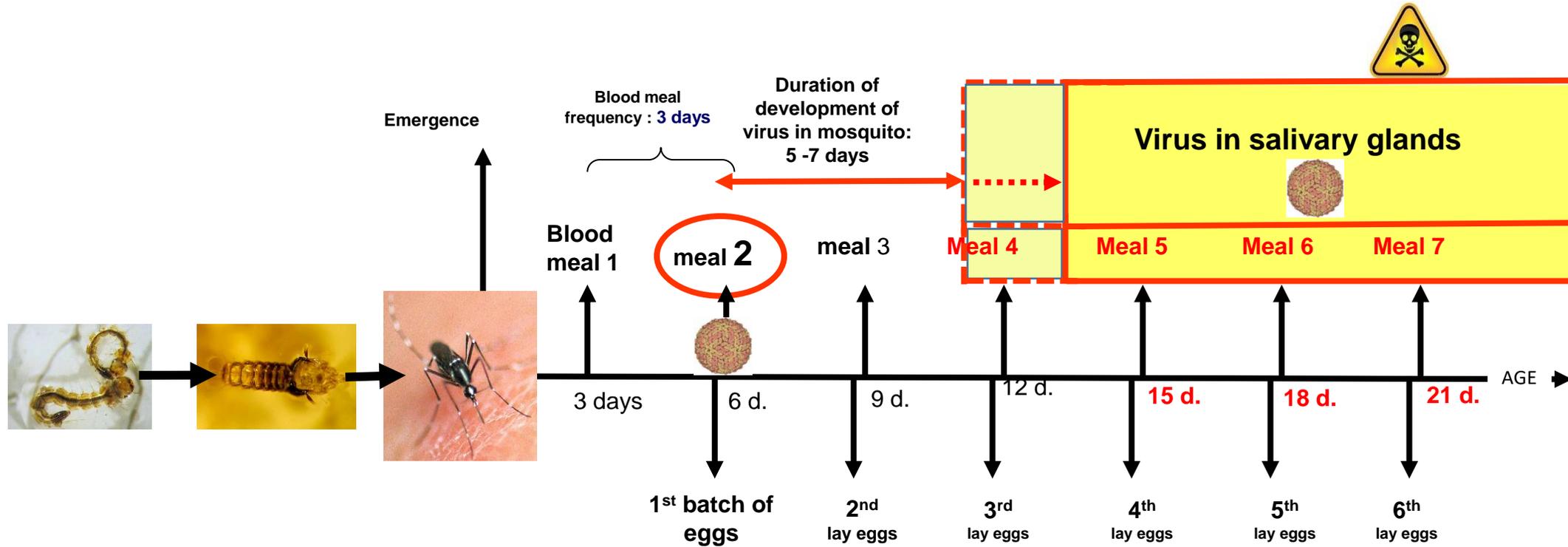


© Institut Pasteur

- ① ingestion du virus sur un hôte en phase de virémie
- ② entrée du virus dans les cellules de l'intestin
- ③ libération des virus dans la cavité générale après répliation

- ④ dissémination du virus dans différents tissus et organes internes
- ⑤ infection des glandes salivaires
- ⑥ libération du virus par la salive

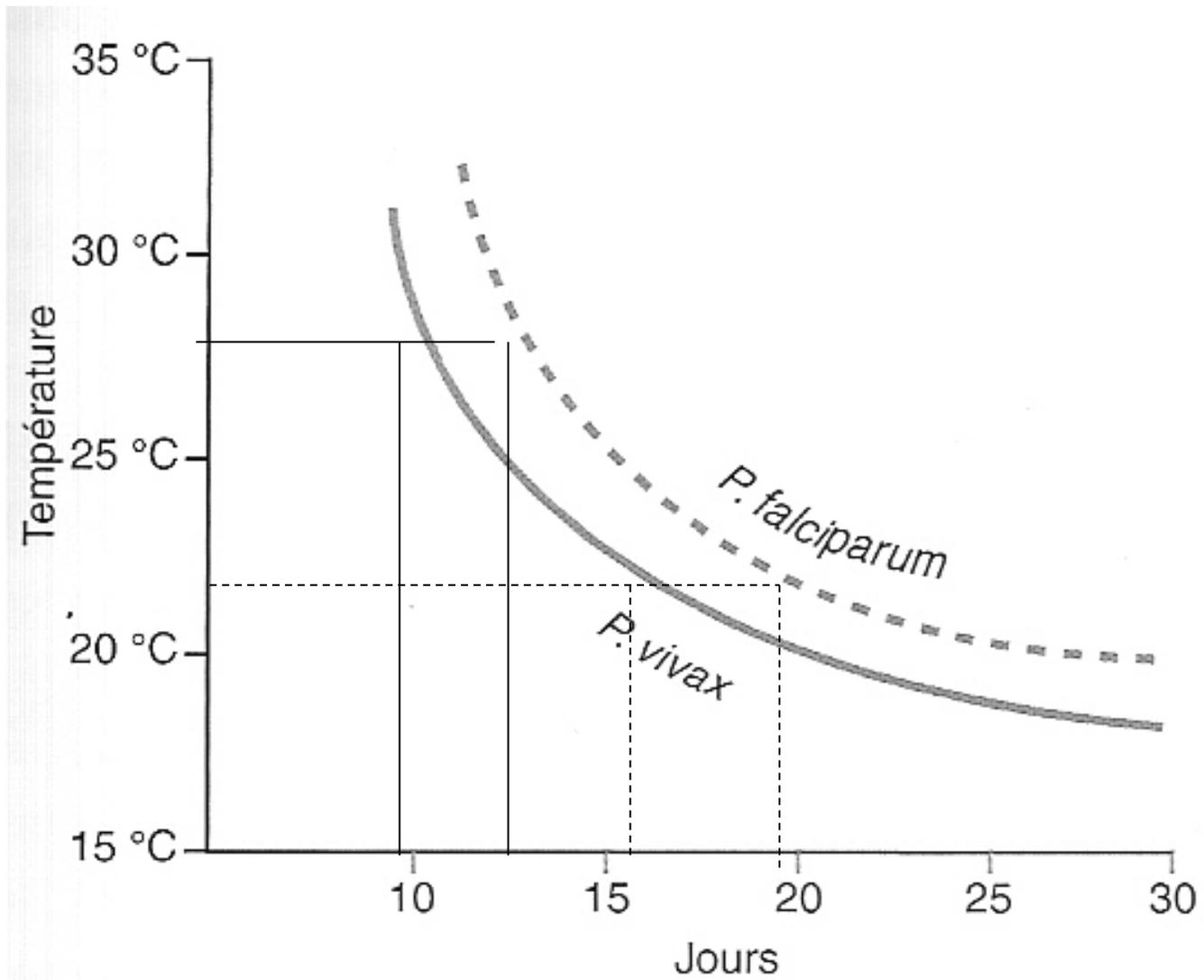
Seuls les vieux moustiques femelles sont dangereux



La durée du cycle de développement du virus dans le moustique dépend du vecteur, du virus, **de la température**

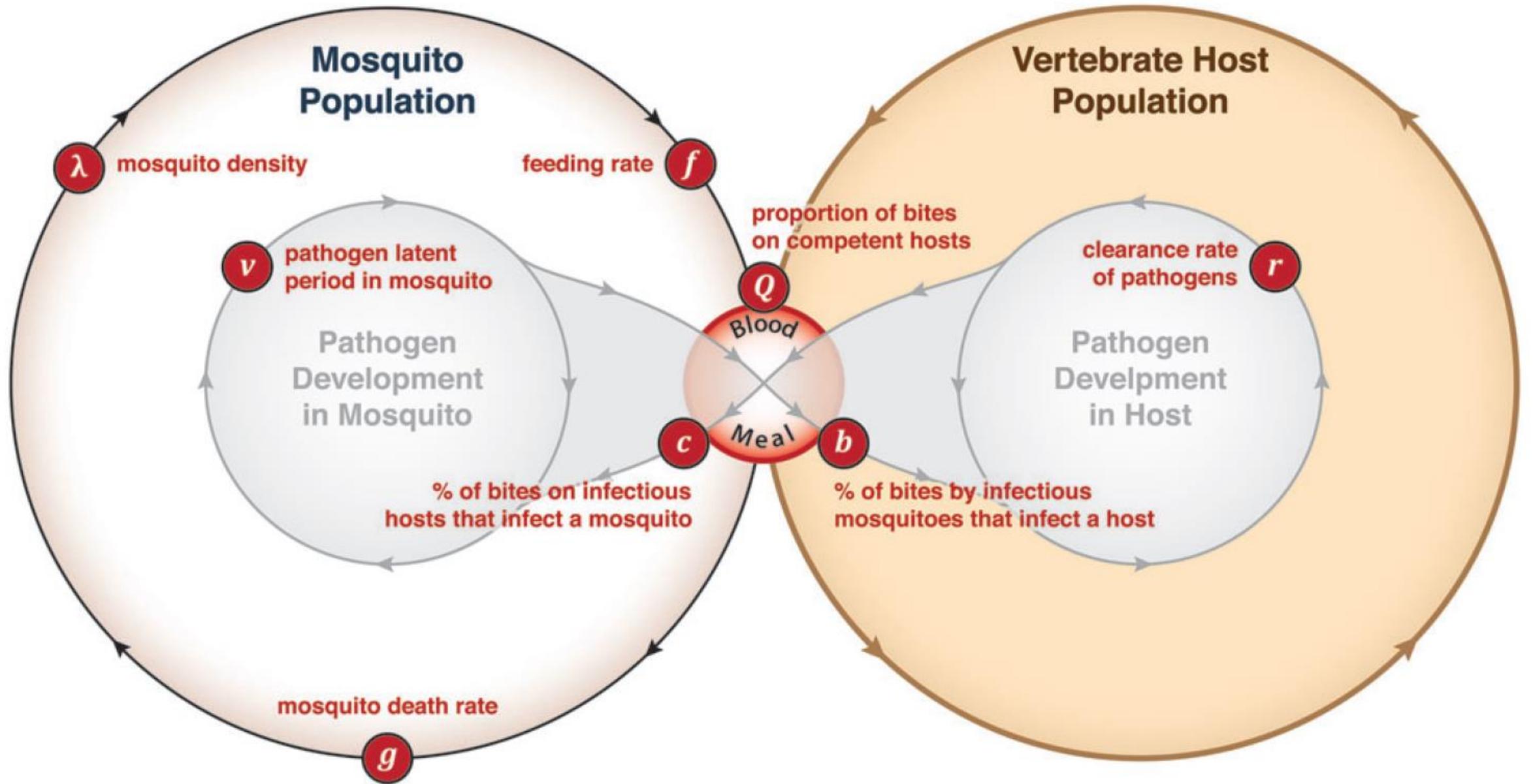
La durée entre deux pontes/piqûres dépend **de la température, humidité relative,...**

EXEMPLE: Blood meal 2 taken on human having dengue , Blood meal every 3 days, Duration of development of virus in mosquito: 5 to 7 days, **depending on temperature**



Durée du cycle sporogonique (chez le moustique ectotherme) de *Plasmodium falciparum* et *P. vivax* en fonction de la température

D'après Danis et Mouchet



Vectorial transmission parameters (mosquitoes are not flying syringes)

R₀ = Basic reproduction number

$$R_0 : \frac{\overbrace{m \cdot a^2 \cdot p^n}^{\text{Vectorial Capacity}} \times \overbrace{b \cdot c}^{\text{Vect. Competence}} \times \overbrace{\frac{1}{r}}^{\text{Human Factors}}}{-\ln \cdot p}$$

m : the ratio of vectors to humans,

a : daily mosquito biting frequency (on human)

p : daily survival of the vector,

n : extrinsic incubation period (d.) of the pathogen,

b : efficiency at which the pathogen passes from mosquito to human,

c : efficiency with which the pathogen passes from human to mosquito,

r : recovery rate of human hosts.

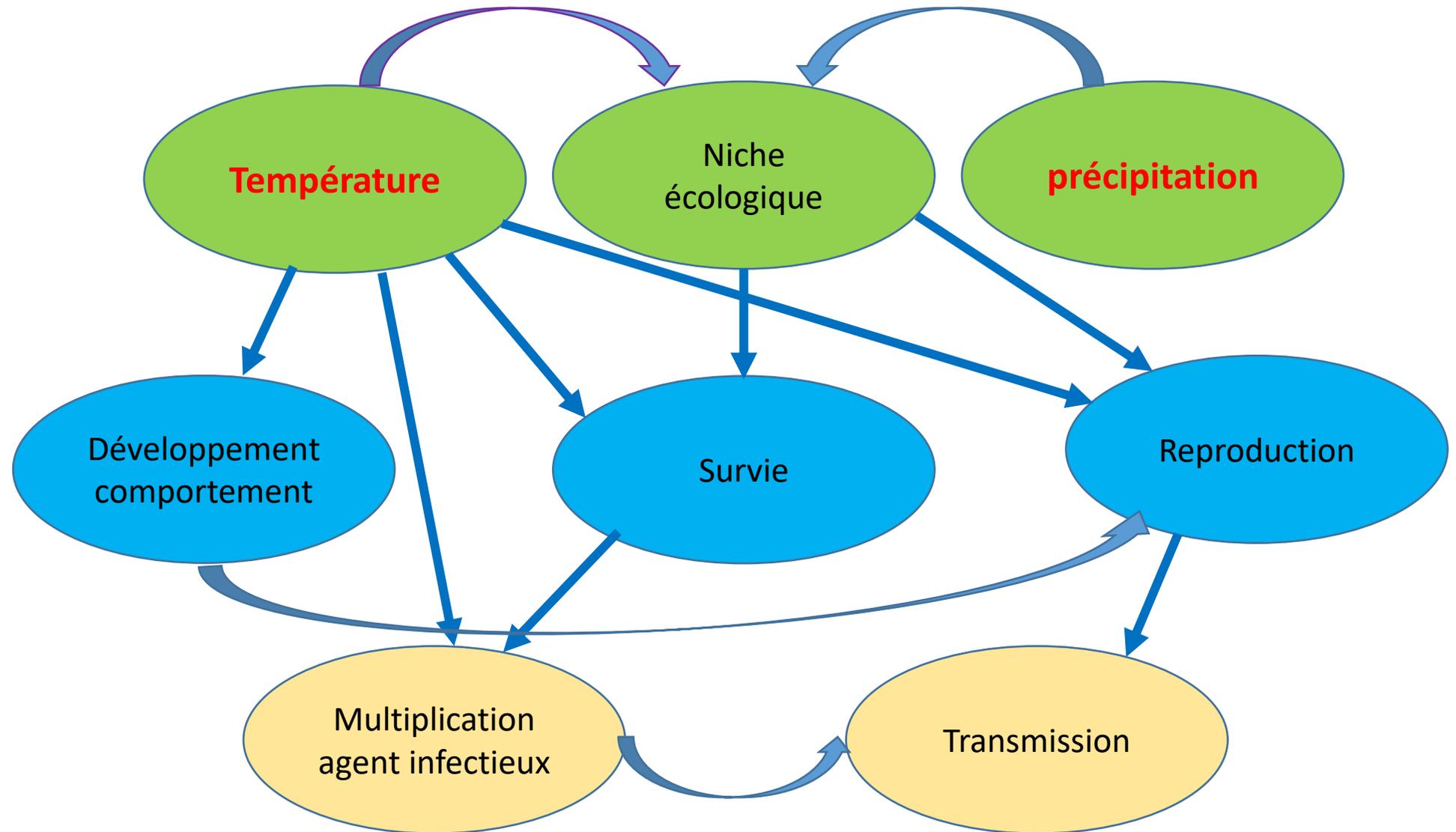
ENVIRONNEMENT
CLIMAT

↓

VECTEUR

↓

AGENT INFECTIEUX



Caractéristiques du climat

Température, précipitations, éclaircissement, hygrométrie, pression atmosphérique, vent, ..
Toutes ont un impact sur les êtres vivants dont les vecteurs et les « réservoirs » animaux.

