

**GIS Climat-Environnement-Société**  
2 et 3 octobre 2014, Espace Isadora Duncan,  
Paris-Meudon

Changement climatique et Santé

# Changement climatique et santé en a-t-on trop dit, ou pas assez ?

Jean-François Guégan

Centre IRD de Montpellier

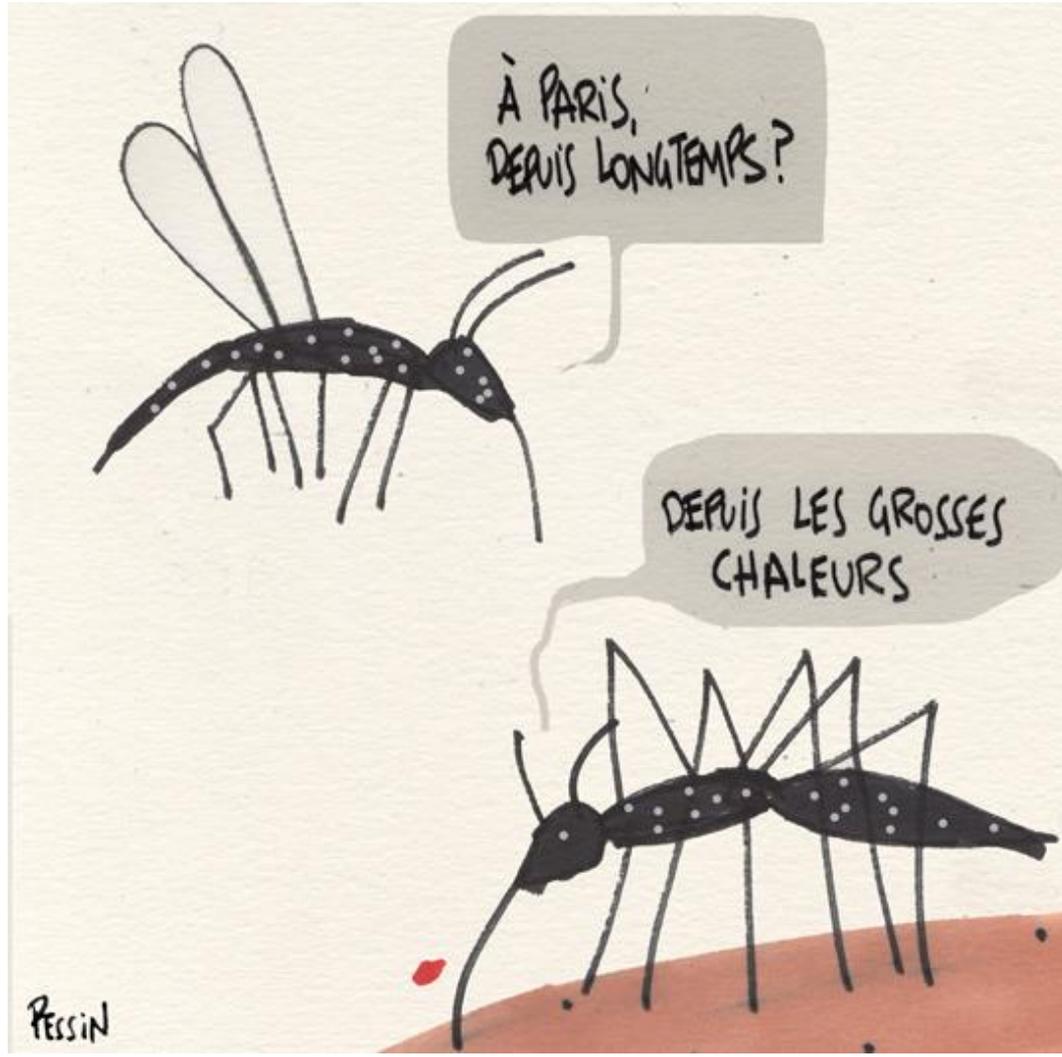
Courriel : [jean-francois.guegan@ird.fr](mailto:jean-francois.guegan@ird.fr)

