

CLIMATE CHANGE AFFECTS VECTOR-BORNE DISEASES: MYTH OR REALITY?

Vector-borne diseases are transmitted to humans and animals by blood-sucking arthropods (mosquitoes, phlebotomes, ticks, bed-bugs, fleas, etc.). Through biological affinity, specific associations are formed between pathogen, vector and host which adapt to each other according to the various eco-systems involved. Climate change could have a direct influence on vector-borne disease epidemiology through for instance longer seasons, rising temperatures and modified rainfall patterns. Such conditions could induce changes favourable to the vectors and/or to the development of the pathogens themselves, and will probably extend the transmission season of a number of vector-borne diseases, while also changing their geographical distribution patterns.

Experts estimate that by 2100 the average temperature on the planet will have risen by 1°C to 3.5°C. Sea levels are rising, glaciers are melting and rainfall distribution is also changing. Extreme meteorological events are increasing in intensity and frequency. Research has already established that a close relationship exists between vector-borne diseases and climate anomalies, such as El Niño/La Niña. The spread of vector-borne diseases is primarily a consequence of interactions between humans and their environment, as well as the globalised expansion

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET EXTENSION DES MALADIES À TRANSMISSION VECTORIELLE : MYTHE OU RÉALITÉ ?

Les maladies à transmission vectorielle (MTV) sont inoculées aux humains et aux animaux par l'intermédiaire d'arthropodes hématophages (moustiques, phlébotomes, tiques, punaises, puces...). Par affinité biologique, des associations spécifiques se constituent entre pathogène, vecteur et hôte, et s'adaptent en fonction de différents écosystèmes. Le changement climatique, notamment la prolongation des saisons, le réchauffement de la température et la modification de la configuration des précipitations pourraient avoir une influence directe sur l'épidémiologie de ces MTV. Ces conditions pourraient entraîner des changements favorables aux vecteurs et/ou au développement des agents pathogènes eux-mêmes et allongeront probablement la saison de transmission de certaines MTV et modifieront leur répartition géographique.

Les spécialistes estiment que d'ici à 2100, la température moyenne de la planète aura augmenté de 1 à 3,5 °C. Le niveau des mers s'élève, les glaciers fondent et la répartition des précipitations change. Les événements météorologiques extrêmes augmentent en intensité et en fréquence. Plusieurs recherches ont déjà mentionné qu'il existe une association étroite entre les MTV et les anomalies climatiques telles qu' El Niño - La Niña. La propagation des MTV est avant tout la conséquence des interactions de l'homme avec

10



of goods trade and people movements, assisted by rapid transport methods and increased cargo capacities. To what extent is climate change also a factor in the spread of such diseases?

What is the effect of climate change on vector-pathogen interactions?

As we will see further below, the effects of climate on the vector arthropods and the diseases they transmit are clearly evident in these insects' biology and distribution. The effects of climate also have an indirect impact by influencing interactions between insects and pathogens. Some unexpected effects also occur and may modify the probability of contact between the vector and humans.

Among the fears associated with climate change is the risk that vectors and/or pathogens will emerge and pass on disease in areas where the climate had not previously enabled them to survive. This fear is well-founded and reference is often made to isotherms within which transmission of vector borne diseases occur (1, 2).

Arthropods are poikilothermic animals (i.e. their body temperature varies with the surrounding temperature) and their development is directly influenced by the climate. Temperature has a direct impact on the duration of the larval cycle by intensifying the insect's metabolic activity and also, in many cases, by increased proliferation of the microorganisms they feed on. The general consequence is that adult insects are larger and more abundant, increasing the duration of their survival, which enables them to pass on pathogens more efficiently in the event of infection. The longer lifespan may also be favoured by the prevailing relative humidity levels.

The relationship between the pathogen and its vector is also affected by temperature. A temperature increase usually leads to a shortening in the extrinsic incubation period (the time between a blood meal from an infected host and the presence of pathogens in a form liable to infect a new host) and that of the gonotrophic cycle (time between two successive blood meals separated by an egg-laying event, in mosquitoes, for example). The final result is vectors transmitting infection earlier in their life, at shorter intervals, and therefore once again more efficiently.

In contrast, higher temperatures under certain circumstances can in humans induce forms of behaviour isolating them from vectors, such as the use of air-conditioning, which stuns mosquitoes. Some vector-borne diseases are transmitted by ectoparasites (e.g. typhus is transmitted by *Pediculus humanus*), whose development is not dependent on the climate and for which low temperatures are actually a favourable factor for communities in situations of hardship because of the resulting deterioration in hygiene conditions.

Back to the future?