Caractéristiques des arthropodes (vecteurs)

*Ce sont des ectothermes: leur température corporelle dépend de la température de leur environnement.

*Ils peuvent avoir des phases de vie dans des environnements variés (aquatiques, sous terre, aériennes (*moustiques, phlébotomes*), ou au contraire homogènes (*poux*).

*Ils peuvent avoir des stades et périodes de quiescence, dormance, diapause : survie en saison défavorable (froid, sécheresse, etc..).

Caractéristiques des agents infectieux vectorisés transmis aux humains

*Pas de forme libre dans le milieu extérieur (toujours dans arthropode ou humain).

*Ils se développent (ou survivent) à des températures très différentes selon l'hôte (humains $\sim 37^{\circ}\text{C}$, vecteurs [$\sim 10^{\circ} - 35^{\circ}$]).

Les grands type de modèles développés pour l'étude des relations CC et VBD

Modèles statistiques: par ex modèles linéaires, Mod linéaires généralisés : années El Nino et années « à dengue », variables environnementales, altitude - longitude et distribution /abondance d'une espèce, ENM (ecological niche modeling).

Modèles mécanistes: expliciter les mécanismes (variables) responsable des facteurs (variables) observés à expliquer. (équations différentielles)

Nécessite des connaissance des mécanismes biologiques (ex: la présence d'un moustique dépend de la présence de gites de ponte, un moustique pique les humains (vs oiseaux) dans 50% des repas, un virus se réplique ou non chez un moustique, la longévité d'un moustique dépend de température, ..),

Modèles (systèmes) multi agents.

Etc..

Risque (vectoriel) climat dépendant = Danger x Exposition x Vulnérabilité

- 1) **Danger** : agents pathogènes chez les vecteurs (climat dépendant)
- 2) **Exposition** : contact humain avec les vecteurs infectants (climat dépendant)
- 3) **Vulnérabilité** : la probabilité que les humains soient infectés une fois le contact établi

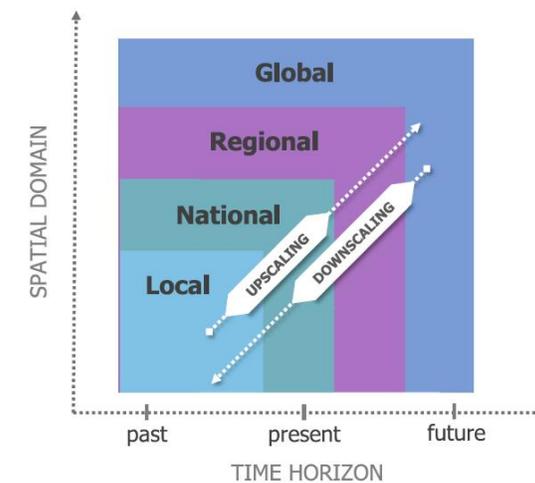
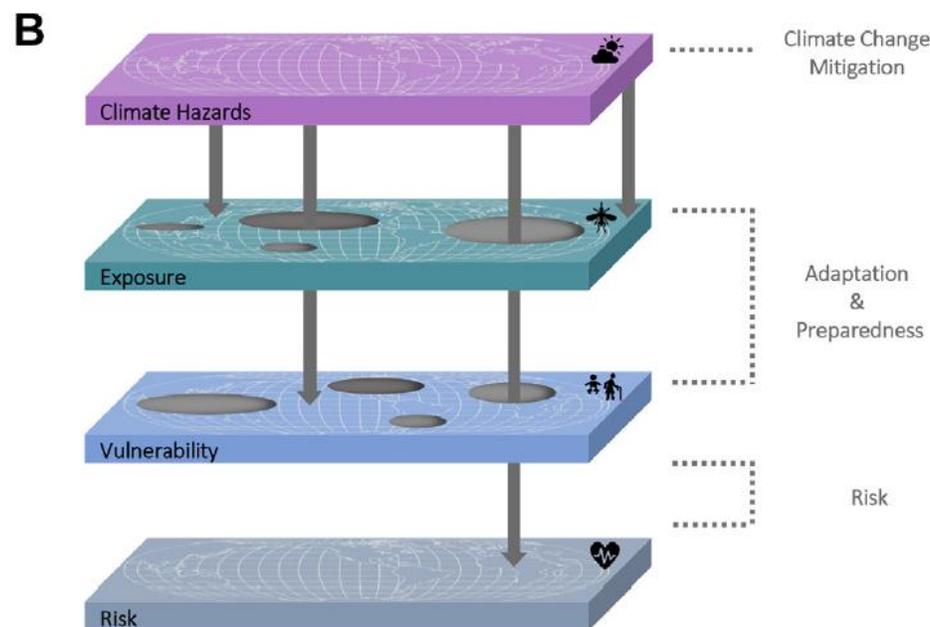
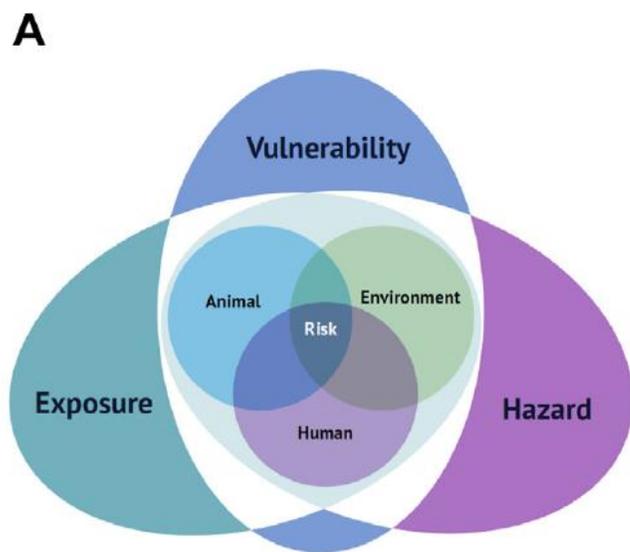


Fig. 3: Spatio-temporal domains at which the integrated One Health–Climate Risk tools are being developed. Indicators devel-

Integrated One Health – **Climate** Risk approach

Définitions élargies du risque vectoriel

Possibilité d'avoir une **transmission d'un agent pathogène par un vecteur**

Introduction, établissement, diffusion d'un vecteur

Transformation d'un nuisant en vecteur (introduction, adaptation et sélection d'un pathogène)

Possibilité d'avoir une **épidémie d'une maladie vectorielle**

Plus de cas observés qu'attendus pour des raisons liées aux vecteurs : densité, comportement, contact, longévité, compétence vectorielle.

Possibilité de ne pas être en mesure de **contrôler une maladie vectorielle, par le contrôle des vecteurs**

Résistance aux traitements, inefficacité des traitements (vecteur, homme)

Possibilité d'avoir des **impacts**

Impact environnemental de la lutte anti-vectorielle, coût social, économique, politique, ..

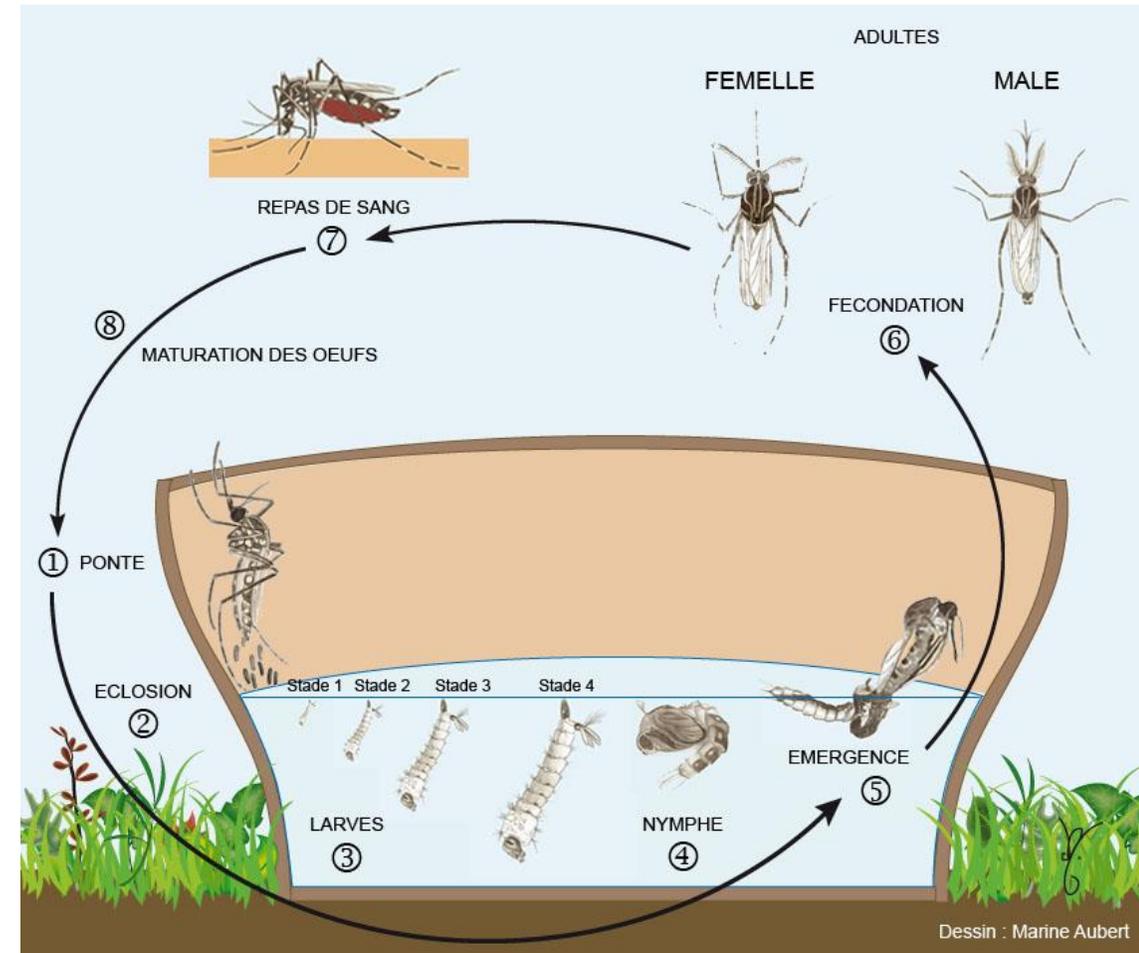
Le modèle moustique

3700 espèces décrites

Concernant les moustiques en général, **le changement climatique modifie les niches écologiques** par:

les **facteurs abiotiques**: température, hygrométrie, régime des pluies, évaporation, exposition solaire, évènements extrêmes, etc..

Les **facteurs biotiques**: nature et abondance des lieux de pontes et de repos, prédateurs, compétiteurs, vertébrés disponibles pour les repas de sang, plantes disponibles pour les repas sucrés ..



Quels liens entre le dérèglement climatique et les maladies vectorielles des vertébrés ?

Le simple:

Pas d'eau : pas de moustique

Trop froid, trop chaud : pas de moustique
mais

Toundra (qq semaines par an)

oasis Sahara (t° de l'eau $>50^{\circ}\text{C}$)

Pas de sang : pas de moustique (vecteurs)



Jason Dobkowski with mosquitoes on his back. Photo by DJ Kast



le complexe : Dérèglement climatique et vecteurs



Selection
co-evolution
adaptation



CLIMAT

Rainfall, Temperature, Relative humidity
Evapotranspiration, Sunlight exposure

ENVIRONNEMENT

Forest/savannas/urbanization
Soil
Predators, competitors, parasites

SOCIO-ECO FACTORS

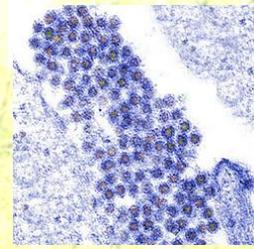
Human density, Human behaviour
Vector and pest control
Agricultural practices, Irrigation
Traffic and Pathogens importation
Drugs and Health care access
Resistance to insecticides and drugs

INTRINSIC FACTORS (Mosquito, Pathogen, Host)

Genetic, epigenetic, immunity, microbiome



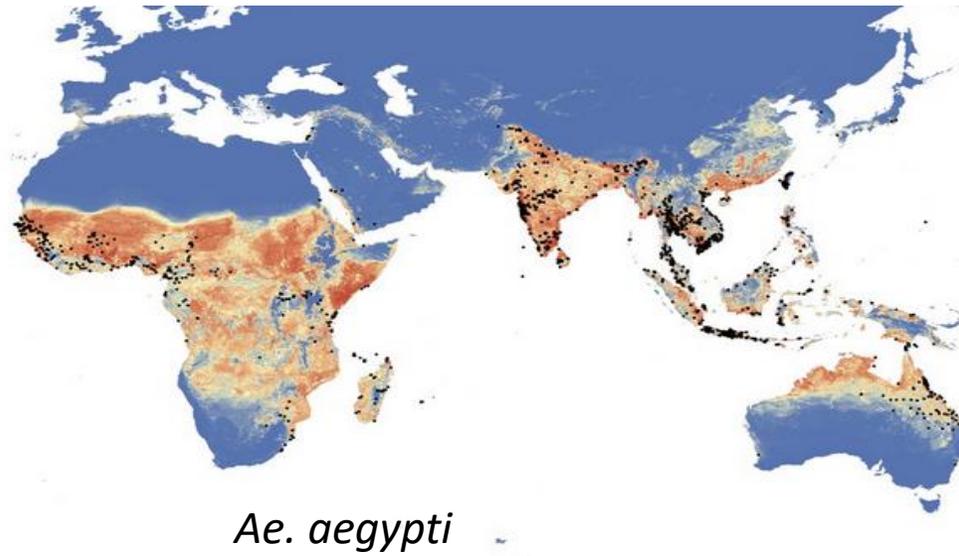
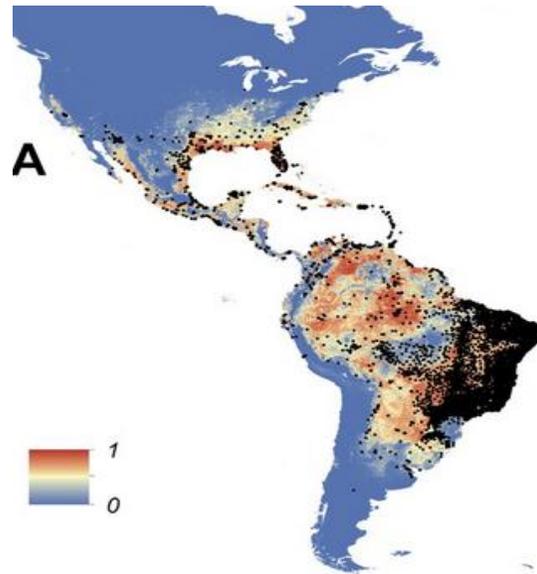
Host