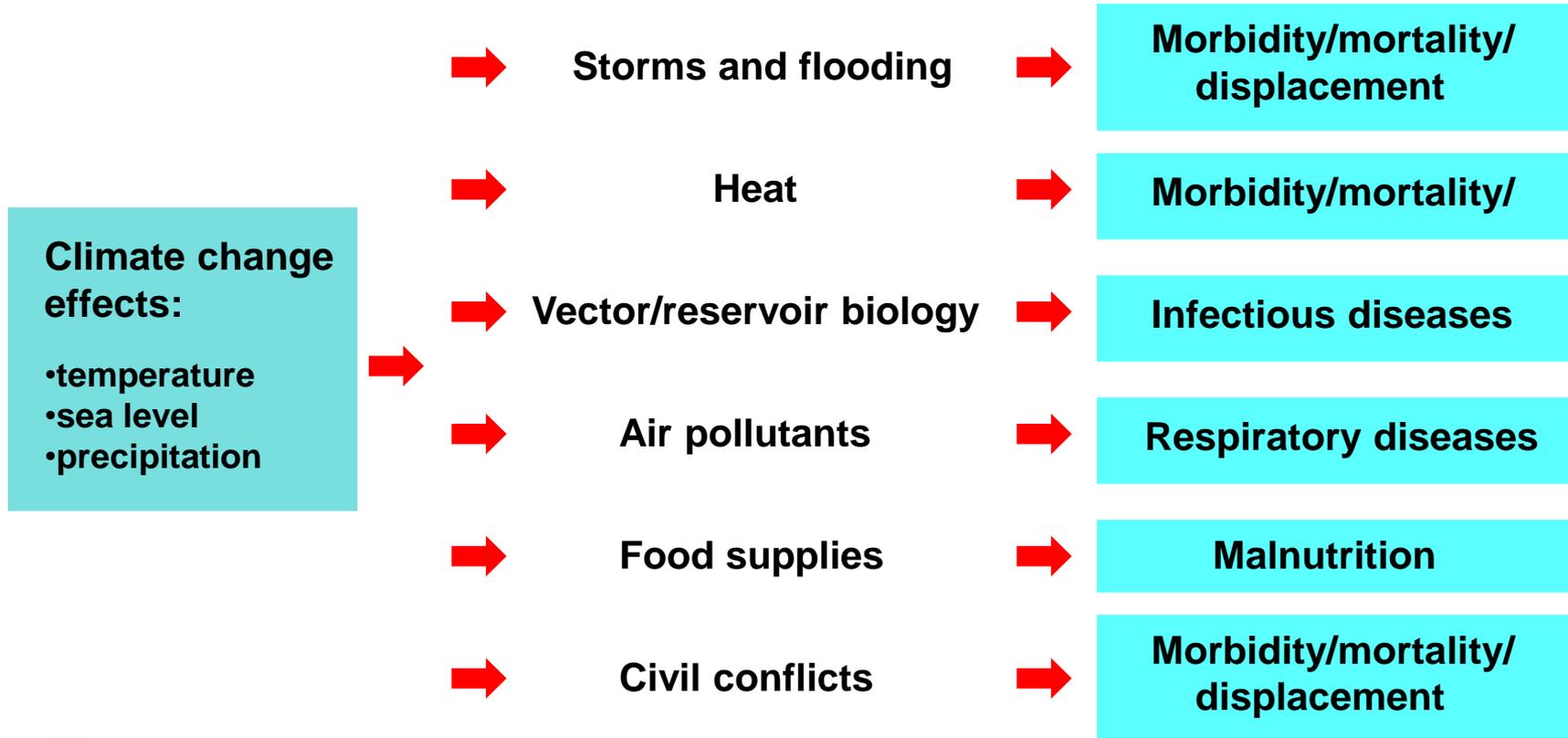
<http://www.ird.fr>

<http://www.ehesp.fr>

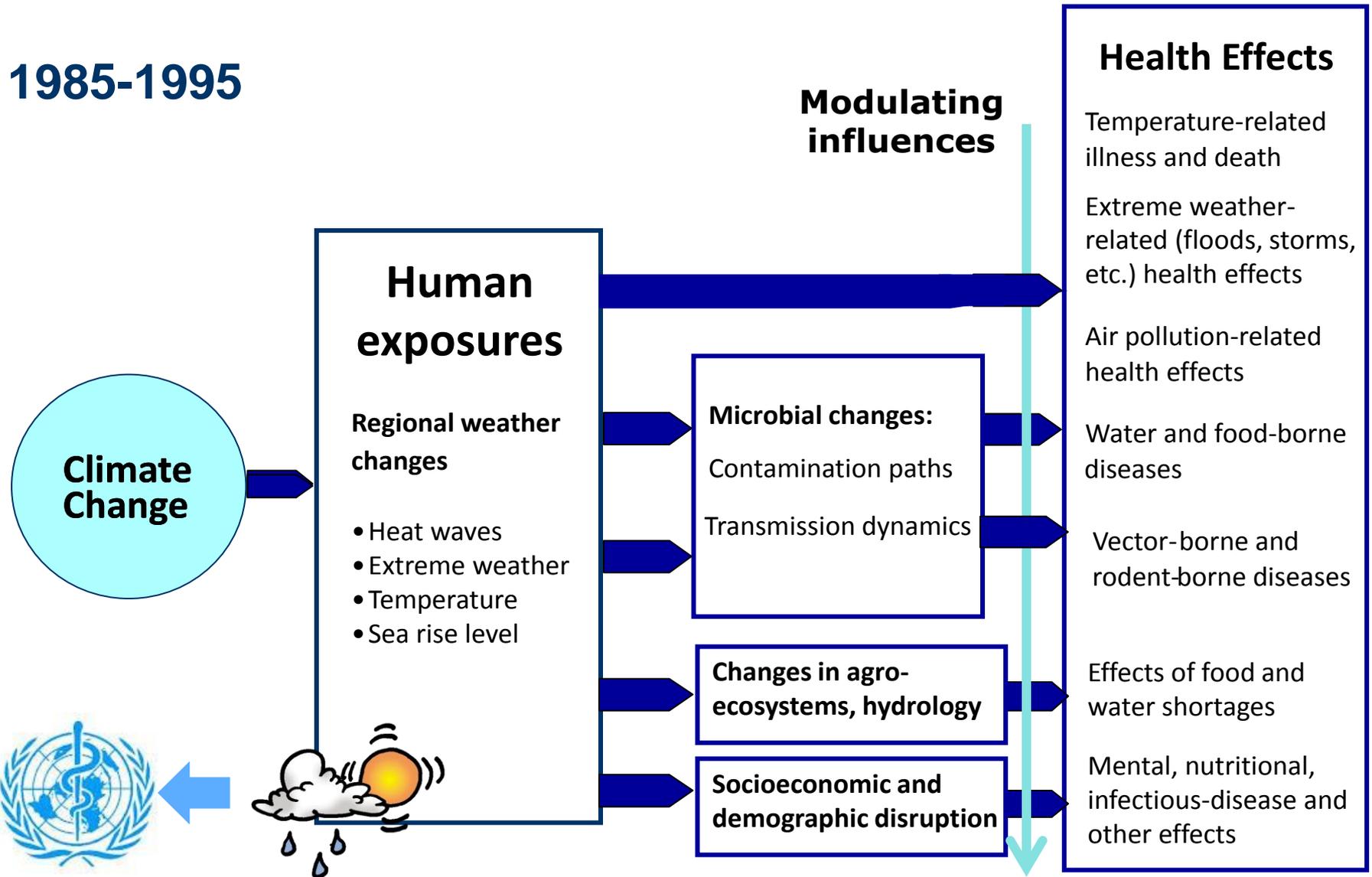
<http://www.mivegec.ird.fr>



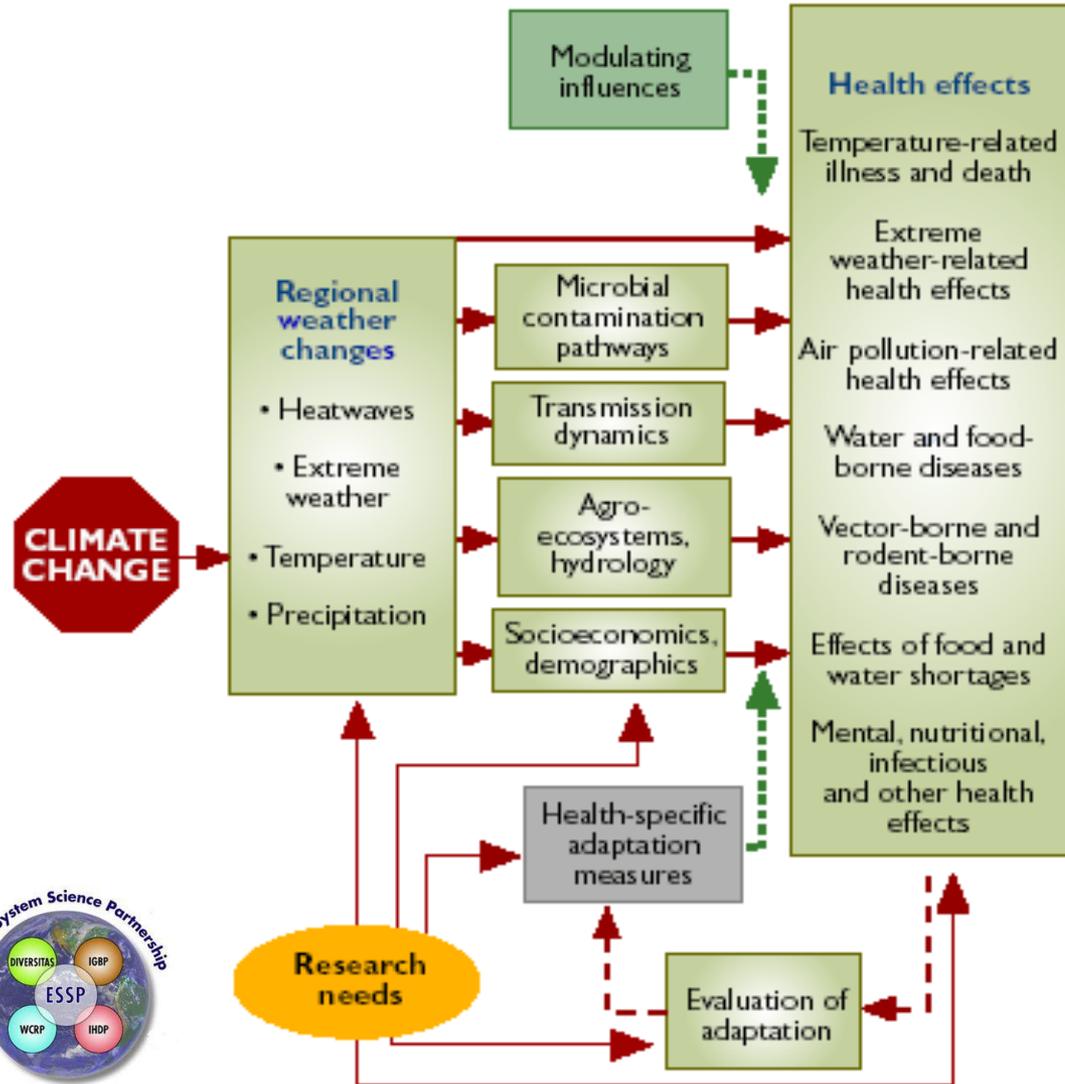




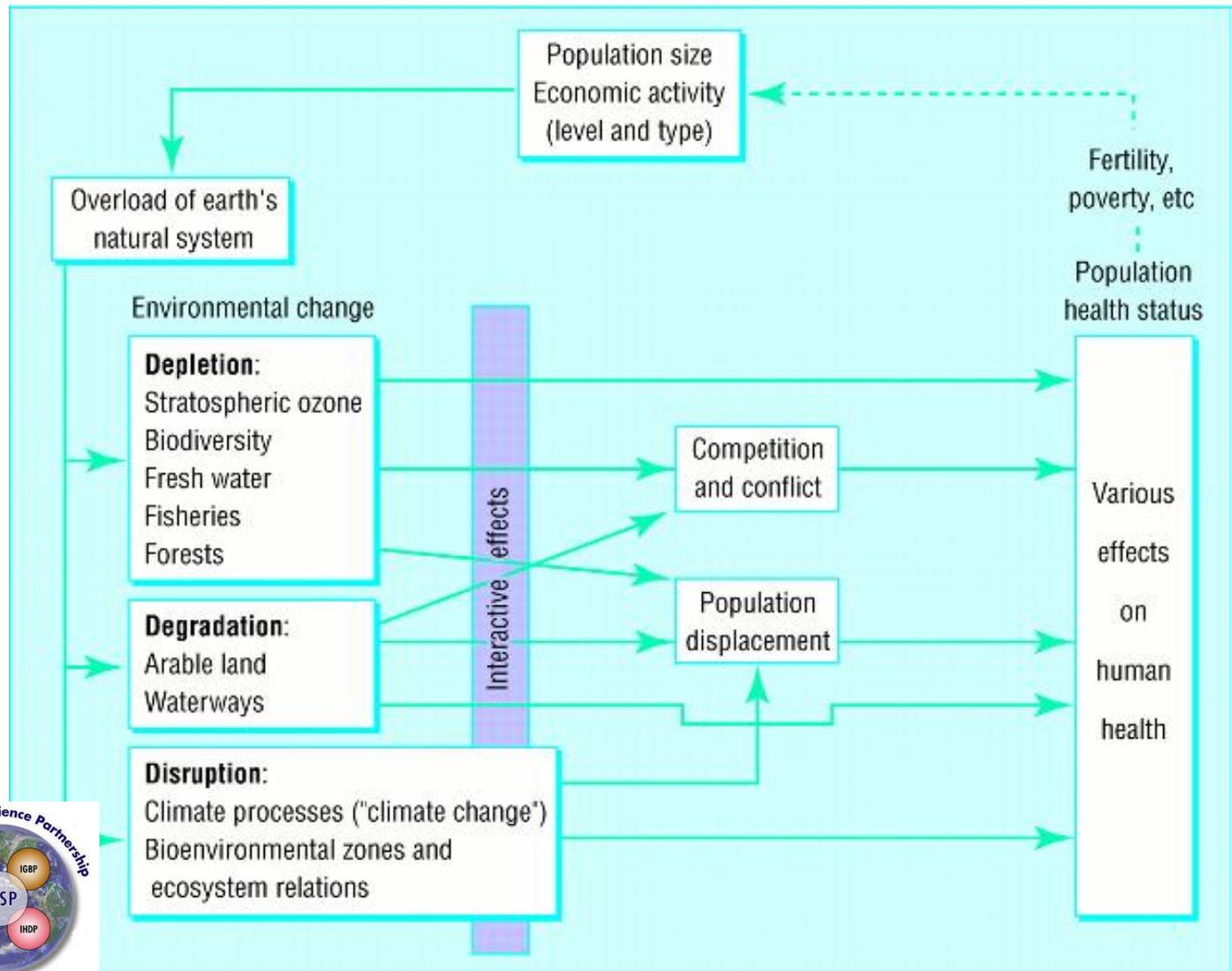
**1985-1995**



**1995-2005**



>2005-





## Science News

# Climate change might help spread malaria

Published: March. 4, 2010 at 1:53 PM

Article

Listen

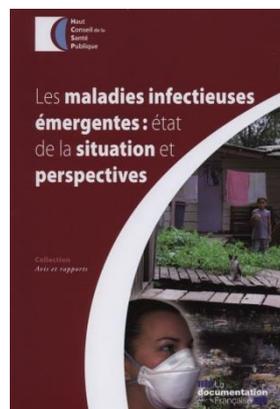
Comments (1)



## Classification des déterminants principaux responsables de l'émergence, dans les populations humaines, de 177 agents étiologiques responsables de maladies infectieuses émergentes, et présentation de quelques exemples de pathologies associées

D'après Woolhouse et Gowtage-Sequeria (2005)

Rang	Déterminant (classé par ordre)	Exemples
1	Changements d'usage des sols, pratiques agricoles et agronomiques et procédés liés	Infection à virus Nipah en Asie du Sud-Est, ESB
2	Changements démographiques, sociétaux et comportementaux	Coqueluche humaine, VIH, syphilis
3	Précarité des conditions sanitaires	Choléra, tuberculose
4	Liés à l'hôpital (nosocomial) ou à des erreurs de soins et de pratiques	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
5	Evolution des agents pathogènes (résistance aux antibiotiques, augmentation de virulence...)	ERG, Chikungunya, A/H1N1, H5N1
6	Contamination par les aliments ou l'eau	<i>E. coli</i> , ESB, <i>Salmonella</i>
7	Voyages et échanges humains intercontinentaux	Dengue, grippe saisonnière, H5N1
8	Défauts, désorganisation des systèmes de santé et de surveillance	Maladie du sommeil en Afrique centrale, maladies à tique et tuberculose en
9	Transports économiques de biens commerciaux et d'animaux	Virus Monkeypox, H5N1, <i>Salmonella</i>
10	Changement climatique	Paludisme en Afrique de l'Est, dengue en Asie du Sud-Est, leishmaniose viscérale dans l'Europe du Sud (forte suspicion)



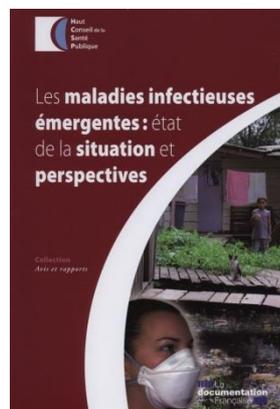
# GIS Climat-Environnement-Société

2 et 3 octobre 2014, Espace Isadora Duncan,  
Paris-Meudon

## Classification des déterminants principaux responsables de l'émergence, dans les populations humaines, de 177 agents étiologiques responsables de maladies infectieuses émergentes, et présentation de quelques exemples de pathologies associées

D'après Woolhouse et Gowtage-Sequeria (2005)

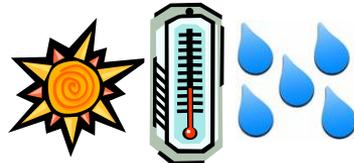
Rang	Déterminant (classé par ordre)	Exemples
1	Changements d'usage des sols, pratiques agricoles et agronomiques et procédés liés	Infection à virus Nipah en Asie du Sud-Est, ESB
2	Changements démographiques, sociétaux et comportementaux	Coqueluche humaine, VIH, syphilis
3	Précarité des conditions sanitaires	Choléra, tuberculose
4	Liés à l'hôpital (nosocomial) ou à des erreurs de soins et de pratiques	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
5	Evolution des agents pathogènes (résistance aux antibiotiques, augmentation de virulence...)	ERG, Chikungunya, A/H1N1, H5N1
6	Contamination par les aliments ou l'eau	<i>E. coli</i> , ESB, <i>Salmonella</i>
7	Voyages et échanges humains intercontinentaux	Dengue, grippe saisonnière, H5N1
8	Défauts, désorganisation des systèmes de santé et de surveillance	Maladie du sommeil en Afrique centrale, maladies à tique et tuberculose en
9	Transports économiques de biens commerciaux et d'animaux	Virus Monkeypox, H5N1, <i>Salmonella</i>
10	Changement climatique	Paludisme en Afrique de l'Est, dengue en Asie du Sud-Est, leishmaniose viscérale dans l'Europe du Sud (forte suspicion)



# Modèle explicatif de la transmission de la bactérie *Vibrio cholerae*

## Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

- température
- rayonnement solaire
- pluviométrie
- pH
- oxygène dissous
- salinité...



