



23 février 2016

**Influence du réchauffement climatique sur  
la propagation des maladies vectorielles et de leurs vecteurs**

## Sommaire

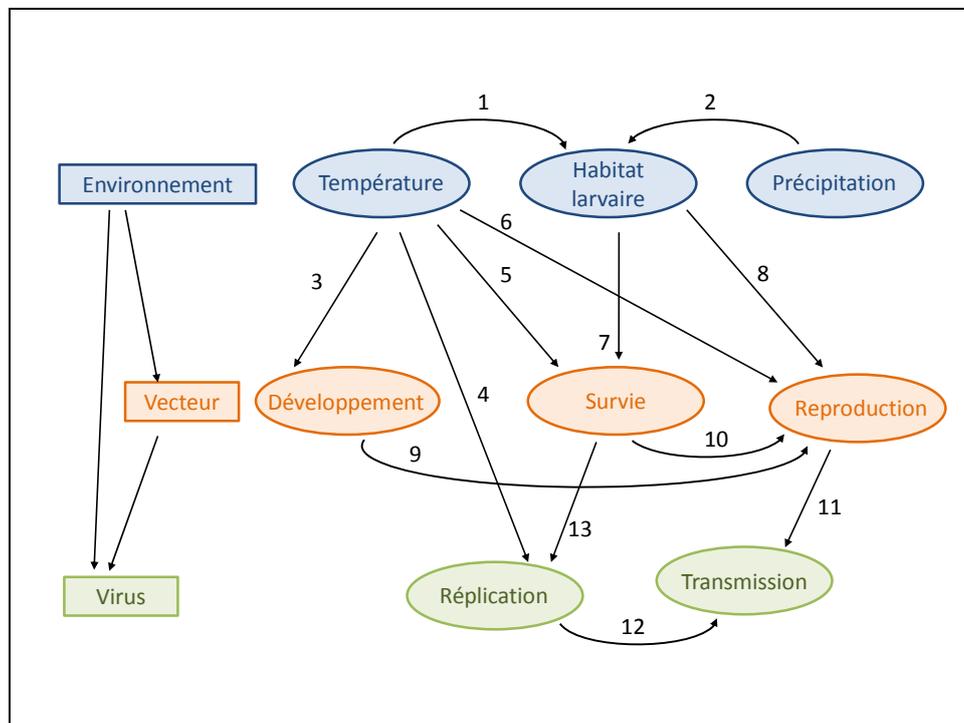
|   |    |
|---|----|
| Introduction.....   | 3  |
| I.Dengue et chikungunya.....  | 5  |
| 1.1 Modification de l'aire de distribution des vecteurs.....                          | 5  |
| *En métropole.....  | 5  |
| *Outremer.....  | 5  |
| 1.2 Impact sur les autres paramètres de la transmission.....                          | 6  |
| II.Maladies à tiques.....   | 7  |
| 2.1 Aire de répartition des vecteurs.....   | 8  |
| 2.2 Impact sur la phénologie des tiques et les pathogènes qui leur sont associés..... | 8  |
| III.Phlébotomes et leishmanioses.....   | 9  |
| Conclusions.....  | 9  |
| Conclusion générale.....  | 9  |
| Conclusion en termes de surveillance.....   | 10 |
| Bibliographie.....  | 11 |

## Introduction

« Le changement climatique se manifeste, d'une part par la modification des paramètres climatiques à tendance séculaire (changements climatiques stricto sensu), et d'autre part par la modification de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes.

Le changement climatique est une partie d'un tout composé de multiples changements environnementaux et socio-économiques. De même, les conséquences sanitaires éventuelles du changement climatique sont multi-causales, et ne peuvent être convenablement interprétées qu'en les replaçant dans leur contexte (démographique, social, économique, etc.). » (Leport & Guégan, 2011).