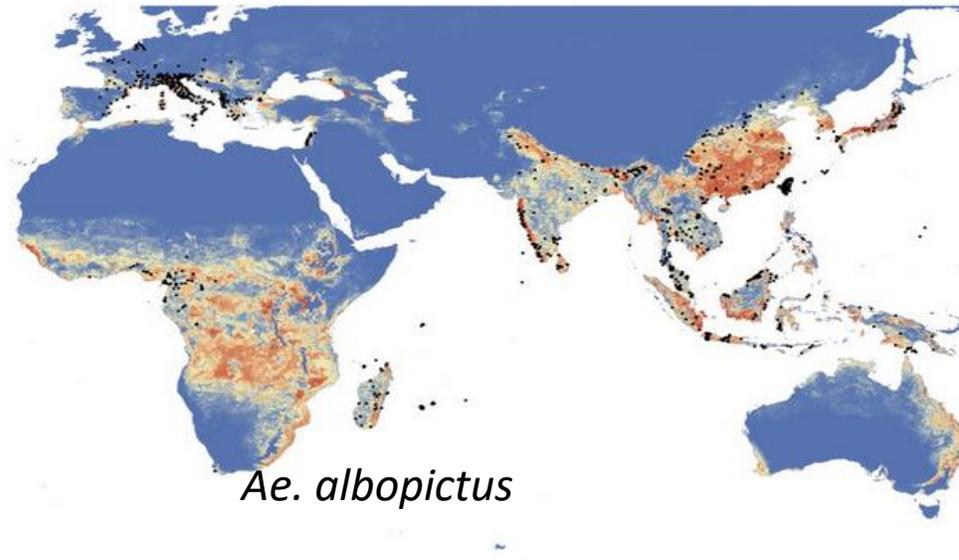
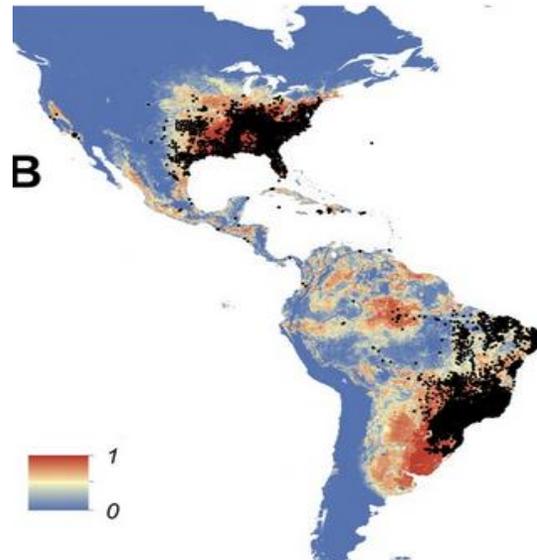
Pathogen



niche écologique : différence entre moustiques des villes (*Aedes*) et moustiques des champs (*Anopheles*)

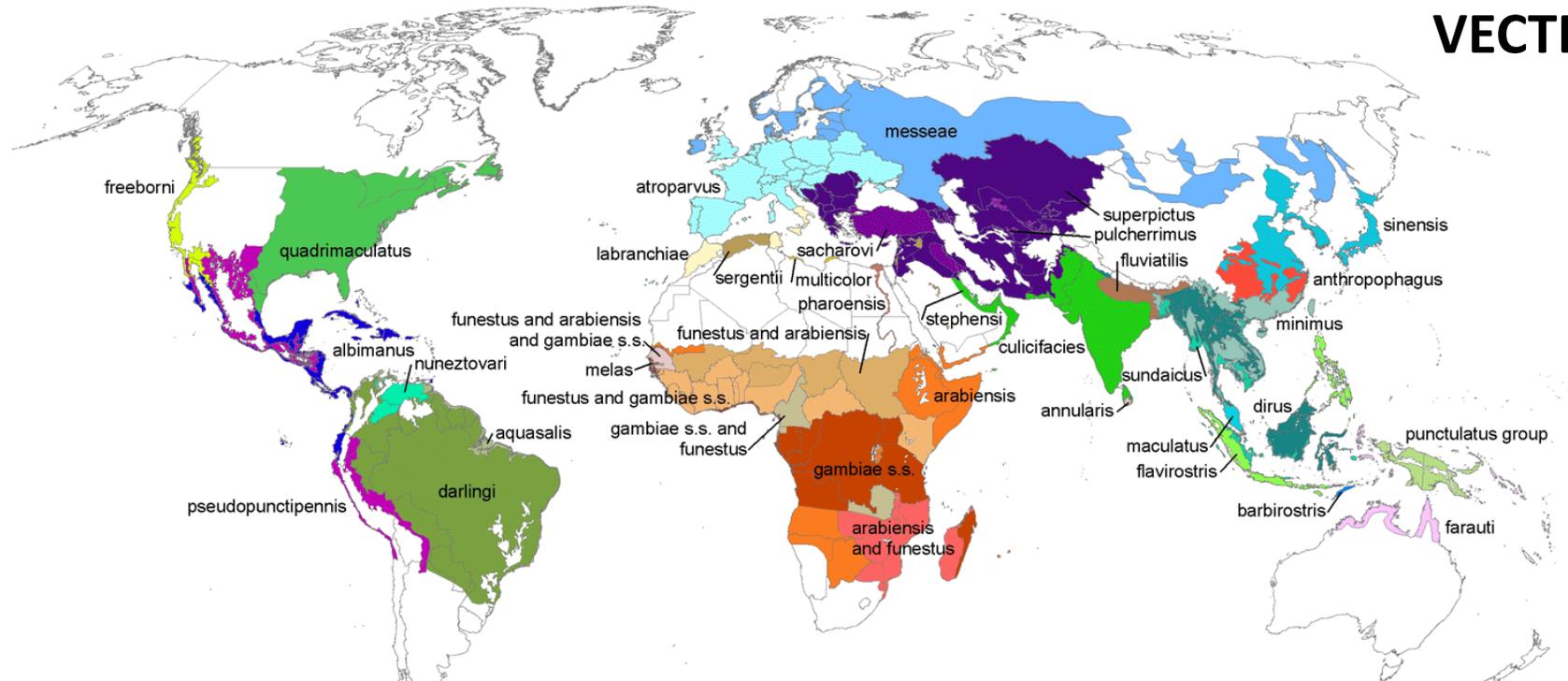


VILLES
GITES DOMESTIQUES



Kreamer *et al.* eLife 2015

Global distribution (Robinson projection) of dominant or potentially important malaria vectors. From Kiszewski et al., 2004. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene 70(5):486-498



VECTEURS DU PALUDISME

Rural, forestier

Niches sauvages

Anopheles

- | | | | | |
|---------------------------|----------------|---|----------------------|-------------------|
| ○ No vector | ● barbirostris | ● funestus and arabiensis | ● melas | ● pulcherrimus |
| ● albimanus | ● culicifacies | ● funestus, arabiensis and gambiae s.s. | ● messeae | ● quadrimaculatus |
| ● annularis | ● darlingi | ● funestus and gambiae s.s. | ● minimus | ● sacharovi |
| ● anthropophagus | ● dirus | ● gambiae s.s. | ● multicolor | ● sergentii |
| ● arabiensis | ● farauti | ● gambiae s.s. and funestus | ● nunez-tovari | ● sinensis |
| ● arabiensis and funestus | ● flavirostris | ● labranchiae | ● punctulatus group | ● stephensi |
| ● aquasalis | ● fluviatilis | ● marajoara | ● pharoahensis | ● sundaicus |
| ● atroparvus | ● freeborni | | ● pseudopunctipennis | ● superpictus |

Le modèle *Aedes albopictus* (le moustique tigre) :

Aedes albopictus peut transmettre **>40 virus** expérimentalement ou naturellement : dengue, Zika, chikungunya, mais aussi fièvre jaune, west nile, ..



Photos M Dukhan, N Rahola, IRD



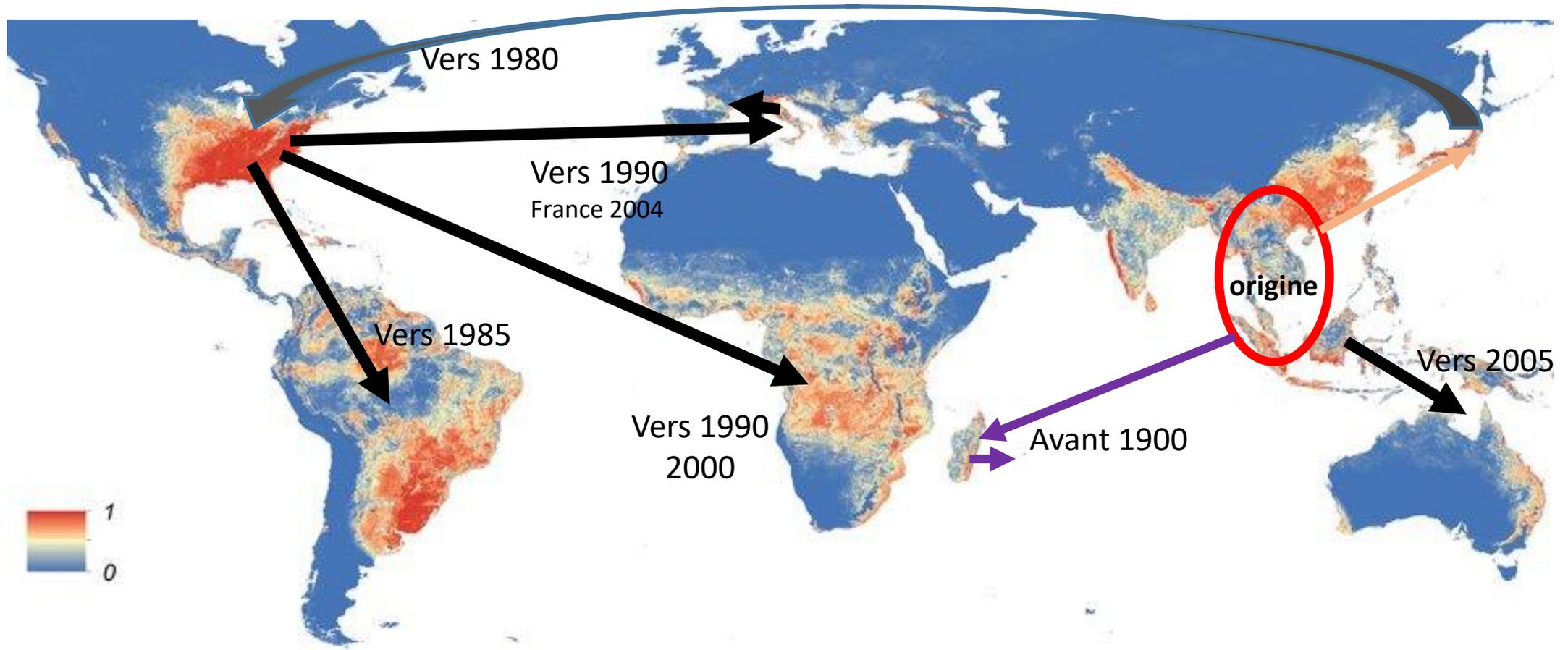
Photos EID Ch. Jeannin



Aedes albopictus à Nice
photo P. Delaunay



Histoire récente du moustique tigre , *Aedes albopictus*

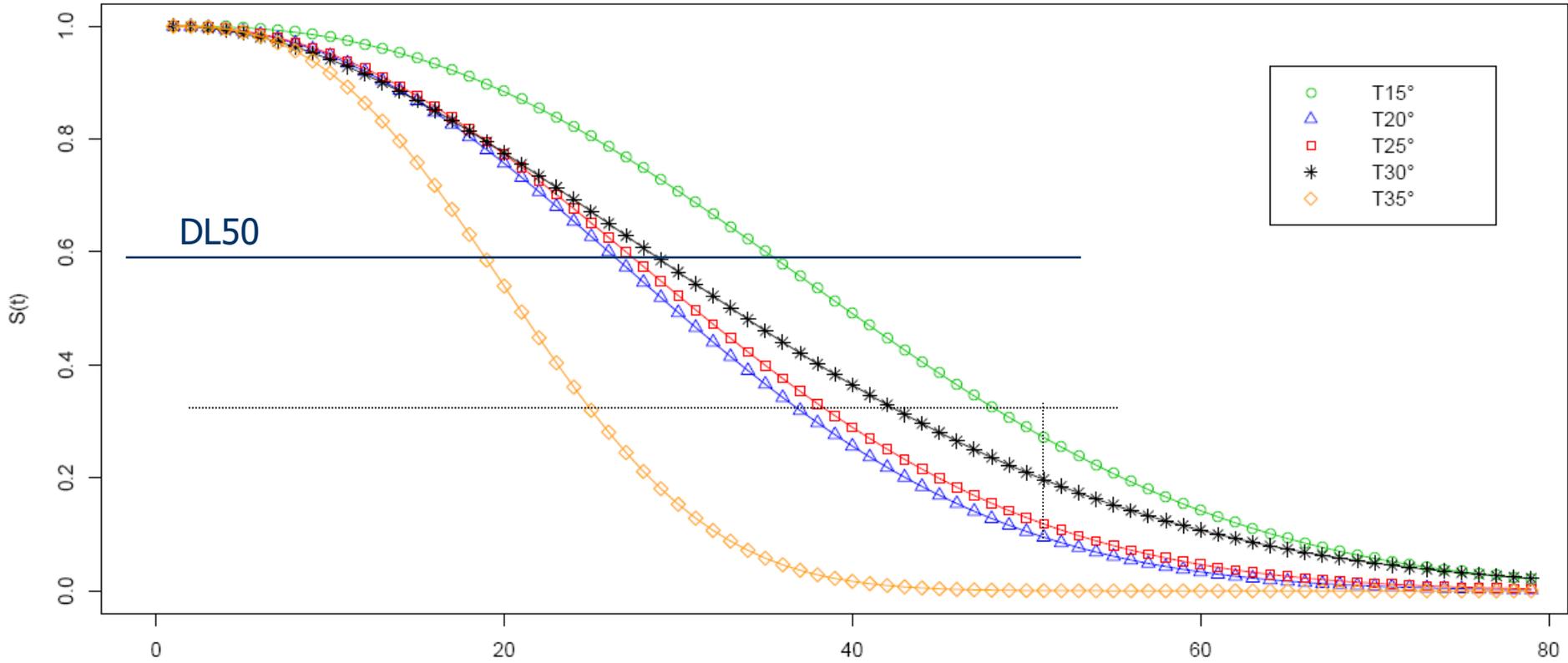


Distribution prédite d'*Aedes albopictus*, et routes probables de migrations historiques et récentes