Vector-borne diseases are usually classified as tropical diseases. Some have, however, very recently emerged outside the inter-tropical belt and have caused localised or even

son environnement et de l'expansion mondialisée des échanges de biens et des mouvements de personnes, favorisée par des moyens de transport rapides et de capacité accrue. Dans quelle mesure les changements climatiques peuvent-ils également être des facteurs de propagation de ces maladies ?

Comment le changement climatique agit-il sur l'interaction vecteur - agent pathogène ?

Comme nous le verrons plus loin, les effets du climat sur les arthropodes vecteurs, et les maladies que ceux-ci transmettent se manifestent de façon directe sur la biologie des insectes et leur répartition, et de façon indirecte en influant sur les interactions entre ces derniers et les agents pathogènes. Il existe aussi des effets détournés qui peuvent modifier les chances de contact entre le vecteur et l'homme.

Une des craintes liées au changement climatique est le risque d'apparition de vecteurs et/ou des agents pathogènes qu'ils transmettent dans des zones où le climat ne leur permettait pas jusqu'à présent de survivre. Cette crainte est fondée, on parle souvent d'isothermes en deçà desquelles la transmission de MTV est possible (1, 2).

Les arthropodes sont des animaux poikilothermes, et leur développement est directement lié aux conditions climatiques. La température a des conséquences sur la rapidité du cycle larvaire, de façon directe par augmentation de l'activité métabolique de l'insecte, mais aussi dans bien des cas de façon indirecte par la prolifération plus importante des micro-organismes sources de nourriture. La conséquence est en général la survenue d'adultes plus nombreux, d'un gabarit plus important et ayant donc une probabilité de survie plus longue leur permettant en cas d'infection de transmettre les agents pathogènes plus efficacement. Cette longévité peut également être favorisée par l'humidité relative.

La relation entre l'agent pathogène et son vecteur est aussi affectée par la température. Une augmentation de celle-ci se traduit généralement par un raccourcissement de la durée d'incubation extrinsèque (laps de temps entre un repas de sang sur un hôte infecté et la présence de pathogènes sous une forme apte à infecter un nouvel hôte) et de celle du cycle gonotrophique (durée entre deux repas de sang successifs séparés par une ponte, chez les moustiques par exemple). On aura au final des vecteurs transmettant plus tôt au cours de leur vie, et de façon plus rapprochée, et donc encore une fois plus efficacement.

Par contre, des températures plus élevées peuvent dans certaines circonstances induire chez l'homme des comportements éloignant les vecteurs comme par exemple l'usage de la climatisation qui sidère les moustiques. Certaines MTV sont par ailleurs transmises par des ectoparasites (ex. typhus transmis par *Pediculus humanus*) dont le développement est indépendant du climat, et pour lesquels au contraire des températures basses sont des facteurs favorisants dans le cas de populations en situation précaire du fait de la détérioration des conditions d'hygiène.

sometimes extensive autochthonous transmission. This is the case for example with the West Nile Fever virus in the United States (2000), Chikungunya in Italy (2007) and France (2010), dengue fever in France (2010) and in Croatia (2010), *Plasmodium vivax* malaria in Russia (2005) and Greece (2012) and, very recently, the new Schmallenberg disease that emerged late in 2011 in Germany and that has since spread to livestock in the rest of western Europe. Europe has also had to cope with an increase in the number of cases of tick-borne encephalitis and an explosion of West Nile Fever viruses in 2010 (Eastern Europe and Macedonia). Rift Valley Fever, transmitted by mosquitoes, is currently causing epidemics in ruminants and humans in Africa and is expanding through the Arabian Peninsula and threatening the Mediterranean Basin. Is it, however, legitimate to consider that such emergence or geographic extension of vector-borne disease is due to climate change?

Reference is often made (3, 4) to the risk of vector-borne diseases establishing themselves in temperate countries, without realising that this would often be no more than a repetition of a previous event. It should be remembered that dengue fever was first described in the United States in Philadelphia — latitude 40° north — the same as Madrid. Also, one of the worst epidemics of yellow fever ever recorded occurred in Athens in 1928 (1250 dead). Similarly, yellow fever wreaked havoc in Spain in the 19th century (20,000 people died in Barcelona in 1821) and cases were registered in France, at Saint-Nazaire. All of this confirms that the *Aedes aegypti* vector was present in these regions at that time and that it was eradicated without climate change playing a part.

Historical research into malaria is even more compelling; this disease previously occurred as far north as Northern Europe. Malaria outbreaks occurred in Russia at Arkhangelsk, which lies on the shores of the Glacial Arctic Ocean (61° 30'N). It was to be found in Great Britain and Scandinavia, even during the so-called Little Ice Age (circa 1550–1850); one of the last countries on the European continent to eliminate malaria was Holland in the 1930s. At the present time, the vector *Anopheles* mosquitoes are still present in previously endemic regions and it is almost definite that the causes of the break in transmission, which are probably multi-factorial (swamp draining, and changes in agricultural practices and rural habitats), are climate-related(5).

