

# Impacts des changements climatiques sur les arboviroses dans une île tropicale en développement

Laurent Jauze, Stéphane Arnoux and Leïla Bagny

Volume 10, Number 3, December 2010

Les petits États et territoires insulaires face aux changements climatiques : vulnérabilité, adaptation et développement

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1004061ar>

[See table of contents](#)

## Publisher(s)

Université du Québec à Montréal  
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

[Explore this journal](#)

## Cite this article

Jauze, L., Arnoux, S. & Bagny, L. (2010). Impacts des changements climatiques sur les arboviroses dans une île tropicale en développement. *VertigO*, 10(3), 0-0.

## Article abstract

Mayotte is a small island in the South West Indian Ocean where the tropical climate is particularly favorable to vector-borne diseases. The presence of various mosquito, vectors of arboviruses is a significant health risk for the population. This article attempts to assess the the consequences of a changing thermal regime on populations of *Aedes* mosquitoes, by studying the life traits of species and conducted in a controlled environment. It seems that the rise of the temperature planned for the year 2100 would be too small to have an effect on the incidence of some diseases carried by mosquitoes. In fact, more than the climatic variables, this is more the human context that would be the most influential epidemiological risk in Mayotte. The hypothesis is expressed that this is not climate change that would increase health risks but that the change in political status that would limit them.

Tous droits réservés © Université du Québec à Montréal et Éditions en environnement VertigO, 2011



This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

<https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/>

**Érudit**

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

<https://www.erudit.org/en/>

# IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES ARBOVIROSES DANS UNE ILE TROPICALE EN DEVELOPPEMENT

Jauze Laurent<sup>1</sup>, Arnoux Stéphane<sup>2</sup> et Bagny Leïla<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Géographe, Centre de Recherches et d'Études Géographiques de l'Université de la Réunion (CREGUR). 9 rue des fruitiers, 97440 Saint-André, Réunion. Courriel : [ljauze@univ-reunion.fr](mailto:ljauze@univ-reunion.fr) ; [laurent\\_jauze@hotmail.com](mailto:laurent_jauze@hotmail.com)

<sup>2</sup>Géographe, Université de la Réunion. 4 impasse de la vanille, 97490 Saint-Denis, Réunion. Courriel : [saarnoux2@hotmail.com](mailto:saarnoux2@hotmail.com)

<sup>3</sup>Entomologiste, UMR C53 Peuplements Végétaux et Bioagresseurs en Milieu Tropical - Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Université de La Réunion, 7 Chemin de l'Irat, 97410 Saint-Pierre. Courriel : [leila.bagny@cirad.fr](mailto:leila.bagny@cirad.fr)

---

**Résumé :** Mayotte est une petite île du sud-ouest de l'océan indien où le climat tropical est particulièrement favorable aux maladies à transmission vectorielle. La présence de divers moustiques, vecteurs d'arbovirus constitue un risque sanitaire important pour la population mahoraise. Cet article tente d'évaluer les conséquences d'une évolution du régime thermique sur les populations de moustiques du genre *Aedes*, en se référant à des études sur les traits de vie des espèces menées en environnement contrôlé. Il apparaît que l'élévation de la température prévue pour 2100 serait trop minime pour avoir une conséquence sur l'incidence de certaines maladies vectorielles. En réalité, plus que les variables climatiques, ce serait davantage le contexte anthropique qui serait le plus influent sur les risques épidémiologiques à Mayotte. L'hypothèse est émise que c'est plutôt l'évolution future du statut politique de cette île qui influencerait les risques sanitaires plutôt que la modification du climat.

**Mots-clés :** Mayotte, changement climatique, insularité, santé publique, moustique, maladies vectorielles.

**Abstract:** Mayotte is a small island in the South West Indian Ocean where the tropical climate is particularly favorable to vector-borne diseases. The presence of various mosquito, vectors of arboviruses is a significant health risk for the population. This article attempts to assess the the consequences of a changing thermal regime on populations of *Aedes* mosquitoes, by studying the life traits of species and conducted in a controlled environment. It seems that the rise of the temperature planned for the year 2100 would be too small to have an effect on the incidence of some diseases carried by mosquitoes. In fact, more than the climatic variables, this is more the human context that would be the most influential epidemiological risk in Mayotte. The hypothesis is expressed that this is not climate change that would increase health risks but that the change in political status that would limit them.

**Keywords:** Mayotte, climate change, insularity, public health, mosquito, vector-borne diseases.

---

## Introduction

Le changement climatique engagé surtout depuis les deux derniers siècles est aujourd'hui admis par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). Bien que ses impacts sur les sociétés humaines soient encore du domaine de la spéculation, plusieurs

chercheurs affirment la probabilité de nombreuses répercussions négatives. Les conséquences sur la santé comptent parmi les extrapolations les plus inquiétantes. Celle-ci devrait être affectée de manière particulièrement négative (McMichael *et al.*, 2006). Une approche géographique des relations climat-santé ne peut intégrer une vision aussi manichéenne des faits. Notre réflexion se veut en accord avec ce principe propre à la géographie de la santé. C'est aussi pourquoi le déterminisme climatique est discuté dans ce texte. Certes, le climat, en tant qu'élément de l'environnement, exerce une influence considérable sur les maladies mais il ne les détermine pas

---

### Référence électronique

Jauze Laurent, Arnoux Stéphane et Bagny Leïla 2010, «Impacts des changements climatiques sur les arboviroses dans une île tropicale en développement », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 10 numéro 3, [En ligne], URL :

de façon isolée (Sorre, 1984 cité par Mendonça, 2004). Or, il est de nombreuses publications qui examinent le lien entre changement climatique et certaines pathologies uniquement en privilégiant la température et la pluviométrie comme facteurs explicatifs. Les autres facteurs, tels que le cadre socioéconomique des territoires, sont parfois tout juste évoqués brièvement voire totalement occultés. Par ailleurs, il est assez courant de lire que nombre d'auteurs pensent que les sociétés des pays pauvres seront plus exposées aux risques du changement climatique et, de ce fait, plus vulnérables que celles des pays riches. C'est une idée reçue que de croire que les communautés des pays en développement ont fatalement de moindres capacités d'adaptation au changement climatique que celles des pays développés (Magnan, 2009).

Cet article tente de démontrer que même dans l'optique d'un changement climatique, ce sont les contextes politique, socioéconomique ou encore démographique qui s'imposent peut-être davantage comme les clés de compréhension et d'explication de l'état sanitaire des territoires. L'exemple de l'île de Mayotte est de ce fait pertinent. Sur cette île, deux moustiques, *Aedes aegypti* (Linné 1862) et *Aedes albopictus* (Skuse 1894), sont les vecteurs incriminés dans la transmission des arboviroses telles que la dengue et le chikungunya. L'un des objectifs de cette étude est donc d'envisager le devenir des populations de ces deux vecteurs dans cette île qui sera concernée à la fois par des changements environnementaux et politiques statutaires. Il s'agira en outre d'établir des scénarios épidémiologiques pour Mayotte.

### **Influence du climat sur les maladies à transmission vectorielle**

Dans le dernier rapport publié par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), il est supposé que la croissance mondiale et le développement économique qui lui est lié auront pour effet la poursuite des rejets massifs de gaz à effet de serre et leur accumulation dans l'atmosphère. Cela entraînerait une amplification du réchauffement climatique dans le futur. Selon les modèles, et leurs incertitudes associées, la hausse des températures oscillerait entre +0,64°C et +0,69°C de 2011 à 2030, entre +1,3°C et +1,8°C de 2046 à 2065 et entre +1,1°C et +6,4°C de 2090 à 2099 (Meehl *et al.*, 2007). Les simulations du scénario A1B (qui envisage des émissions moyennes de gaz à effet de serre) prévoient une augmentation de la température moyenne d'environ +3°C

(entre +1,7°C et +4,4°C) en 2100. Dans le cas d'un climat plus chaud dans le futur, les modèles indiquent que les totaux et intensités des précipitations devraient croître dans les régions tropicales qui sont soumises à des régimes de mousson.

Les réflexions sur les éventuelles implications d'un changement climatique sur la santé humaine ont surtout été menées depuis le troisième rapport du GIEC (cf. McMichael *et al.*, 2001). Divers auteurs mentionnent que les impacts du changement climatique sur la santé seront différents selon le niveau de développement de l'infrastructure sanitaire du pays (Githeko *et al.*, 2001 ; Tsai et Liu, 2005). Dans les pays en développement, l'élévation des températures et de l'humidité faciliterait l'émergence, ou la ré-émergence, ainsi que l'expansion de plusieurs infections par des vecteurs (Confalonieri *et al.*, 2007). Les études mentionnent même qu'une augmentation de la prévalence et de la mortalité par ces maladies infectieuses aurait plusieurs conséquences négatives telles que la baisse de la productivité économique, l'augmentation du coût des médicaments... Ce constat est sans doute à nuancer. Depuis quelques années, les publications sur ce sujet se multiplient. Elles sont controversées et alimentent de nombreux débats sur les effets relatifs du climat versus les conditions sociales, économiques et topographiques sur les maladies infectieuses à transmission vectorielle (McMichael *et al.*, 2006). Celles-ci sont d'ailleurs particulièrement intéressantes à étudier en raison de leur vaste répartition géographique et de leur sensibilité vis-à-vis des paramètres climatiques.

Il est admis que l'épidémiologie de certaines maladies à transmission vectorielle est étroitement dépendante du climat. Leur sensibilité aux conditions climatiques a été suggérée du fait de leur caractère saisonnier. Nombre de publications ont donc supposé qu'un changement climatique aurait pour corollaire une augmentation du risque de transmission de ces maladies, notamment dans des régions du globe jusqu'ici épargnées.