La LONGEVITE d'*Aedes albopictus* dépend de la température



Survie d'*Aedes albopictus* à 15, 20, 25, 30, 35° C



Plus la femelle moustique vit longtemps, plus elle peut se contaminer et transmettre les virus

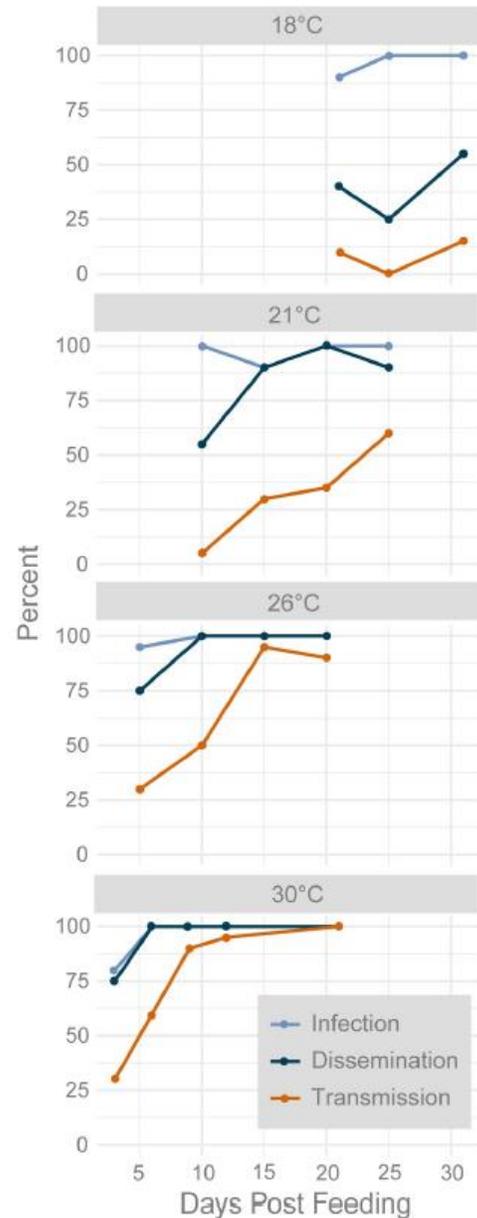
T°C	15	20	25	30	35
Males (days)	31,3	19,3	18,4	17,2	14,9
Females (days)	38,6	28,7	29,9	32,1	19,9

(Delatte et al, 2009, J Med Ent)

Percent of mosquitoes with infected, disseminated, and transmitted ZIKV vRNA at **several temperature**

Virus ZIKA

Plus de virus, transmis plus rapidement, à température plus élevée (30°C vs 18°C)



Durée de développement en jours du virus Zika chez le moustique, en fonction de la température

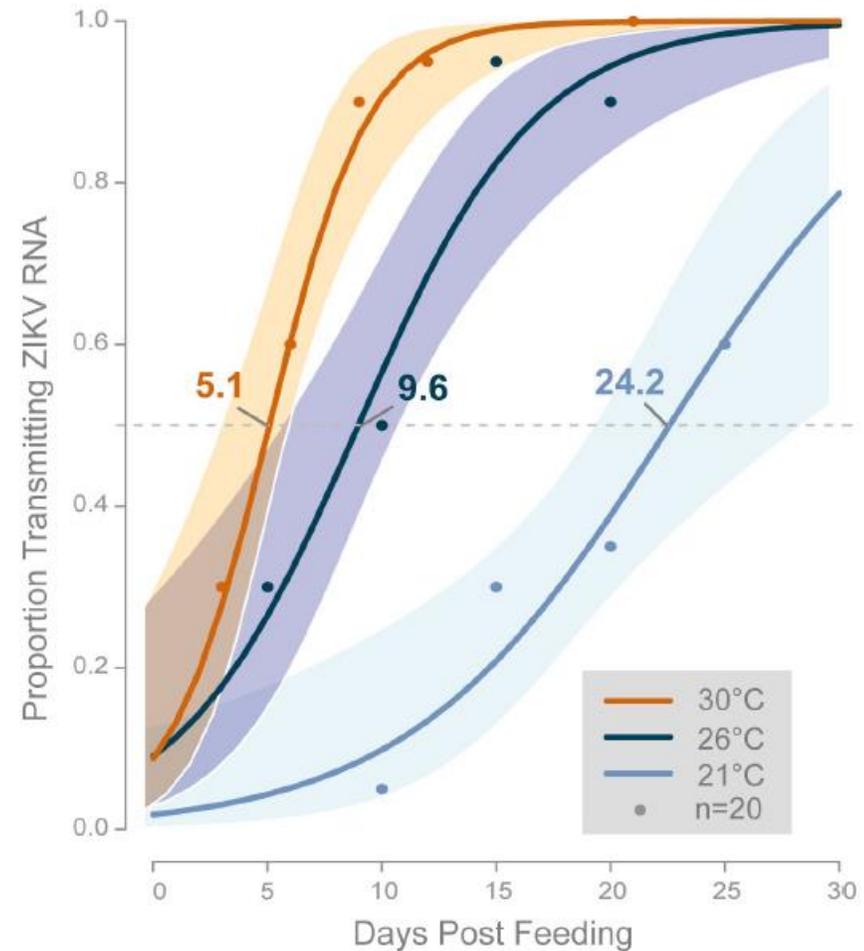


Fig 3. Fitted logistic curves showing the proportions of *Ae. aegypti* transmitting ZIKV vRNA over time by temperature. Each point represents the observed proportion of mosquitoes (of 20 tested) that transmitted at each temperature and time-point. The estimated EIP₅₀ is indicated for each temperature.

<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008047.g003>

Winokur et al (2020) Impact of **temperature on the extrinsic incubation period of Zika virus in *Aedes aegypti***. PLoS Negl Trop Dis 14(3): e0008047.

Moyenne 16°C: 5°-27°

Moyenne 26°C: 15°-37°

Temp variable, moyenne de 16°C: infection **0.35**

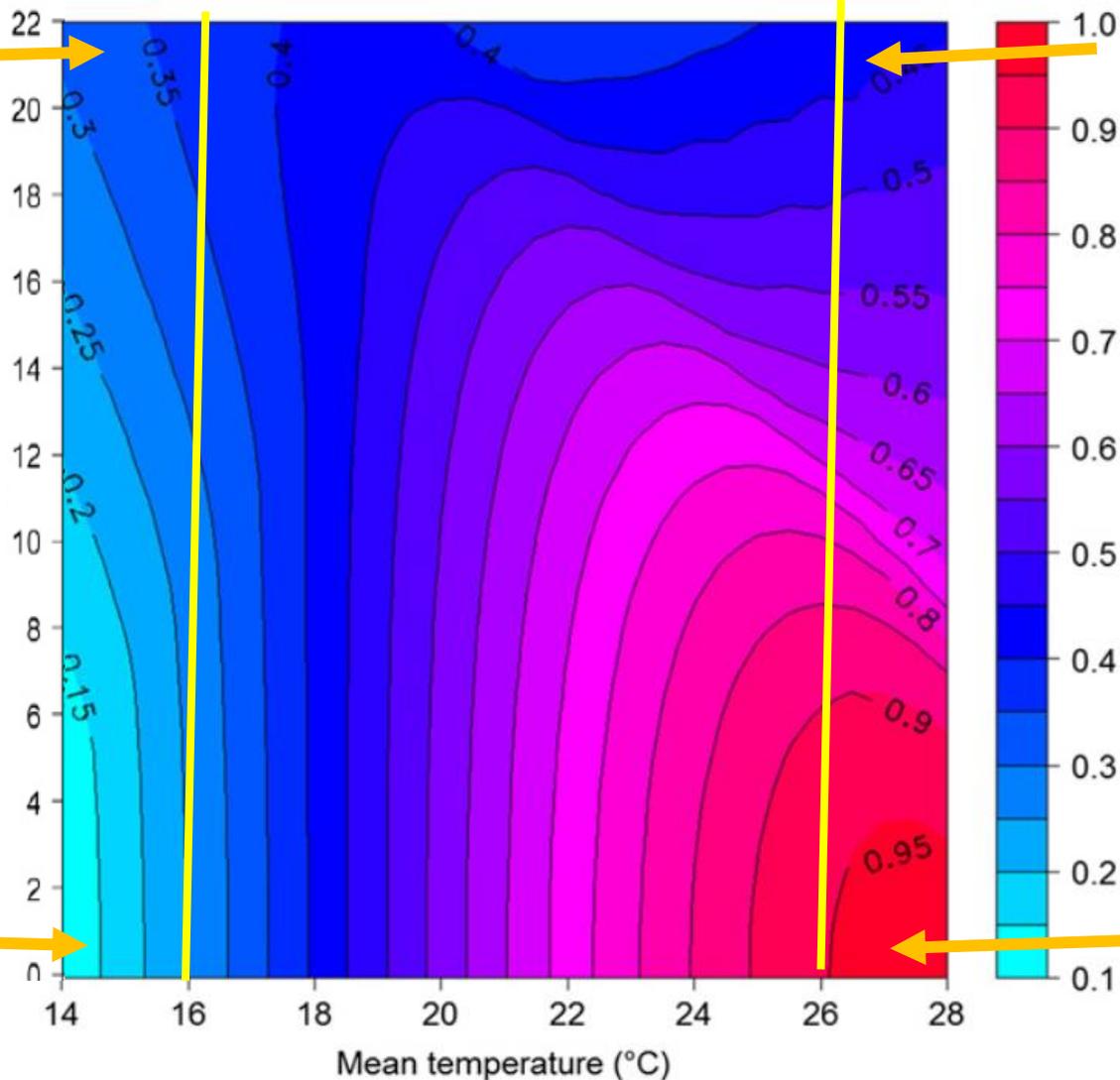
Temp variable, moyenne de 26°C: infection **0.45**

Virus DENGUE

Temp constante de 16°C: infection **0.20**

Temp constante de 26°C: infection **0.95**

DTR : diurnal temperature range

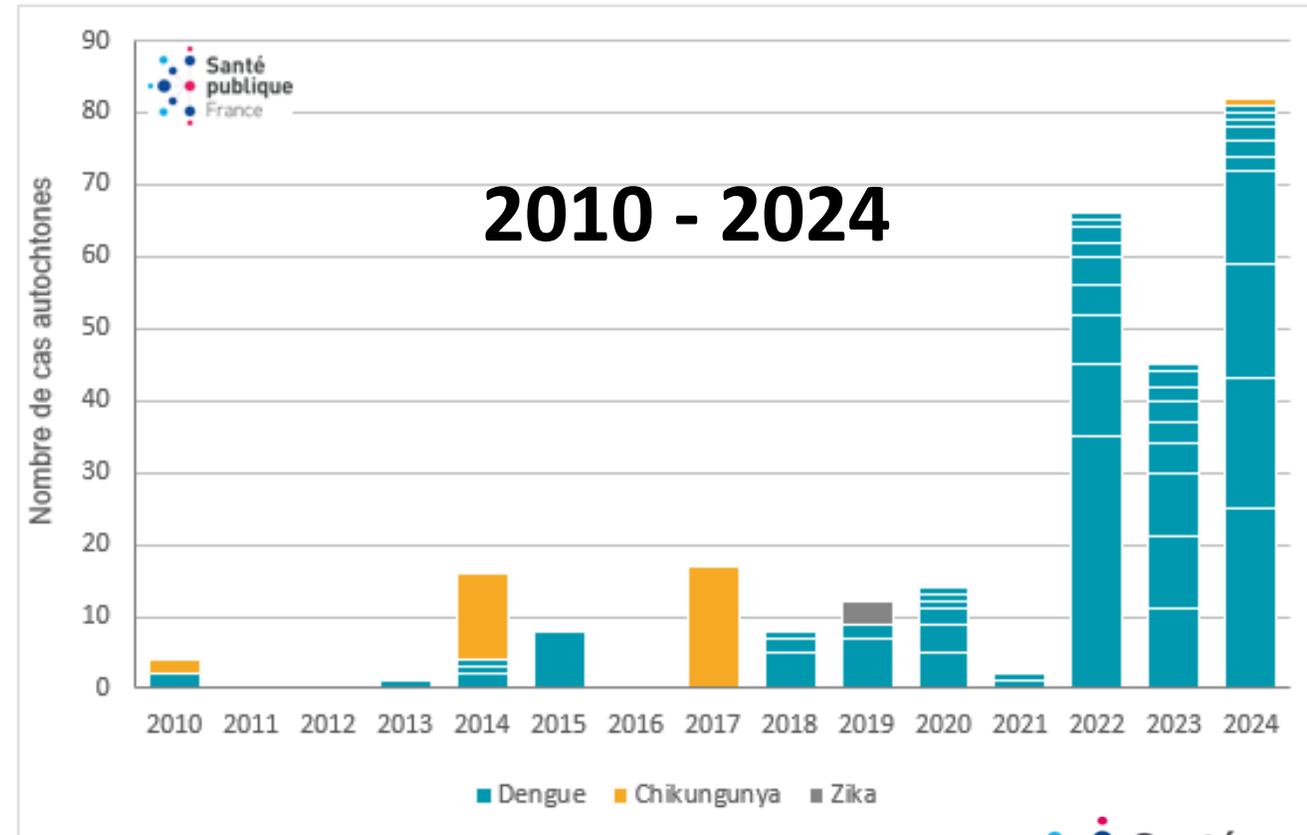
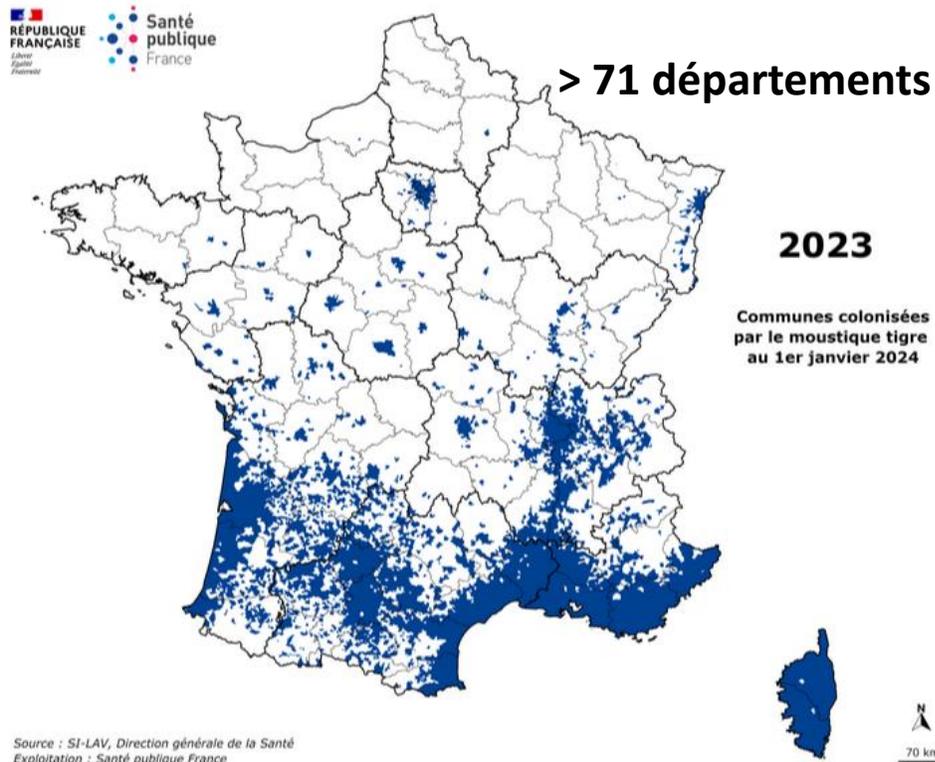


