

# CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ÉCOLOGIE VECTORIELLE

## CLIMATE CHANGE AND VECTOR ECOLOGY

Par Gérard DUVALLET  
(Communication présentée le 16 avril 2015)

### RÉSUMÉ

Le réchauffement climatique joue un rôle, encore insuffisamment analysé, sur les populations de vecteurs. Pourtant, les maladies à transmission vectorielle sont toujours un lourd fardeau pour le développement des régions tropicales, même si des progrès considérables ont été réalisés. Ces maladies étaient présentes également dans certains foyers des régions tempérées, mais on observe ces dernières années une extension de ces foyers et l'apparition de nouvelles maladies. Des facteurs anthropiques, en plus du réchauffement climatique, jouent un rôle considérable pour expliquer l'émergence ou la ré-émergence des maladies à transmission vectorielle. Les recherches à développer sont nécessairement pluridisciplinaires pour trouver des solutions durables.

**Mots-Clés :** vecteurs, transmission vectorielle, réchauffement climatique, entomologie médicale et vétérinaire, changements planétaires.

### SUMMARY

*Climatic change is probably an important factor operating on vector populations. Vector transmitted diseases are still a heavy burden for tropical developing countries, despite tremendous progresses. These diseases were also present in some foci of temperate areas, but an expansion of these foci and the emergence of new diseases have been observed during the recent years. But anthropic factors play also a considerable role on the emergence or re-emergence of vector transmitted diseases. More multidisciplinary research is a necessity to find sustainable solutions.*

**Key-Words:** vectors, vectorial transmission, climatic change, medical and veterinary entomology, global changes.

### INTRODUCTION

Le changement climatique, facteur environnemental agissant à l'échelle du globe, est, pour de nombreuses populations humaines, l'un des risques les plus importants de notre temps, en particulier pour ses conséquences sanitaires. En outre, c'est un risque très inégalitaire, puisque les populations actuellement les plus exposées sont celles les moins responsables d'émissions de gaz à effet de serre.

L'impact du climat sur la santé humaine est déjà bien documenté (Besancenot, 2001). Le dernier rapport du GIEC (Groupe d'experts international sur l'évolution du climat) montre que tous les modèles climatiques prédisent une élévation de la température moyenne du globe terrestre (GIEC, 2013). Parmi les conséquences sanitaires de ce phénomène, certaines s'exerceront directement sur l'organisme humain ou animal, tandis que d'autres « se feraient sentir en façon-

nant des conditions écologiques plus ou moins favorables à la survie, à la multiplication et au développement de tel ou tel germe pathogène, ou encore de tel ou tel insecte vecteur de ce germe » (Besancenot, 2001). « Une terre plus chaude sera une terre où le paludisme, le choléra et la dengue s'étendront » (Epstein, 2000). L'ensemble de toutes ces interactions sont au cœur du concept de « santé unique » ('One health' des auteurs anglophones), qui illustre bien que santé humaine, santé animale et santé environnementale sont intimement liées.

En raison de leur nature biologique complexe, de la diversité des modes de transmission, et de la forte influence des conditions environnementales sur les cycles de transmission, les maladies à transmission vectorielle représentent un véritable défi pour les autorités de santé publique confrontées aux changements planétaires en cours. Au-delà du changement clima-

(1) Gérard DUVALLET, Professeur émérite  
UMR 5175 CEFE (Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive) - Université Paul-Valéry Montpellier, route de Mende - 34199 Montpellier cedex 5, France.  
Courriel : gerard.duvallet@univ-montp3.fr

tique, très médiatisé, il ne faut pas négliger les conséquences des actions humaines, du changement d'utilisation des terres, des pollutions et des invasions biologiques. À titre d'exemple, la mondialisation avec une mobilité croissante et de plus en plus rapide des biens et des personnes à l'échelle de la planète a des conséquences énormes sur la circulation des hôtes, des pathogènes et des vecteurs.

En plus des maladies à transmission vectorielle déjà connues en Europe depuis de nombreuses années, comme la leishmaniose viscérale (canine et humaine), la borréliose de Lyme et l'encéphalite à tiques, plusieurs foyers épidémiques de maladies considérées exotiques ont été observés ces dernières années en Europe. C'est le cas pour la fièvre à Chikungunia en Italie en 2007, la fièvre du Nil Occidental en Grèce depuis 2009, la trypanosomose animale à *Trypanosoma evansi* chez des dromadaires en Aveyron en France en 2006, la dengue à Madère (Portugal) en 2012 ; ainsi que des cas sporadiques autochtones de dengue en France et en Croatie depuis 2010, de chikungunia en France depuis 2010 et de paludisme en Grèce depuis 2009.