En ce qui concerne les maladies à transmission vectorielle, de nombreux paramètres peuvent être affectés par les changements climatiques et ainsi modifier le risque de transmission. La modification de l'aire de répartition des vecteurs semble le plus évident, mais chaque composante d'un système vectoriel (hôte, pathogène, vecteur, réservoir) ainsi que leurs interactions peuvent s'en trouver impactées. La figure 1 présente les éléments de la biologie du vecteur qui peuvent être impactés par des variables climatiques et donc par les changements climatiques.



**Figure 1** : diagramme des interactions entre des variables climatiques, les vecteurs et les virus. Les chiffres indiquent les relations entre ces différentes variables. La disponibilité en habitats larvaires est influencée par la température via l'évapotranspiration (1) et les précipitations (2). La température est un déterminant majeur pour la régulation du développement des moustiques (3), la réplication virale chez les moustiques (4), la survie (5) et le comportement de reproduction des moustiques (6). La disponibilité en gîtes larvaires est nécessaire à la survie des stades pré-imaginaux (7) et la reproduction des adultes (8). Un développement plus rapide et une augmentation de la survie des moustiques accélèrent le taux de reproduction des moustiques (9 et 10). Une augmentation du taux de reproduction des moustiques accroît le risque de transmission en augmentant le nombre de repas de sang (11), alors qu'une réplication virale plus rapide augmente la transmission en raccourcissant la durée de la période d'incubation extrinsèque (12). Enfin, une augmentation de la survie des moustiques adultes augmente la réplication du virus (d'après Morin *et al.*, 2013)

L'implication des changements climatiques dans l'évolution de l'incidence des maladies infectieuses reste toutefois difficile à mesurer. Cela ne réside pas uniquement dans le manque de données disponibles, mais surtout dans le fait que de nombreux facteurs épidémiologiques, écologiques et socio-économiques régissent également la dynamique de transmission. Ces déterminants sont d'importance variable en fonction du système infectieux étudié. La figure 2, adapté d'un article de Woolhouse & Gowtage-Sequeria (2005) en présente quelques exemples (extrait de Leport & Guégan, 2011).

**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, <i>ESB</i>  |
| 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> , <i>ESB</i> , <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 ex-URSS                                      |
| 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) |

**Figure 2 :** Déterminants principaux responsables de maladies infectieuses émergentes

L'impact du climat sur la transmission a toutefois pu être démontré dans plusieurs études scientifiques. Parmi les différentes maladies infectieuses, les maladies à transmission vectorielle sont sans doute celles dont l'évolution potentielle en fonction des changements climatiques a été le mieux étudiée, notamment en Europe. Le présent rapport se focalisera sur les systèmes vectoriels d'intérêt majeur pour la métropole et l'outremer.

# I. Dengue et chikungunya

## 1.1 Modification de l'aire de distribution des vecteurs

### \*En métropole

De nombreuses espèces invasives, appartenant toutes au genre *Aedes*, de moustiques sont apparues en Europe dans la seconde moitié du XXe siècle (Medlock et al., 2012). Parmi ces espèces, 4 se sont implantées durablement : *Aedes albopictus* et *Aedes japonicus*, présentes notamment en France métropolitaine, ainsi que *Aedes aegypti* et *Aedes koreicus*.

Le statut d'*Ae. aegypti* est un peu à part, étant donné que cette espèce était largement répandue dans le bassin méditerranéen jusque dans les années 1950, et a été responsable de plusieurs épidémies de dengue et de fièvre jaune au cours des deux siècles précédents (Schaffner & Mathis, 2014). L'espèce est désormais présente à Madère et sur la côte nord de la Mer Noire (Russie et Géorgie). Deux paramètres sont fréquemment avancés pour expliquer cette régression : la mise en place de l'eau courante dans la plupart des foyers et l'utilisation massive de DDT.

Le seuil minimum de température communément admis pour une survie des populations d'*Ae. aegypti* durant l'hiver est un isotherme de 10°C en janvier, ou une température moyenne annuelle de 15°C (Schaffner & Mathis, 2014). Actuellement, plusieurs régions deltaïques (Rhône et Garonne pour la France) présentent des conditions climatiques favorables à l'installation de cette espèce.