DTR : diurnal temperature range. Les variations de température dans la journée influencent la compétence vectorielle (% de moustiques transmetteurs)

Aux températures moyennes **FROIDES**, les variations de température **AUGMENTENT** la probabilité d'infection ,
 Aux températures moyennes **CHAUDES**, les variations de température **DIMINUENT** la probabilité d'infection ,

Zika, chikungunya et dengue en France métropolitaine

Carte de présence du moustique tigre (*Aedes albopictus*) en France hexagonale



2022 : 65 cas de DENGUE AUTOCHTONES

2023 : 45 cas

2024 : env. 80 cas

Quelques faits

En **France**, lien probable entre pluviométrie extrême, abondance de moustiques et foyer de Chikungunya en 2014, à Montpellier (at least 11 autochthonous cases of chikungunya) (Roiz et al. 2015).

En Guyane (Adde et al. 2016), en Guadeloupe (Gharbi et al. 2011), en Nouvelle Calédonie (Ochida et al. 2022), à la Réunion (Lamy et al. 2023), liens entre variables climatiques et épidémies de dengue.

En **Europe**, le changement climatique + autres facteurs de changement global, favorisera l'expansion d'*Aedes albopictus*, mais possiblement aussi celle d'*Ae. aegypti* (Wint et al. 2022). Attention ces modèles ne prennent pas en compte l'évolution génétique des vecteurs.

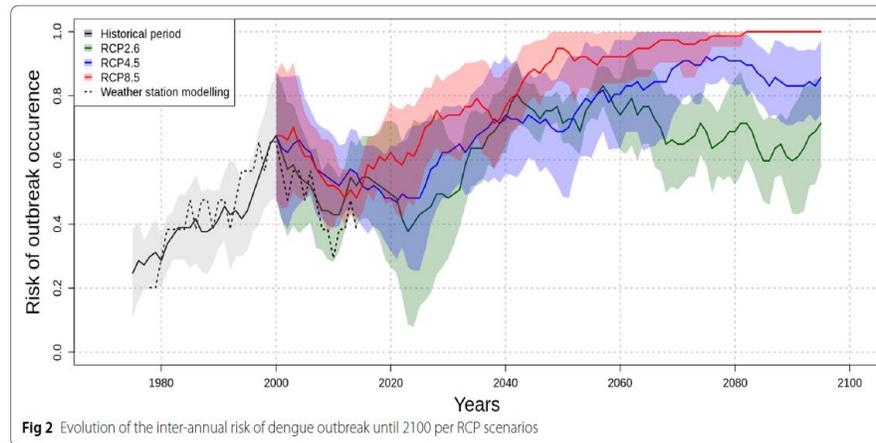
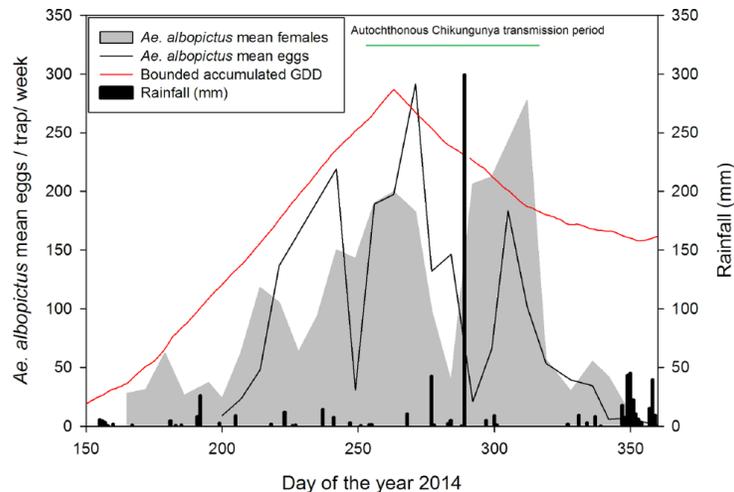
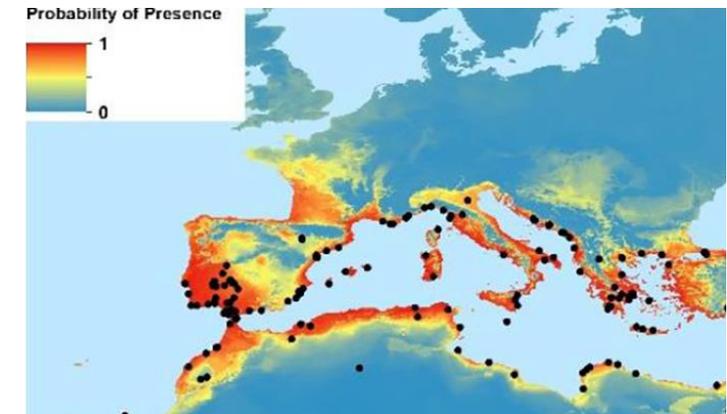


Fig 2 Evolution of the inter-annual risk of dengue outbreak until 2100 per RCP scenarios

Ochida et al. 2022. Modelisation du Risque de dengue en Nouvelle Calédonie sous différents scenarii climatiques



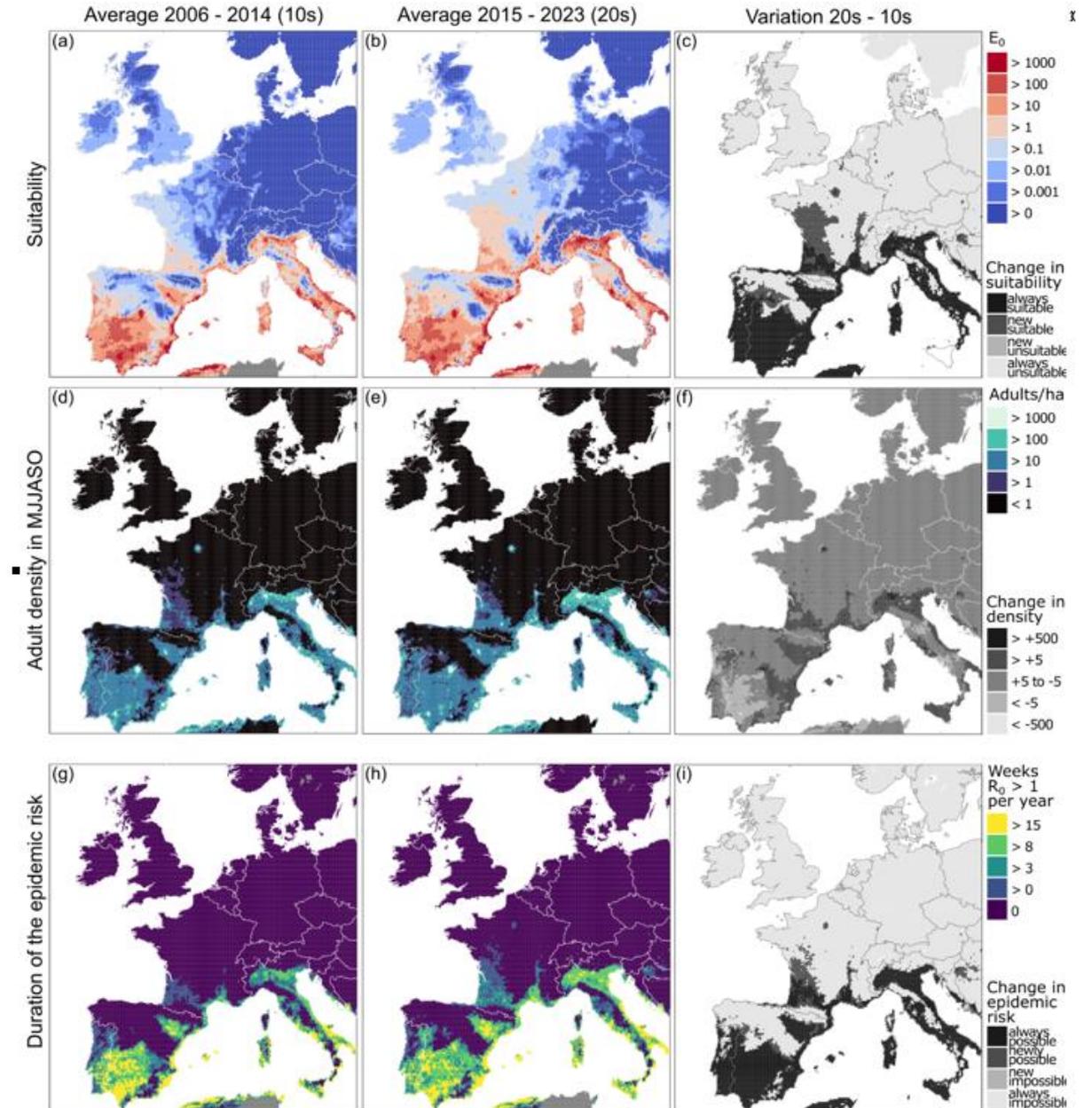
Wint et al. 2022. *Ae. aegypti*, suitability map

Roiz et al. 2015. *Ae. albopictus*, rainfall, Montpellier

Le changement climatique récent (années 2010 vs années 2020) modifie déjà le risque vectoriel en Europe

Effets du climat récent sur:

- Régions favorables à *Ae. albopictus*
- Présence d'*Ae. albopictus* en été
- Risque de transmission de la dengue en Europe.



AUTRES FACTEURS

Les **comportements** humains **climat (météo) dépendant** impactant +/- le contact « humain – moustiques »,

- activités d'extérieur

- arrosage, stockage d'eau

- vêtements légers

- climatisation

Les autres actions humaines impactant le contact « humain – moustiques »,
indépendant du climat

- lutte antivectorielle (répulsifs, insecticides, pièges, ...)

Changements climatiques, *Aedes albopictus* et arbovirus (dengue)



QUE RETENIR ?

Le changement climatique modifie les **niches écologiques** des vecteurs:

Facteurs **abiotiques** (température, pluies, ..)

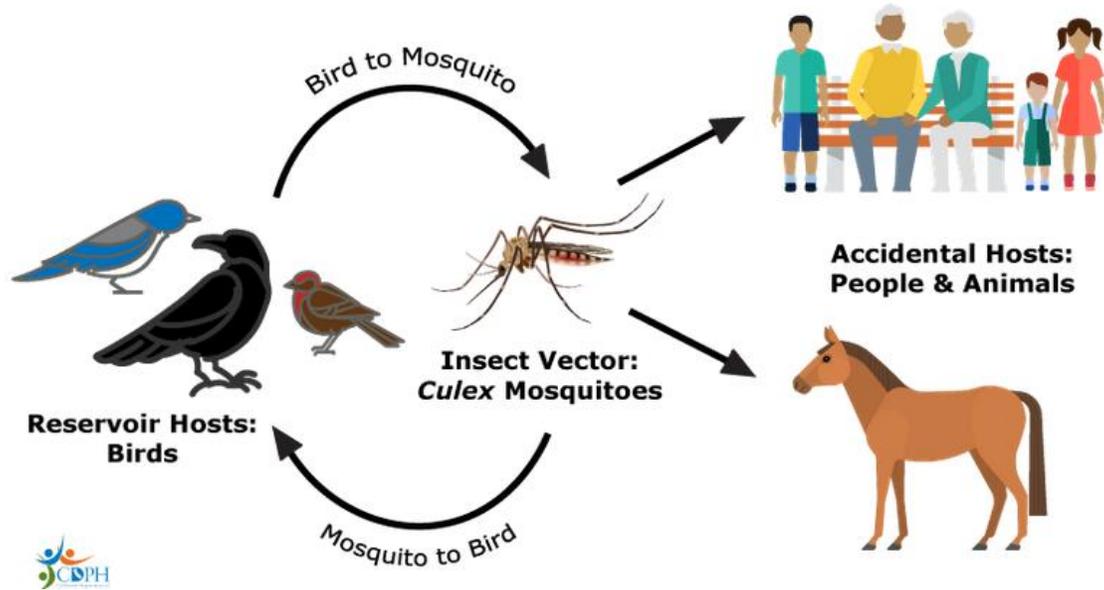
Facteurs **biotiques** (lieux de développement et de repos des moustiques, prédateurs, compétiteurs, hôtes vertébrés, ..)

Aedes albopictus étant urbain, et se nourrissant de sang humain, est **moins sensible au changement climatique** que d'autres vecteurs. Son expansion passée était plutôt due à **l'urbanisation**, au transport et à ses **capacités génétiques** à s'adapter à des climats plus froids. Depuis 5 ans il « profite » du réchauffement climatique.

