

Colloque « Santé et Biodiversité », Lyon, 27-28/10/2014 – Atelier A

Le changement climatique induit-il une aggravation des maladies infectieuses émergentes ?

Jules BOURGINE¹, Benoît LECLERC¹, Patrick MONFORT², Guillaume LACOUR³, Cyril CAMINADE⁴, Cécile VIGNOLLES⁵, Ana-Bella FAILLOUX⁶, Chantal PACTEAU⁷, Agnès LEBLOND⁸

¹Université Jean Moulin Lyon 3, Master 2 de philosophie spécialité Éthique et Développement Durable, Faculté de philosophie, 1 rue de l'Université, BP 0638, 69239 Lyon Cedex 02

² UMR 5569 HydroSciences Montpellier, CNRS, IRD, Université de Montpellier, Equipe "Pathogènes Hydriques Santé Environnement", 15 Avenue Charles Flahaut, BP 14 491, 34093 Montpellier Cedex 05

³EID Méditerranée, F-34184 Montpellier, France; Centre de Recherche sur la Biodiversité, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

⁴ Institute of Infection and Global Health, University of Liverpool, L693GL, Liverpool, UK

⁵ Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)-Direction de la Stratégie et des Programmes / Terre-Environnement-Climat, BPi 2903,18 Avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France.

⁶ Département de Virologie, Institut Pasteur, Arbovirus et Insectes Vecteurs, 75724 Paris cedex 15, France

⁷ Directrice de recherche au CNRS, Directrice adjointe du Groupe d'intérêt scientifique "Climat, environnement, société »

⁸ INRA, UR346 Epidémiologie Animale et Département Hippique, VetAgroSup, F-69280, Marcy L'Etoile

Présidente : Chantal PACTEAU

Interpellateur : Anna-Bella FAILLOUX

Rapporteur : Agnès LEBLOND

Orateurs :

Patrick MONFORT, les vibrios pathogènes humains : dynamique et climat

Guillaume LACOUR, nouveaux contextes en épidémiologie vectorielle: influence du climat et des facteurs anthropiques sur la circulation de la dengue et du Chikungunya en métropole.

Cyril CAMINADE, modélisation des impacts du changement climatique sur les maladies vectorielles.

Cécile VIGNOLLES, les images satellitaires au service de surveillance des émergences (dont le cas de la dengue en Martinique).

Anna-Bella FAILLOUX, vers la lutte intégrée.

Introduction

Depuis Hippocrate déjà, on sait que le climat affecte la santé. L'approche traditionnelle de ses effets est la recherche de corrélations entre variables climatiques et incidence des maladies. Mais cette approche en termes statistiques a ses limites car les effets du climat sur la santé sont aussi médiés par ses impacts sur les écosystèmes et la biodiversité.

Depuis une vingtaine d'années, les recherches concernant les impacts sanitaires du changement climatique portent principalement sur les maladies infectieuses. Mais ces impacts sont complexes, variables et difficile à étudier, car ils sont liés à de multiples facteurs. Outre les variables physiques (température, humidité...), il s'agit de décrypter les voies de transmission infectieuse (agents pathogènes, organismes hôtes, vecteurs de transmission, espèces réservoir) en les articulant aux modifications liées aux activités humaines (modification de l'usage des sols, baisse de la biodiversité, flux mondiaux en tout genre).

Cet atelier a pour but d'échanger connaissances, expériences et réflexions sur l'enchevêtrement des niveaux de savoirs et de réfléchir sur la nécessité de mobiliser des expertises croisées afin d'élaborer des pratiques d'anticipation et d'interventions en contexte de forte incertitude pour faire face à des situations d'émergence.