Cela montre la vulnérabilité de l'Europe pour ces maladies à transmission vectorielle et l'importance de soutenir et de développer les recherches sur la biologie et l'écologie des vecteurs, pour une meilleure surveillance et un meilleur contrôle. Nous envisagerons successivement les vecteurs et les maladies à transmission vectorielle, l'effet des températures sur les cycles de vie, puis celui des changements planétaires.

## VECTEURS ET MALADIES À TRANSMISSION VECTORIELLE

### Insectes et santé

Avec plus d'un million d'espèces décrites, les insectes représentent au moins 57% des espèces vivantes connues, et les spécialistes estiment que près de 10 millions d'espèces restent à découvrir et à décrire. Les insectes sont ainsi la composante principale de la biodiversité à l'échelle de la planète, et ils jouent un rôle capital dans le fonctionnement des écosystèmes. Parmi les services rendus, il faut noter, entre autres, la pollinisation et le recyclage des cadavres et déjections.

Mais nombre d'espèces d'insectes sont aussi des bioagresseurs, ravageurs des cultures, consommateurs des récoltes et des grains entreposés, destructeurs des charpentes en bois, nuisants ou vecteurs potentiels d'agents pathogènes pour l'homme ou les animaux. Les insectes interviennent en particulier dans de nombreuses pathologies humaines ou animales (Rodhain et Perez, 1985).

L'entomologie médicale et vétérinaire doit ainsi prendre en compte :

- Des insectes ou autres arthropodes venimeux, qui injectent du venin par piqûre ou morsures (guêpes, bourdons, frelons, fourmis, araignées, scolopendres, etc.) ;

- Des insectes allergisants, souvent hématophages, dont l'injection de salive lors de la piqûre peut entraîner des phénomènes d'ordre allergique (cas de la dermatite estivale des chevaux) ; mais les insectes venimeux peuvent déclencher aussi des réactions allergiques violentes pouvant entraîner la mort ;
- Des insectes urticants et vésicants comme les chenilles processionnaires et des coléoptères comme les cantharides ou certains staphylins, à l'origine de sévères irritations cutanées, de dermatites ou de conjonctivites ;
- Des agents de myiases, diptères qui vont pondre leurs œufs ou déposer leurs larves directement sur le corps des humains ou des animaux, soit au niveau des plaies, soit au niveau des cavités naturelles ;
- Des insectes ou des crustacés, hôtes intermédiaires de parasites, comme les mouches hôtes intermédiaires des nématodes du genre *Habronema*, des puces, des fourmis ou des copépodes hôtes intermédiaires de différents helminthes ;
- Des insectes transporteurs passifs, comme des blattes ou des mouches qui font la navette entre tas d'ordures, déjections et aliments ou le corps des humains ou des animaux. Leur tégument peut être porteur de près d'une centaine d'agents pathogènes différents ;
- Des insectes ou acariens hématophages, vecteurs biologiques ou mécaniques (selon qu'il y a ou non un cycle de l'agent pathogène dans le corps de l'insecte) qui assurent le transfert des agents pathogènes d'un hôte infecté vers un hôte sain à l'occasion d'un repas de sang (**tableau 1**) (Rodhain, 1999 ; Duvallet *et al.*, 2011)

On se rend compte, dans la liste qui précède, que les insectes et d'autres arthropodes peuvent être pathogènes par eux-mêmes, hôtes intermédiaires, ou bien vecteurs d'agents infectieux ou parasitaires et qu'ils jouent ainsi un rôle considérable en santé humaine et animale.

### Transmission vectorielle

La transmission vectorielle est la transmission d'un agent pathogène (virus, bactérie, protozoaire ou helminthe) d'un individu infecté à un individu sain par la piqûre d'un arthropode hématophage (insecte ou tique) lors d'un repas de sang.

La transmission peut être biologique lorsque le pathogène subit une partie de son cycle de développement à l'intérieur du vecteur. Dans ce cas, le vecteur ne devient infectant qu'à l'issue de ce cycle et pourra transmettre l'agent lors de chacun des repas de sang suivants. C'est un mode de transmission très efficace.