D'après Rodhain (2007), au sein des systèmes vectoriels, agents infectieux, vecteurs et vertébrés ont des relations étroites entre eux et avec l'environnement. Ce sont, de ce fait, des systèmes épidémiologiques extrêmement complexes et sensibles aux changements environnementaux, en particulier aux variations climatiques. Par conséquent, une modification du climat peut affecter directement ou non chaque composant biotique du système épidémiologique. Une augmentation de la

température aurait un impact sur le développement, la dynamique, l'abondance, l'activité et la répartition géographique des moustiques vecteurs puisque ceux-ci sont poïkilothermes et donc sensibles aux variations de température (Patz, 1999 cité par Ludwig *et al.*, 2005 ; Bicout, 2005).

Une augmentation de la température de l'eau entraînerait une maturité plus rapide des larves de moustiques ce qui produirait une descendance plus nombreuse pendant la période de transmission (Githeko *et al.*, 2001). En climat plus chaud, les moustiques femelles adultes digèrent plus rapidement le sang et s'alimentent plus fréquemment, ce qui augmente l'intensité de la transmission. De même, les parasites et les virus achèvent leur incubation extrinsèque dans l'organisme du moustique dans un délai plus court lorsque la température s'élève, ce qui augmente la proportion de vecteurs infectants. En revanche, un réchauffement au-dessus de 34°C a en général un impact négatif sur la survie des vecteurs et des parasites.

La relation climat-arbovirose n'est pas uniquement basée sur la variable température. La dynamique des populations de nombreux moustiques vecteurs de virus est aussi fortement liée au rythme et aux quantités des précipitations, celles-ci étant à l'origine de la mise en eau des gîtes larvaires (Mondet *et al.*, 2005 ; Schaeffer, 2005). Contrairement au facteur thermique, le lien entre pluviométrie et arbovirose reste plus difficile à établir et plus complexe (McMichael *et al.*, 2006). Les modifications du régime des pluies peuvent avoir des effets à court et long terme sur les habitats vectoriels. Une croissance des totaux précipités augmenterait le nombre et la qualité des gîtes larvaires ainsi que la densité de la végétation, avec une influence sur les gîtes de repos. Toutefois, des pluies torrentielles peuvent, à l'inverse, faire déborder les gîtes et entraîner la destruction des larves. Les modalités de stockage de l'eau et la présence de gîtes larvaires autour des habitations sont des facteurs peut-être plus importants que la pluviométrie elle-même (Sabatier, 2007).

Ces divers constats ou suppositions quant au rôle de la température et de la pluie ont surtout été mis en avant dans les études traitant du paludisme et de la dengue. Il est vrai que ces deux maladies figurent parmi les plus importantes dans les régions tropicales et subtropicales ce qui justifie qu'elles soient systématiquement intégrées dans la plupart des modèles sur le changement climatique. Celui-ci est souvent évoqué pour expliquer leur émergence et progression inquiétantes durant les dernières décennies.

Le GIEC, entre autres, prévoit une recrudescence de ces maladies et indique qu'elles auraient déjà touché de nouveaux continents dans leur progression (McMichael *et al.*, 2001).

Plusieurs recherches avaient déjà mentionné qu'il existe une association étroite entre ces deux maladies et les anomalies climatiques telles que El Niño - La Niña. Cette relation forte a été démontrée en Afrique, en Asie du Sud, et particulièrement au Venezuela, en Colombie, en Guyane, à Cuba et aux Caraïbes (Hales *et al.*, 1999 ; Githeko *et al.*, 2001 ; Kovats *et al.*, 2003 ; Rawlins *et al.*, 2005 ; Thomson *et al.*, 2005 ; McMichael *et al.*, 2006 ; Sabatier, 2007).

Compte tenu de ces études, il est supposé qu'un changement climatique tel que celui annoncé par le GIEC ne peut être exempt d'impacts sur l'incidence potentielle et la distribution géographique des moustiques et des maladies à transmission vectorielle (McMichael *et al.*, 2006). Les effets du réchauffement se feront vraisemblablement plus sentir sur les franges altitudinales et latitudinales plus élevées des zones endémiques, c'est-à-dire dans ces zones limites du monde tempéré où les équilibres climatiques sont toujours précaires (Mendonça, 2004 ; Rodhain, 2007). Si les maladies à transmission vectorielle prendront de l'ampleur dans les secteurs géographiques à proximité des zones déjà touchées, les changements devraient être minimes dans ces dernières (McMichael *et al.*, 2004 ; Haines *et al.*, 2006). En effet, les modèles indiquent que l'impact de l'élévation de la température serait moindre dans les régions de circulation hyperendémique des virus, en raison d'un phénomène de saturation de la transmission (Sabatier, 2007). Dans le cas du paludisme, par exemple, Rodhain (2000) estime que, si dans les zones de paludisme instable, une augmentation de la température accroîtrait les risques d'épidémie, les régions de paludisme stables devraient être peu affectées. Cet auteur mentionne également que les moustiques du genre *Aedes* seraient nettement moins exposés aux changements climatiques que d'autres comme les anophèles. Il faut cependant nuancer ce propos : en réalité, tout dépendra de la brutalité avec laquelle s'opérera la modification du climat (Besancenot, 2001). Gatrel (2002) considère que les effets du réchauffement global sur la santé se feront sentir à long terme.

Les moustiques du genre *Aedes* semblent plus affectés par les pratiques humaines que par les changements climatiques. En effet, la dissémination d'*Ae. albopictus* depuis une trentaine d'années dans le monde est liée au développement des transports, et spécialement au

commerce international des pneus pour le rechapage (Reiter et Sprenger, 1987). Ce moustique invasif ainsi que *Ae. aegypti* sont présents dans la plupart des îles du sud-ouest de l'océan indien. La présence d'*Ae. aegypti* est signalée à Rodrigues, à Maurice, aux Seychelles, à la Réunion, à Madagascar, aux Comores et à Mayotte (Julvez *et al.*, 1998) mais l'espèce est rare à Rodrigues, aux Seychelles, à Maurice et à la Réunion (Delatte *et al.*, 2008 ; Bagny *et al.*, 2009b). À l'inverse, *Ae. albopictus*, dont le signalement à la Réunion, aux Seychelles, à Maurice, à Rodrigues et à Madagascar remontent au début du 20<sup>ème</sup> siècle, est actuellement l'espèce prédominante dans ces îles. Dans cette sous région, *Ae. albopictus* n'est absente que des trois îles de la République des Comores. À Mayotte, l'espèce a été décrite pour la première fois en 2001 (Girod, 2004) et son introduction se situerait entre 1999 et 2001 et résulterait de la vague d'invasion mondiale de cette espèce depuis une trentaine d'année.

### Mayotte avant 2011

#### Situation géographique et climatique

L'île de Mayotte est située dans l'océan indien par 12°48' Sud et 45°09' Est. Avec les îles de Grande Comores, Anjouan et Mohéli, elle forme l'archipel des Comores à l'entrée du Canal du Mozambique, à 400 km à l'ouest de la pointe nord de Madagascar et à 500 km à l'est de l'Afrique (Figure 1).

Mayotte est une île volcanique basse – son plus haut sommet, le Mont Bénara culmine à 660 m – et petite : composée d'une vingtaine d'îlots et îles dont Grande Terre et Petite Terre, elle totalise une superficie de 373,24 Km<sup>2</sup>.

Mayotte jouit d'un climat tropical d'hémisphère sud. Du fait de ses dimensions verticales et horizontales restreintes, elle subit partout l'influence de l'océan : son climat tropical est à nuance océanique. Celui-ci alterne deux saisons séparées par deux intersaisons brèves. Cette distinction est basée à la fois sur le régime thermique et pluviométrique.

La saison chaude et pluvieuse s'étend de décembre à mars. La température moyenne de cette saison est de 28°C et les maxima journaliers avoisinent 34°C. La masse d'air équatoriale chaude et humide touche Mayotte par le nord : c'est la mousson. Elle rencontre l'alizé ce qui se traduit par une zone de convergence intertropicale (ZCIT) plus ou moins active entraînant une instabilité. Les pluies sont alors abondantes : 80% de la précipitation annuelle est

enregistrée durant cette période avec un maximum en janvier.

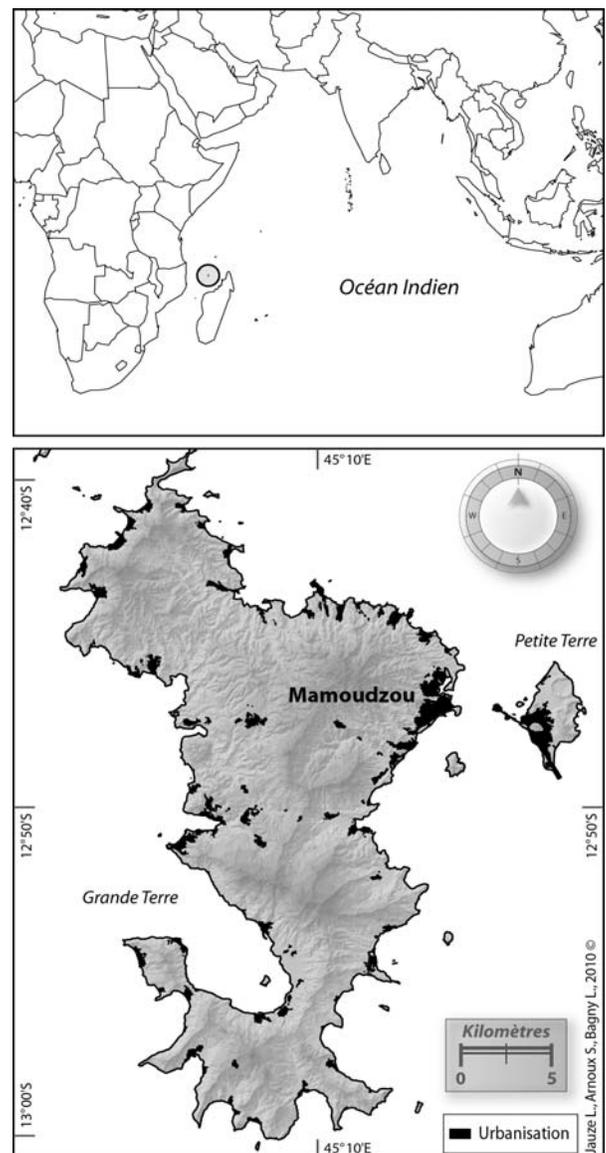


Figure 1. Mayotte : une petite île du sud-ouest de l'océan indien.