## Caractéristiques biologiques

- bloom algal
- bloom phytoplanctonique



## Bloom zooplanctonique



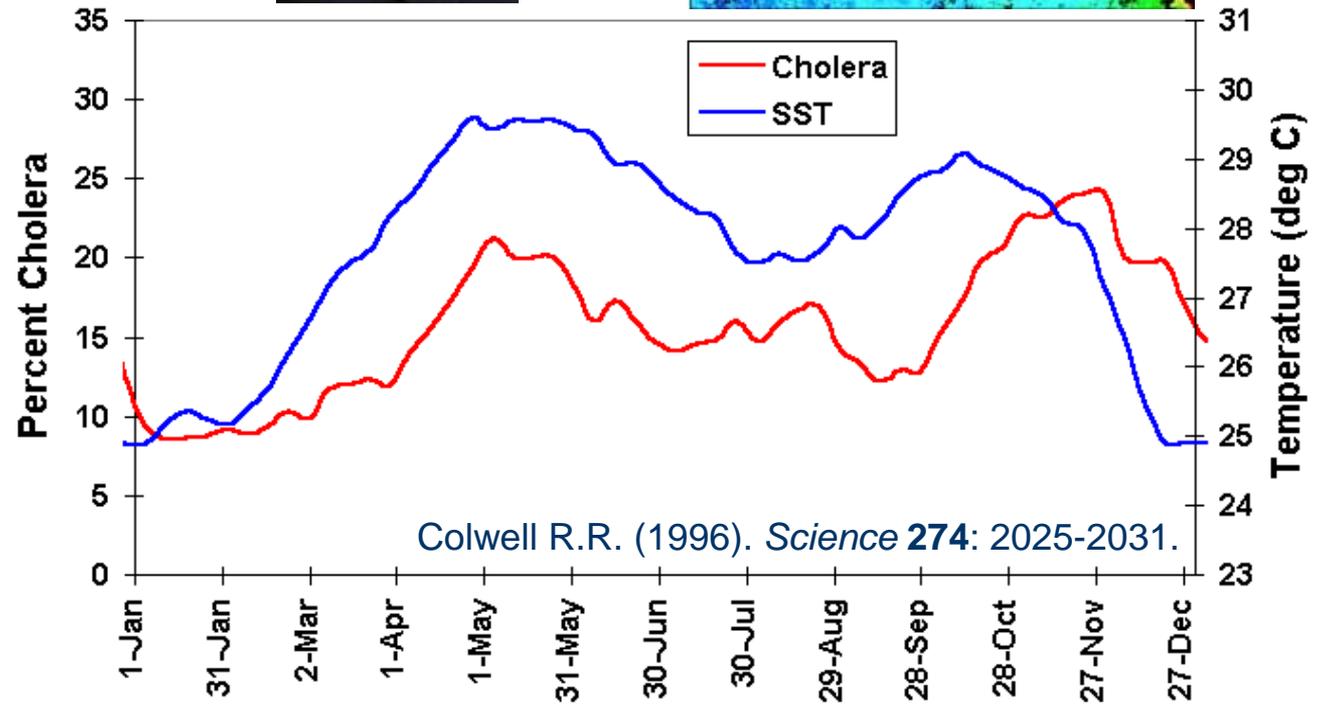
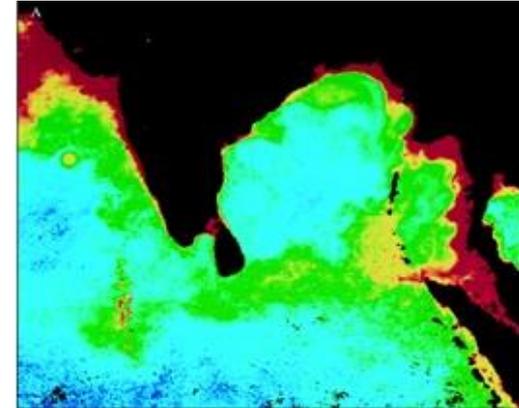
**Diarrhées** avec expulsion  
de *V. cholerae*  
et retour à l'eau



**Transmission de *V. cholerae*  
à l'humain**

***V. cholerae***





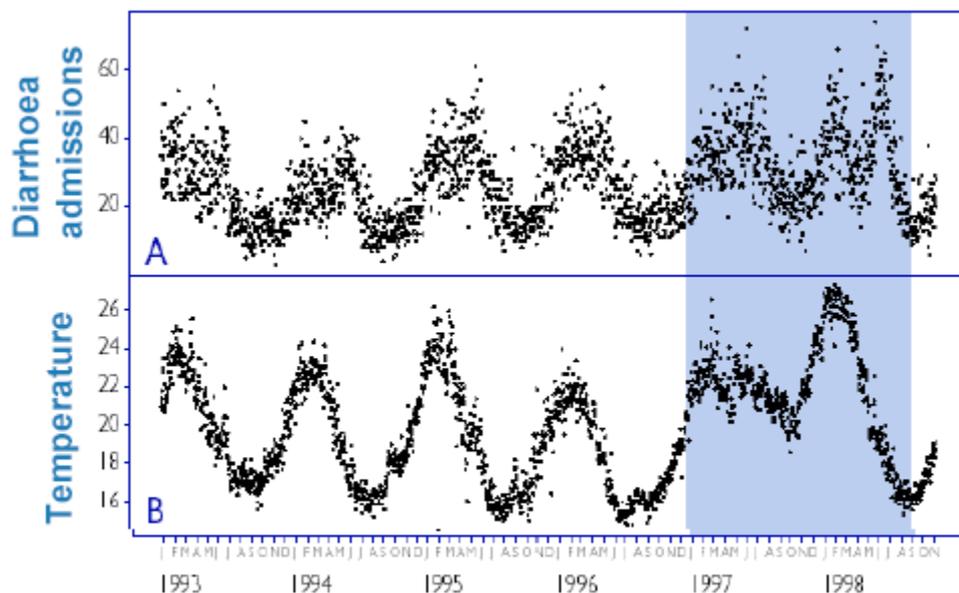
# Existence d'un lien très fort entre climat et maladies (infectieuses)



## Each year, in total:

- Undernutrition kills 3.7 million
- Diarrhoea kills 1.8 million
- Malaria kills 1.1 million

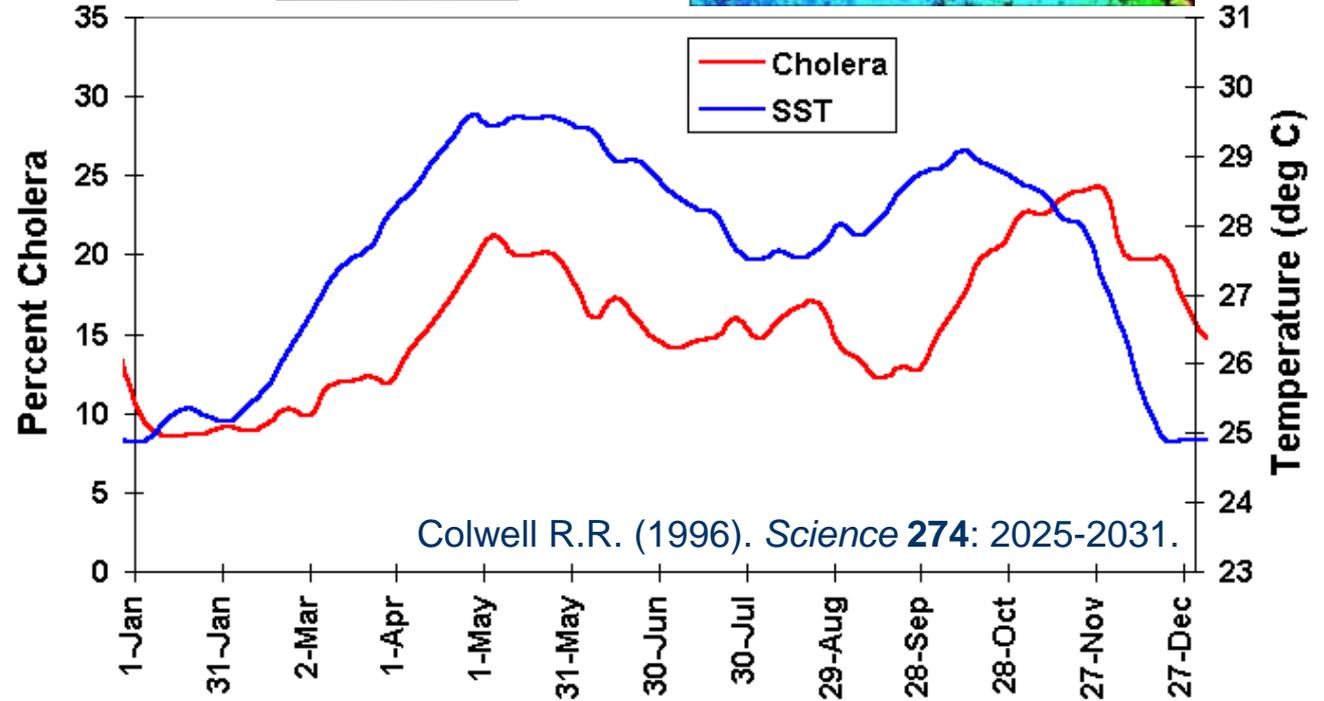
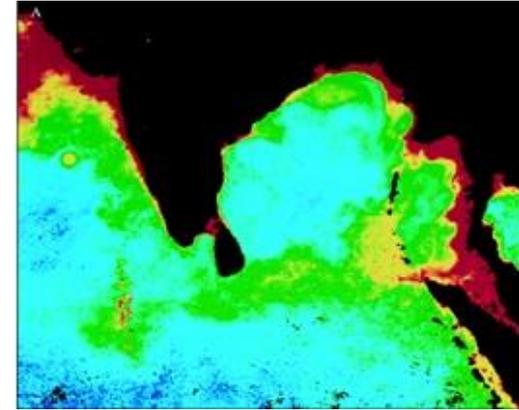
## Each of these is highly sensitive to temperature and precipitation:



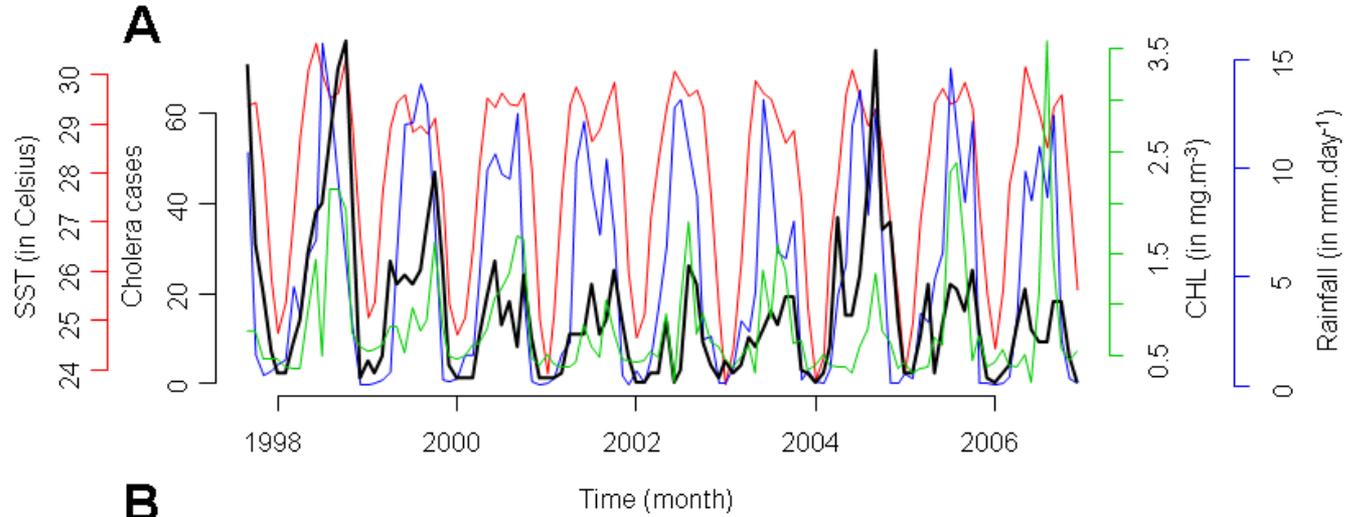
Incidence of diarrhoeal disease is related to variations in temperature and precipitation, over both space and time. In Lima, Peru, diarrhoea increased 8% for every 1°C temperature increase.

Checkley *et al.* (2000)  
From Campbell-Lendrum  
WHO (2007)