Climate change: one of many factors

The direct link between climate change and the appearance of new vector-borne diseases is not yet clearly established. In contrast, the multiplication of certain vectors and their proliferation as a result of changes in certain climatic elements (such as humidity and heat in particular) are probably responsible for the emergence of new animal diseases in previously unaffected areas.

It should be remembered that the international trade in tyres (for heavy duty vehicles, building site vehicles and aircraft) for retreading, a very active trade between Asia, the United States and Europe, was responsible for the dissemination of *Aedes albopictus*. The main mode of dispersal is eggs carried in used tyres stored in the open air (6).

Retour vers le futur ?

Les MTV sont en général considérées comme des pathologies tropicales. Pourtant, certaines ont très récemment fait leur apparition ou réapparition en dehors de la ceinture intertropicale et ont été à l'origine d'une transmission autochtone localisée voire étendue. C'est le cas par exemple de la fièvre à virus West Nile aux États-Unis (2000), du chikungunya en Italie (2007) et en France (2010), de la dengue en France (2010) et en Croatie (2010), du paludisme à *Plasmodium vivax* en Russie (2005) et en Grèce (2012) et très récemment de la nouvelle maladie de Schmallenberg apparue fin 2011 en Allemagne et qui s'est depuis répandue dans toute l'Europe de l'Ouest. L'Europe a fait également face à une augmentation des cas d'encéphalites à tiques et à une explosion de fièvres à virus West Nile en 2010 (Europe de l'Est et en Macédoine). La fièvre de la vallée du Rift, transmise par des moustiques, qui cause actuellement des épidémies chez les ruminants et l'homme en Afrique est en expansion dans la péninsule arabe et menace le bassin méditerranéen. Pour autant, peut-on considérer ces émergences ou progression des MTV, comme des conséquences du changement climatique ?

On parle souvent (3, 4) en effet du risque d'implantation de MTV dans des pays tempérés, sans se rendre compte qu'il ne s'agit pas dans bien des cas que d'un retour. En effet, la dengue a été décrite pour la première fois aux États Unis, à Philadelphie, qui se trouve à une latitude de 40° Nord, la même que celle de Madrid. Et l'une des plus violentes épidémies de dengue jamais répertoriées a eu lieu en 1928 à Athènes (1 250 morts). De même, la fièvre jaune a provoqué de véritables hécatombes en Espagne au XIX^e siècle (ex. Barcelone en 1821, 20 000 morts) et des cas ont été relevés en France, à Saint-Nazaire. Ce qui confirme que le vecteur *Aedes aegypti* était présent à cette époque dans ces régions, et il en a été éliminé sans que des modifications climatiques soient intervenues.

L'étude historique du paludisme interpelle plus encore, puisque cette maladie a sévi jusqu'en Europe du Nord. Des épisodes palustres ont eu lieu en Russie à Arkhangelsk sur les bords de l'océan Glacial Arctique (61° 30'N). On la retrouve en Grande-Bretagne et en Scandinavie, y compris pendant le « Petit Âge glaciaire » (1550–1850 environ), et l'un des derniers pays du continent européen à s'en être débarrassé est la Hollande, dans les années 1930. À l'heure actuelle, les anophèles vecteurs sont toujours présents dans les régions autrefois endémiques, et il est à peu près certain que les causes, probablement multifactorielles (drainage des marécages, modification des pratiques agricoles et de l'habitat rural), de l'interruption de la transmission sont sans rapport avec le climat (5).

Le changement climatique, un facteur parmi tant d'autres

Le lien direct entre le changement climatique et l'apparition de nouvelles MTV n'est pas établi à ce jour. En revanche, la multiplication de certains vecteurs et leur pullulation à la suite des modifications de certains éléments climatiques (humidité et chaleur notamment) sont probablement à l'origine de l'apparition de nouvelles maladies animales dans des zones jusqu'alors préservées. Rappelons que c'est le commerce international de pneus de poids lourds, de véhicules de chantier et d'avions destinés au rechapage,

A recent literature review concluded that climate change could modify the incidence of vector-borne diseases through its effects on four characteristics of vector and host populations: geographical distribution, population density, the prevalence of zoonotic infections and the viral load in the host or the vector (7).

The real risk associated with climate change might, however, rather be the exacerbation of current epidemiological trends in urban areas. Long-term climate change and short-term climate disturbances will continue to change the distribution and prevalence of vector-borne diseases. Globalisation, climate warming and the increasingly fast transport of goods and passengers are all factors that are conducive to the propagation of pathogens and vectors towards new territories and the emergence of diseases. Climate warming should not be considered the only factor responsible for the extension of such diseases(8). Climate change represents only one of the many socio-economic and environmental factors that will change the epidemiology of vector-borne diseases in the years to come.