La saison fraîche et sèche va de juin à septembre. La température moyenne de cette saison est de 24°C. Au cours de la journée les maxima approchent 28°C. Le régime d'alizé du sud-est domine et les vents assèchent et rafraîchissent l'air. Les précipitations sont peu importantes même sur les reliefs, avec un minimum au mois d'août. Parfois, des fronts froids plus ou moins marqués empruntent le canal du Mozambique. Ils impulsent alors sur Mayotte un air froid accompagné de pluies ou au contraire accentuent la sécheresse.

Globalement, le climat de Mayotte se caractérise par des températures relativement hautes et une pluviométrie modérée. La température moyenne annuelle est de 25,6°C et les amplitudes thermiques annuelles et diurnes sont relativement faibles. Les précipitations s'élèvent à 1500 mm par an en moyenne. Elles connaissent cependant une répartition temporelle et spatiale contrastées. La ressource pluviométrique est concentrée sur quelques mois de l'année en été austral (Lapègue, 1999). Le relief implique un gradient pluviométrique altitudinal croissant. Couplé à la direction des vents, il accentue l'opposition d'une façade au vent et sous le vent. Toutefois cette dichotomie n'est pas aussi prononcée que celle constatée sur des îles montagneuses hautes telle que la Réunion par exemple.

#### *Situation socio-politique*

La culture mahoraise est millénaire et fait partie d'un ensemble ethnographique qui comprend le monde arabe, africain et malgache. La population, qui tire son origine du métissage entre ces différents ensembles depuis le 8<sup>ème</sup> siècle, est chiffrée à 186 000 habitants en 2007 (Trouillard *et al.*, 2009). Elle est majoritairement jeune (54% des personnes ont moins de 20 ans). Du fait de l'exiguïté du territoire la densité s'élève à près de 500 habitants/km<sup>2</sup> (Sissoko, 2003) soit cinq fois la moyenne nationale. Il y a 17 communes sur l'île dont la taille moyenne est de 21,95 Km<sup>2</sup>. Deux gros pôles, Mamoudzou et Labattoir, détiennent les principales infrastructures administratives, économiques et aéroportuaires. Mayotte est encore en pleine transition démographique bien que le taux d'accroissement annuel moyen régresse progressivement (de 4,9% sur la période 1991-2002 à 3,1% de 2002 à 2007). Ce taux important s'explique d'une part, par une natalité particulièrement importante (environ 5 enfants/femme) et d'autre part, par une forte pression migratoire en provenance des autres îles des Comores (Sissoko, 2003). Le niveau d'étude est faible à Mayotte. Soixante pourcent de la population de plus de 15 ans sont sorties du systèmes scolaires dès le primaire ou bien ne sont jamais allés à l'école (INSEE, 2007). Le taux de chômage est élevé (26 % en 2007).

Depuis le référendum de 1976, Mayotte est devenue un territoire d'outre-mer français. En 2000, les mahorais affichent clairement leur volonté de rester intégrés à la France. Il y a à Mayotte un véritable développement progressif depuis 1976. L'évolution de l'aménagement du territoire en est un témoin. La population se concentre sur le littoral au sein d'un chapelet d'entités urbaines (Figure 1)

qui abritait 50% de la population en 1997 contre 35% en 1966. Aujourd'hui encore, cette forte urbanisation se poursuit en raison de l'exode rural des mahorais et de l'afflux des immigrés clandestins. Cette situation génère d'importants déséquilibres spatiaux ainsi que de fortes tensions sociales (Sissoko, 2003). Des études diachroniques en télédétection ont mis en évidence un important changement dans l'occupation du sol depuis un demi siècle suite à une anthropisation accélérée (PADD, 2008). Elle s'illustre par exemple par l'amélioration et l'extension du réseau routier sur toute l'île. Par ailleurs, la faible disponibilité en surfaces planes a poussé l'habitat à se développer sur les pentes. Seules les zones difficilement accessibles ne sont pas encore occupées.

D'un point de vue morphologique, l'habitat mahorais a également subi une évolution rapide. Les entités urbaines sont de petits ensembles où l'habitat commence à se densifier et qui diffère fortement des zones rurales à proprement parler. Les maisons traditionnelles, faites de terre et de matériaux végétaux, laissent de plus en plus place à des constructions en ciment avec un toit en tôle. Celles-ci comptent pour 57% aujourd'hui mais le bâti précaire reste important (Louachéni et Morando, 2009). Parallèlement à l'évolution de l'habitat, il y a également une amélioration de la situation sanitaire. Par exemple, la part des ménages ayant une prise d'eau dans le logement est passée de 26% en 2002 à 37% en 2007 (Louachéni et Morando, 2009). En raison de l'émergence de la société de consommation, les déchets ménagers et assimilés augmentent constamment ce qui n'est pas sans problèmes sur l'hygiène puisqu'ils sont stockés dans des décharges à ciel ouvert (PADD, 2008).

#### *Situation épidémiologique*

Dans les îles du sud-ouest de l'océan indien, plusieurs maladies à transmission vectorielle circulent. Le paludisme sévit toujours à Madagascar, dans l'archipel des Comores ainsi qu'à Mayotte. Dans cette île, des cas importés (principalement en provenance des Comores et de Madagascar) et autochtones sont régulièrement recensés chaque année (Julvez *et al.*, 1998). Concernant les arboviroses, plusieurs épidémies de dengue ont été observées dans la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Les premières décrites dans la littérature ont affecté Mayotte et les Comores en 1943 (McCarthy et Brent, 1943) mais aussi Madagascar à la même période (Julvez *et al.*, 1998). À Mayotte et aux Comores le vecteur incriminé était *Ae. aegypti* (Mc Carthy et Brent, 1943). En 1977-78 une

épidémie majeure de Dengue 2 a touché la Réunion et les Seychelles. À la Réunion, cent soixante mille cas ont été recensés soit environ 30% de la population (Mora, 1979) et le vecteur incriminé dans la transmission de cette arbovirose sur l'île est *Ae. albopictus* (Coulanges, 1979). Dans les années 1980-1990, plusieurs autres épidémies de plus ou moins grande importance se sont produites dans les différentes îles (Julvez *et al.*, 1998). En 1993, une épidémie sévère a sévi en Grande Comore mais n'a pas atteint les autres îles de l'archipel (Zeller, 1998). Aucun cas de forme sévère de la dengue de type dengue hémorragique n'a été décrit dans la zone.

Entre 2005 et 2007, une épidémie sévère de fièvre à chikungunya, peut être la plus intense jamais recensée dans les îles du sud-ouest de l'Océan indien, a touché toutes les îles avec une prévalence variable. L'épidémie a débuté au Kenya en 2004 après une période de forte sécheresse et de chaleur sur les régions côtières (Chretien *et al.*, 2007). Elle s'est ensuite largement répandue à la plupart des îles du sud-ouest de l'Océan indien entre 2005 et 2006 (Renault *et al.*, 2007 ; Taglioni et Dehecq, 2009). En janvier 2005, les premiers cas ont été recensés aux Comores, puis des cas sont rapidement apparus dans les îles situées aux alentours : Mayotte, Madagascar, Seychelles, Maurice et Réunion (Pialoux *et al.*, 2007). Il a été confirmé que pendant cette épidémie une seule souche virale a circulé dans la région de l'Océan indien (Schuffenecker *et al.*, 2006). Dans la plupart des pays de cette zone, l'épidémie a touché près de la moitié de la population s'il est tenu compte des incertitudes liées aux estimations du nombre de cas. À Mayotte la circulation virale a été mise en évidence entre février et septembre 2006 faisant à peu près 45000 cas, soit environ 40% de la population. La circulation d'autres arbovirus dans la sous zone reste assez rare à l'exception peut-être du West Nile virus, qui a été isolé plusieurs fois dans les populations aviaires de Madagascar, et d'une récente fièvre de la Vallée du Rift dans l'archipel des Comores, avec principalement des cas animaux mais aussi des cas humains répertoriés (Sissoko *et al.*, 2009).

La dengue et le chikungunya sont actuellement en émergence dans les îles du sud-ouest de l'océan indien et leur transmission y est assurée par *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*. L'importance de ces vecteurs en santé humaine est surtout liée à leur forte capacité à transmettre des arbovirus (virus dont la transmission est assurée par un arthropode hématophage). *Aedes aegypti* est par exemple vecteur de la dengue et de la fièvre jaune (Christophers, 1960). *Ae. albopictus* assurerait la transmission de la dengue

en Asie dans les milieux ruraux et périurbains ainsi que dans les régions où *Ae. aegypti* est absent (Gratz, 2004). La compétence vectorielle d'*Ae. albopictus* a cependant été prouvée en laboratoire pour près de 22 arbovirus (Shroyer, 1986 ; Mitchell, 1991, Gratz, 2004). Ceci souligne tout particulièrement les risques épidémiologiques liés à l'expansion de cette espèce.