La transmission est dite mécanique lorsque le vecteur n'est simplement qu'une seringue volante. Si après avoir piqué un animal ou un homme infecté, l'insecte va piquer dans les minutes qui suivent (cas d'un repas interrompu) un individu sain, ses pièces buccales souillées peuvent alors transmettre l'agent pathogène (Rodhain & Perez, 1985). Cette transmission n'intervient donc qu'une seule fois. Dans la plupart des cas, elle nécessite un contact très étroit entre hôtes et vecteurs,

Classes	Ordres	Familles	Stades hématophages	Biologie de l'hématophagie	Stades préimaginaux
Insectes	Diptères	<i>Culicidae</i> (moustiques)	Adultes femelles	Principalement crépusculaire pour <i>Aedes</i> ; principalement nocturne pour <i>Anopheles</i> , <i>Culex</i> et <i>Mansonia</i>	Aquatiques (eaux stagnantes ou calmes)
		<i>Simuliidae</i> (simulies)	Adultes femelles	Diurne	Aquatiques (eaux vives)
		<i>Psychodidae</i> (phlébotomes)	Adultes femelles	Nocturne	Terrestres (humus, litières animales)
		Tabanidae (taons)	Adultes femelles	Diurne	Semi-aquatiques
		<i>Ceratopogonidae</i>	Adultes femelles	Surtout crépusculaire mais variable selon les espèces	Terrestres (humus)
		<i>Glossinidae</i> (mouches tsé-tsé)	Adultes mâles et femelles	Diurne	<i>In utero</i> sauf pupes terricoles
	Siphonaptères (puces)	Nombreuses familles	Adultes mâles et femelles	Plusieurs repas de sang par nyctémère	Terrestres (litières)
	Hémiptères Hétéroptères (punaises)	<i>Reduviidae</i> (réduves, triatomes)	Adultes mâles et femelles, et immatures	Nocturne	Terrestres Hématophages
	Anoploures	<i>Pediculicidae</i> (poux)	Adultes mâles et femelles, et immatures	Plusieurs repas de sang par nyctémère	Terrestres Hématophages
Arachnides	Acariens	<i>Ixodidae</i> (tiques dures)	Adultes mâles et femelles, et immatures	Un seul repas de sang par stade, pouvant durer plusieurs jours	Terrestres Hématophages
		<i>Argasidae</i> (tiques molles)	Adultes mâles et femelles, et immatures	Plusieurs repas de sang par stade. Principalement nocturne	Terrestres Hématophages
		<i>Trambiculidae</i> (Trambicula)	Larves	Le repas de lymphe dure plusieurs jours	Terrestres

\* Stades préimaginaux : œufs, larves et nymphes. L'imago est l'adulte chez les arthropodes.

Tableau 1 : principaux vecteurs insectes et acariens (Duvallat et al., 2011)

c'est le cas en particulier des troupeaux autour des points d'eau en fin de saison sèche en régions tropicales, ou des animaux dans nos étables en hiver. Cependant, dans le cas des stomoxes (Diptères, Muscidae), il a été observé que ces mouches pouvaient conserver du sang dans leur jabot et le régurgiter lors du repas de sang suivant, ce qui favoriserait une transmission mécanique possible 48 à 72h après le repas infectant. Cette observation a une conséquence épidémiologique importante, puisque la transmission mécanique qui semblait limitée à une transmission intra-troupeaux, pourrait aussi être possible entre troupeaux (Baldacchino et al., 2003).

Les maladies à transmission vectorielle mettent donc en jeu un système très complexe d'interactions multiples : entre pathogènes et hôtes, entre hôtes et vecteurs, entre vecteurs et pathogènes. Et ces interactions se placent dans un écosystème, lui-même résultante d'un grand nombre d'interactions entre biotope et biocénose, et sensible aux modifications liées aux changements planétaires. C'est pourquoi l'étude des maladies à transmission vectorielle ne peut se faire que dans un cadre écologique et pas seulement médical.

Les conséquences des changements planétaires, et en particulier du réchauffement climatique, peuvent être envisagés sous les aspects suivants :

- augmentation des aires de distribution des vecteurs ;
- augmentation de la densité des populations de vecteurs ;
- augmentation de la longévité des vecteurs ;
- diminution de la durée d'incubation des agents pathogènes chez les vecteurs (encore appelé cycle extrinsèque).