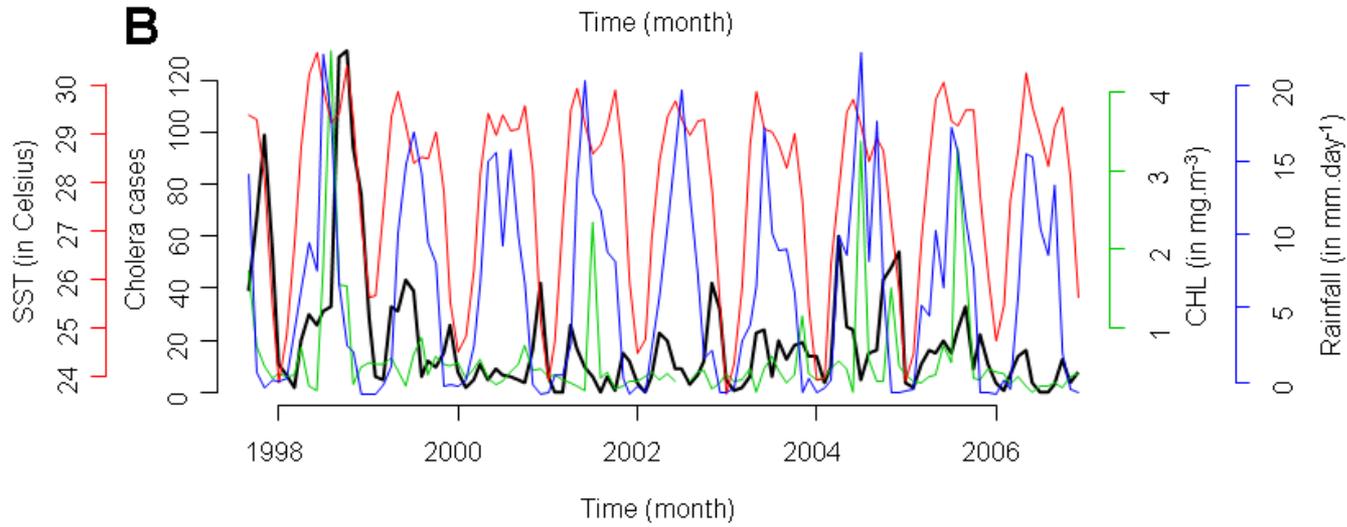
Daily measurements Jan 1993 – Dec 1998



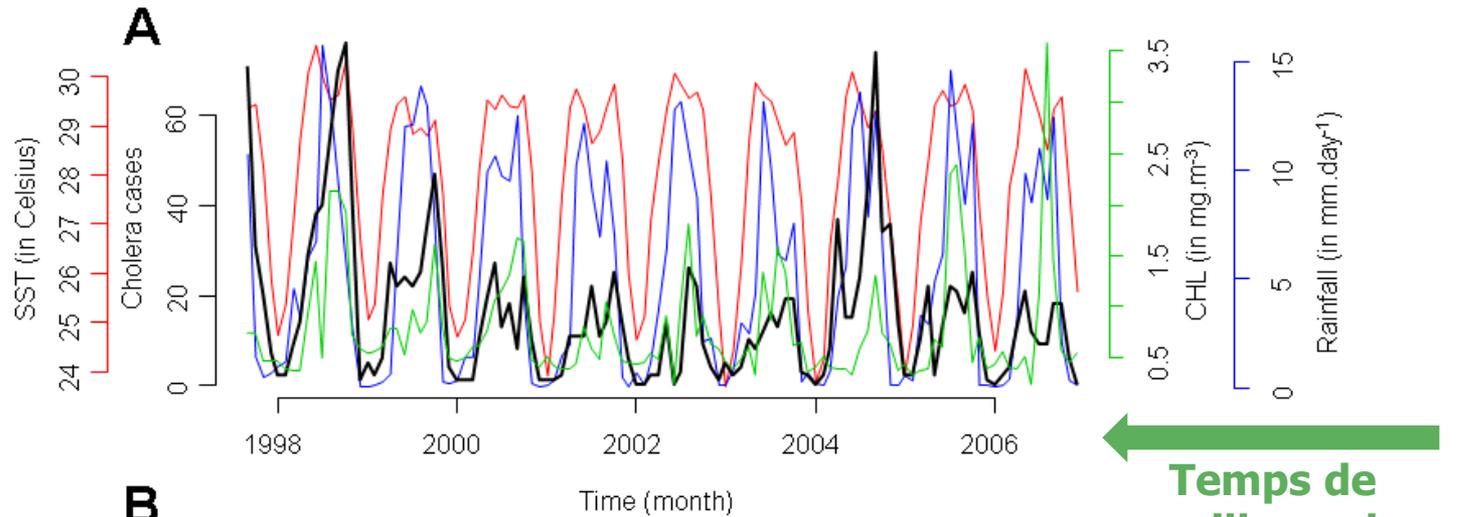
# Calcutta



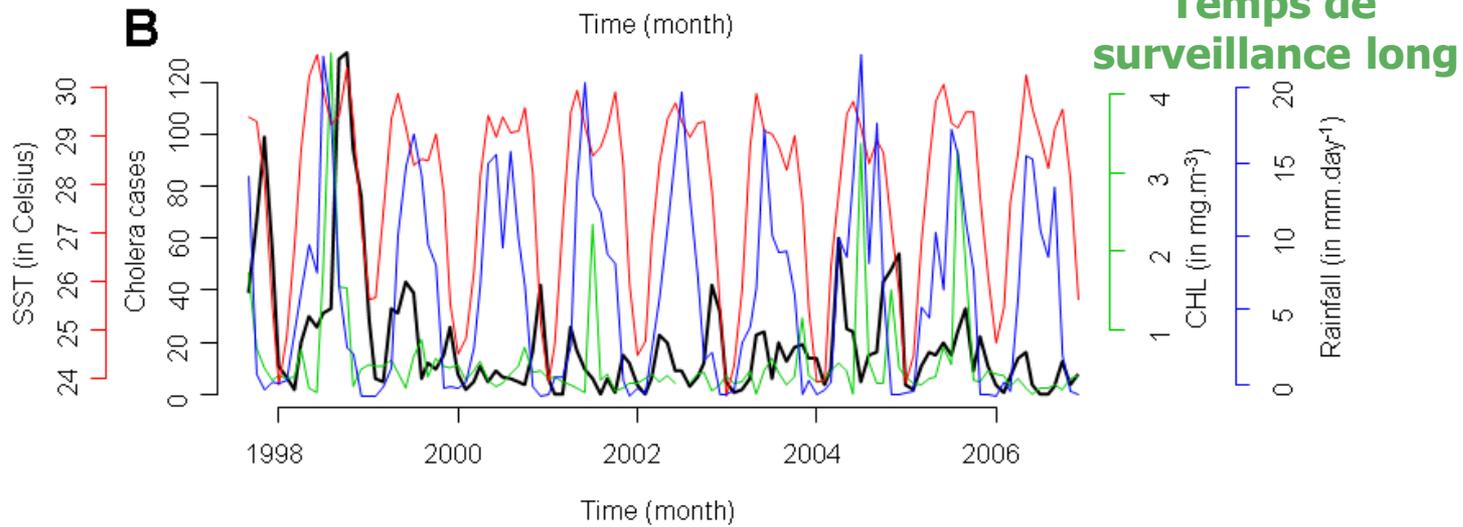
# Matlab



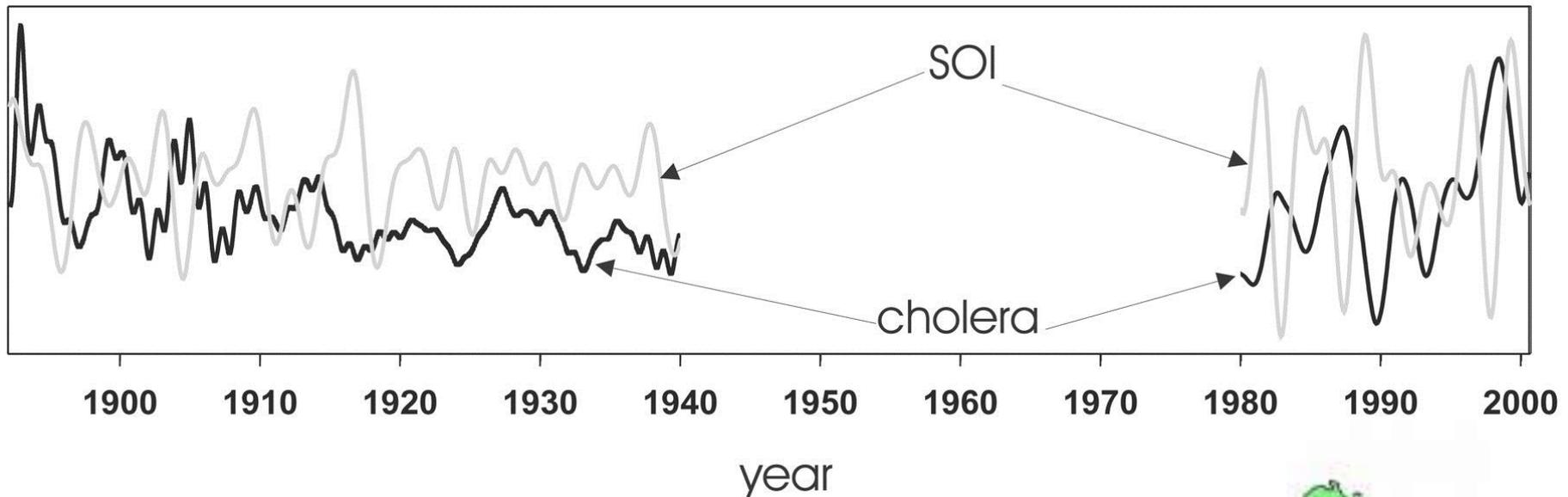
Calcutta



Matlab



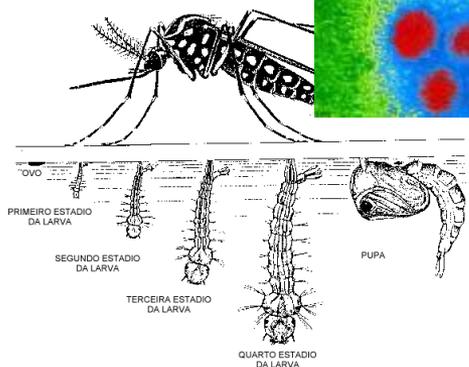
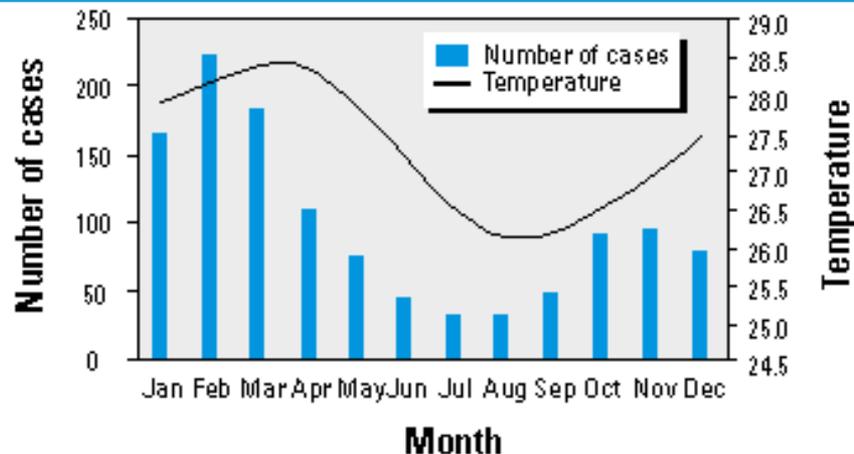
## Reconstructions of the first cluster of eigenvalues detected by SSA of the cholera and SOI series



- 1. L'herpès-virus de l'huître est très thermosensible, mortalités élevées**
- 2. Le poliovirus, pathogène pour l'humain, optimum de réplication à 37°C, mutants "chauds" à virulence accrue**
- 3. Le virus de la dengue et son vecteur *Aedes* spp., l'incubation intrinsèque passe de 12 à 7 jours quand la température passe de 30°C à 35°C**

# Insectes vecteurs et hôtes réservoirs sont très sensibles aux conditions bio-météorologiques

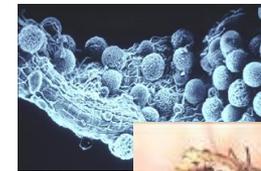
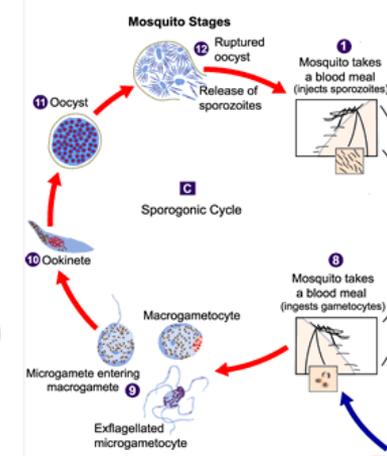
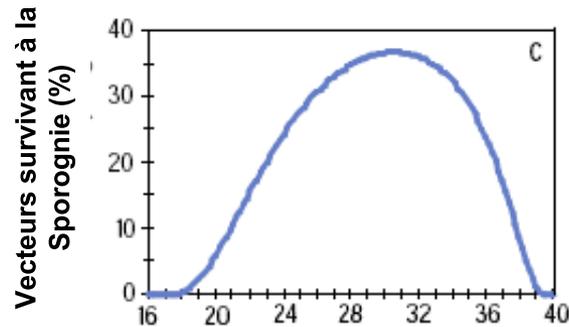
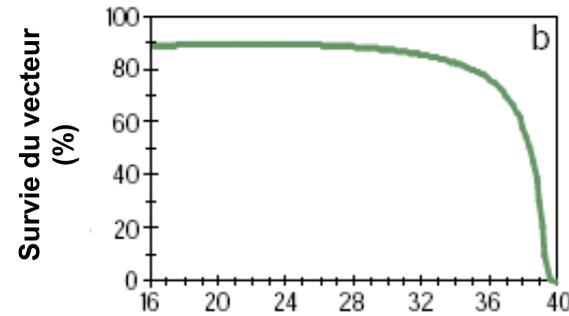
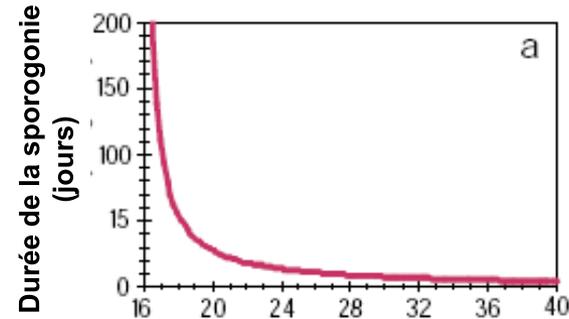
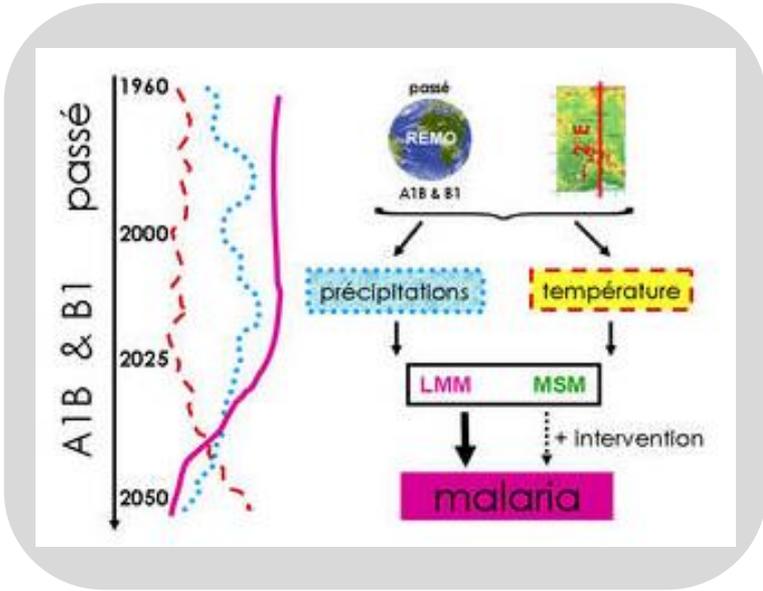
- Malaria
- Dengue fever
- Yellow fever
- Lyme disease
- Hantavirus pulmonary syndrome
- .....

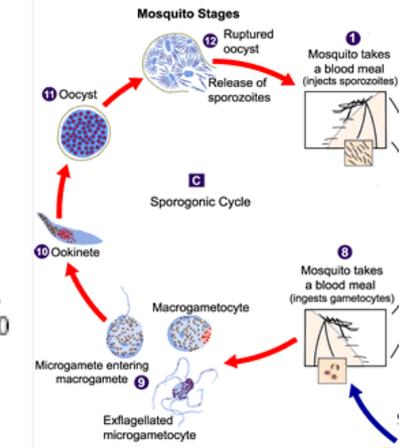
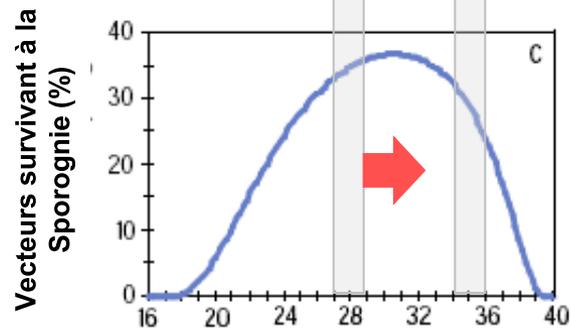
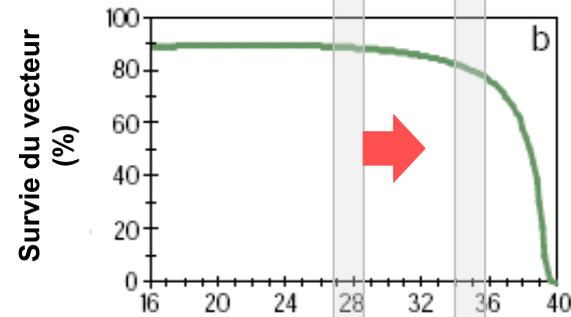
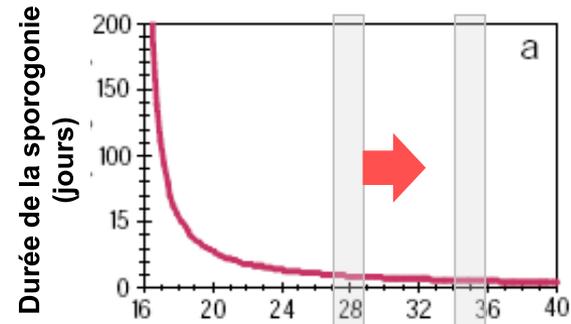


**Table 1.** Population, climate, and dengue fever in the South Pacific

Country	Population (thousands)	Pearson correlations		
		SOI and temperature	SOI and rainfall	SOI and dengue
Tokelau	1.5	-0.71	-0.02	0.57*
Western Samoa	170	-0.28	-0.01	0.49*
Fiji	773	0.78	0.70	0.45*
American Samoa	61	-0.31	-0.20	0.45*
Tonga	98	0.62	0.46	0.41*
Nauru	11	-0.71	-0.65	0.34
Vanuatu	177	0.86	0.84	0.34
Wallis	14	0.04	-0.03	0.24
French Polynesia	220	-0.62	0.35	0.23
New Caledonia	197	0.85	0.86	0.22
Kiribati	78	-0.81	-0.46	0.02
Niue	2	0.66	0.74	0.0
Tuvalu	11	-0.62	-0.47	-0.13
Cook Islands	10	-0.36	0.29	-0.18

Population data from the demography program of the Secretariat of the Pacific Community, of the various years 1994-1997. \* $p < 0.05$ .