Le **changement climatique modifie** la **survie** des femelles, le nombre de **générations** annuelles, la période **d'activité**, la vitesse de **développement du virus** dans le moustique, les **comportements** humains « à risques » (activités d'extérieur, vêtements légers).

Les moustiques *Culex* et la fièvre à virus West Nile (et Usutu)

West Nile Virus Transmission Cycle



2023 : 47 cas humains, WNv et USUv, dont 20 neuro invasifs en **France** métropolitaine

10 cas chez des chevaux

> 22 oiseaux morts positifs WN ou USUTU

2024 : **35** cas humains de WNv en **France** métropolitaine (Var, Gard, Hérault), dont 8 neuro invasifs. Rares cas d'USUv
57 foyers équin (Charente-Maritime, dans le Var, les Bouches-du-Rhône, le Gard, l'Hérault, La Haute-Corse, la Vendée et la Corse-du-Sud)

> X ? oiseaux morts positifs WN ou USUTU (merles)



Saint Gilles - Camargue – (Ph G. Legoff)



Emergence, recrudescence

- virus de la fièvre du Nil occidental
- Zoonose transmise par les moustiques aux oiseaux,
- hôtes occasionnels : les chevaux et les humains

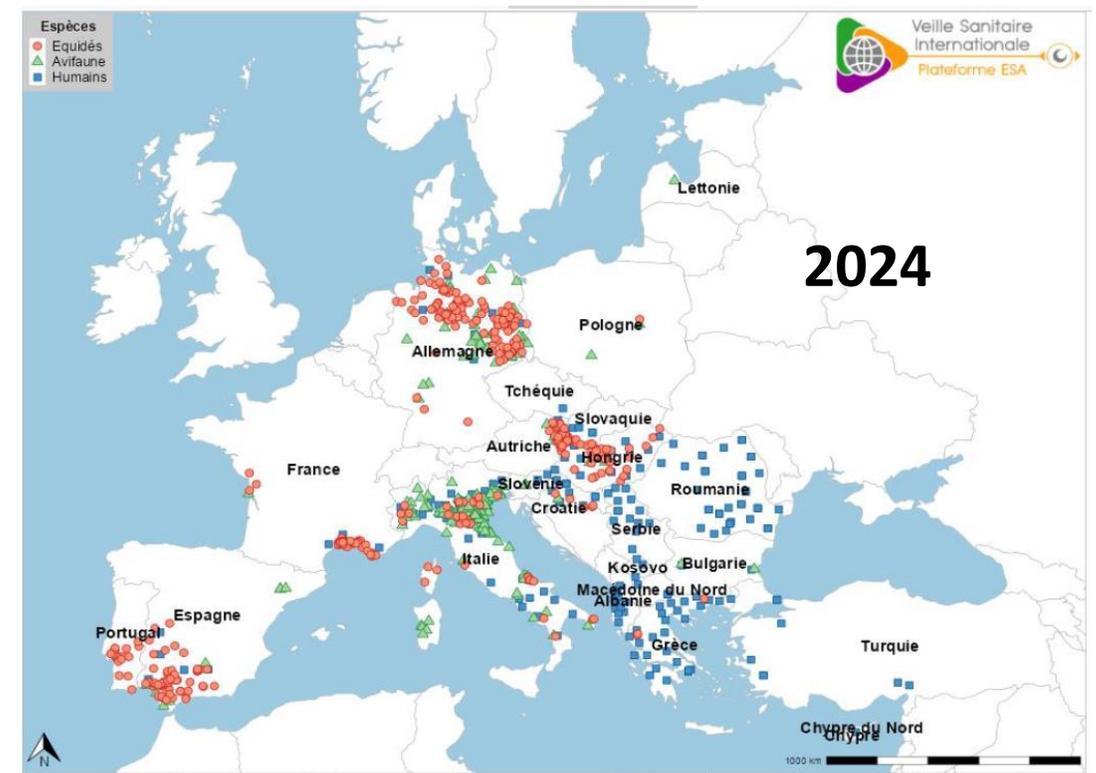


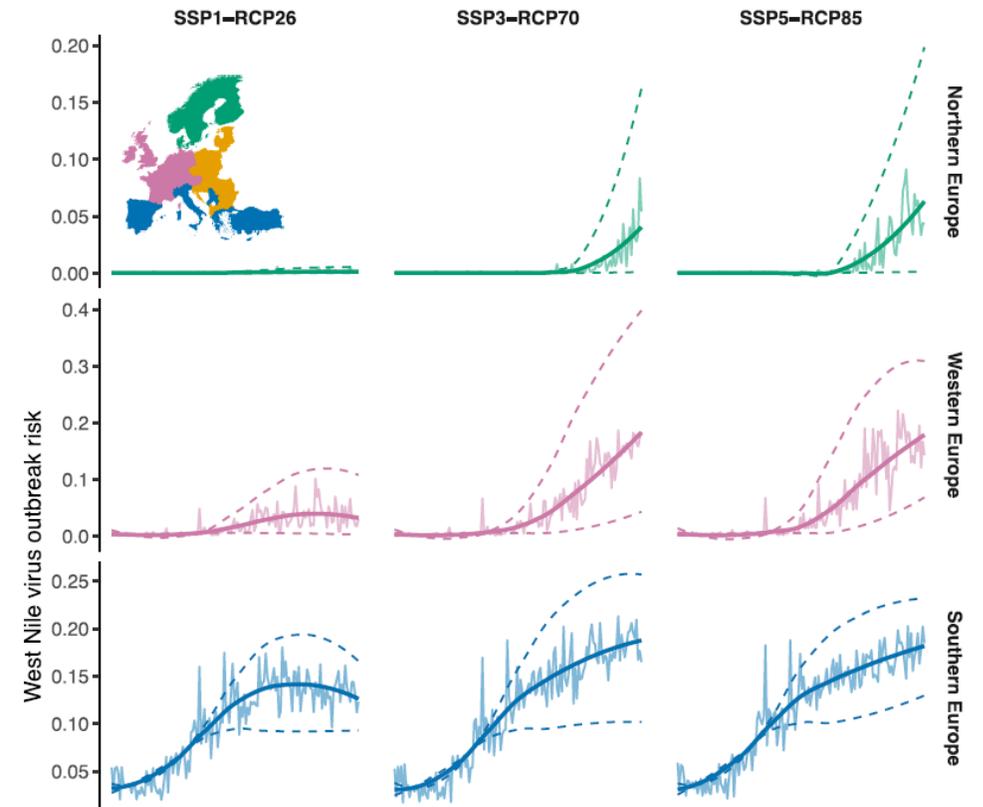
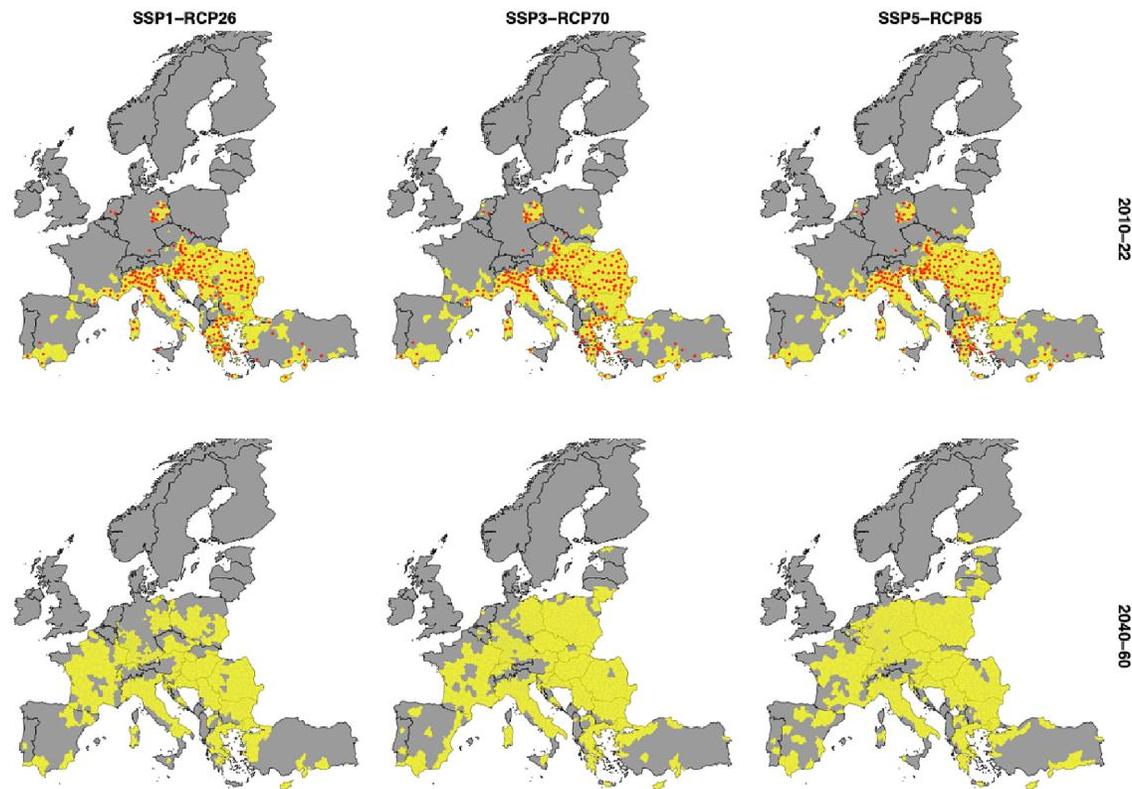
Figure 1. Cas d'infection par le virus West Nile en 2024 pour les foyers/cas animaux et pour les zones affectées par les cas humains (source : Commission Européenne ADIS 14/10/2024 et ECDC weekly dataset du 11/10/2024).

Le modèle *Culex* et la fièvre à Virus West Nile

Un problème pour les années à venir : Changement climatique, oiseaux en ville

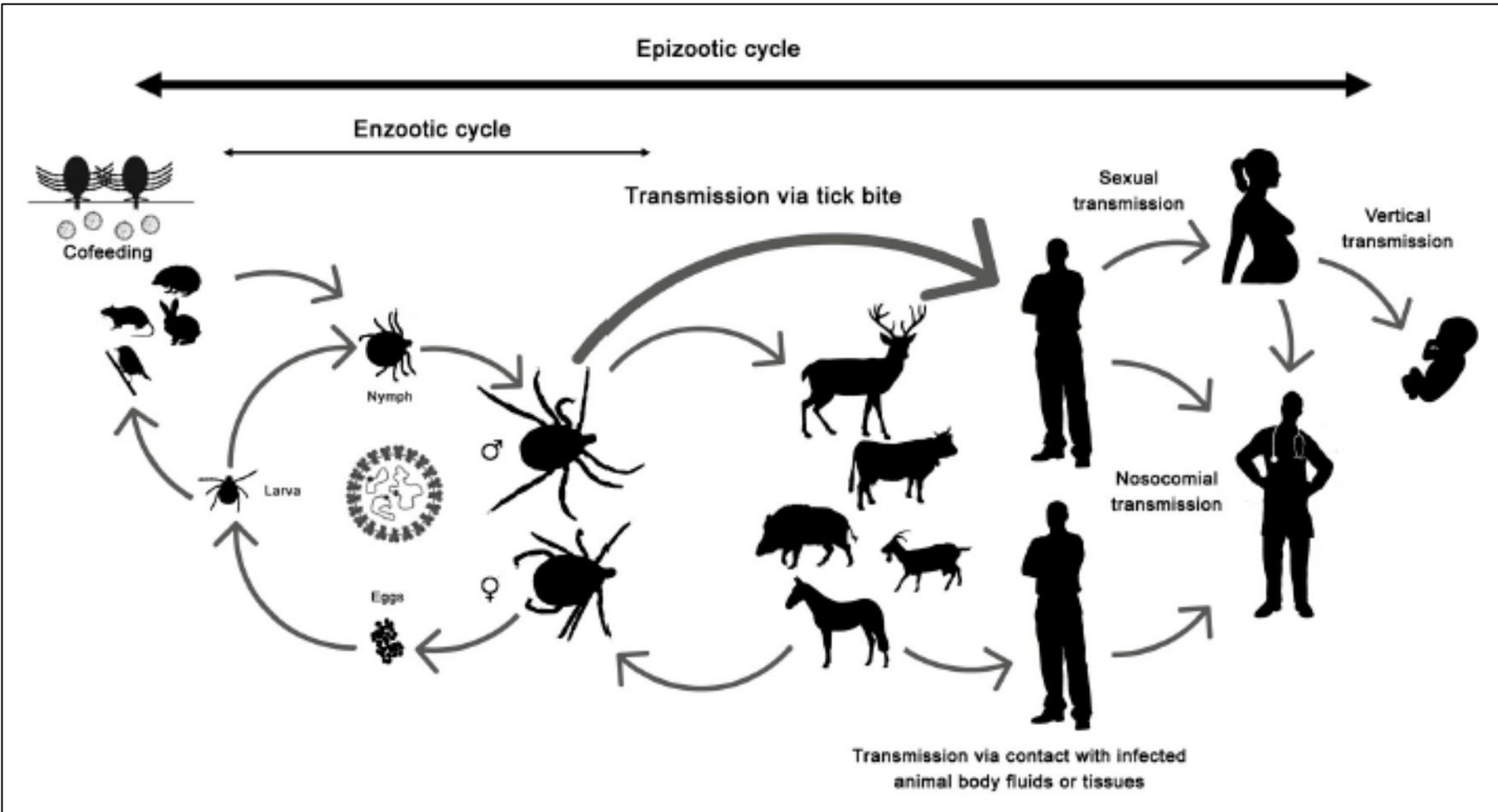
Z. Farooq et al.

One Health 16 (2023) 11



Le modèle Tiques et arboviroses

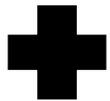
A zoonosis : CCHF (Crimean Congo Haemorrhagic fever),
and *Hyalomma* ticks



F. Stachurski, CIRAD



En France hexagonale, un vecteur avéré *Hyalomma marginatum* qui s'installe et s'étend...