Tous ces aspects aboutissent à une facilitation de la transmission des agents pathogènes. L'exemple des leishmanies transmises par phlébotomes, en particulier dans le sud de la France, offre une parfaite illustration de ces différents aspects (Rioux & La Rocque de, 2003 ; Ready P., 2008 ; Dereure et al., 2009 ; Rioux et al., 2013 ; Hlavacova et al., 2013).

### TEMPÉRATURES ET CYCLES DE VIE

Comprendre l'impact du changement climatique sur les cycles de vie des vecteurs nécessite des recherches sur le terrain et au laboratoire, notamment en écophysiologie. La description et l'analyse des données du terrain ont l'avantage d'être une approche synthétique, prenant en compte tous les facteurs influençant effectivement les organismes en conditions naturelles. Cependant, ces analyses reposent fondamentalement sur des corrélations entre les patrons observés et certains descripteurs de l'environnement, ce qui peut être une source

d'ambiguïtés. Par exemple, dans nos études menées sur l'île de La Réunion, il a été montré que le rapport des effectifs des deux mouches piqueuses *Stomoxys niger*/*S. calcitrans* dans les pièges augmente quand l'altitude diminue. *S. niger* est une espèce tropicale et *S. calcitrans* est cosmopolite. Mais l'altitude est elle-même corrélée à un grand nombre de variables environnementales. Quelle(s) variable(s) explique(nt) le phénomène observé ? L'approche expérimentale, en démontrant la réalité d'un mécanisme permet, parfois, de lever cette ambiguïté. Tout en reconnaissant qu'elle présente aussi des inconvénients, car chaque facteur est étudié hors de son contexte naturel, et l'étude expérimentale des combinaisons de facteurs devient vite très couteuse en temps et en matériel (Davis *et al.*, 1998). L'analyse des patrons en situation naturelle et l'approche expérimentale sont donc complémentaires.

À La Réunion, l'étude des variations de l'abondance relative des deux espèces de stomoxes le long du gradient altitudinal a montré que la température était probablement le principal facteur responsable des variations saisonnières observées sur chaque site. Et que le rapport des effectifs *S. niger*/*S. calcitrans* variait en fonction de l'altitude et en fonction de la saison, ce qui pourrait s'expliquer par une sensibilité différente des deux espèces aux variations de température. Ces interprétations ont été confirmées par des travaux expérimentaux (Gilles *et al.*, 2005a ; 2005b). Ces travaux ont porté sur l'influence de la température sur la durée de développement (de l'œuf à l'adulte), la survie des stades immatures, la longévité des adultes et la reproduction (ponte et fécondité) des deux espèces (figures 1 et 2). Ils ont permis de calculer, pour les deux espèces, le taux net de reproduction ( $R_0$ ), le temps de génération, et surtout le taux intrinsèque d'accroissement ( $r$ ) à chaque température. Les résultats confirment que les variations saisonnières d'abondance sur le terrain des deux espèces sont déterminées par les variations de température, au moins entre 15 et 30°C. Il a été mis en évidence aussi d'importantes différences dans les réponses à la température des deux espèces. Aux basses températures, *S. calcitrans* reste capable, sous certaines conditions, d'achever son cycle de vie et de maintenir ses effectifs ( $r > 0$  à 15°C), alors que *S. niger* n'a pas cette possibilité puisque les femelles ne pondent plus ( $r < 0$  à 15°C). Pendant l'hiver, l'espèce tropicale semble adopter une stratégie de survie sans reproduction. Les larves déjà écloses peuvent facilement terminer leur développement à 15°C, mais une fois adultes, les femelles ne pondent pas. En revanche la longévité des adultes à 15°C est significativement plus importantes chez *S. niger* que chez *S. calcitrans* (certains *S. niger* ont survécu plus de trois mois à cette température). À partir de 20°C, la situation s'inverse. Les valeurs de  $r$  deviennent plus élevées chez *S. niger* que chez *S. calcitrans*, et plus la température augmente, plus l'avantage de l'espèce tropicale est important (figure 3). Ces résultats confirment que les changements observés sur le terrain le long du gradient altitudinal, avec un ratio *S. niger*/*S. calcitrans* nettement plus élevé à basse altitude qu'à haute altitude, sont vraisemblablement des réponses aux variations de températures (Gilles *et al.*, 2008).