La complexité de l'influence du changement climatique sur le lien biodiversité/santé

Les vibrios pathogènes humains : dynamique et climat

Les vibrios pathogènes humains sont des bactéries autochtones des milieux marins-côtiers (littoral, estuaires, deltas, lagunes). *Vibrio cholerae* est le plus connu des vibrios pathogènes humains et responsable du choléra. La majorité des cas de vibrioses humaines non cholériques est due à *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* et *V. cholerae* non cholérique. D'importantes épidémies de gastro-entérites à *V. parahaemolyticus* ont eu lieu sur tous les continents dont la cause principale est la consommation de coquillages et de produits de la mer crus ou peu cuits, ce qui fait de cette bactérie l'un des pathogènes les plus importants, responsables de gastro-entérites, mais aussi d'infections de plaies et de septicémies. *Vibrio vulnificus* est responsable de 95% des décès liés à la consommation de produits de la mer aux USA. Le contact de plaies avec l'eau de mer est aussi responsable d'infections cutanées qui peuvent évoluer en septicémies.

La dynamique de ces bactéries dans les milieux marins côtiers est essentiellement liée à la température de l'eau de mer en surface (SST « sea surface temperature »), à la salinité de l'eau ou encore aux blooms de phyto ou zoo-planctons, amplifiés par les conséquences des activités anthropiques dans ces milieux. Au Bangladesh, une augmentation des cas de choléra est notée avec l'augmentation de SST, elle-même liée aux variations climatiques. Les anomalies climatiques, en particulier l'augmentation de SST, conséquence du changement climatique, ont été reliées à l'augmentation de la présence de *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus* et des risques d'infection associés à ces bactéries. Ainsi, des cas de gastro-entérites à *V. parahaemolyticus*, suite à la consommation d'huîtres dans l'Etat de Washington et en Alaska aux USA, ont été provoqués par l'augmentation de SST le long de la côte pacifique en 2004. Ceci a aussi été mis en évidence avec les épidémies de *V. parahaemolyticus* au Pérou en 1991, relié à El Niño. En 1999, en Galice (Espagne), une épidémie à *V. parahaemolyticus*, suite à la consommation d'huîtres, a été mise en rapport avec une augmentation anormale de SST le long des côtes de Galice.

Les variations de salinité des eaux dans des systèmes côtiers provoquées par des pluies brutales et intenses induisent une forte augmentation des vibrios pathogènes humains dans ces

écosystèmes. Dans les lagunes languedociennes, lors des fortes pluies et crues de 2011, la baisse de la salinité due aux apports importants en eau douce s'est traduite par une augmentation concomitante des abondances de ces vibrios dans les sites étudiés.

Les variations climatiques sont ainsi responsables de l'émergence de ces bactéries au niveau mondial, et du risque infectieux associé. Cependant, si le risque lié aux Vibrios est assez limité, en France particulièrement, il est à noter que l'augmentation du nombre de sujets immunodéprimés, les habitudes alimentaires de consommation de produits de la mer crus et le commerce international peuvent être des vecteurs de l'augmentation du nombre de cas de contamination. L'effet des variations climatiques sur la température des eaux marines, ou sur les fréquences et l'intensité des pluies événementielles, est responsable de la modification des dynamiques des vibrios pathogènes humains. Une attention particulière devrait être portée dans les prochaines années sur une augmentation des cas en Europe du fait des conséquences du changement climatique.

Il devient nécessaire de modéliser les dynamiques de ces bactéries en relation avec des facteurs environnementaux afin de gérer le risque. Il pourrait ainsi être nécessaire de suivre certains indicateurs faciles à mesurer (température, salinité,...) pour modéliser la dynamique des vibrios permettant de préconiser rapidement des plans de gestion lorsque le risque devient important suite à des variations de ces indicateurs.

Exemple du moustique tigre *Aedes albopictus*

Depuis le début du 21^{ème} siècle, l'Europe doit faire face à de nouveaux enjeux en termes de maladies vectorielles émergentes (fièvre West Nile, Dengue, Chikungunya, etc.). Les changements majeurs et globaux qu'exerce l'Homme sur son environnement modifient conséquemment les aires de distribution et la dynamique saisonnière d'insectes vecteurs, modulant les risques d'épidémisation et d'endémisation des maladies vectorielles. La contribution des perturbations climatiques et anthropiques dans des systèmes vectoriels soumis à la globalisation est illustrée à travers l'exemple de l'introduction en métropole du moustique tigre *Aedes albopictus*, vecteur de la Dengue et du Chikungunya.