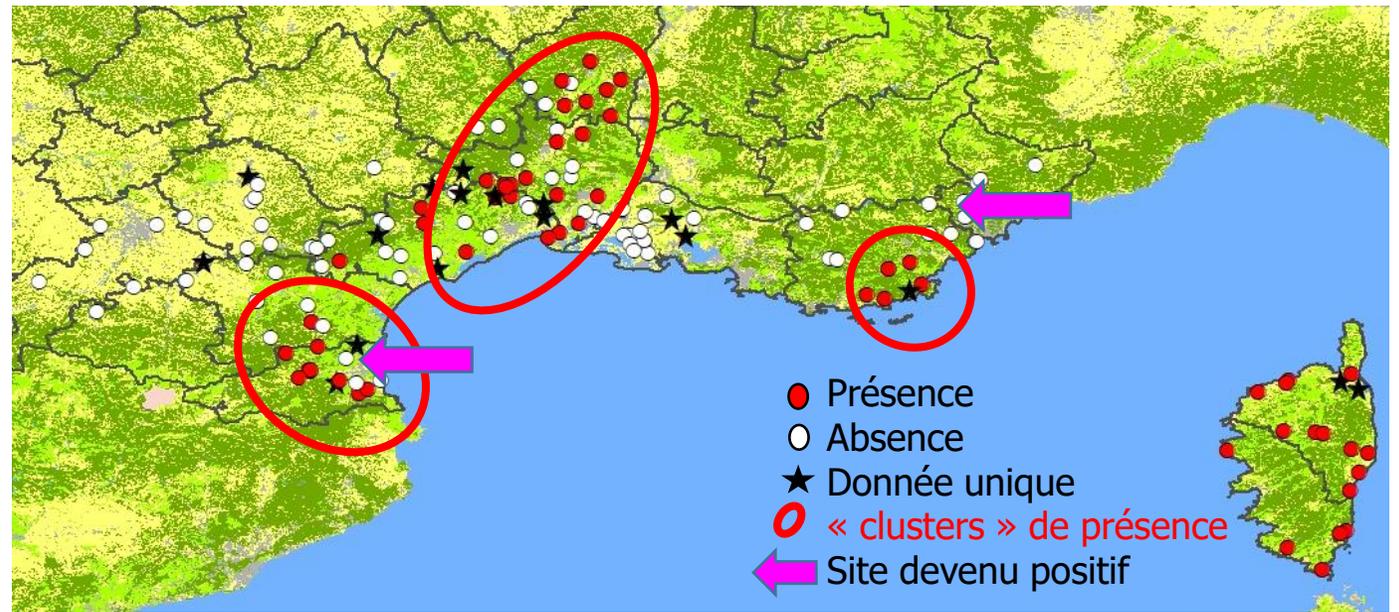


Présence de CCHF en France
Mise en évidence sur tiques de bovins des Pyrénées Orientales, et Enquêtes sérologiques (par ex en Corse)

13% bovins et 2-3% petits ruminants avec des anticorps contre le virus CCHF (jusqu'à 80% d'animaux séropositifs dans certaines fermes au nord-est de l'île)

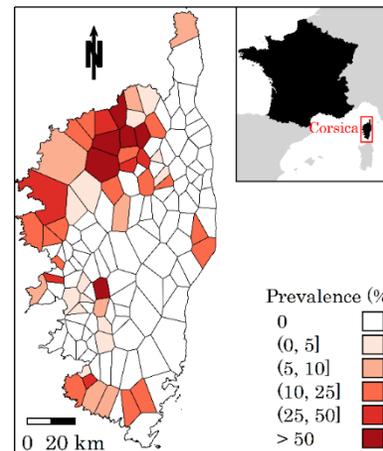
Diapo Laurence Vial, CIRAD

Grech-Angelini et al., 2020



Sites de collecte de *H. marginatum* en structures équestres (2017-2019) 9 départements infestés sur le pourtour méditerranéen (Vial et al., 2016 et com. perso)

Human CCHF cases in Spain '2016 -2021



Climat et distribution de *Hyalomma marginatum*, Sud de France

Une extension géographique attendue en raison du changement climatique

Variables :

- Daily maximal and minimal temperatures,
- Precipitation,
- Potential evapotranspiration,
- Relative humidity
- Minimal and maximal monthly mean temperature
- Monthly mean potential evapotranspiration
- Precipitation during summer (June to August)

Bah MT, et al. 2022. The Crimean-Congo haemorrhagic fever tick vector *Hyalomma marginatum* in the south of France: Modelling its distribution and determination of factors influencing its establishment in a newly invaded area. *Transbound Emerg Dis.* 69(5):e2351-e2365.

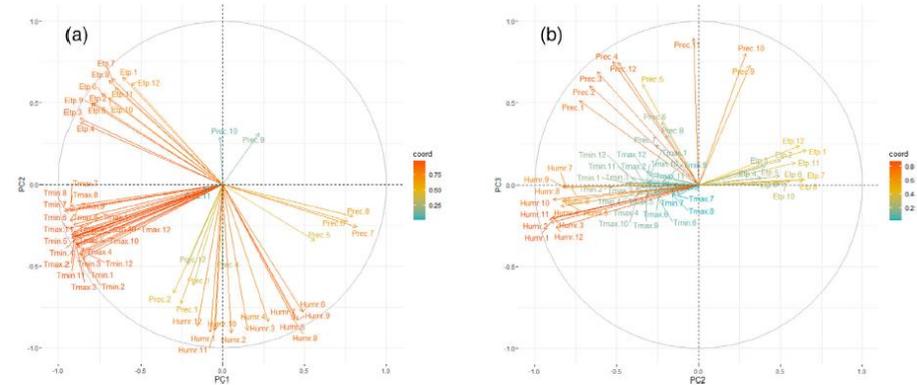


FIGURE 2 Principal component analysis of the climatic data, under the principal components 1 (PC1) and 2 (PC2) (2A) and the principal components 2 (PC2) and 3 (PC3) (2B). Colours represent the squared sum of the coordinates of the climatic variables on the principal components.

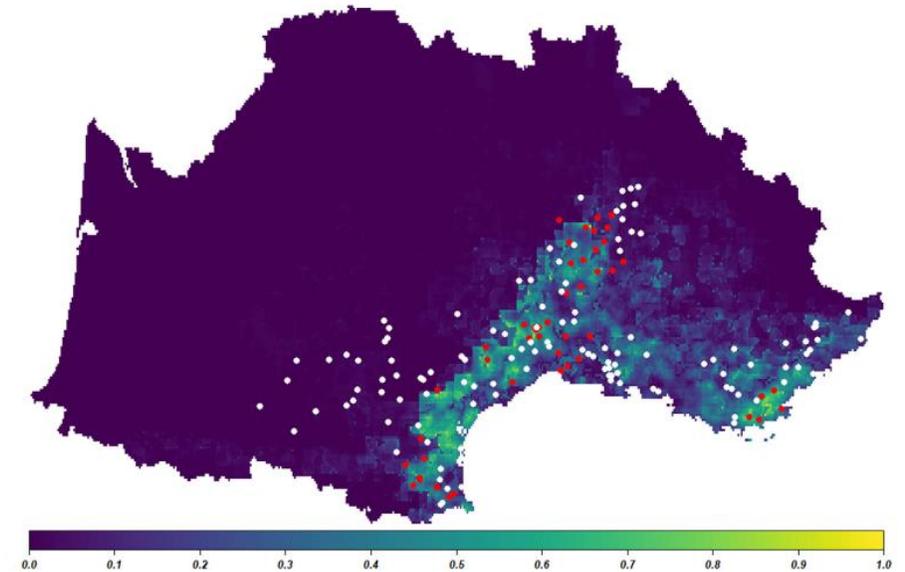


FIGURE 4 Predicted probability of presence for *H. marginatum* in the south of France, using the most parsimonious model (dark blue: null probability to bright yellow: highest probability). Red circles represent the observed presence and white circles observed absences from testimonies and surveys

Prévenir, réduire, accompagner,

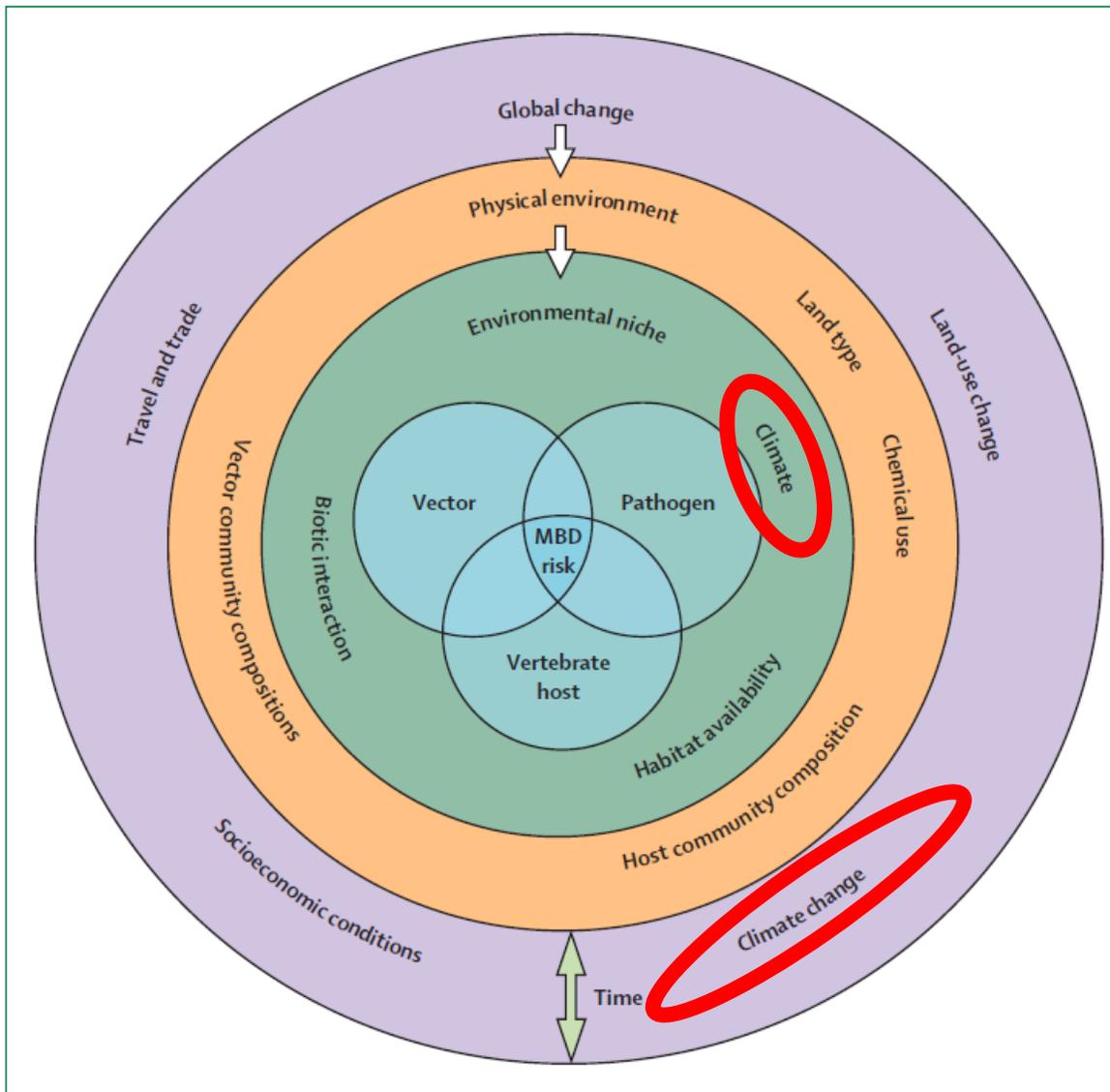


Figure 3: A system dynamics approach to understanding mosquito-borne disease risk
 A conceptual model to show a system approach to understanding mosquito-borne (MBD) disease risk whereby public health outcomes are influenced by complex interactions between environmental and socioeconomic systems.

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Risque vectoriel} \\
 &= \\
 &\textbf{Danger (agent infectieux)} \\
 &\times \\
 &\textbf{Exposition (moustique)} \\
 &\times \\
 &\textbf{Vulnérabilité (des humains)}
 \end{aligned}$$

**Pas que le climat,
 mais aussi le climat**

Le Comité de veille et d'anticipation des risques sanitaires (**COVARs**) a évalué les risques de maladies à transmission vectorielle affectant l'homme, en tenant compte des différents risques pour les 5 prochaines années. Niveau différent entre la France métropolitaine et la France d'outre-mer.

Risques épidémiologiques : apparition, émergence, foyers, expansion

Risques cliniques : morbidité, létalité, séquelles

Mesures de prévention et de contrôle : outils, plans stratégiques, efficacité (résistance)