La faune culicidienne de Mayotte est la plus diversifiée et la plus riche de tout l'archipel des Comores (Brunhes, 1978). Cette diversité provient du fait que l'île est la plus ancienne mais également de la particularité de ses sols. En effet, ceux-ci ont une pédogenèse évoluée et sont imperméables ce qui favorise pendant la saison des pluies la présence de marécages et de flaques qui constituent de parfaits gîtes à moustiques.

Auparavant, *Ae. aegypti* était l'espèce d'*Aedes* prédominante dans les zones rurales comme dans les zones habitées (Brunhes, 1978). À la fin des années 1970, Subra et Hebrard (1977) s'attendaient même à une augmentation de ces populations dans les zones habitées du fait de la bonne adaptation de cette espèce aux modifications liées à l'urbanisation, comme la multiplication des gîtes de stockage d'eau. Toutefois, la création de cette nouvelle niche semble avoir été plutôt favorable à l'expansion d'*Ae. albopictus* (Bagny *et al.*, 2009a).

Près de dix ans après l'arrivée d'*Ae. albopictus* à Mayotte, sa dominance dans les zones urbaines et périurbaines a été mise en évidence (Bagny *et al.*, 2009a). Cette espèce colonise tous types de gîtes dont les plus productifs sont les gîtes volontaires de stockage d'eau (fûts, citernes, seaux). Ceux-ci sont abondants dans les cours des habitations au niveau des zones d'ablution (Figure 2). Le nombre moyen de larves produites dans ces gîtes est deux fois plus important que le nombre de larves produites par les déchets abandonnés au sol ou les gîtes naturels tels que les creux de rochers, les creux d'arbres, les noix de coco, etc.

Autant en saison sèche qu'en saison des pluies, *Ae. albopictus* est retrouvé dans la quasi-totalité des gîtes présents dans les zones urbaines et périurbaines échantillonnées. L'établissement des populations d'*Ae. albopictus* semble davantage conditionné par les pratiques humaines que par les environnements climatiques (Bagny *et al.*, 2009a). *Aedes aegypti* est également présent dans les villes mais en proportion inférieure, alors qu'il prédomine dans les zones les plus rurales, notamment dans les creux d'arbres ou de rochers ou encore dans les feuilles au sol.

Contrairement à *Ae. albopictus* l'espèce semble se cantonner dans les gîtes (habitats) naturels qui seraient plus soumis aux variations de pluviométrie que les gîtes volontaires de stockage d'eau qui sont régulièrement remplis. Il faut noter par contre qu'une augmentation des lames d'eau précipitées ne conduit pas obligatoirement à une croissance du nombre de moustiques. En effet, il est montré une persistance des populations d'*Ae. aegypti* dans des zones où les périodes de sécheresse sont les plus longues.

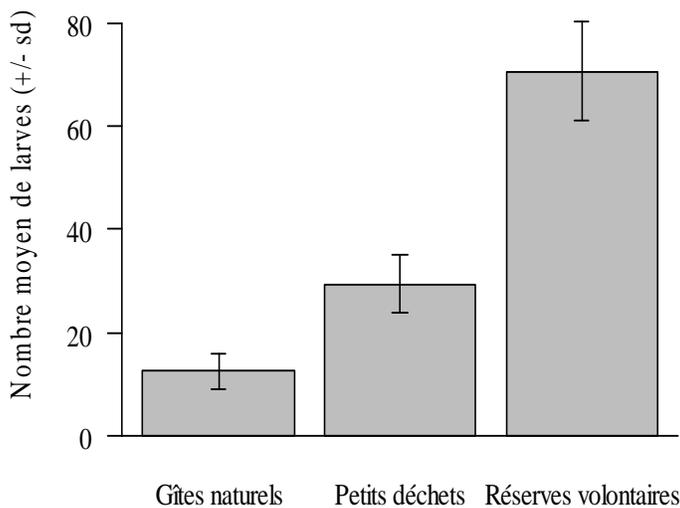


Figure 2. Gîtes les plus productifs pour *Ae. albopictus* à Mayotte (Source : Bagny *et al.*, 2009a).

Un autre résultat important, mis en évidence lors de l'étude réalisée à Mayotte en 2007, est le lien important entre l'abondance relative entre *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* et des composantes de l'occupation des sols (Arnoux, 2009). L'augmentation du pourcentage bâti au sein d'une zone entraîne de manière significative une augmentation de la proportion relative en *Ae. albopictus*. La modification du paysage urbain n'est pas sans conséquence sur les vecteurs de maladie et peut donc bien modifier l'épidémiologie des arboviroses dans la mesure où les deux espèces ont une capacité vectorielle différente.

### Une île en mutation

#### Le changement climatique à Mayotte

Il n'est pas aisé de déceler un éventuel changement climatique pour l'île de Mayotte et cela en raison de la jeunesse du réseau d'instruments de mesure et donc des courtes séries de données disponibles. En effet, c'est

seulement en 1975 qu'arrive le premier chef de la station météorologique de l'île. Toutefois, l'organisme d'état Météo-France affirme qu'aucun des territoires situés outre mer n'échappe au réchauffement (Météo-France, 2006). Pour l'Océan indien, ce constat est renforcé par les statistiques relevés sur l'île de la Réunion. La première station météorologique de cette île date de 1934 mais c'est à partir de 1960 que le Service Météorologique de la Réunion prend véritablement son essor. Météo-France note que sur les 35 dernières années étudiées aucune évolution significative n'est détectée pour les températures moyennes et maximales. En revanche, il apparaît une nette tendance à la hausse des températures minimales, soit +0,5°C à +0,7°C.

Faute de données pertinentes, nous nous appuyons, dans le cadre de cet article, sur les simulations communiquées par le GIEC. Toutefois, il est à noter que ces scénarios moyens ou extrêmes sont valables pour une petite échelle géographique et masquent les disparités régionales. Les divers modèles deviennent limités et incertains dans le cas des petites îles. Outre le manque de données qui les alimentent, ils souffrent d'une résolution insuffisamment fine pour simuler les changements climatiques sur de tels territoires (Mimura *et al.*, 2007). Bien que des projections soient proposées, elles concernent davantage les surfaces océaniques plutôt que les îles elles-mêmes prises individuellement. Pour la zone Océan indien les simulations restent particulièrement difficiles car certains processus climatiques, tel que l'interaction océan-atmosphère, sont encore mal compris à ce jour (Christensen *et al.*, 2007).

Tableau 1. Simulation de l'évolution des températures et des précipitations en 2100 pour les petites îles de l'océan indien basée sur le modèle A1B

Saison	Température (°C)			Précipitation (%)		
	Min	Médiane	Max	Min	Médiane	Max
DJF	1,4	2,1	3,8	-4	4	20
MAM	1,5	2,2	3,8	0	5	20
JJA	1,4	2,1	3,7	-3	3	20
SON	1,4	2,0	3,6	-5	4	21
Annuel	1,4	2,1	3,7	-2	4	20

(Source : Christensen *et al.*, 2007). (DJF : Décembre, Janvier, Février ; MAM : Mars, Avril, Mai ; JJA : Juin, Juillet, Août ; SON : Septembre, Octobre, Novembre). (A1B : scénario pour le 21<sup>ème</sup> siècle)

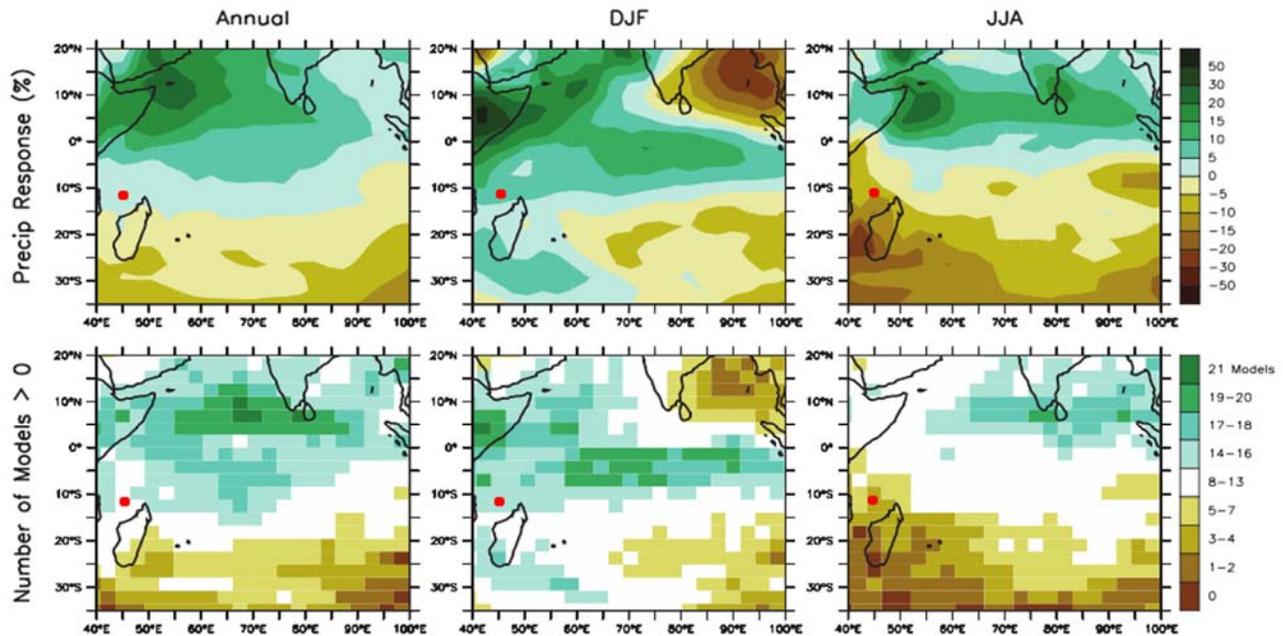


Figure 3. Simulations MMD-A1B sur les précipitations pour la zone Océan indien (basées sur le changement entre 1980-1999 et 2080 et 2099). Images du haut : moyennes sur 21 modèles : moyenne annuelle, moyenne DJF, moyenne JJA. Images du bas : nombre de modèles sur les 21 testés qui indiquent un accroissement des précipitations. (Source : Christensen *et al.*, 2007). (Le point rouge situe Mayotte). (MMD : Multi-Model Data Set obtenu par le biais du Atmosphere-Ocean General Circulation Models (AOGCMs) ; A1B : scénario pour le 21<sup>ème</sup> siècle).