Il a suffi d'une vingtaine d'années au moustique tigre pour coloniser les cinq continents, y compris en Europe (Schaffner et Mathis, 2014). Si le réchauffement climatique est parfois pointé du doigt par les médias généralistes pour expliquer cette réussite, il s'avère que les activités anthropiques sont les principales responsables de l'expansion de son aire de distribution. Le transport involontaire des œufs d'*Aedes albopictus* par le commerce transcontinental de pneus usagés pour le rechapage ou l'importation de plantes ornementales de type « *lucky bamboo* » l'ont affranchi des barrières océaniques. C'est un exemple récent de l'importation anthropique d'un maillon d'un système vectoriel dont regorge l'Histoire: introduction de la fièvre jaune en Amérique du Sud au XVI^e siècle, ou de *Anopheles gambiae* au Brésil dans les années 1930 par la liaison Sénégal-Bราซิล, etc. La mondialisation des échanges a entraîné la mondialisation de certains vecteurs et de leurs pathogènes, et la prévention de leur introduction demeure la plus efficace des méthodes de gestion du risque (Lacour G. 2014).

Le moustique-tigre profite pleinement des activités humaines pour son introduction, mais aussi sa prolifération. L'habitat urbain est particulièrement propice à la reproduction et au développement d'*Aedes albopictus* puisqu'il abonde en petits gîtes artificiels. Cette eau disponible d'origine anthropique contribue à affranchir partiellement le cycle reproducteur des précipitations naturelles, et permet un contact hôtes-vecteurs durable, et donc une situation à risque épidémique (Tran et al. 2013).

En milieu tempéré, l'hiver s'avère être la meilleure arme pour lutter contre ce risque épidémique puisque le vecteur entre en état d'hibernation appelée diapause pour survivre. Toutefois le dédoublement de la dynamique annuelle du moustique évolue en fonction de l'adoucissement des températures hivernales. Le réchauffement climatique a deux conséquences principales sur les vecteurs : la prolongation de la période d'activité du moustique et l'accroissement de son aire de répartition, notamment vers les régions septentrionales où l'environnement deviendra favorable à son établissement (Fischer et al. 2014). Le réchauffement climatique est ainsi, à minima, un facteur d'aggravation du risque épidémique. Le réchauffement est aussi un facteur d'émergence du risque chez d'autres moustiques, notamment des espèces tropicales incapables de diapause qui pourraient s'installer dans les régions méridionales de France et d'Europe où la diapause hivernale ne serait plus obligatoire pour leur survie.

Synthèse

Les effets du climat sur la santé sont médiés par leurs impacts sur les écosystèmes et leurs interactions avec les événements météorologiques extrêmes. L'augmentation de la température et le réchauffement climatique augmentent le risque de maladie infectieuse, que ce soit par l'émergence et la densification des pathogènes que par l'augmentation de l'aire potentiellement colonisable par les vecteurs et la prolongation de leurs périodes d'activité.

Dans des systèmes évolutifs où pathogènes et vecteurs s'adaptent rapidement, il est nécessaire de mettre en place des observatoires homme – milieu pérennes et d'étudier ces systèmes par une approche multi-disciplinaire afin de prévenir – quand c'est possible – et gérer l'apparition des risques infectieux.

Se coordonner pour agir

Une approche de type *EcoHealth*¹ est particulièrement pertinente pour aborder les questions climat-santé. Cette approche met en avant « le partage des responsabilités et la coordination des actions globales pour gérer les risques sanitaires aux interfaces animal-homme écosystèmes » et l'importance du «renforcement des collaborations entre santé humaine, santé animale et gestion de l'environnement». Les connaissances doivent ainsi porter tout à la fois sur la santé des individus, les modifications des écosystèmes, la perte de diversité biologique, le changement global (dont le changement climatique) et les systèmes sanitaires.