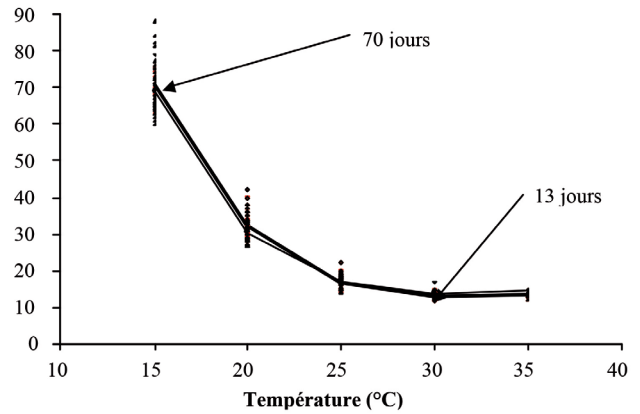


Figure 1 : Durée de développement (en jours en ordonnée) des immatures de *Stomoxys calcitrans* (trait épais) et *S. niger* (trait fin) à différentes températures au laboratoire.

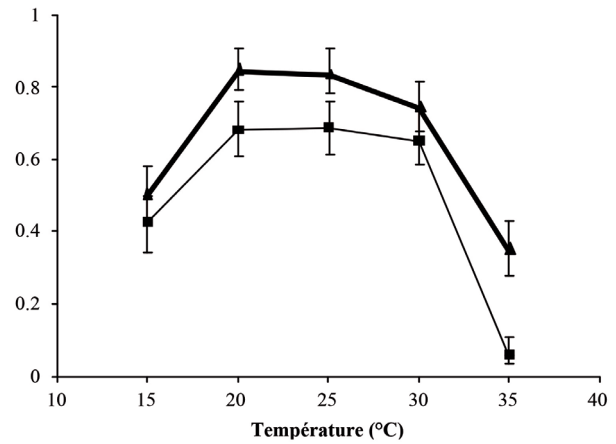


Figure 2 : Taux de survie (en ordonnée) des immatures de *Stomoxys calcitrans* (trait épais ▲) et *S. niger* (trait fin ■) à différentes températures au laboratoire.

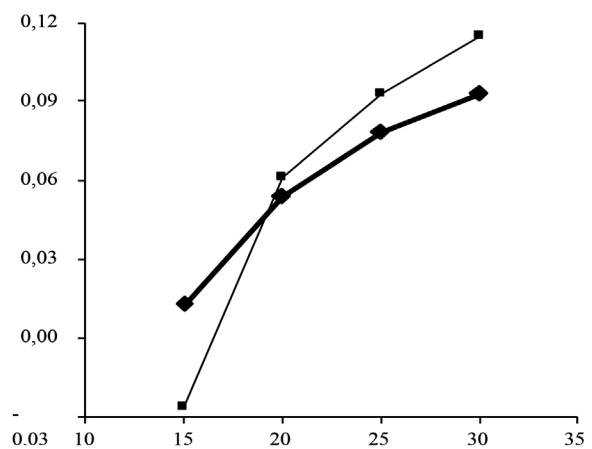


Figure 3 : Taux d'accroissement des populations ( $r$ ) en ordonnée de *Stomoxys calcitrans* (en trait épais ◆) et *S. niger* (traits fin ■) à différentes températures au laboratoire.

Enfin, ces recherches montrent que les réponses des espèces aux changements de température ne peuvent être valablement estimées qu'en termes de taux d'accroissement des populations.

Lorsqu'on considère uniquement les effets de la température sur le développement des stomoxes, par exemple, il apparaît que *S. niger* prend l'avantage sur *S. calcitrans* à basse température. À 15°C, une jeune larve se développe plus vite chez *S. niger* (63 jours en moyenne) que chez *S. calcitrans* (66 jours en moyenne) ; la survie depuis l'éclosion de l'œuf jusqu'à l'adulte est également plus élevée chez *S. niger* (70%) que chez *S. calcitrans* (56%). Mais si l'on considère les effets de la température sur l'ensemble des caractères démographiques, il apparaît qu'à 15°C r est plus élevé chez *S. calcitrans* que chez *S. niger*. Cela illustre bien comment l'étude d'un caractère isolé peut conduire à des conclusions erronées sur les réponses d'un insecte aux changements de l'environnement, même s'il s'agit d'un caractère aussi important que la vitesse de développement. Cela souligne aussi les limites des modèles basés sur le seul développement pour juger du degré d'adaptation des espèces à leur environnement thermique.