Une augmentation de la température moyenne pourrait favoriser l'installation d'*Ae. aegypti* en Europe du Sud, et ainsi augmenter le risque de transmission saisonnière de la dengue (Semenza & Menne, 2009),

A l'heure actuelle, aucun élément ne permet d'incriminer le changement climatique dans la diffusion de ces espèces. On sait que l'expansion mondiale d'*Ae. albopictus* est principalement liée à la multiplication et l'accélération des échanges commerciaux, notamment le commerce de pneus usagés (Hawley et al., 1987). Actuellement, l'ensemble de la métropole, excepté certaines zones d'altitude dont la limite est difficile à définir, présente des conditions climatiques permettant l'installation de l'espèce (Benedict et al., 2007).

Dans une revue de la littérature parue dans Eurosurveillance (2014), Fischer et al. ont analysé les différentes projections sur l'habitat potentiel d'*Aedes albopictus* en Europe en fonction des différents scénarios climatiques. Il en ressort des différences importantes pour la France en fonction du modèle utilisé. Il semble toutefois que les conditions seront de plus en plus favorables sur une grande moitié ouest du pays, et toujours aussi favorables dans le quart sud-est. Le climat des régions montagneuses (Pyrénées, Alpes, Massif Central) devrait rester défavorable à l'espèce.

### \*Outremer

Selon une étude parue dans la revue *Geospatial health* (Khormi & Kumar, 2014), le réchauffement climatique pourrait rendre certaines régions tropicales moins favorables à *Ae. aegypti*, notamment la Guyane. Il s'agirait toutefois seulement d'un passage de conditions « très favorables » à des conditions « favorables ».

Les deux espèces *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* sont présentes de manière plus ou moins diffuse dans toute la zone intertropicale (Kraemer *et al.*, 2015). La compétition interspécifique étant essentiellement conditionnée par l'habitat, les ressources disponibles au stade larvaire et le comportement reproductif (Leisnham *et al.*, 2014 ; Murrell & Juliano, 2008 ; Tripet *et al.*, 2011), il est très difficile d'anticiper l'impact que pourrait avoir le changement climatique sur la répartition de ces deux espèces en zone de sympatrie (partage de la même niche écologique).

Concernant l'épidémiologie de la dengue, de nombreuses études de modélisation ont été conduites. Naish *et al.* (2014) en ont réalisé une revue systématique. Sur 16 études ayant rempli leurs critères de sélection, la plupart montre une corrélation positive de l'augmentation de la température (qui a un effet sur le temps d'émergence, le taux de piquûre et la durée du cycle extrinsèque) et le risque de transmission, jusqu'à un certain seuil. L'augmentation des précipitations aurait en revanche un impact limité, probablement en raison du caractère anthropique de la plupart des gîtes larvaires d'*Ae. aegypti*.

## 1.2 Impact sur les autres paramètres de la transmission

Morin *et al.* (2013) ont essayé de colliger les différentes données sur l'influence du climat sur la transmission de la dengue. Il en ressort que les relations entre les paramètres climatiques et les facteurs qui influencent la transmission sont complexes. Par exemple, la température optimale de survie d'*Ae. aegypti* jusqu'au stade adulte a été estimée à 27°C (Rueda *et al.*, 1990), tandis que la durée de la période d'incubation extrinsèque passe de 9 jours à 26°C à 5 jours à 30°C pour deux sérotypes de dengue (Rohani *et al.*, 2009). S'agissant de la longévité des populations adultes d'*Ae. aegypti* en fonction de la température, une modélisation basée sur 141 données de laboratoire a permis d'estimer une température optimale de 25,5°C (Brady *et al.*, 2013). Il est ainsi difficile de prédire l'impact d'une augmentation de la température sur la durée de la période infectante pour un moustique.