Impacts : système de soins, psycho-socio, économique, environnemental

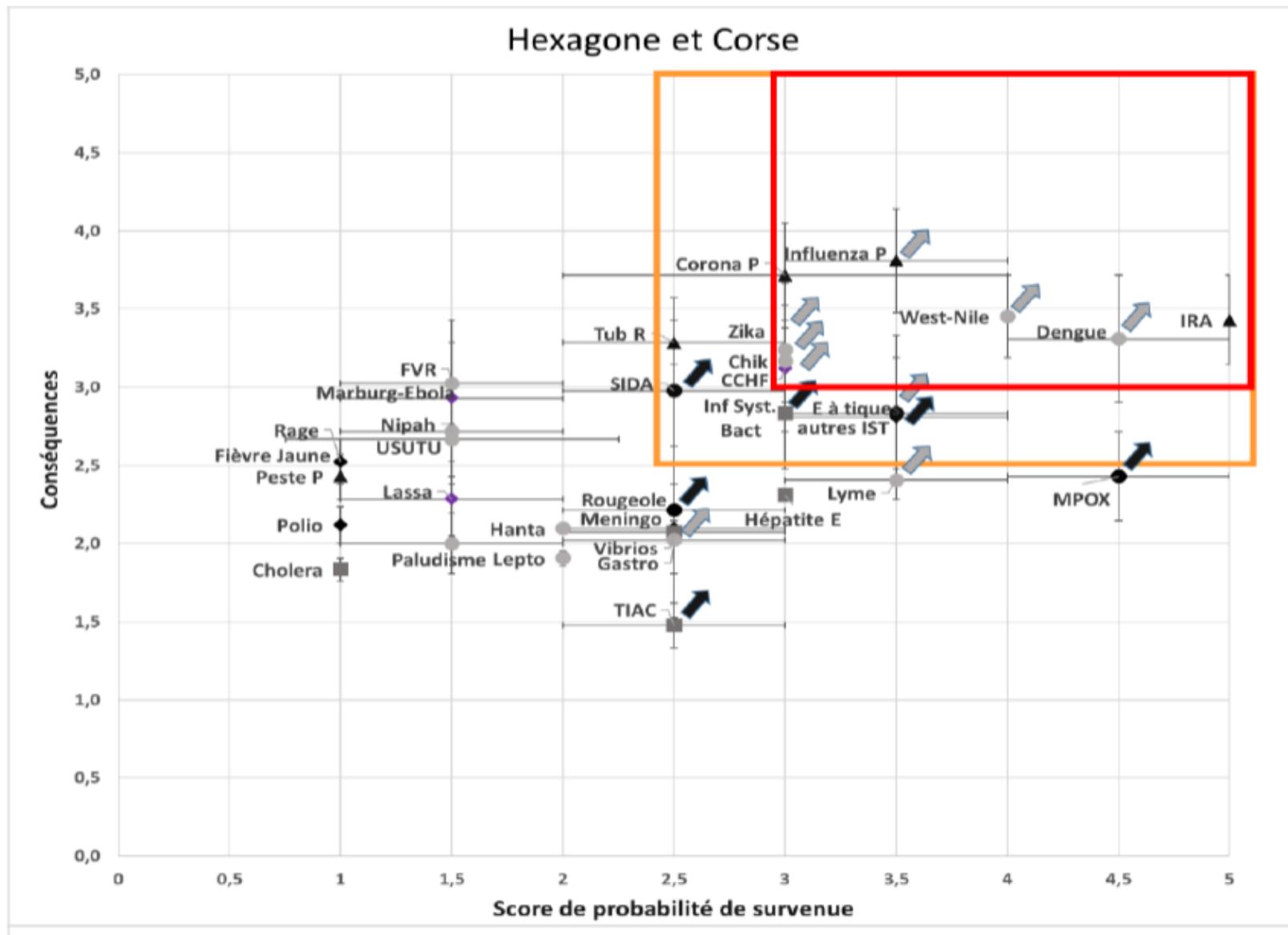
Critères de risque Maladies Pathogènes	Risques épidémiologiques			Risques cliniques				Absence ou inefficacité de contre-mesures de :				Impacts				
	Probabilité de survenue §	Risque d'émergence (potentiel d'augmentation) °	Expansion géographique et potentiel épidémique *	Impact clinique individuelle	Létalité individuelle	Létalité et morbidité Groupes à risque	SPI ou séquelles (=)	Contrôle °°	Prévention ++	AMR ou Résistance aux mesures de lutte	Plan ou règlement **	Système de soins	Psycho-sociaux !	Economiques °°°	Sur les écosystèmes	Des mesures de lutte
Peste	Blue	Blue	Green	Orange	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Orange	Yellow	Orange	Blue	Green	Green
CCHF	Yellow	Orange	Yellow	Red	Orange	Orange	Blue	Orange	Orange	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Green	Green	Green
Dengue	Red	Red	Red	Orange	Yellow	Red	Green	Orange	Orange	Red	Green	Red	Yellow	Orange	Blue	Orange
West-Nile	Orange	Orange	Orange	Orange	Green	Red	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Orange	Blue	Orange
Usutu	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green	Green	Orange	Orange	Orange
Chikungunya	Orange	Orange	Yellow	Orange	Green	Orange	Orange	Orange	Orange	Red	Yellow	Orange	Green	Orange	Blue	Orange
Zika	Orange	Orange	Yellow	Red	Green	Red	Red	Orange	Orange	Red	Yellow	Orange	Green	Orange	Blue	Orange
Fièvre Jaune	Orange	Green	Green	Red	Yellow	Red	Green	Orange	Green	Yellow	Yellow	Orange	Green	Orange	Blue	Orange
Paludisme	Orange	Green	Green	Orange	Orange	Orange	Blue	Green	Green	Red	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green
F. Vallée du Rift	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Green	Orange	Green	Orange	Orange	Yellow	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Green
Lyme	Red	Red	Yellow	Green	Green	Green	Orange	Green	Orange	Blue	Green	Green	Orange	Yellow	Blue	Green

++ : Dengue, West-Nile, Lyme disease

+ : Zika, Chikungunya, Crimean-Congo hemorrhagic fever

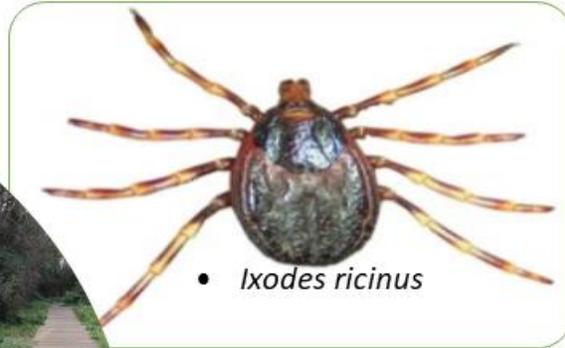
- : Tick borne encephalitis, Rift valley fever, Usutu, yellow fever, malaria, plague ,

Risk level: Very High (red), High (orange), moderate (yellow), low (green), neglectible (blue).



Estimation des scores de probabilités de survenue des maladies infectieuses en fonction de leurs conséquences

La ville du futur et le risque entomologique



Lutter contre les ilots de chaleur en végétalisant les villes ?

OUI, OUI, mais anticiper le risque d'urbaniser des cycles vectoriel : exemple des virus West Nile et Usutu



Paris
Jardin de pluie - CCC



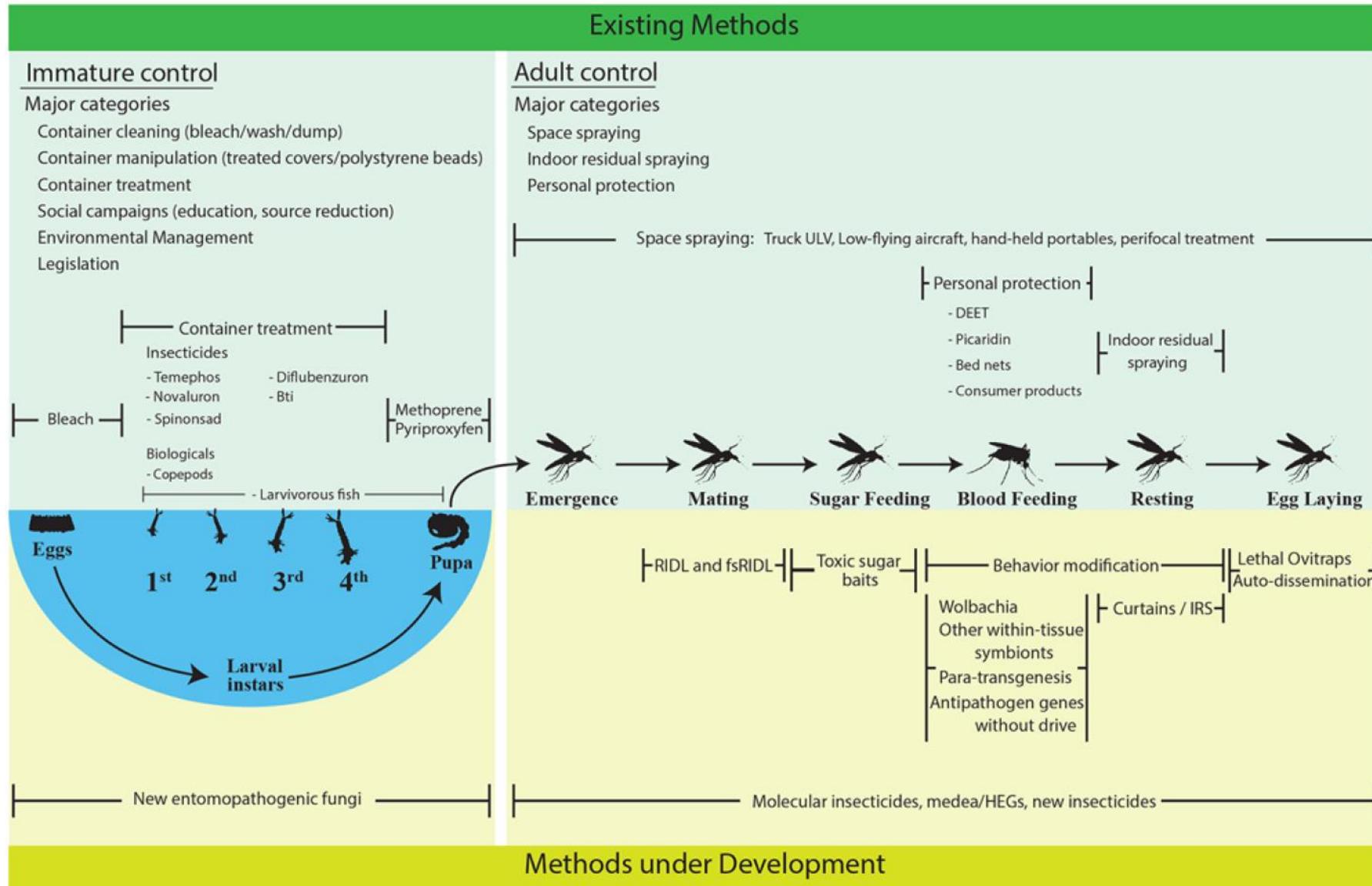
Ph Gregory L'Ambert, EID Med



EAUX DE TOITURES

ILLUSTRATION 5
Un premier bassin recevant les eaux de toitures.
© J. Champres, Cerema

QUE FAIRE ?



Existing and developing control methods. Existing methods (upper green region) and methods under development (lower yellow region) are enumerated and separated by those that affect larval mosquito stages (left) and those that affect adult mosquito stages (right). Methods that target a particular sub-stage within a mosquito's life cycle are oriented vertically with those sub-stages

Que faire contre les moustiques ? Aujourd'hui



L'implication de la société dans la lutte contre les moustiques

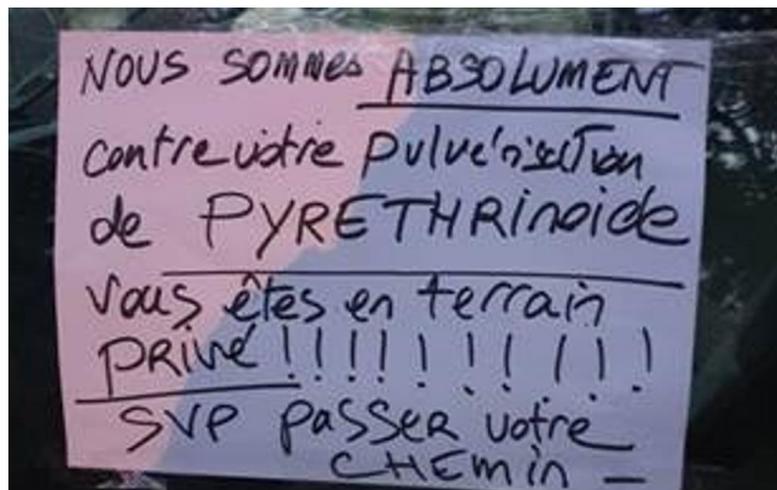
Comprendre, analyser, répondre à une demande sociétale forte pour moins de pesticides, mais aussi moins de moustiques et moins de risques sanitaires !



Les citoyens

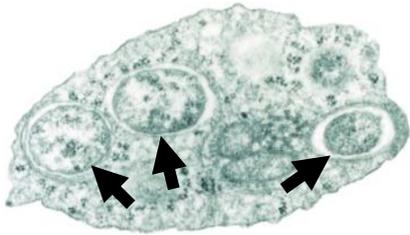
Les collectivités : de la commune (moustiques du peuple) à l'état (risque d'épidémie: moustiques d'état)

Les entreprises (zones de stockage de déchets, chambres de tirages, entreprises agricoles, ..)



Que faire contre les moustiques ? demain : Pistes de recherche

Lâchers de moustiques avec des bactéries Wolbachia

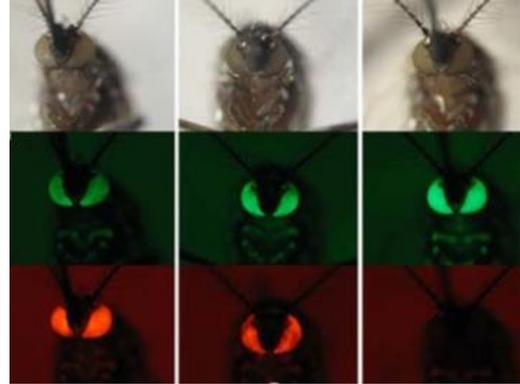


Stérilité, longévité, compétence vectorielle

Utilisation de nématodes, de densovirus, de champignons pathogènes de moustiques



moustiques transgéniques

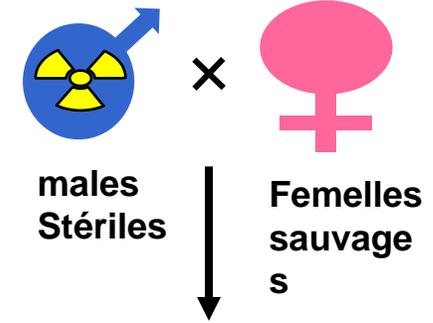


Stérilité, longévité, comportement, immunité

Pièges à moustiques



Lâchers massif de males stérilisés (TIS)

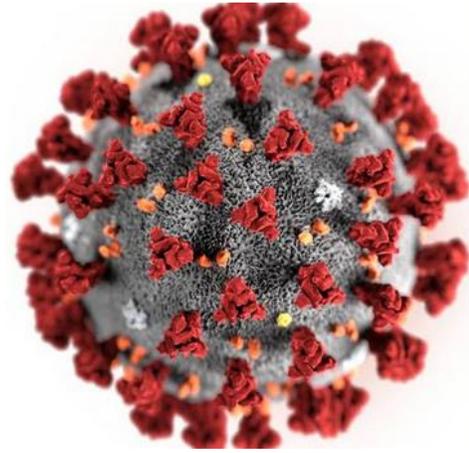


Pas de descendance



Utilisation des nanotechnologies (ARNm enveloppé)

De



à

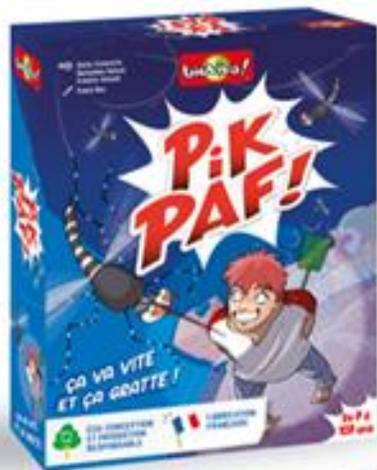


Une épidémie peut en cacher une autre

L'émergence de nouvelles maladies infectieuses vectorielle, la propagation ou la réémergence de pathologies "exotiques" ou anciennes, l'émergence et l'invasion de nouveaux vecteurs sont inévitables

Saurons nous anticiper, prévoir, gérer, contrôler ?

MERCI DE VOTRE ATTENTION



Jeu Pik Paf, Bioviva



LE MOUSTIQUE,
ENNEMI PUBLIC N°1 ?

S. LECOLLINET, D. FONTENILLE, N. PIGNÈS, A.-B. FALLUOX

éditions
Quæ



Nil Rahola