Une difficulté supplémentaire s'ajoute pour Mayotte : les simulations du GIEC sur la zone océan indien ne concernent que les latitudes comprises entre 35°S et 17,5°N et les longitudes entre 50°E et 100°E. Mayotte – qui est située sur le 45<sup>ème</sup> méridien – échappe donc au secteur simulé. Il demeure toutefois pertinent de mentionner ici les projections du GIEC pour le bassin Océan indien (Tableau 1). Cette zone devrait connaître en 2100 un réchauffement dont les valeurs approcheraient probablement celles du scénario global A1B. Celui-ci indique une fourchette d'augmentation de +1,4°C à +3,7°C. Il est à noter que pour les petites îles de cet océan, l'augmentation des températures annuelles et saisonnières devrait être légèrement inférieure à la moyenne annuelle du réchauffement à l'échelle planétaire. Par ailleurs, elle devrait être moins forte que sur les régions continentales.

Selon ce même modèle, les précipitations annuelles varieront entre -2% et +20%. La pluviométrie annuelle devrait s'accroître dans le nord de l'Océan indien et au voisinage des Seychelles en décembre-janvier et février (DJF) et des Maldives en juin-juillet-août (JJA), alors qu'elle devrait décroître au voisinage de Maurice en juin-juillet-août (Figure 3).

#### *Implications du changement climatique à Mayotte sur les populations de vecteurs d'arboviroses*

Afin d'évaluer le risque épidémiologique lié au changement climatique, il est nécessaire de baser notre réflexion sur des études relatant la bio-écologie d'*Aedes albopictus* et d'*Aedes aegypti* à Mayotte. Cette démarche repose sur une analyse approfondie des traits de vie d'*Ae. albopictus* qui ont été étudiés à partir des populations réunionnaises. Cela nous permet d'avoir des clés de compréhension sur l'adaptation de ces espèces à l'environnement abiotique même si les résultats ne concernent pas directement les populations de Mayotte.

Les moustiques, organismes poïkilothermes sont sensibles aux variations de températures qui influencent directement la température de leur corps (Hawley, 1988). Delatte *et al.* (2009) ont clairement montré que la température affecte les traits de vie des stades larvaires et adultes des populations d'*Ae. albopictus* de la Réunion. La survie des adultes est inversement corrélée avec la température. L'espérance de vie la plus longue est observée à 15°C soit 38,6 jours pour

les femelles et 31,3 jours pour les mâles. La plus courte à rencontrée à 35°C soit 19,8 jours et 14,9 jours respectivement pour les femelles et les mâles. À 15°C aucune femelle *Ae. albopictus* n'a pondu d'œufs et aucun développement larvaire complet n'a été accompli entre 5°C et 10°C et à 40°C. Les tables de vie, en combinant les taux de développement, de reproduction et de mortalité, suggèrent un taux d'accroissement maximum de la population entre 25°C et 30°C. Le plus faible taux d'accroissement observé de valeur négative est à 35°C ce qui suggère une diminution dans la population à cette température constante (Figure 4). Pour les populations d'*Ae. albopictus* de la Réunion, le nombre moyen de piqûres faites par les femelles est maximal entre 25°C et 30°C comme pour la plupart des paramètres démographiques de cette espèce. Par contre, pour 18 femelles sur 30 testées, le passage à 35°C ramène à une moyenne d'une seule piqûre à cette température (Delatte *et al.*, 2009). Pour ces deux espèces d'*Aedes*, une exposition de manière constante à des températures supérieures à 35°C est létale soit pour les stades immatures soit pour les stades adultes qui ne vont pondre que très peu d'œufs et survivre peu de temps.

L'optimum de température pour le développement des stades immatures d'*Ae. albopictus* a été estimé à 29,7°C selon le modèle de Logan corrigé par Lactin. La température seuil minimale de développement a été estimée à 10,4°C. Le meilleur taux d'éclosion des œufs, variant entre 50% et 66%, est observé entre 20°C et 30°C. À 35°C le taux d'éclosion est d'environ 10%.

Concernant *Ae. aegypti* il est généralement admis, pour la plupart des souches qui sévissent dans le monde, que c'est une espèce plus vulnérable aux faibles températures puisqu'il y a une faible voire aucune survie de l'œuf à l'adulte autour de 15°C (Cf. Christophers, 1960 et Clements, 1992). En Afrique, les populations d'*Ae. aegypti*, principalement les populations tanzaniennes, éclosent faiblement à 10°C et les larves sont aussi capables de se développer mais il n'y a jamais de cycle complet de l'œuf à l'œuf qui est réalisé. D'un autre côté, il a été montré une survie larvaire autour de 60%-70% à 35°C et une température létale de développement autour de 40°C. Le temps de développement est aussi inversement corrélé à la température avec une durée de développement larvaire autour de 5 jours à 35°C et 29 jours à 15°C.

Avec une moyenne annuelle de 25,6°C, les conditions thermiques actuelles à Mayotte sont déjà favorables à

l'écologie d'*Ae. albopictus* et d'*Ae. aegypti*. Les projections du GIEC donnent une augmentation de température de +2,1°C (valeur médiane) à la fin de ce siècle. Même en s'appuyant sur la valeur maximale des simulations (+3,7°C), la température restera dans une gamme optimale et propice aux vecteurs. En effet, la littérature indique, par exemple, un taux d'accroissement maximum de la population d'*Ae. albopictus* entre 25°C et 30°C avec un optimum à 29,7°C. Un réchauffement climatique ne changerait donc rien à la situation actuelle, du moins si nous nous limitons aux projections sur l'année 2100. Il faudrait une augmentation de près de 10°C pour atteindre 35°C, température à partir de laquelle des effets délétères apparaissent sur les populations de moustiques (cf. Figure 4). À Mayotte, cette température ne sera atteinte qu'à long terme si le réchauffement global engagé se poursuit.

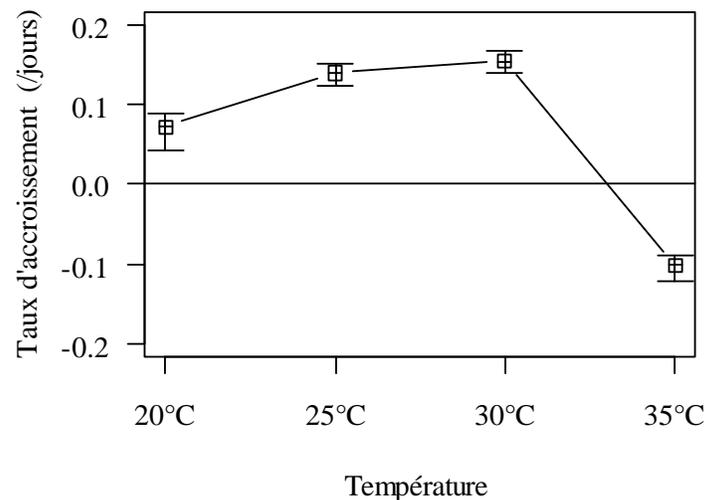


Figure 4. Taux d'accroissement des populations d'*Ae. albopictus* en fonction de la température (Source : Delatte *et al.*, 2009).

#### Changement statutaire à Mayotte

En 2009, lors d'une consultation référendaire de la population, une majorité écrasante se prononce pour une évolution du statut de Mayotte : l'île deviendra en 2011 un département d'outre-mer de la République Française. Ce changement de statut devrait amener progressivement une « nouvelle société » à Mayotte. Cette mutation radicale de la société, et de son économie, sera en outre induite par les futurs transferts financiers depuis la France et l'Union Européenne.

Du point de vue de la lutte anti-vectorielle la situation évolue également. Jusqu'à présent, la DASS (Direction des Affaires Sanitaires et Sociales) de Mayotte était en charge de la lutte par le biais de son service LAV (Lutte Anti-Vectorielle). Ce service travaille en étroite collaboration avec des acteurs de la recherche appliquée afin d'optimiser la lutte. Depuis le 1<sup>er</sup> avril 2010, l'ARS-OI (Agence de Santé Océan indien) succède à la DASS ce qui va générer des changements importants d'organisation du travail.