Plusieurs études ont été réalisées afin de prédire l'impact des changements climatiques sur le risque de transmission de dengue. La plupart de ces modèles prévoient une augmentation du risque de transmission dans le sud de l'Europe, et l'apparition de conditions favorables à la transmission en Europe Centrale (Hales *et al.*, 2002 ; Rogers *et al.*, 2006). Ces modèles sont toutefois limités par le manque de données, et sont pour la plupart basés sur le postulat d'une transmission par *Ae. aegypti* et non par *Ae. albopictus*.

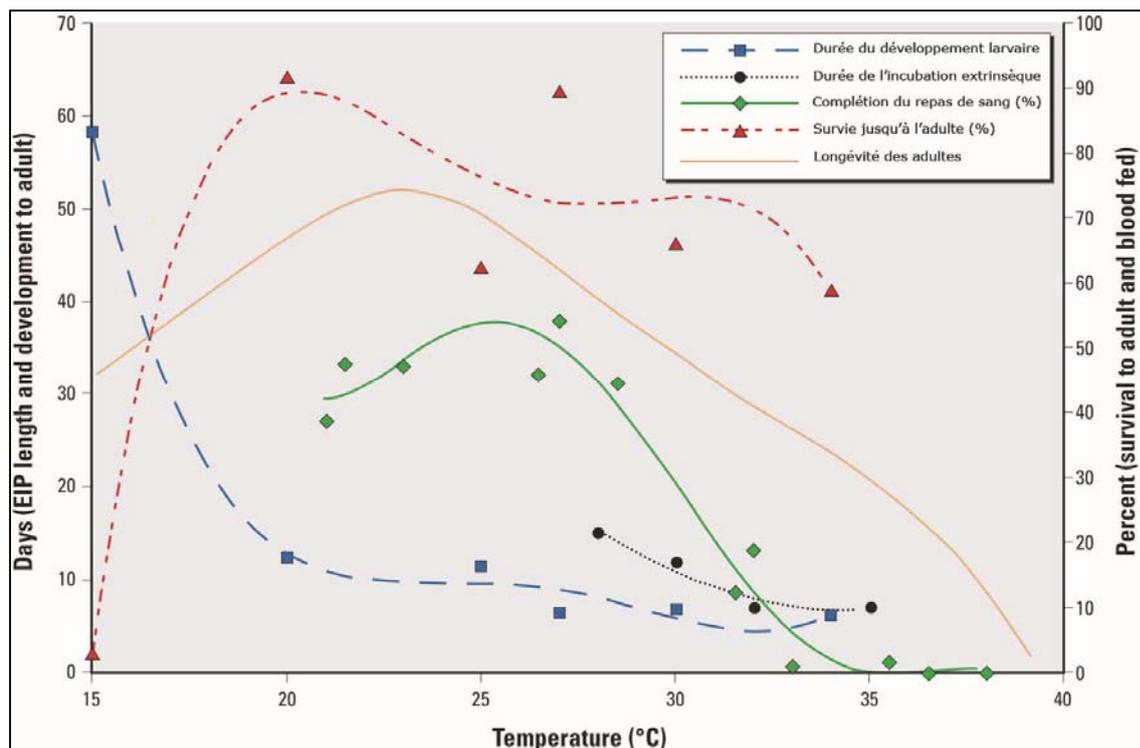


Figure 3. Effets de la température sur certaines variables associées à la transmission du virus de la dengue par *Ae. aegypti*. Nombre de jours nécessaires au développement larvaire, durée de la période d'incubation extrinsèque du DENV2, pourcentage d'*Ae. aegypti* terminant leur repas de sang après qu'une source de sang ait été mise à disposition pendant 30 min, pourcentage des larves d'*Ae. aegypti* ayant survécu jusqu'à l'âge adulte après éclosion (données tirées de Morin et al., 2013) et modélisation de la survie de 50% des adultes en conditions de laboratoire (Brady et al., 2013).

## II. Maladies à tiques

Parmi les tiques responsables de la transmission d'agents pathogènes, les tiques du genre *Ixodes* jouent un rôle majeur. Elles sont en effet notamment vecteurs et réservoirs de l'encéphalite à tique (TBE) ainsi que de la borréliose de Lyme mais également d'anaplasmose et de babésiose.