Modélisation des impacts du changement climatique sur les maladies vectorielles

Le changement climatique est considéré par l'Organisation mondiale de la santé comme une des principales menaces pour la santé humaine et animale. En particulier, les conditions météorologiques ont une influence forte sur les maladies véhiculées par les insectes, les gastéropodes ou autres animaux à sang froid. Les résultats de la modélisation des impacts du réchauffement climatique sur la dynamique des maladies infectieuses montrent que le réchauffement planétaire a un fort potentiel pour affecter la distribution géographique et la saisonnalité future de ces maladies infectieuses et de leurs vecteurs. Cependant, étant donné que les maladies infectieuses vectorielles sont des systèmes extrêmement complexes, d'autres

¹ L'initiative « One Health », introduite suite à une réflexion commune de la FAO, l'OIE et l'OMS, est basée sur le concept de « risques de santé aux interfaces animal-homme-écosystèmes (Anonyme, 2010. The FAO-OIE-WHO Collaboration. Sharing responsibilities and coordinating global activities to address health risks at the animal-human-ecosystems interfaces. A Tripartite Concept Note. 8 p. www.who.int/influenza/resources/documents/tripartite_concept_note_hanoi_042011_en.pdf)

facteurs socio-économiques importants doivent être considérés pour estimer leur distribution et leur sévérité future.

A partir de données climatiques et de répartition des espèces, des modèles bio-climatiques ont pu être développés pour évaluer l'évolution des zones potentiellement colonisables par les vecteurs à l'avenir. Un modèle de distribution pour le moustique tigre *Aedes albopictus* piloté par le modèle climatique COSMO-CLM (utilisant plusieurs scénarios d'émissions sur les périodes 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100) montre par exemple que le réchauffement climatique devrait agrandir la zone dans laquelle les conditions de vie sont compatibles avec l'activité du moustique en Europe de l'ouest et en Europe centrale, tandis que cette zone se trouverait réduite en Europe du sud à l'horizon 2011-2040 (Fisher et al., 2011). Une autre étude utilisant un ensemble de modèles bio-climatiques montre des tendances similaires pour le futur (Caminade et al., 2012).

Cependant, ces modèles ne représentent pas la zone où le vecteur s'exportera effectivement mais seulement celle où les conditions climatiques sont hospitalières pour cette espèce. Par ailleurs les phénomènes climatiques extrêmes ne sont pas considérés par ces approches alors qu'ils pourraient affecter la survie et le développement du moustique à des échelles de temps plus rapides (jour, semaine). Il est important aussi de noter les fortes incertitudes des modèles d'émissions qui sont utilisés pour les prévisions tandis que des facteurs socio-économiques comme l'évolution du commerce international ou les activités touristiques devraient idéalement être également pris en compte (Caminade et al., 2012).

D'autres modèles montrent encore que le réchauffement climatique joue ou pourra jouer un rôle dans l'adaptation d'autres pathogènes à de nouveaux milieux. Le climat futur serait ainsi plus propice à une transmission du paludisme dans les zones d'altitude dans les tropiques (Caminade et al., 2014) et en particulier en Ethiopie et en Colombie (Siraj et al., 2014). Une autre étude récente montre que le changement climatique va modifier les comportements d'autres vecteurs comme *Anopheles fluviatilis*, *Anopheles annularis* et *Anopheles maculatus* en zones d'altitude au Népal (Dhimal et al., 2014).

Un nombre croissant d'études montre désormais l'existence d'un lien entre changement climatique et émergence de maladies vectorielles infectieuses. Il ne faut pas oublier pour autant l'importance majeure d'autres facteurs anthropiques tels que l'urbanisation, l'augmentation de la résistance aux traitements, l'augmentation des densités de population humaine et animale ou la qualité des services de santé dans la prévision du risque de maladie infectieuse. Finalement, l'Homme va lui aussi devoir s'adapter.