# Groupe de travail de l'Académie nationale de Médecine, Paris, 23 février 2011

MARA/ARMA - Vers un Atlas du Risque de la Malaria en Afrique

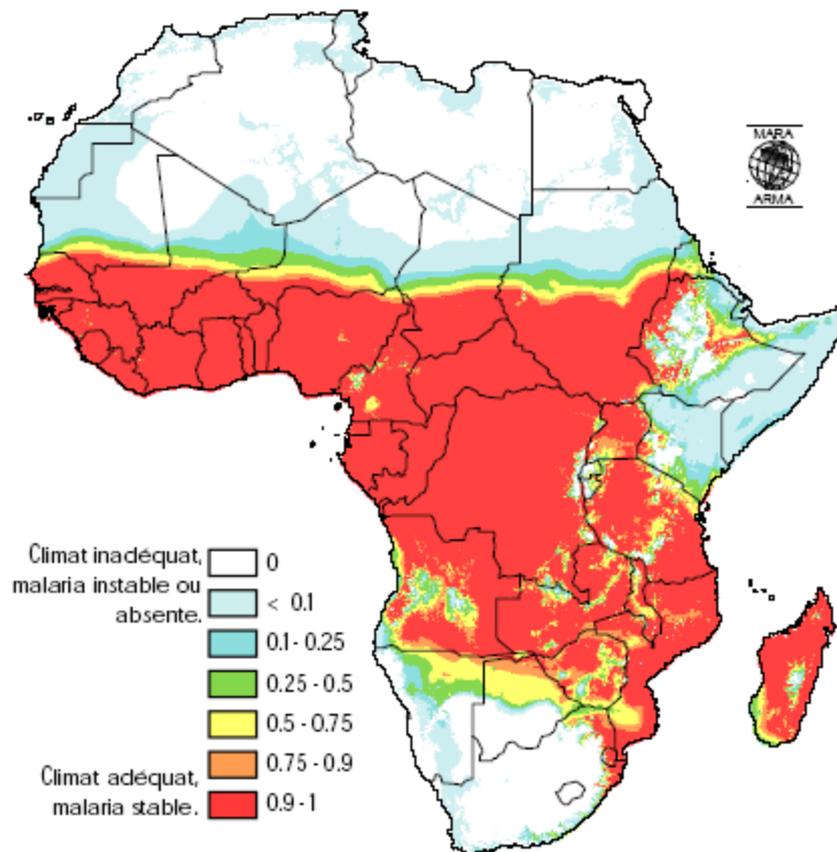
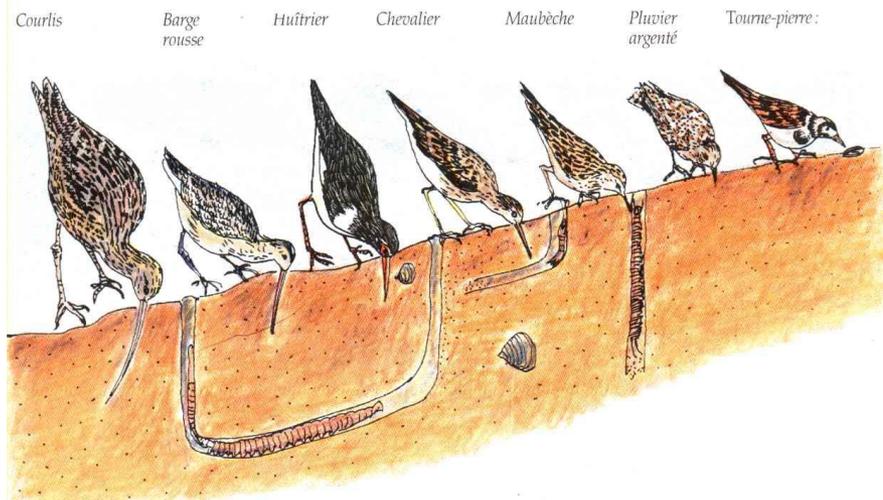
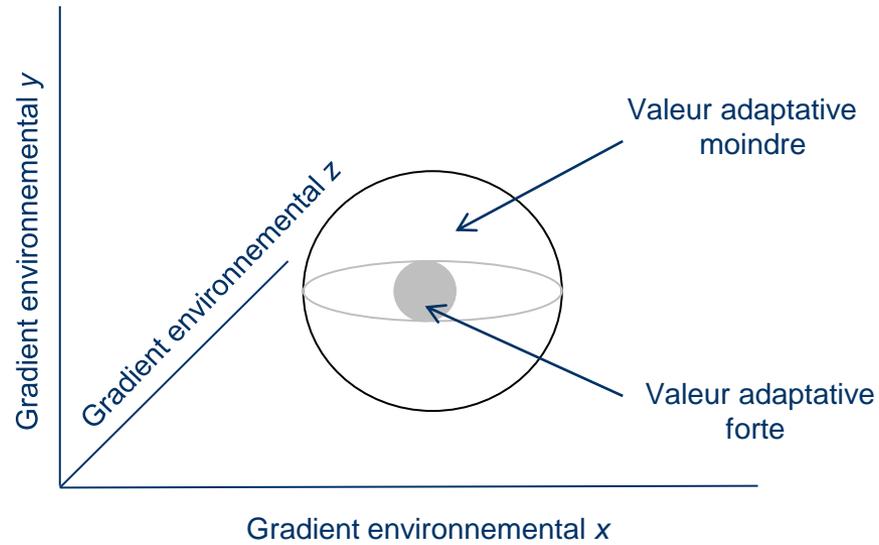


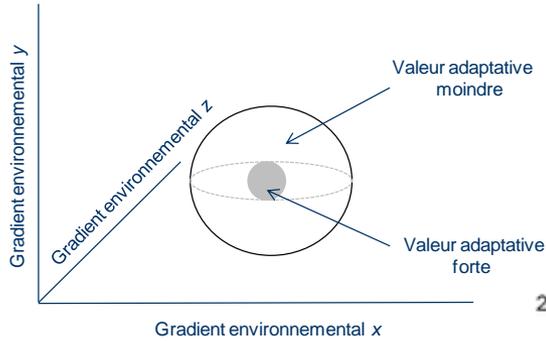
Figure 7. Modèle climatique d'adéquation à transmission stable du paludisme, avec 0 = non adéquat (transmission très instable ou absente), et 1 = extrêmement adéquat (transmission stable). Les fractions entre 0 et 1 représentent des niveaux croissants d'adéquation (transmission de plus en plus stable).



# Malaria in Africa: Vector Species' Niche Models and Relative Risk Maps

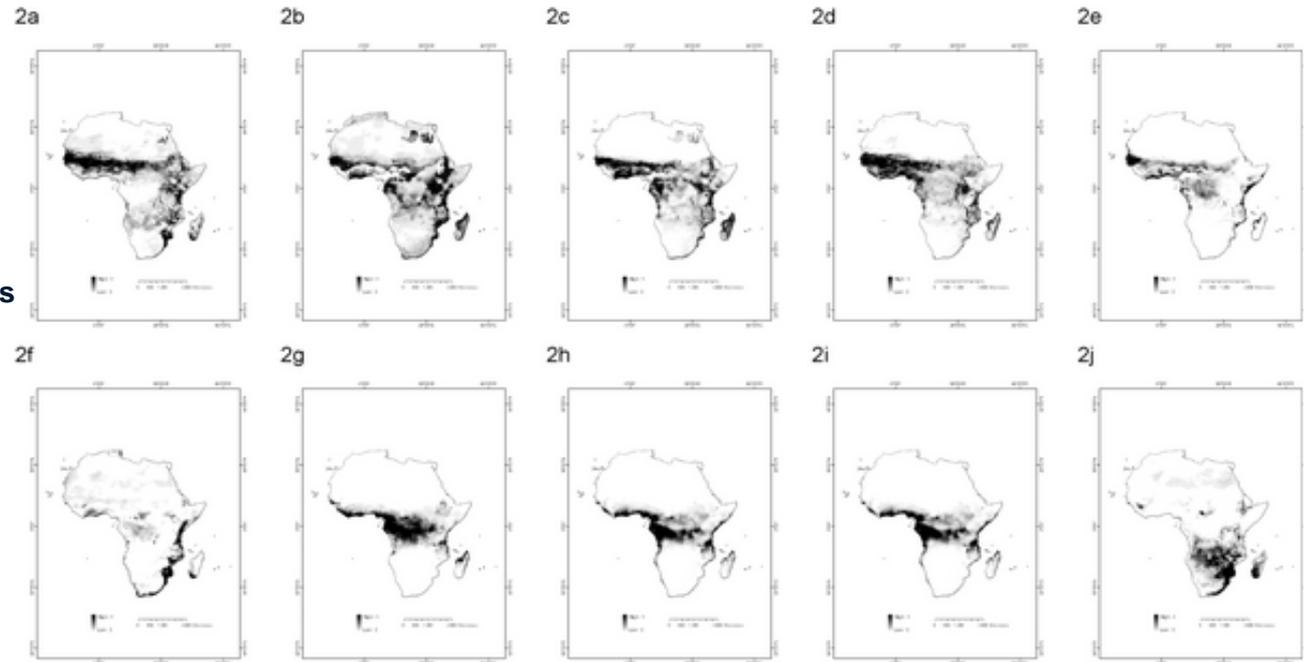
Alexander Moffett, Nancy Shackelford, Sahotra Sarkar\*

Citation: Moffett A, Shackelford N, Sarkar S (2007) Malaria in Africa: Vector Species' Niche Models and Relative Risk Maps. PLoS ONE 2(9): e824. doi:10.1371/journal.pone.0000824