Comme pour d'autres vecteurs, la température est de nature à influencer différentes caractéristiques bioécologiques des tiques : durée du cycle de développement, durée du cycle d'activité, production d'œufs, densité des populations, distribution, ainsi que paramètres influençant les interactions tiques-pathogènes : extension de la période de recherche d'hôte en particulier.

Les modifications climatiques ont des **effets directs** à travers les modifications de température et de pluviométrie qui vont impacter le cycle de développement des tiques, leur survie ainsi que le début et la durée de leur période d'activité. Le climat a également un impact direct sur des paramètres influençant la transmission (capacité vectorielle). Si la plupart des études insistent sur l'extension de la distribution et de l'activité des tiques, il est également possible d'observer une diminution de cette activité notamment dans des zones qui auraient tendance à devenir plus sèches. Les facteurs climatiques ont par ailleurs des **effets indirects** à travers la modification de la composition des espèces végétales (biotope) et animales (hôtes, réservoirs) qui auront à leur tour un impact sur la densité des tiques et la transmission de pathogènes. En particulier, le climat peut ainsi avoir un

impact significatif sur la distribution d'hôtes d'importance épidémiologique, tant d'un point de vue de la présence de tiques que de la persistance d'agents pathogènes.

## 2.1 Aire de répartition des vecteurs

A l'échelle du continent européen, certains éléments suggèrent que le changement climatique a déjà probablement modifié l'aire de répartition des populations d'*I. ricinus* (Gray et al., 2009).

Les projections climatiques basées sur des hivers plus doux et des étés plus chauds et plus secs, suggèrent ainsi que le vecteur et les pathogènes associés (au premier rang desquels TBE et Borréliose de Lyme) pourraient gagner en altitude et vers le Nord, alors qu'ils pourraient également disparaître de certaines zones méridionales telles que le bassin méditerranéen étant donné la sensibilité des tiques à la dessiccation (Estrada-Peña & Venzal, 2006 ; Léger et al., 2013 ; Medlock & Leach, 2015)..

## 2.2 Impact sur la phénologie des tiques et les pathogènes qui leur sont associés

Certaines études suggèrent également un impact des conditions climatiques sur le cycle de transmission de certains pathogènes du fait d'une modification de l'activité des différentes stases. La transmission par co-feeding (entre nymphes infectées et larves non infectées) pourrait ainsi varier, en particulier pour des pathogènes où l'infection est de courte durée au niveau de la faune sauvage (TBE par exemple) En effet, quand la virémie ou la parasitémie est de courte durée, le co-feeding joue un rôle plus important dans la transmission, les tiques assurant un rôle de réservoir. A noter toutefois, qu'en fonction des conditions climatiques locales, ce risque pourrait être accentué ou diminué (Voodrouw, 2015 ; Sumilo et al, 2007).

Outre les facteurs climatiques, d'autres facteurs sont également susceptibles d'influencer, de manière directe ou indirecte, l'aire de répartition et la densité d'*I. ricinus*, parmi lesquels les modifications du paysage ainsi que des déterminants liés aux activités humaines. Ainsi, parmi les facteurs d'origine anthropique, et dans un souci de prévention des maladies à transmission vectorielle, il peut également être utile de considérer les facteurs influençant le contact homme-vecteur telles que les modifications comportementales liées au loisir (augmentation de la fréquentation des forêts en particulier), ainsi que l'efficacité des campagnes de sensibilisation à la protection individuelle. De même, les tiques et les maladies à tiques peuvent être en expansion pour des raisons qui n'ont rien à voir avec les modifications climatiques, comme par exemple la recolonisation de zones qui étaient auparavant peu propices au développement des tiques et de la faune sauvage à la faveur de modifications paysagères telle que la reforestation (Barbour & Fisch, 1993). Ainsi, il reste difficile d'établir une corrélation claire entre émergence de maladies à tiques et changements climatiques, faciès épidémiologiques des maladies à tiques et dynamiques de populations de tiques du fait de l'existence de nombreux déterminants dans la dynamique de la transmission.