Malgré l'utilisation de larges bases de données et de différentes sources de simulations, les modélisations des maladies infectieuses sont encore dans une phase infantile. Les moustiques subissent plus l'impact de la météorologie que du climat et il va être nécessaire, pour gagner en précision et mettre en place des réponses suite à l'évaluation des risques, d'avoir une approche multidisciplinaire pour améliorer la modélisation de ces maladies infectieuses. C'est l'objet de l'approche *One-Health* mentionnée précédemment (Caminade, 2014).

Cartographie du risque entomologique à haute résolution spatio-temporelle à l'aide de l'imagerie satellitaire

Si la population mondiale comporte aujourd'hui plus de 7 milliards d'habitants, on estime qu'elle augmentera à près de 9 milliards d'ici 2025. Cinquante pour cent de cette population est soumise au risque de maladies infectieuses émergentes ou ré-émergentes, entraînant près de 14 millions de morts par an. La principale de ces maladies infectieuses est le paludisme, qui représente à elle seule 135 à 287 millions de cas par an et 500 000 à 800 000 morts par an. Le coût induit est estimé à 10 milliards d'euros par an et entraîne un retard de croissance de

l'économie africaine de 1,3 %. Cette situation apparaît dans un monde en transition incluant changement climatique, démographique, avec de nombreux déplacements de populations, une globalisation du commerce, une évolution constante des agents pathogènes, et. Autant de facteurs qui appellent à repenser et à améliorer les rapports entre environnement, climat et santé.

Les nouvelles technologies peuvent être utiles pour développer des méthodes innovantes, ainsi la télé-santé² peut apparaître comme une nouvelle approche pour penser la santé. Elle permet un désenclavement sanitaire en permettant des interventions sur des sites isolés et/ou mobiles. Elle permet également de surveiller, de prévoir et de prévenir une épidémie et de mieux gérer les crises humanitaires majeures.

Certaines maladies infectieuses transmissibles par des vecteurs dépendent de facteurs environnementaux et/ou climatiques. L'hétérogénéité spatio-temporelle de ces maladies vectorielles est également importante. Dans ce contexte, l'efficacité de la prévention des risques pourrait être améliorée par la mise à disposition aux opérateurs de la démoustication/lutte antivectorielle et aux autorités de santé, de cartes de prévision de « où et quand » il y aura un risque d'émergence des vecteurs de ces maladies et du niveau de ce risque. Des cartes de risque actualisées en temps quasi-réel pourraient ainsi fournir des informations utiles à l'optimisation des actions de lutte.

Ainsi la télé-épidémiologie consiste à analyser les relations « climat - environnement - Santé » pour mettre en évidence les liens entre l'émergence et la propagation des maladies infectieuses (liées aux vecteurs, à l'eau et à l'air) et les changements climatiques et environnementaux en s'appuyant sur la technologie spatiale. L'objectif final est de fournir aux acteurs de la santé publique des outils/services adaptés permettant de surveiller les maladies et prévoir les épidémies, permettant ainsi de bâtir ou de repenser les stratégies d'adaptation face au risque prédit.

L'approche conceptuelle de la télé-épidémiologie consiste en une multidisciplinarité basée sur l'étude commune des mécanismes favorisant l'apparition et la propagation de maladies infectieuses. Cette pluridisciplinarité inclut par exemple l'environnement, le climat, les sciences humaines et sociales, la microbiologie, l'entomologie, etc. La télé-épidémiologie a ainsi été définie comme une approche multidisciplinaire et holistique visant à comprendre et prédire la distribution spatio-temporelle des données entomologiques de terrain. Elle s'appuie aussi sur l'identification, la compréhension et la mesure des principaux mécanismes physiques et biologiques qui sont en jeu.

Le Cnes (Centre National d'Etudes Spatiales), avec ses partenaires, a ainsi développé une approche conceptuelle des relations climat - environnement - santé basés sur l'utilisation de produits spatiaux réellement adaptés aux besoins des acteurs de la santé.