Eric D'Ortenzio¹ and Laurent Guillaumot²

¹ Unité d'épidémiologie des maladies infectieuses (Infectious Disease Epidemiology Unit), Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie (edortenzio@pasteur.nc)

² Laboratoire d'entomologie médicale (Medical Entomology Laboratory), Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie (lguillaumot@pasteur.nc)

References

- [WHO], editor. Dengue. Guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control.; 2009.
- Carpenter S, Wilson A, Mellor PS. Culicoides and the emergence of bluetongue virus in northern Europe. *Trends in microbiology*. 2009 Apr;17(4):172-8.
- Lambrechts L, Scott TW, Gubler DJ. Consequences of the expanding global distribution of *Aedes albopictus* for dengue virus transmission. *PLoS neglected tropical diseases*. 2010;4(5):e646.
- Medlock JM, Hansford KM, Schaffner F, Versteirt V, Hendrickx G, Zeller H, et al. A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options. *Vector borne and zoonotic diseases (Larchmont, NY)*. 2012 Jun;12(6):435-47.
- Reiter P. Réchauffement global : paludisme en Europe ? : Comprendre le passé. Prévenir le futur. *Annales de l'Institut Pasteur Actualités* 2003;16:63-89.
- Paupy C, Delatte H, Bagny L, Corbel V, Fontenille D. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes and infection / Institut Pasteur*. 2009 Dec;11(14-15):1177-85.
- Mills JN, Gage KL, Khan AS. Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan. *Environmental health perspectives*. 2010 Nov;118(11):1507-14.
- Gould EA, Higgs S. Impact of climate change and other factors on emerging arbovirus diseases. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 2009 Feb;103(2):109-21.

très actif entre l'Asie, les États-Unis et l'Europe, qui a été responsable de la dissémination d'*Aedes albopictus*. Le mode de dispersion principal est le transport des œufs dans des pneus usagés stockés à ciel ouvert (6).

Une récente revue de la littérature a conclu que le changement climatique pourrait modifier l'incidence des MTV par ses effets sur quatre caractéristiques des populations de vecteurs et des hôtes : la distribution géographique, la densité de population, la prévalence des infections zoonotiques et la charge virale chez l'hôte ou le vecteur (7).

Mais le vrai risque lié au climat pourrait plutôt être l'exacerbation des tendances épidémiologiques actuelles dans les zones urbaines. Le changement du climat sur le long terme et les perturbations climatiques de court terme continueront d'altérer la distribution et la prévalence des MTV. La mondialisation, le réchauffement climatique, le transport toujours plus rapide de marchandises et de passagers sont autant de facteurs pouvant favoriser la propagation des agents pathogènes et des vecteurs vers de nouveaux territoires et entraîner l'émergence de maladies. Le réchauffement climatique ne doit pas être considéré comme seul responsable de l'extension des MTV (8). Le changement climatique ne représente qu'un facteur parmi de nombreux facteurs socioéconomiques et environnementaux qui vont modifier l'épidémiologie des MTV dans les prochaines années.

Eric D'Ortenzio¹ et Laurent Guillaumot²

¹ Unité d'épidémiologie des maladies infectieuses, Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie (edortenzio@pasteur.nc)

² Laboratoire d'entomologie médicale, Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie (lguillaumot@pasteur.nc)

Références

- [WHO], editor. Dengue. Guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control.; 2009.
- Carpenter S, Wilson A, Mellor PS. Culicoides and the emergence of bluetongue virus in northern Europe. *Trends in microbiology*. 2009 Apr;17(4):172-8.
- Lambrechts L, Scott TW, Gubler DJ. Consequences of the expanding global distribution of *Aedes albopictus* for dengue virus transmission. *PLoS neglected tropical diseases*. 2010;4(5):e646.
- Medlock JM, Hansford KM, Schaffner F, Versteirt V, Hendrickx G, Zeller H, et al. A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options. *Vector borne and zoonotic diseases (Larchmont, NY)*. 2012 Jun;12(6):435-47.
- Reiter P. Réchauffement global : paludisme en Europe ? : Comprendre le passé. Prévenir le futur. *Annales de l'Institut Pasteur Actualités* 2003; 16:63-89.
- Paupy C, Delatte H, Bagny L, Corbel V, Fontenille D. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes and infection / Institut Pasteur*. 2009 Dec;11(14-15):1177-85.
- Mills JN, Gage KL, Khan AS. Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan. *Environmental health perspectives*. 2010 Nov;118(11):1507-14.
- Gould EA, Higgs S. Impact of climate change and other factors on emerging arbovirus diseases. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 2009 Feb;103(2):109-21.