Si jusqu'à présent chaque étape statutaire de l'île s'est accompagnée d'une amélioration du développement humain (Taglioni, 2009), il devrait donc y avoir, à partir de 2011, une accentuation des dynamiques socioéconomiques. Mayotte deviendra en 2011 un département français d'outre-mer. Le changement de statut pourrait initier un développement important. Cette supposition se base sur l'exemple de la Réunion : en 1946 cette île passe du statut de la colonie à celui de DOM (Département d'Outre-Mer). Les effets de la départementalisation sur le développement n'ont pas été immédiats. Ce n'est qu'après quelques décennies de transition qu'il a pu être constaté un véritable changement dans les modes de vie et un essor dans de nombreux domaines. Néanmoins, la départementalisation a favorisé la mise en place dès 1948 de programmes de lutte ciblés (Julvez *et al*, 1990) reposant sur une chimio prophylaxie à la chloroquine dans les écoles, mais surtout sur l'utilisation du D.D.T. en pulvérisations intra domiciliaires (contre les adultes) et en épandages (contre les larves). Les premiers résultats spectaculaires sont observés dès 1953 et uniquement 26 cas de paludisme sont dénombrés entre 1956 et 1964. À partir de 1965 la surveillance épidémiologique est accrue. Elle est axée sur des enquêtes entomologiques, une lutte dans l'entourage des cas dépistés, un renforcement du dépistage des cas de paludisme, une meilleure information et un contrôle des passagers en provenance de zones impaludées. Le 20 mars 1979, le comité d'experts de l'OMS, après avoir conclu à l'interruption de la transmission autochtone de la maladie, décerne le label d'éradication du paludisme à l'île de La Réunion (Julvez *et al*, 1990). L'évolution statutaire de la Réunion s'est traduit en 30 ans par une amélioration des conditions sanitaires qui a notamment permis une meilleure surveillance des maladies à transmission vectorielles, même si cela n'a pas empêché l'apparition d'une sévère épidémie de dengue en 1977. Une question persiste donc pour Mayotte : le changement statutaire va-t-il forcément générer une amélioration des conditions sanitaires ?

### Les scénarios épidémiologiques pour la fin du siècle à Mayotte

Divers scénarios peuvent être envisagés pour Mayotte d'ici 2100 en s'appuyant sur une augmentation de la température d'une part, et le changement statutaire de 2011 d'autre part.

En admettant ces deux principes, quatre scénarios épidémiologiques sont proposés en fonction du niveau de développement qui résultera du changement statutaire (Figure 5). Ces scénarios concernent principalement les arboviroses transmises par *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti*.

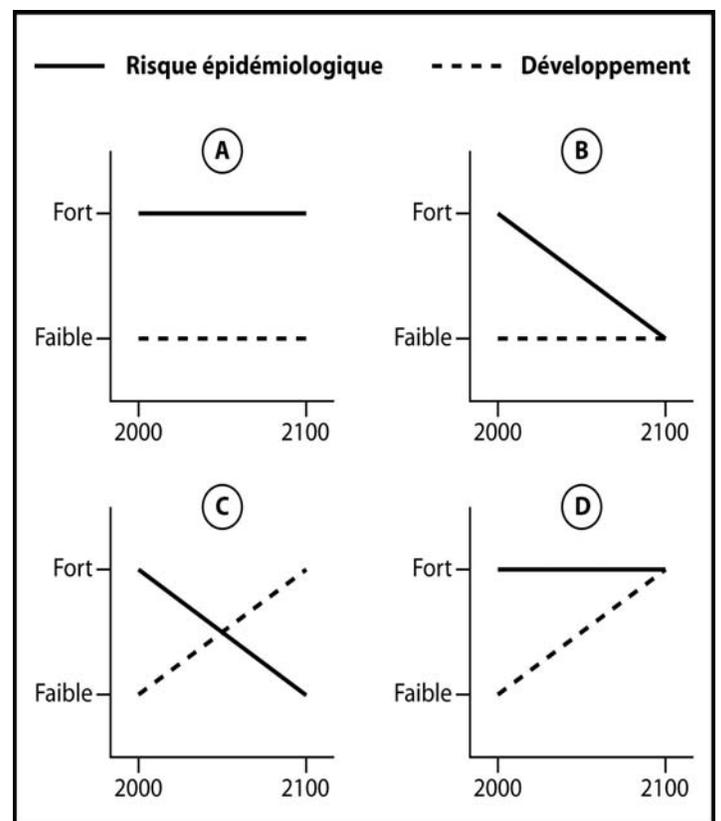


Figure 5. Quatre scénarios épidémiologiques pour Mayotte en 2100.

Scénario A : En 2100, le développement reste faible alors que le risque épidémiologique est grand. Il s'agit d'une situation proche de la situation actuelle. Cela voudrait dire que le changement de statut de 2011 n'aura rien changé à la situation économique et sanitaire de Mayotte. En 2100, le risque d'épidémie sera donc à la fois induit par l'évolution du climat (où la température moyenne annuelle sera

optimale pour les vecteurs) ainsi que par le faible niveau de développement. Il peut également être imaginé que le risque augmentera en raison des densités de population qui seront plus fortes qu'aujourd'hui.

Dans ce scénario, il peut être intégré l'influence de l'immigration clandestine (plus de 40% de la population) sur le mal développement. Cette immigration non contrôlée pourrait par exemple être à l'origine d'une prolifération de zones insalubres. En outre, il y aurait une communication difficile entre les services de santé publique et les immigrés et cela dans les deux sens. D'une part, il y a la barrière de la langue et les immigrés constituent un public difficile à atteindre en termes de prévention. D'autre part, souvent, ils ne déclarent pas les malades d'où une gestion moins efficace de la lutte anti-vectorielle.

Scénario B : À la fin du siècle, le niveau de développement de Mayotte ainsi que le risque d'épidémie sont faibles. Là encore, tout comme au scénario A, le changement statutaire est un échec. Les raisons d'une telle configuration sont obscures. Elle pourrait peut-être s'expliquer par un contrôle des flux migratoires et un système de lutte anti-vectorielle performant malgré la pauvreté et le mal développement. D'autres explications peuvent également être avancées, telles que la mise au point de vaccins, l'immunité des populations...

Scénario C : Le niveau de développement est fort et le risque d'épidémie est faible en 2100. C'est le schéma de la transition épidémiologique. Le changement de statut de 2011 a bien engendré une meilleure situation économique et sanitaire. Il y aura sans doute une réduction des gîtes larvaires les plus productifs peut-être liée à l'occidentalisation du mode de vie traditionnel mahorais, une gestion améliorée de l'aménagement du territoire, une structuration encore plus approfondie du système de santé publique, des méthodes de lutte et de prévention plus efficaces contre les arboviroses, une recherche encore plus active, ou éventuellement la mise à disposition de vaccins... Ce scénario, qui à notre avis est le plus probable des quatre, met bien en évidence les facteurs premiers qui influencent le risque épidémique : ce sont avant tout les contextes socio-économiques, démographiques, culturels, etc. qui priment. Le changement climatique n'aggraverait pas la situation actuelle.

Toutefois, les risques ne seront jamais totalement écartés. L'exemple de la récente épidémie de chikungunya à la Réunion est révélateur des « failles » qui peuvent exister sur

un territoire pourtant bien développé. En effet, un relâchement de la vigilance dans la prophylaxie, un mode de pratique culturelle particulier (la ville-jardin à la Réunion), l'apparition de maladies nouvelles, la mutation des virus, peuvent très bien contribuer à la naissance d'une épidémie.

Scénario D : Le développement et le risque d'épidémie sont forts. Les effets attendus du changement de statut ont bien eu lieu mais cela n'a pas engendré de diminution des impacts sur la santé. Le réchauffement climatique peut donc ici être rendu comme responsable bien qu'il ne soit pas l'unique facteur explicatif. La faible augmentation des températures rapprocherait les populations de moustiques de leur température optimale de développement. En outre, l'adaptation du vecteur aux modifications du paysage urbain pourrait être un autre facteur explicatif. À la Réunion, par exemple, les gîtes positifs en *Ae. albopictus* les plus fréquents en zones habitées sont des soucoupes de pots de fleurs (Delatte *et al.*, 2008). La remarquable capacité d'adaptation de cette espèce à des conditions de vie diverses a favorisé son expansion mondiale (Hawley, 1988). D'autres paramètres peuvent également intervenir comme la mutation des virus, une évolution vers un endémisme pour les parasites, le non contrôle des flux migratoires...

Ces quatre scénarios ne sont présentés ici que pour amorcer une certaine réflexion. Le changement climatique a souvent, selon l'expression française, « bon dos ». Pourtant, même sans nier ses éventuels impacts sur la santé, il est nécessaire d'examiner les autres facteurs possibles dont certains sont imprégnés d'une indéniable spécificité selon les territoires concernés.

Ce constat rejoint les conclusions du projet EDEN (Emerging Vector-borne Diseases in a Changing European Environment) (cf. EDEN, 2010).

### **Vers une amélioration des modèles climatiques et épidémiologiques**

Il est clair qu'un changement climatique tel que celui annoncé par le GIEC implique forcément des risques en terme de santé humaine. Cependant, les simulations demeurent basées sur des mécanismes trop simplistes car ils réduisent souvent le contrôle du climat à la seule variable « température » (Focks *et al.*, 1995). Certes, il est certain que la répartition géographique et l'intensité de la transmission sont directement liés aux phénomènes météorologiques tels que la température ou la

pluviométrie, mais elles peuvent également être fortement induites par des facteurs clés non climatiques et indirects. Les chercheurs admettent ce principe et reconnaissent que les modèles climatiques actuels pour l'étude des scénarios épidémiologiques sont imparfaits en raison de la complexité des paramètres qui entrent en jeu.