Cette démarche peut se concevoir en trois étapes. Il s'agit avant tout de comprendre les mécanismes favorisant l'émergence et la propagation de la maladie (observer et diagnostiquer). Puis il faut développer des produits réellement adaptés intégrant le spatial (observation de l'environnement et utilisation de capteurs spatiaux adaptés). Enfin il faut constituer des modèles prédictifs des impacts de l'environnement et du climat sur la santé

²Les solutions de télésanté sont basées entre autres, sur les technologies spatiales avec comme objectif d'améliorer notre capacité de réaction face à différentes situations sanitaires notamment celles d'urgence. Depuis 1998, le Cnes (Centre national d'études spatiales), en collaboration avec ses partenaires est impliqué dans le développement d'applications de télésanté centrées principalement sur: désenclavement sanitaire, les relations Environnement/Climat/Santé, la gestion des crises humanitaires, l'éducation et la formation.

(établir des cartes de risque environnemental à haute résolution spatio-temporelle et développer des systèmes d'information sur la santé tels que des systèmes d'alerte précoce).

L'environnement est un déterminant majeur de la biodiversité de ces maladies à cause du caractère vectoriel de la transmission et des paramètres bioécologiques des vecteurs. Par ailleurs, les satellites d'observation de la Terre fournissent des données environnementales, climatiques et météorologiques. Les informations ainsi obtenues ne concernent pas directement les agents pathogènes (virus, bactérie, parasite) responsables de la maladie, mais leur environnement et notamment les habitats favorables au développement et à la prolifération des vecteurs.

Basée sur des données entomologiques de terrain, sur le choix et le traitement d'images satellites de résolutions appropriées et sur une modélisation adéquate, une étude réalisée en Martinique a permis de dresser des cartes de risque entomologique (risque de présence de gîtes positifs en larves d'*Aedes aegypti*) à haute résolution spatio-temporelle (à la maison et journalière). Cette étude s'est appuyée sur des données entomologiques et météorologiques collectées *in situ* et sur des données environnementales issues du traitement d'images satellites de résolution appropriée et sur une modélisation adéquate (analyse statistique de recherche des variables significativement associées à la présence de gîtes positifs en larves d'*Aedes*). Etant donné l'impossibilité d'extraire des images satellites les gîtes eux-mêmes en raison de leur petite taille, l'unité expérimentale retenue a été la maison et son environnement proche (jardins, arbres, routes, maisons voisines, cultures, type de sols nus...) susceptibles d'accueillir les gîtes et hébergeant les hôtes des vecteurs. Le choix de cette unité expérimentale à une résolution spatiale très fine s'est révélé approprié pour cartographier le risque entomologique à l'échelle de la maison (Machault et al 2014).

Si le risque vectoriel est appréhendé à des échelles locales, comme c'est le cas dans l'application du concept de télé-épidémiologie, il est alors envisageable que les produits de la modélisation puissent être utilisés de manière concrète sur le terrain comme une aide à l'application de mesures de lutte et de prévention. C'est-à-dire savoir où et quand intervenir.

Le contrôle des maladies à transmission vectorielle: vers une lutte intégrée?

Les maladies à transmission vectorielle figurent parmi les principales causes de morbidité et de mortalité pour l'homme et les animaux. Le paludisme, les filarioses, les leishmanioses, l'onchocercose, et les arboviroses tels que la dengue, le chikungunya, la fièvre jaune affectent la santé de millions de personnes. Le contrôle de ces maladies infectieuses passe nécessairement par la connaissance, la plus complète possible, des vecteurs qui les transmettent et notamment, de leur compétence vectorielle.

Le système vectoriel est un triptyque entre le pathogène (protozoaire, helminthes, virus...), le vecteur (moustiques, phlébotomes, tiques...) et l'hôte (homme ou animal). Il s'agit dès lors de penser les facteurs qui favorisent la propagation des maladies à transmission vectorielle au sein de ce système. Chaque composante de ce système vectoriel est modelée par des facteurs environnementaux tels que la température qui rend possible l'incursion d'espèces de moustiques invasives vers des latitudes plus septentrionales.