En conclusion, la température et l'humidité apparaissent comme des facteurs susceptibles d'influencer la survie et le développement des tiques et d'impacter ainsi leur aire de répartition. Toutefois, ces impacts sont de nature à se manifester principalement en zones limites de leur aire de répartition, là où les tiques ne peuvent pas s'adapter, par leur comportement, à des conditions

défavorables. A l'intérieur des zones de distribution des tiques, les effets directs liés à des modifications de température et d'humidité auront un impact moindre que d'autres déterminants comme par exemple l'abondance des hôtes (Ostfeld *et al.*, 2006).

### III. Phlébotomes et leishmanioses

Actuellement, les phlébotomes vecteurs de leishmanioses ont une aire de répartition bien plus large que la zone de circulation de *Leishmania infantum*, parasite responsable de la leishmaniose en France métropolitaine (Semenza & Menne, 2009). Aussi, il apparaît comme spéculatif de conclure qu'une extension de l'aire de répartition des vecteurs engendrerait de facto une extension de la zone de transmission des parasites.

Néanmoins, le changement climatique peut impacter la distribution de la leishmaniose de trois façons (Ready, 2008) :

1. directement, en termes de développement du vecteur et du parasite,

La durée de l'incubation extrinsèque est fortement influencée par la température. Selon Dye *et al.* (1987), le nombre moyen de cycles gonotrophiques réalisés par *Phlebotomus ariasi* dans le sud de la France est très légèrement supérieur à 1. Ainsi, même une faible variation de climat pourrait avoir un impact significatif sur la transmission.

2. indirectement, en termes de distribution et d'abondance des vecteurs,
3. indirectement, à travers des modifications d'ordre socio-économiques susceptibles de modifier le contact homme-vecteur.

Selon les scénarios climatiques communément admis, les conditions pourraient devenir plus favorables à la transmission dans les régions septentrionales. L'importation d'animaux infectés (chiens en particulier) étant fréquente, cela pourrait donner naissance à de nouveaux foyers. Inversement, la leishmaniose pourrait diminuer voire disparaître dans les régions méridionales si les conditions devenaient trop chaudes et sèches pour la survie des vecteurs locaux (Semenza & Menne, 2009).

Aucune étude sur l'impact du changement climatique sur la leishmaniose en Guyane n'a été publiée. Deux études réalisées au Brésil prédisent cependant une expansion géographique de la maladie selon différents scénarios climatiques (Carvalho *et al.*, 2015 ; Mendes *et al.*, 2016)

## Conclusions

### Conclusion générale

Les différentes données de la littérature considérées lors de l'élaboration de cette synthèse montrent que le climat constitue un déterminant important de la modification de la distribution des vecteurs et des agents pathogènes qui leur sont associés. Toutefois, les différentes données disponibles ne montrent pas clairement que les récentes modifications climatiques ont conduit à une augmentation

des risques vectoriels, en particulier au niveau de l'Europe. En particulier, l'impact d'autres modifications (développement socio-économique, urbanisation, modifications paysagères et d'utilisation des sols, globalisation des voyages et du transport de marchandises...) apparaît dans de nombreuses situations comme plus important que le changement climatique.

Enfin, concernant les territoires ultramarins situés en zone intertropicale, qui à l'exception de la Guyane, sont des territoires insulaires, les risques d'émergences de nouvelles maladies à transmission vectorielle dépendent principalement de l'introduction de nouvelles espèces et/ou d'agents pathogènes.

## Conclusion en termes de surveillance

Comme expliqué précédemment, le changement climatique n'est qu'un déterminant parmi d'autres dans l'émergence d'un vecteur ou d'une maladie infectieuse.