Dans l'avenir, les projections devraient nécessairement combiner l'évolution de tout ce qui peut constituer la fiche signalétique d'un territoire. Parmi ces critères d'identité peuvent être cités le système socioéconomique, la démographie ou encore la sociologie. Sabatier (2007) note par ailleurs que les flux migratoires des populations humaines réceptives pour les virus seraient plus importants que les effets du climat. De même, quelques études ont déjà montré que ce sont davantage des facteurs tels que l'occupation des sols, plutôt que climatiques, qui conduisent la distribution des vecteurs. Par exemple, Jansen et Beebe (2010) prouvent que les facteurs climatiques à eux seuls ne suffisent pas à expliquer la distribution géographique d'*Ae. aegypti*. Ces auteurs insistent sur le fait qu'il est essentiel d'incorporer l'impact de l'environnement urbain pour modéliser au mieux le potentiel de distribution de ce moustique. Sa présence est influencée par l'urbanisation, les facteurs socioéconomiques, le design et les caractéristiques des constructions, la qualité de l'approvisionnement et de la gestion de l'eau ou encore la qualité des infrastructures publiques de santé. Ce dernier paramètre est en outre d'une grande importance. Il faudrait lui associer également la qualité du système éducatif du pays ainsi que les mesures de surveillance et de contrôle des maladies qui comprennent, entre autres, les programmes de lutte anti-vectorielle.

Hormis les facteurs exogènes cités plus avant, il doit également être intégrés des facteurs endogènes tels que l'immunité des hommes (McMichael *et al.*, 2006) mais aussi la prise en considération des populations des compétiteurs et des prédateurs naturels des vecteurs. Cela n'est pas aisé car les connaissances sont encore actuellement restreintes quant aux interrelations de tous ces organismes dans les conditions naturelles (Rodhain, 2007).

Par ailleurs, un changement climatique pourrait avoir des répercussions sur la structure génétique des populations des moustiques vecteurs, avec peut-être des effets sur, par exemple, la survenue d'une résistance aux insecticides (Kovats *et al.*, 2001 ; Rogers et Randolph, 2006 ; Rodhain, 2007).

Les modèles prévisionnels actuels n'intègrent pas non plus les éventuelles améliorations des connaissances sur le climat, l'épidémiologie, l'entomologie, la microbiologie et particulièrement la virologie ou encore la sérologie. La mise au point de vaccins efficaces, les progrès réalisés dans la prévention et/ou le traitement des maladies ont des chances d'annihiler les effets nocifs signalés par les diverses modélisations (Besancenot, 2007).

Enfin, il faut garder à l'esprit que la seule présence d'un vecteur ne suffit pas à la transmission d'un pathogène. Si la répartition géographique du vecteur est généralement plus vaste que celle de la maladie cela signifie que d'autres facteurs limitants interviennent, même s'ils ne sont pas tous identifiés (Rodhain, 2007). Même si dans le cas d'un changement climatique il y aurait une augmentation des populations de moustiques, il ne faut pas y voir forcément un risque accru de maladies vectorielles. Il n'y a généralement pas de proportionnalité entre la densité d'un vecteur et l'incidence de la maladie transmise, ni entre l'intensité de celle-ci et la morbidité ou la mortalité (Rodhain, 2000). Les situations des maladies à vecteurs étant donc très complexes, il serait finalement assez maladroit de croire au schéma trop simpliste qu'une augmentation de la température entraînerait une augmentation des vecteurs qui aurait pour conséquence une augmentation des maladies.

## Conclusion

Il est assez facile de désigner le changement climatique comme unique responsable des maux futurs de la planète. Le domaine de la santé n'échappe pas à ce catastrophisme. Certes, les risques ne sont pas inexistantes mais il serait trop réducteur de considérer qu'ils soient seulement engendrés par l'évolution du climat. Ce serait nier le contexte économique ou culturel propre à chaque territoire. Le cas de Mayotte est symptomatique de ce constat. En 2100, les conditions thermiques seraient optimales pour le développement des moustiques vecteurs mais cela ne constituera pas forcément des risques d'épidémies si le changement statutaire de l'île amène effectivement les progrès attendus au niveau de la qualité des infrastructures sanitaires publiques. Les simulations sont donc complexes du fait qu'il doit être pris en compte de très nombreux paramètres tels que l'amélioration de la surveillance épidémiologique, l'efficacité de la prévention ou encore la disponibilité de beaucoup plus de données précises et fiables grâce à la recherche active.

Compte tenu du nombre de variables étroitement intriquées à considérer et de la complexité des mécanismes, l'analyse des éventuelles simulations, qui seront issues de modèles mathématiques complexes, restera donc toujours délicate. Malgré la prise en compte de tous les paramètres, les extrapolations resteront sujettes à l'incertitude et les spéculations demeureront. De ce fait, les discussions et publications relatives au changement climatique et ses impacts sur les maladies à transmission vectorielle se multiplient depuis une dizaine d'année. Ce n'est pas tant les divergences de leurs conclusions qui étonnent mais plutôt le manque de nuances quant aux échelles spatiales. Les études portent en effet davantage sur de vastes secteurs du globe comme les milieux continentaux. Les diverses simulations sont valables pour la petite échelle géographique et il est très peu question des espaces insulaires. Pourtant, les conséquences d'une modification du climat sur les arboviroses ne peuvent être identiques sur tous les territoires. Il y a donc une prudence à adopter du fait de certaines lacunes actuelles en termes de lecture multiscalaire. Les experts du GIEC n'occultent cependant pas ce constat et reconnaissent les limites de leurs modèles d'un point de vue des échelles spatiales. Le cas des petites îles mérite donc une attention particulière de la part de la communauté scientifique. Des recherches pluridisciplinaires contribueront à mieux cerner les enjeux sanitaires futurs propres à ces aires géographiques.

## Remerciements

Les auteurs remercient le Conseil Régional de La Réunion, le Fond Social Européen, le département de géographie de l'université de la Réunion et l'UMR C53 PVBMT-CIRAD.

## Bibliographie

- Arnoux, S., 2009, *Utilisation du carroyage pour l'analyse spatiale de l'abondance relative des Aedes en zone urbaine à Mayotte*. Mémoire de Master 1, Université de La Réunion, Saint-Denis, 76 p.
- Bagny, L., H. Delatte, N. Elissa, S. Quilici et D. Fontenille, 2009a, *Aedes* (Diptera: Culicidae) vectors of arboviruses in Mayotte (Indian Ocean): distribution area and larval habitats, *Journal of Medical Entomology*, 46, 2, pp. 198-207.
- Bagny, L., H. Delatte, S. Quilici et D. Fontenille, 2009b, Progressive decrease in *Aedes aegypti* distribution in Reunion Island since the 1900's. *Journal of Medical Entomology*, 46, 6, pp. 1541-1545.
- Besancenot, J-P, 2001, *Climat et santé*, PUF (coll. Médecine et société), Paris, 128 p.
- Besancenot, J-P, 2007, *Notre santé à l'épreuve du changement climatique*, Delachaux et Niestlé (Eds), collection Changer d'ère, Paris, 221 p.
- Bicout, D., 2005, Conditions climatiques et maladies vectorielles, *Environnement, Risques & Santé*, 4, 2, pp. 77-78.
- Brunhes, J., 1978, *Faune entomologique de l'archipel des Comores*, In: Mémoire du Museum d'histoire naturelle Série A, Zoologie, Paris, France, pp. 1-246.
- Chretien, J.P., A. Anyamba, S.A. Bedno, et al., 2007, Drought-associated Chikungunya emergence along coastal East Africa. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 76, 3, pp. 405-407.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, et al., 2007: Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S., et al. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 847-940.
- Christophers, S.R., 1960, *Aedes aegypti* (L.) the yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure, Cambridge University Press, 750 p.
- Clements, A.N., 1992, The biology of mosquitoes - Volume 1: Development, nutrition and reproduction, Chapman & Hall, London, 509 p.
- Confalonieri, U., B. Menne, R. Akhtar, et al., 2007: Human health. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry M.L., et al. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 391-431.
- Coulanges, P., Y. Clerc, X. Jousset et F. Rodhain, 1979, Dengue à la Réunion. Isolement d'une souche à l'Institut Pasteur de Madagascar. *Bulletin de la Pathologie Exotique*, 72, pp. 205-209.
- Delatte H., J.S. Dehecq, J. Thiria, C. Domerg, C. Paupy, D. Fontenille, 2008, Geographic distribution and developmental sites of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in La Reunion during a chikungunya epidemic, *Vector Borne and Zoonotic Diseases*, 8, pp. 25-34.
- Delatte, H., G. Gimmonneau, A. Triboire, et al., 2009, Influence of Temperature on Immature Development, Survival, Longevity, Fecundity, and Gonotrophic Cycles of *Aedes albopictus*, Vector of chikungunya and dengue in the Indian Ocean, *Journal of Medical Entomology*, 46, pp. 33-41.
- EDEN, 2010, Emerging Vector-borne Diseases in a Changing European Environment, [En ligne] URL : <http://international-conference2010.eden-fp6project.net/> (Consulté le 21 septembre 2010)
- Focks, D.A., E. Daniels, D.G. Haile et J.E. Keesling, 1995, A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever : literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 53, pp. 389-506.
- Gatrel, A.C., 2002, *Geographies of health, an introduction*, Oxford, Blackwell Publishers Ltd. 312 p.
- Girod, R., 2004, First record of *Aedes albopictus* in Mayotte Island, Comoros archipelago, *Parasite*, 11, pp. 74.
- Githeko, A.K., S.W. Lindsay, U.E. Confalonieri et J.A. Patz, 2001, Changement climatique et maladies à transmission vectorielle : une analyse régionale. *Bulletin de l'Organisation Mondiale de la Santé, Recueil d'articles*, 4, pp. 62-72.
- Gratz, N.G., 2004, Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*, *Med. Vet. Entomol.*, 18, pp. 215-227.
- Haines, A., R.S. Kovats, D. Campbell-Lendrum et C. Corvalan, 2006, Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. *Lancet*, 367, pp. 2101-2109.
- Hales, S., P. Wienstein, Y. Souares et A. Woodward, 1999, El Niño and the dynamics of vectorborne disease transmission. *Environ. Health Persp.*, 107, pp. 99-102.
- Hawley, A.H., 1988, The biology of *Aedes albopictus*, *Journal of the American Mosquito Control Association*, 4, pp. 1-40.
- INSEE, 2007, Recensement de la population, *Insee Mayotte Infos*, [En ligne] URL :