Si les maladies à transmission vectorielle sont majoritairement présentes dans l'hémisphère sud du globe, cela est particulièrement lié à un climat favorable au développement des insectes vecteurs. La température, l'humidité ou encore le taux de précipitation tendent à favoriser grandement leur prolifération. Ces conditions favorables réunies font que le vecteur se développe, sa longévité croît et sa reproduction est favorisée, parallèlement l'agent pathogène se développera également mieux et plus vite puisqu'il est tributaire de son hôte. Par exemple la durée de développement des larves de moustiques peut être divisée par trois selon

la température du milieu. De 35 jours à 15 °C, la durée de développement de ces larves passera à moins de 10 jours dans un milieu à 30 °C. De même, la période d'incubation extrinsèque (PIE) peut être divisée par cinq en fonction de la température, ceci dépendra également du système vectoriel.

Or les impacts de l'homme sur le changement climatique ne sont plus à démontrer, ces causes anthropiques couplées aux causes naturelles, entraînent la hausse des ces trois facteurs (humidité, température et précipitation) dans certaines parties du globe. C'est pourquoi nous voyons aujourd'hui une forte émergence du Chikungunya en lien avec l'expansion du moustique tigre (*Aedes albopictus*), lui-même favorisé par le changement climatique actuel.

Il s'agit dès lors de penser une lutte intégrée qui prend en considération la complexité des maladies vectorielles. Son contrôle doit être pensé comme un système non seulement triple, tout comme l'est le système vectoriel, mais il doit être considéré au sein de son environnement, environnement qui influe grandement sur ce même système.

La lutte intégrée implique donc d'être pensée au niveau des vecteurs (insecticides, prédateurs, parasites...), des pathogènes (antiviraux...), des hôtes (vaccination...) mais aussi relativement à l'environnement de ce triptyque, cela implique donc de penser l'impact du changement climatique (incluant les causes naturelles comme anthropiques) et de son influence sur la propagation des maladies à transmission vectorielle.

Synthèse

La construction de larges bases de données est nécessaire pour améliorer les connaissances, fournir des données pour les modèles et permettre les simulations. Ces modèles doivent être localement validés et réadaptés, ils doivent aussi être utiles aux décideurs.

Les observatoires homme-milieu devraient également fournir des informations sur les déplacements des hôtes, les infectés asymptomatiques, les facteurs sociologiques et humains. Concernant les vecteurs, les données sur la biologie des adultes sont encore trop parcellaires. Une meilleure connaissance des mécanismes de transmission peut parfois permettre de mettre en œuvre des mesures de prévention simples et efficaces.

Conclusions

En conclusion de cet atelier, nous proposons la construction de nouveaux outils, tels que les observatoires homme-milieu et une nouvelle conception pour les systèmes de surveillance des maladies infectieuses. L'enjeu est maintenant d'estimer la probabilité d'émergence d'une maladie en un point donné et à un moment donné, en considérant qu'il existe trois étapes pour l'alerte : si la maladie chez l'homme est décelée à l'instant t , elle devrait être détectée chez des animaux, sentinelles ou réservoirs, à $t-1$, et les facteurs environnementaux qui vont permettre de prédire le risque d'émergence devraient fournir une alerte à $t-2$. A défaut de pouvoir dans certains cas prédire une épidémie, des méthodes et outils pour une évaluation du risque et une alerte précoce devront être développés.

Ces systèmes doivent être ensuite validés et mis à disposition des décideurs. Ils nécessitent également, *a minima*, de disposer en parallèle d'une surveillance de l'état sanitaire des populations humaine ou animale et d'un suivi des paramètres environnementaux, incluant les populations de vecteurs. La mise en place d'observatoires homme-milieu permettra de fournir les données nécessaires aux modèles de prévision et de compléter les connaissances sur les mouvements des hôtes, les facteurs socio-économiques qui influencent la transmission.