## Modélisation des niches écologiques

19 variables bioclimatiques, édaphiques  
6 variables écologiques, biologiques

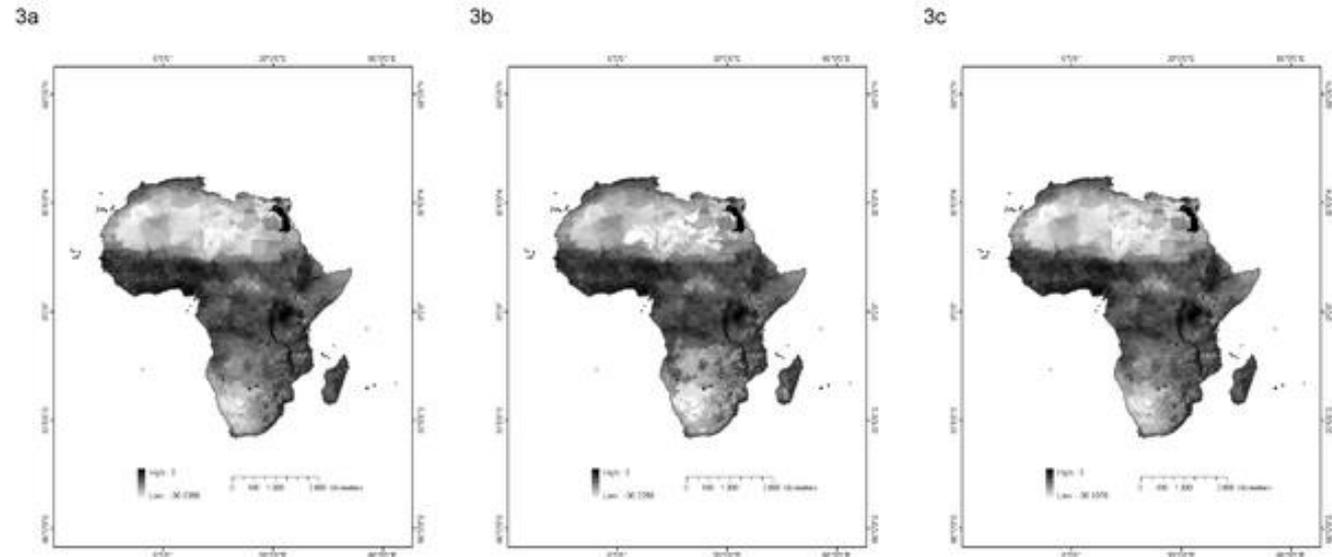
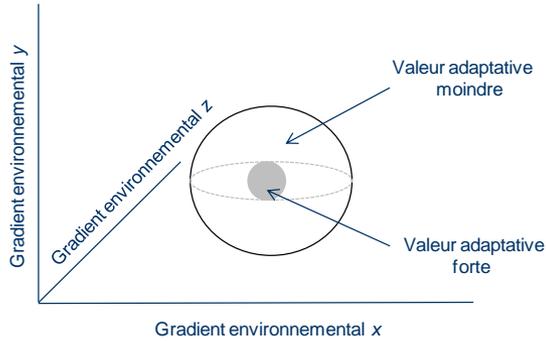


**Figure 2.** The distributions of 10 malaria vectors in Africa.

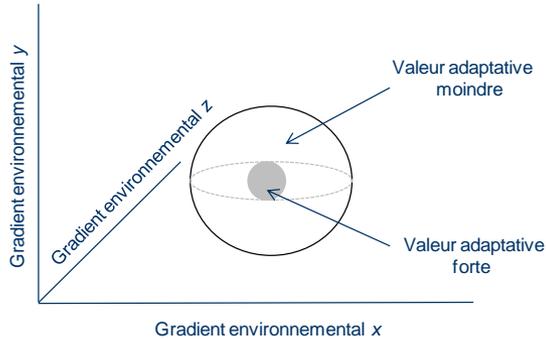
# Malaria in Africa: Vector Species' Niche Models and Relative Risk Maps

Alexander Moffett, Nancy Shackelford, Sahotra Sarkar\*

Citation: Moffett A, Shackelford N, Sarkar S (2007) Malaria in Africa: Vector Species' Niche Models and Relative Risk Maps. PLoS ONE 2(9): e824. doi:10.1371/journal.pone.0000824



**Figure 3.** The distribution of malaria relative risk in Africa.



OPEN ACCESS Freely available online

PLoS one

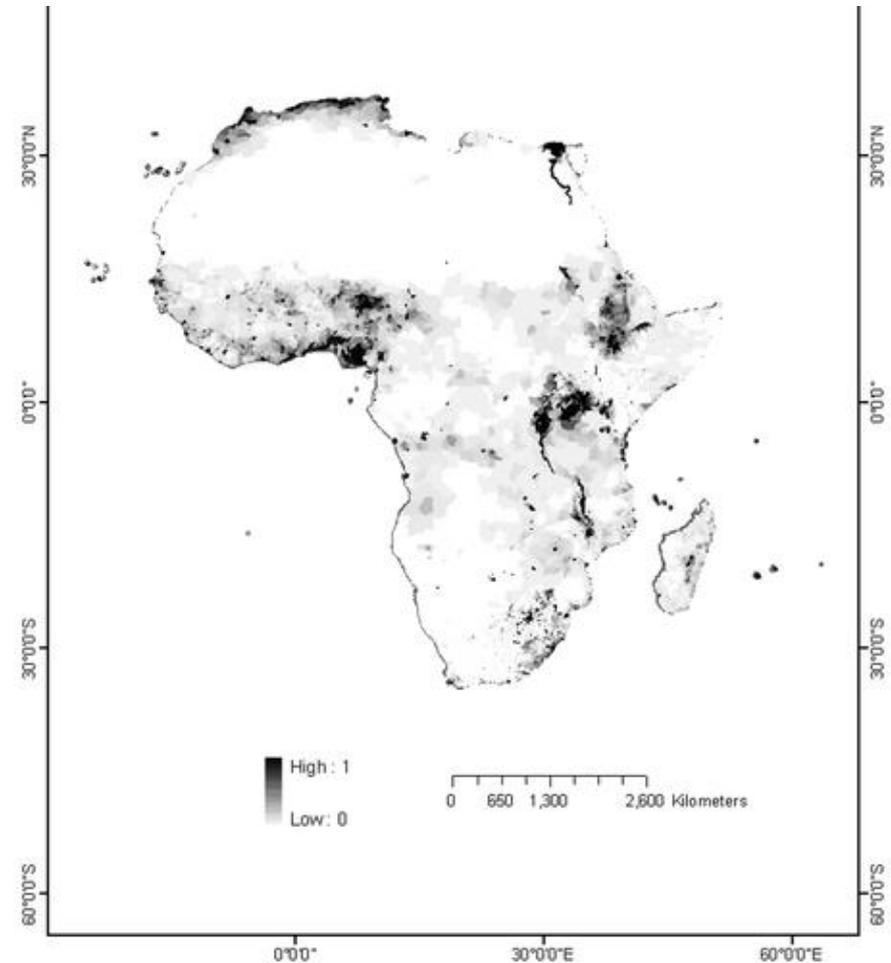
## Malaria in Africa: Vector Species' Niche Models and Relative Risk Maps

Alexander Moffett, Nancy Shackelford, Sahotra Sarkar\*

### Modélisation des niches écologiques

**La variable la plus explicative pour expliquer la distribution actuelle du paludisme en Afrique est la densité humaine**

**Grande hétérogénéité des explications d'une contrée à l'autre**



**Figure 1.** Population density in Africa.

# Le paludisme dans le sud des Etats-Unis de 1900 à 2000

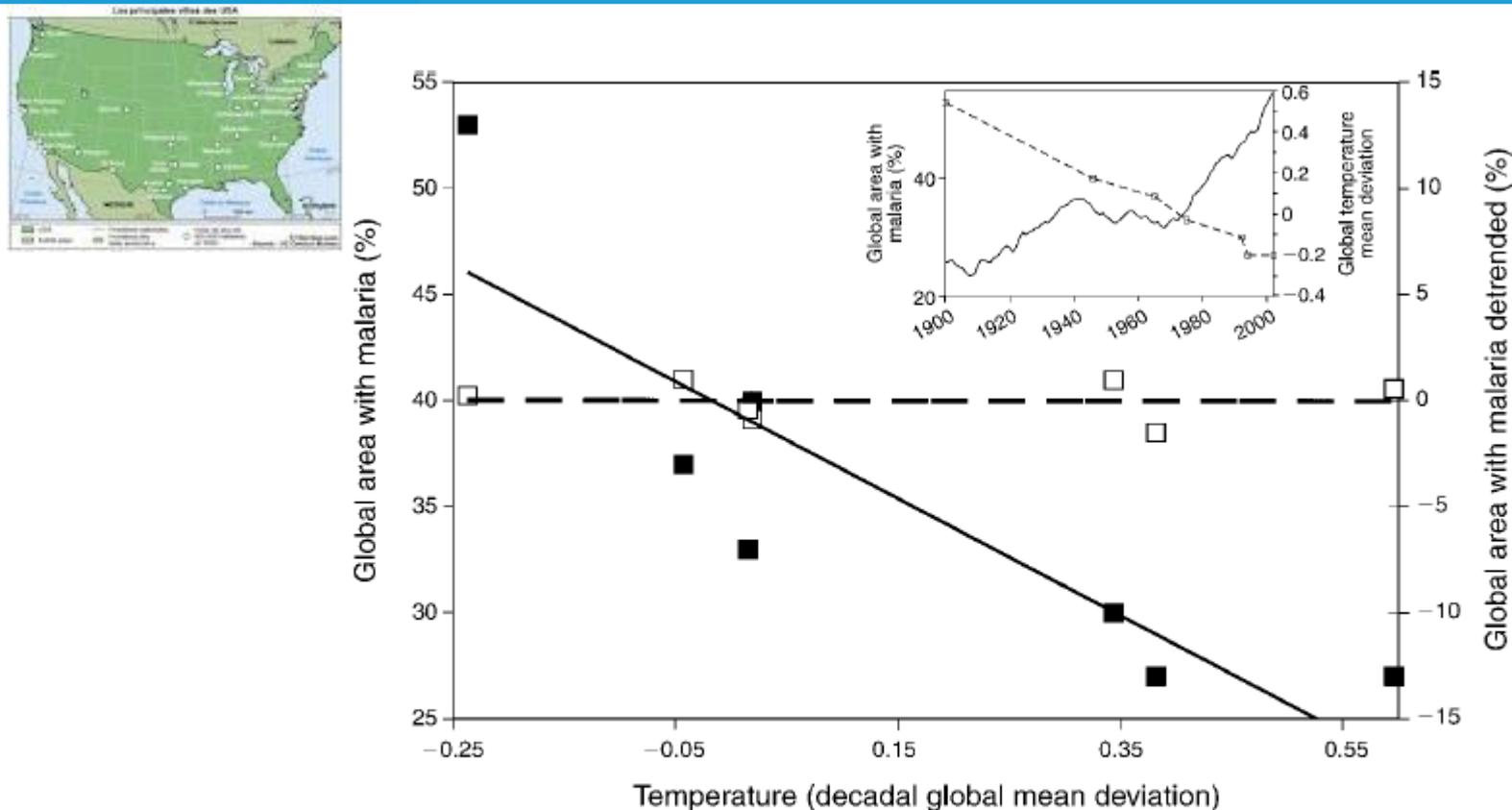


FIG. 3. A century of malaria and climate: 1900–2000. The inset shows global mean temperature (represented as a deviation, as reported from the U.S. National Climate Data Center Global Historical Climatology Network Land Surface Data) increases since 1900 while the percentage of the globe with malaria transmission decreases (data from Hay et al. [2004]). The main figure shows the data from the inset as a scatter plot (solid squares, solid line) and after detrending the decline in malaria (open squares, dashed line).