- [http://www.insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=2&sous\\_theme=0&type=&nivgeo=27&submit=Ok](http://www.insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=2&sous_theme=0&type=&nivgeo=27&submit=Ok), Consulté le 21 septembre 2010)
- Jansen, C.C et N.W. Beebe, 2010, The dengue vector *Aedes aegypti*: what comes next, *Microbes and Infection*, 12, pp. 272-279.
- Julvez, J., J. Mouchet et C. Ragavoodoo, 1990, Épidémiologie historique du paludisme dans l'archipel des Mascareignes (océan indien). *Ann. Soc. belge Med. trop.*, 70, pp. 249-261.
- Julvez, J., C. Ragavoodoo, A.R. Gopaul et J. Mouchet, 1998, Maladies humaines transmises par les culicidés dans les îles du sud-ouest de l'Océan indien, *Bulletin de la société de pathologie exotique*, 91, pp. 88-103.
- Kovats, R.S., D. Campbell-Lendrum, A. McMichael, A. Woodward et J. Cox, 2001, Early effects of climate change: do they include changes in vector-borne disease?, *Philos. T. Roy. Soc. Lond. B*, 356, pp. 1057-1068.
- Kovats, R.S., M.J. Bouma, S. Hajat, E. Worrall et A. Haines, 2003, El Niño and health. *Lancet*, 362, pp. 1481-1489.
- Lapègue, J., 1999, *Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte : la ressource hydrique l'assainissement pluvial et l'érosion*, Thèse, Université de la Réunion, Saint-Denis, 376 p.
- Louachéni, C. et M. Morando, 2009, *INSEE Mayotte Infos - conditions de vie*, INSEE Mayotte Infos, 41, 4 p.
- Ludwig, A., D. Bicout, K. Chalvet-Monfray et P. Sabatier, 2005, Modélisation de l'agressivité de *Culex modestus*, vecteur potentiel de West Nile en Camargue, en fonction de données météorologiques, *Environnement, Risques & Santé*, 4, 2, pp. 109-113.
- Magnan, A., 2009, Proposition d'une trame de recherche pour appréhender la capacité d'adaptation au changement climatique, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 9, 3, [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/index9189.html>, Consulté le 20 janvier 2010).
- McCarthy, D.D. et R.H. Brent, 1943, An account of an outbreak of dengue fever in Dzaoudzi, Comoro Islands, January, 1943, *The East African Medical Journal*, 20, pp. 293-298.
- McMichael, A., A. Githeko, R. Akhtar, et al., 2001: Human population health. In: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, et alii (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 453-485.
- McMichael, A.J., M. McKee, V. Shkolnikov et T. Valkonen, 2004, Mortality trends and setbacks: global convergence or divergence? *Lancet*, 363, pp. 1155-1159.
- McMichael, A.J., R.E. Woodruff et S. Hales, 2006, Climate change and human health: present and future risks, *Lancet*, 367, pp. 859-869.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins et al., 2007, Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S., et alii (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp. 747-845.
- Mendonça, F., 2004, Réchauffement global et santé : aspects généraux et quelques particularités du monde tropical, *Annales de l'Association Internationale de Climatologie*, 1, pp. 157-175.
- Météo-France, 2006, *Rapport d'activité 2006*, page 40. [En ligne] URL : [http://entreprise.meteofrance.com/nous\\_connaitre/rapports\\_annuels/rapports\\_d\\_activite/2007?page\\_id=11011](http://entreprise.meteofrance.com/nous_connaitre/rapports_annuels/rapports_d_activite/2007?page_id=11011) (consulté en avril 2010).
- Mimura, N., L. Nurse, R.F. McLean, et al., 2007, Small islands. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry M.L., et alii (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 687-716.
- Mitchell, C.J., 1991, Vector competence of North and South American strains of *Aedes albopictus* for certain arboviruses. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 7, pp. 446-451.
- Mondet, B., A. Diaïté, A. Gueye Fal et V. Chevalier, 2005, Relations entre la pluviométrie et le risque de transmission virale par les moustiques : cas du virus de la Rift Valley Fever (RVF) dans le Ferlo (Sénégal), *Environnement, Risques & Santé*, 4, 2, pp. 125-129.
- Mora, B., 1979, *L'épidémie de dengue à l'île de La Réunion en 1977-1978*. Thèse, Université Bordeaux II, Bordeaux, 59 p.
- PADD, 2008, Plan d'aménagement et de développement durable de Mayotte, Conseil général de Mayotte, 122 p.
- Pialoux, G., B.A. Gaüzère, S. Jauréguiberry et M. Strobel, 2007, Chikungunya, an epidemic arbovirolosis, *Lancet Infect. Dis.*, 7, 5, pp. 319-327.
- Rawlins, S.C., A. Chen, M. Ivey, D. Amarakoon et K. Polson, 2005, The impact of climate change/variability events on the occurrence of dengue fever in parts of the Caribbean: a retrospective study for the period 1980-2002. *West Indian Medical Journal*, 53 (suppl 2), p. 54.
- Reiter, P. et D. Sprenger, 1987, The used tire trade: a mechanism for the worldwide dispersal and container breeding mosquitoes, *Journal of the American Mosquito Control Association*, 3, pp. 394-501.
- Renault, P., J-L. Solet, D. Sissoko, et al., 2007, A major epidemic of chikungunya virus infection on Reunion Island, France, 2005-2006, *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 4, pp. 727-731.
- Rodhain, F., 2000, Impact sur la santé : le cas des maladies à vecteurs, Rapport de la Mission interministérielle de l'Effet de serre (MIES), pp. 122-127.
- Rodhain, F., 2007, Impacts potentiels du changement climatique sur la santé : l'exemple des maladies à vecteurs. In: *Changements climatiques et risques sanitaires en France*, Observatoire national des effets du réchauffement climatique (ONERC), Paris, pp. 65-71.
- Rogers, D.J., S.E. Randolph, 2006, Climate change and vector-borne diseases, *Adv. Parasitol.*, 62, pp. 345-381.
- Sabatier, P., 2007, Changement climatique et maladies infectieuses outre-mer. In: *Changements climatiques et risques sanitaires en France*, Observatoire national des effets du réchauffement climatique (ONERC), Paris, pp. 73-87.
- Schaeffer, B., B. Mondet et S. Touzeau, 2005, Modélisation de la dynamique de moustiques en zone forestière - Application à *Aedes (Stegomyia) africanus* Theobald, 1910, vecteur de la fièvre jaune en Côte d'Ivoire. *Environnement, Risques & Santé*, 4, 2, pp. 1-14.
- Schuffenecker, I., I. Iteaman, A. Michault, et al., 2006, Genome microevolution of chikungunya viruses causing the Indian Ocean outbreak, *Plos. Med.*, 3, pp. 1-13.
- Shroyer, D.A., 1986, *Aedes albopictus* and arboviruses: a concise review of the literature. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 2, pp. 424-428.
- Sissoko, D., 2003, *Maladies infectieuses et parasitaires à Mayotte - Proposition de dispositif d'alerte et de surveillance épidémiologique intégrée*, DASS et INVS, 56 p.
- Sissoko, D., C. Giry, P. Gabrié, et al., 2009, Emergence chez l'homme de la fièvre de la Vallée du Rift à Mayotte, 2007-2008, *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*, INVS, 4, pp. 33-36.
- Subra, R. et G. Hebrard, 1977, Fréquence d' *Aedes aegypti* Linné, 1762 (Diptera: Culicidae) en milieu humain à Mayotte (archipel des Comores), *Cahiers ORSTOM Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, 15, 1, pp. 67-72.

- Taglioni, F., 2009, Mayotte s'ancre dans la république française – un contre-sens de l'histoire ?, *EchoGéo*, rubrique « sur le vif », [En ligne] URL : <http://echogeo.revues.org/index11277.html> (Consulté le 17 février 2010).
- Taglioni, F. et J-S. Dehecq, 2009, L'environnement socio-spatial comme facteur d'émergence des maladies infectieuses, *EchoGéo* 9, [En ligne] URL : <http://echogeo.revues.org/11168> (Consulté le 21 septembre 2010)
- Thomson, M.C., S.J. Mason, T. Phindela et S.J. Connor, 2005, Use of rainfall and sea surface temperature monitoring for malaria early warning in Botswana. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 73, pp. 214-221.
- Trouillard, C., C. Louachéni et M. Morando, 2009, *Mayotte : recensement de la population en 2007 - une population multipliée par quatre en 30 ans*, INSEE Première, 1231, 4 p.
- Tsai, H-T. et T-M. Liu, 2005, Effects of global climate change on disease epidemics and social instability around the world. In: *Human Security and Climate Change, An International Workshop*, Holmen Fjord Hotel, Asker (near Oslo), 21–23 June, 13 p.
- Zeller, H., 1998, dengue, arboviruses and migrations in the Indian Ocean, *Bulletin de la société de pathologie exotique*, 1, pp. 56-60.