L'amélioration des connaissances sur les mécanismes de transmission devrait finalement permettre de proposer des mesures de prévention adaptées et de développer en particulier des mesures de lutte intégrée. Dans toutes ces démarches, l'approche multidisciplinaire est essentielle et devra se faire au travers de liens pérennes.

Références

- Caminade C et al. Asian tiger mosquito climate suitability (2012) *J. R. Soc. Interface*
- Caminade C. Modélisation des impacts du changement climatique sur les maladies vectorielles. Colloque Santé – Biodiversité, 27 novembre 2014 à VetAgro sup, Campus vétérinaire de Lyon (Marcy l'Etoile), France. Consultable sur http://sante-biodiversite.vetagro-sup.fr/?page_id=507
- Dhimal et al. *Malaria Journal* 2014, 13(Suppl 1):P26
- Failloux A-B. Les maladies à transmission vectorielles, vers la lutte intégrée ? Colloque Santé – Biodiversité, 27 novembre 2014 à VetAgro sup, Campus vétérinaire de Lyon (Marcy l'Etoile), France. Consultable sur http://sante-biodiversite.vetagro-sup.fr/?page_id=507
- Fischer D et al. *Global and Planetary Change* 78 (2011) 54–64
- Fischer D, Thomas SM, Neteler M, Tjaden NB, Beierkuhnlein C. Climatic suitability of *Aedes albopictus* in Europe referring to climate change projections: comparison of mechanistic and correlative niche modelling approaches . *Euro Surveill.* 2014;19(6) :pii=20696
- Lacour G. Nouveaux contextes en épidémiologie vectorielle : influence du climat et des facteurs anthropiques sur la circulation de la dengue et du chikungunya en métropole. Colloque Santé – Biodiversité, 27 novembre 2014 à VetAgro sup, Campus vétérinaire de Lyon (Marcy l'Etoile), France. Consultable sur http://sante-biodiversite.vetagro-sup.fr/?page_id=507
- Monfort P., Morand S., Lafaye M. 2014. Risques microbiologiques et systèmes de surveillance. In *Environnement : des milieux et des sociétés*, Collection « Mers et Océans », Monaco et P. Prouzet, eds, ISTE Editions, London. pp. 131-160. ISBN : 978-1-78405-002-3.
- Monfort P., Les vibriopathogènes humains : dynamique et climat. Colloque Santé – Biodiversité, 27 novembre 2014 à VetAgro sup, Campus vétérinaire de Lyon (Marcy l'Etoile), France. Consultable sur http://sante-biodiversite.vetagro-sup.fr/?page_id=507
- Machault V et al. Mapping entomologica Machault V et al. Mapping entomological dengue risk levels in Martinique using high-resolution remote-sensing environmental data (2014) *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2014, 3, 1352-1371; doi:10.3390/ijgi3041352
- Morand S et al. Les déterminants des maladies infectieuses humaines en Europe : influences de la biodiversité et de la variabilité climatique (2012) *BEH* 20 mars 2012 / n° 12-13
- Reisen K. Landscape Epidemiology of Vector-Borne Diseases (2010) *Annu. Rev. Entomol.* 2010. 55:461–83
- Schaffner, F., Mathis, A., 2014. Dengue and dengue vectors in the WHO European region: past, present, and scenarios for the future. *The Lancet Infectious Diseases.* doi:10.1016/S1473-3099(14)70834-5
- Siraj AS et al. Altitudinal Changes in Malaria Incidence in Highlands of Ethiopia and Colombia (2014) *Science* 343, 1154

Tong S et al. Climate Variability, Social and Environmental Factors, and Ross River Virus Transmission: Research Development and Future Research Needs (2008) Environmental Health Perspectives Volume 116, Number 12

Vignolles C. Les images satellitaires au service de surveillance des émergences (dont le cas de la Dengue en Martinique). Colloque Santé – Biodiversité, 27 novembre 2014 à VetAgro sup, Campus vétérinaire de Lyon (Marcy l’Etoile), France. Consultable sur http://sante-biodiversite.vetagro-sup.fr/?page_id=507