**Les différents éléments présentés dans ce rapport ne permettent pas de statuer sur le besoin de faire évoluer sensiblement le dispositif actuel de surveillance entomologique actuellement mis en place en France métropolitaine.** Il est possible que le risque de transmission des virus de la dengue, du chikungunya, de Zika ou de West Nile augmente dans certaines régions de France métropolitaine en cas de réchauffement climatique en raison d'un allongement de la période d'activité des moustiques adultes et d'une diminution de la période d'incubation extrinsèque. Dans les régions ultramarines, les conditions climatiques sont actuellement très favorables à la transmission des arbovirus. Il est dès lors peu probable que le changement climatique affecte de manière notable ce risque.

**Concernant les autres espèces d'*Aedes* potentiellement invasives (*Ae. japonicus*, *Ae. koreicus*, et dans une moindre mesure *Ae. triseriatus* et *Ae. atropalpus*), même si le risque vectoriel lié à leur présence reste à évaluer, il est d'ores et déjà pertinent de surveiller l'expansion (pour *Ae. japonicus*) ou l'introduction de ces espèces, quelque soit l'impact potentiel du changement climatique.** La surveillance des points d'introduction potentiels (sites d'importation de pneus notamment pour *Ae. triseriatus* et *Ae. atropalpus*) est donc recommandée.

Le changement climatique semble avoir un effet important sur la distribution d'*I. ricinus*, principalement aux zones limites de son aire de répartition. Les données disponibles concernant cette espèce et les principaux pathogènes qu'elle transmet à l'homme (*Borrelia burgdorferi* s.l, virus de l'encéphalite à tiques) sont toutefois trop parcellaires pour estimer l'impact du changement climatique sur la transmission. **Une surveillance des populations d'*I. ricinus* et de la prévalence des pathogènes évoqués ci-dessus chez cette espèce est recommandée,** afin de pouvoir adapter les mesures de gestion (prévention en particulier) et anticiper les éventuelles évolutions de l'épidémiologie de ces maladies.

## Bibliographie

Barbour, A. G., and D. Fish. 1993. The biological and social phenomenon of Lyme disease. *Science* 260:1610-1616.

Brady OJ, Johansson MA, Guerra CA, Bhatt S, Golding N, Pigott DM, Delatte H, Grech MG, Leishnam PT, Maciel-de-Freitas R, Styer LM, Smith DL, Scott TW, Gething PW, Hay SI, 2013. Modelling adult *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* survival at different temperatures in laboratory and field settings. *Parasit Vectors*. 6:351.

Benedict MQ, Levine RS, Hawley WA, Lounibos LP, 2007. Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 7(1):76-85

Carvalho BM, Rangel EF, Ready PD, Vale MM, 2015. Ecological Niche Modelling Predicts Southward Expansion of *Lutzomyia (Nyssomyia) flaviscutellata* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), Vector of *Leishmania (Leishmania) amazonensis* in South America, under Climate Change. *PLoS ONE* 10(11): e0143282. doi:10.1371/journal.pone.0143282

Dye C, Guy MW, Elkins DB, Wilkes TJ, Killick-Kendrick R, 1987. The life expectancy of phlebotomine sandflies: first field estimates from southern France. *Med Vet Entomol*, 1(4):417-25

Estrada-Peña AJ, Venzal M, Sánchez Acedo C, 2006. The tick *Ixodes ricinus*: distribution and climate preferences in the western Palaearctic. *Med Vet Entomol*. 20;189-197

Fischer D, Thomas SM, Neteler M, Tjaden NB, Beierkuhnlein C, 2014. Climatic suitability of *Aedes albopictus* in Europe referring to climate change projections: comparison of mechanistic and correlative niche modelling approaches. *Eurosurveillance*. 13;19(6)

Gray JS, Dautel H, Estrada-Peña A, Kahl O, Lindgren E, 2009. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdiscip Perspect Infect Dis*. 2009:593232

Hales S, de Wet N, Maindonald J, Woodward A, 2002. Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet*. 14;360(9336):830-4.