OPEN

Emerging Microbes and Infections (2014) 3, e56; doi:10.1038/emi.2014.56  
© 2014 SSSC. All rights reserved 2222-1751/14

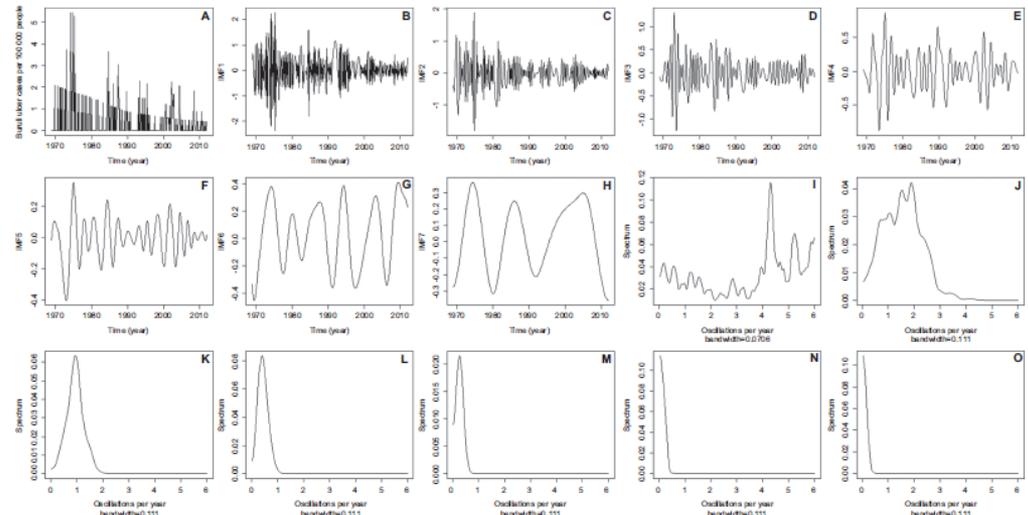


www.nature.com/emi

ORIGINAL ARTICLE

# Complex temporal climate signals drive the emergence of human water-borne disease

Aaron Morris<sup>1,2</sup>, Rodolphe E Gozlan<sup>1,3</sup>, Hossein Hassani<sup>1</sup>, Demetra Andreou<sup>1</sup>, Pierre Couppié<sup>4</sup>  
and Jean-François Guégan<sup>2</sup>



OPEN

Emerging Microbes and Infections (2014) 3, e56; doi:10.1038/emi.2014.56  
© 2014 SSSC. All rights reserved 2222-1751/14  
www.nature.com/emi



ORIGINAL ARTICLE

# Complex temporal climate signals drive the emergence of human water-borne disease

Aaron Morris<sup>1,2</sup>, Rodolphe E Gozlan<sup>1,3</sup>, Hossein Hassani<sup>1</sup>, Demetra Andreou<sup>1</sup>, Pierre Couppié<sup>4</sup>  
and Jean-François Guégan<sup>2</sup>



**Effets indirects liés à l'assèchement saisonnier de certains marécages d'eau douce et leur fréquentation (chasse, pêche,...) ainsi que des assèchements à plus long terme associés à des modifications climatiques régionales**

- 1. La relation climat-maladies infectieuses a été longtemps considérée comme simple et surtout basée sur la sensibilité des vecteurs et/ou réservoirs à la chaleur et à la pluviométrie**
- 2. Plus récemment cette relation est apparue beaucoup plus complexe et mettant en cause bien d'autres paramètres**
- 3. L'exemple du paludisme, endémie mondiale dont on pourrait craindre la diffusion accélérée par le réchauffement (effets sur l'agent pathogène et sur le vecteur), mais aussi par les transports, la malnutrition, la pauvreté,... En fait le paludisme a plutôt tendance à régresser et les risques d'une diffusion au Nord par le CC sont faibles. Idem pour la dengue**

# Inférence causale et transmission des encéphalites à tique

OPEN ACCESS Freely available online

PLoS one

## Climate Change Cannot Explain the Upsurge of Tick-Borne Encephalitis in the Baltics

Dana Sumilo<sup>1</sup>, Loreta Asokliene<sup>2</sup>, Antra Bormane<sup>3</sup>, Veera Vasilenko<sup>4</sup>, Irina Golovjova<sup>4</sup>, Sarah E. Randolph<sup>1\*</sup>

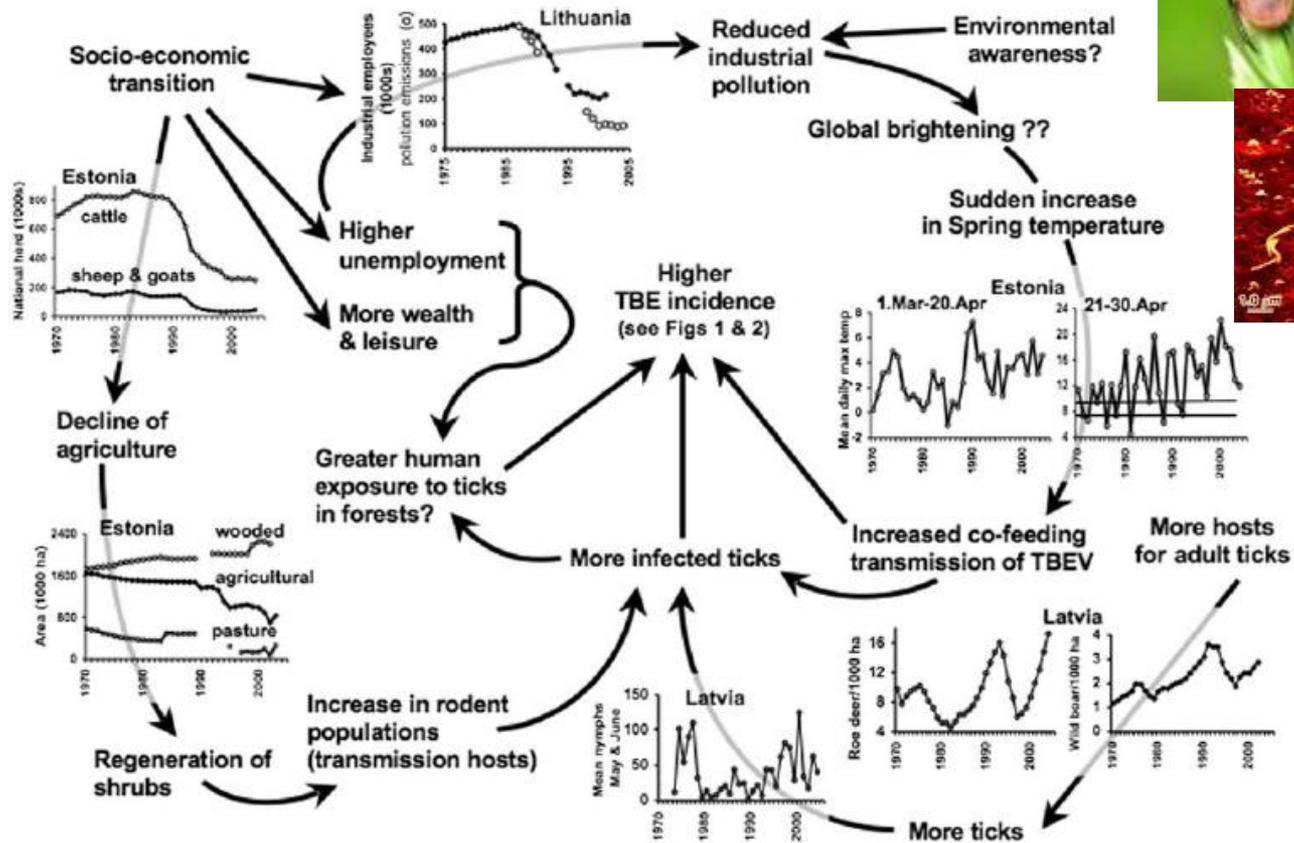


Figure 8. Hypothetical explanation for the epidemiology of TBE in the Baltic countries. Examples of data from Estonia, Latvia and Lithuania indicate some factors that may act independently but synergistically to cause the emergence of tick-borne diseases.  
doi:10.1371/journal.pone.0000500.g008

# Ce qu'il faut retenir !

- Le rôle du CC reste **difficile** à démontrer (pour les systèmes infectieux)
- Plus **facile** de le démontrer pour des **agents « libres »**, eau-portés notamment, car sous influence directe. Plus **difficile** concernant des **agents à transmission indirecte** (multi-paramètres, problème d'échelles,...)
- Nécessité d'une **compréhension au long terme et comparative (multi-sites)**. Estimer les conséquences aux échelles auxquelles interviennent les causes

- Nécessité d'une profonde **remise en cause épistémologique**, sujet de l'inférence causale, du multi-causatif et des facteurs proximaux versus distaux
- Développer la **physiologie des interactions**. La physiologie des systèmes infectieux (agent × vecteur × environnement) + (agent × humain ×...) n'est pas la somme des produits initiaux
- Inclure la surveillance entomologique, celles des écosystèmes maritimes, côtiers, dulçaquicoles, terrestres,... dans **une perspectives de type Long-Term Ecological Surveys**

# Remerciements

---

- GIS Climat, Environnement, Sociétés
- Institut de Recherche pour le Développement
- Centre National de la Recherche Scientifique
- Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique
- Alliances ALLENI et AVIESAN
- LabEx CEBA ANR LABX-2501
- UMR MIVEGEC's research contribution





Cahier spécial

# Une écologie de la santé

Olivier Plantard est chargé de recherche dans l'Unité biologie, épidémiologie et analyse de risques en santé animale de l'INRA

Laurent Huber est directeur de recherche dans l'Unité environnement et grandes cultures de l'INRA

Jean-François Guégan est directeur de recherche CNRS à l'Institut de recherche pour le développement et à l'Université de Montpellier I - Université de Montpellier II

La santé, c'est bien sûr la santé de l'homme, mais c'est aussi celle des animaux et des végétaux. Elles sont soumises à divers aléas, notamment climatiques. Pour gérer la santé de demain, il est urgent de concevoir des modèles globaux prenant en compte le maximum de ces paramètres.

Le changement climatique semble bien responsable de la progression de cette maladie chez certaines espèces d'arbres, par exemple le chêne rouge d'Amérique et le chêne pédonculé. Au moyen de simulations numériques, permettant de modéliser la survie hivernale de l'agent pathogène en fonction de la température de son microhabitat (le phloème des arbres infectés, c'est-à-dire le tissu qui conduit un type de sève), des chercheurs de l'INRA et de Météo-France ont établi que ce champignon devrait se déplacer progressivement vers l'Est de la France, entraînant un accroissement du potentiel d'expansion de cette maladie sur la majorité du territoire d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle.

Au contraire, d'autres travaux ont mis au jour une influence favorable du changement climatique sur la santé des plantes. C'est le cas d'une étude réalisée en 2010 (projet Climavor) sur trois maladies affectant des cultures annuelles : la septoriose du blé, la rouille brune du blé et le botrytis de la vigne – causées par des champignons pathogènes également. Des modèles numériques prenant en compte l'évolution

***Pour la Science, avril 2014***