Hawley WA, Reiter P, Copeland RS, Pumpuni CB, Craig GB Jr, 1987. *Aedes albopictus* in North America: probable introduction in used tires from northern Asia. *Science*. 29;236(4805)

Khormi HM, Kumar L, 2014. Climate change and the potential global distribution of *Aedes aegypti*: spatial modelling using GIS and CLIMEX. *Geospat Health*. 8(2):405-15.

Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne A, Shearer FM, Brady OJ, Messina JP, Barker CM, Moore CG, Carvalho RG, Coelho GE, Van Bortel W, Hendrickx G, Schaffner F, Wint GR, Elyazar IR, Teng HJ, Hay SI. The global compendium of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* occurrence. 2015. *Sci data*. 7;2:150035

Léger E, Vourc'h G, Vial L, Chevillon C, McCoy KD, 2013. Changing distributions of ticks: causes and consequences. *Exp Appl Acarol*. 59;219-244.

- Leisnham PT, LaDeau SL, Juliano SA. 2014. Spatial and temporal habitat segregation of mosquitoes in urban Florida. *PLoS One*. 12;9(3)
- Leport C, Guégan JF, 2011. Les maladies infectieuses émergentes : état de la situation et perspectives. Rapport du Haut Conseil de la Santé Publique. *La Documentation Française*.
- Medlock JM, Hansford KM, Schaffner F, Versteirt V, Hendrickx G, Zeller H, Van Bortel W, 2012. A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options. *Vector Borne Zoonotic Dis*. 12(6):435-47
- Mendes CS, Coelho AB, Féres JG, Souza EC, Cunha DA, 2016. The impact of climate change on leishmaniasis in Brazil. *Ciência & Saúde Coletiva*. 21(1)
- Morin CW, Comrie AC, Ernst K, 2013. Climate and dengue transmission: evidence and implications. *Environ Health Perspect*. 121;1264-1272.
- Murrell EG, Juliano SA. 2008. Detritus type alters the outcome of interspecific competition between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol*. 45(3):375-83
- Naish S, Dale P, Mackenzie JS, McBride J, Mengersen K, Tong S. 2014. Climate change and dengue: a critical and systematic review of quantitative modelling approaches. *BMC Infect Dis*. 26;14:167
- Ostfeld RS, Canham CD, Oggenfuss K, Winchcombe RJ, Keesing F, 2006. Climate, deer, rodents, and acorns as determinants of variation in lyme-disease risk. *PLoS Biol*. 4:e145.
- Ready PD, 2008. Leishmaniasis emergence and climate change. *Rev Sci Tech*, 2:399-412
- Rogers DJ, Wilson AJ, Hay SI, Graham AJ, 2006. The global distribution of yellow fever and dengue. *Adv Parasitol*. 62:181-220.
- Rohani, A., Y. C. Wong, I. Zamre, H. L. Lee, and M. N. Zurainee. 2009. The effect of extrinsic incubation temperature on development of dengue serotype 2 and 4 viruses in *Aedes aegypti* (L.). *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 40:942-950.
- Rueda LM, Patel KJ, Axtell RC, Stinner RE, 1990. Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol*. 27:892-898.
- Schaffner F, Mathis A, 2014. Dengue and dengue vectors in the WHO European region: past, present, and scenarios for the future. *Lancet Infect Dis*. 14(12):1271-80
- Semenza, JC, Menne B, 2009. Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet*. 9:365-375
- Sumilo D, Asokliene L, Bormane A, Vasilenko V, Golovljova I, Randolph SE, 2007. Climate change cannot explain the upsurge of tick-borne encephalitis in the Baltics. *PLoS One*. 2:e500.
- Tripet F, Lounibos LP, Robbins D, Moran J, Nishimura N, Blosser EM. 2011. Competitive reduction by satyrization? Evidence for interspecific mating in nature and asymmetric reproductive competition between invasive mosquito vectors. *Am J Trop Med Hyg*. 85(2):265-70
- Voordouw MJ, 2015. Co-feeding transmission in Lyme disease pathogens. *Parasitology*. 142:290-302.

Woolhouse ME, Gowtage-Sequeria S. 2005. Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerg Infect Dis.* 11:1842-1847.