## CHANGEMENTS PLANÉTAIRES ET TRANSMISSION VECTORIELLE

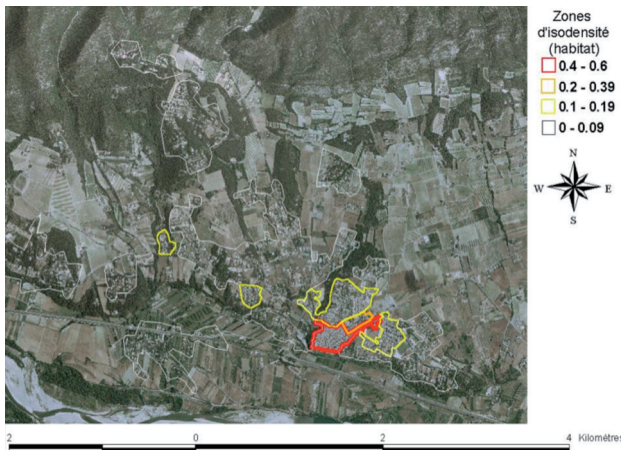
Depuis la Conférence de Rio de Janeiro en 1992 et la signature de la Convention sur la Biodiversité, le public et les responsables ont pris conscience que nous habitons tous un village commun, la Terre, relativement modeste à l'échelle de l'Univers. Cela signifie qu'une dégradation subie en un point particulier aura des répercussions sur le globe entier. D'où l'apparition de ce vocable : les changements planétaires (ou globaux), au sens d'impact potentiel à l'ensemble de la planète Terre.

Ces changements sont multiples. Le changement climatique est, sans doute, le plus médiatisé, avec des conséquences considérables sur le fonctionnement du village global. Mais il ne faut pas négliger les conséquences des changements d'utilisation des terres, des pollutions et des invasions biologiques. Quels que soient les indicateurs que l'on prenne en compte pour décrire l'évolution de l'écosystème global depuis le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle (taux de CO<sub>2</sub>, taux de N<sub>2</sub>O, pourcentage des espèces de poissons pêchés totalement exploitées, nombre d'espèces disparues, consommation d'engrais dans le monde, nombre de barrages installés sur les rivières, etc.), on aboutit à une courbe à évolution exponentielle depuis le début de l'ère industrielle (Steffen *et al.*, 2004). Courbe parallèle à celle de l'évolution de la population humaine mondiale. Les biologistes évaluent depuis quelques années les impacts et les conséquences de ces changements sur le monde vivant (Millenium Ecosystem Assessment, 2005 ; Duvallet, 2010).

Le **changement climatique** est devenu une réalité incontestable confirmée par de nombreuses observations. Selon les modèles climatologiques utilisés par les experts du GIEC, le nord de l'Europe aurait plutôt tendance à s'humidifier alors que le pourtour méditerranéen aurait tendance à s'assécher. Le réchauffement serait plus important dans le sud-ouest de la France (+1 °C) que sur le reste du territoire. Cependant, la rapidité avec laquelle vont se produire ces phénomènes, et leur ampleur à l'échelle régionale et locale, demeurent incertaines. Le changement climatique aura vraisemblablement des impacts directs sur le fonctionnement des écosystèmes en agissant d'une part sur la biodiversité, sur la composition des communautés d'espèces et, d'autre part, sur les divers aspects de l'activité humaine (migrations, voyages, alimentation, hygiène, économie, loisirs) et enfin sur la transmission des maladies, en agissant à la fois sur les hôtes, les agents pathogènes et les vecteurs. Le réchauffement climatique peut ainsi avoir des conséquences sur le risque d'introduction des maladies, des vecteurs et des hôtes intermédiaires (transports de personnes, d'animaux, de marchandises ou par le vent), sur le risque de pérennisation si les conditions nécessaires à l'installation et au maintien de cycles de transmission sont réunies, y compris pendant la saison froide (survie des vecteurs, par exemple), et enfin sur le risque d'extension de la zone géographique de répartition des vecteurs, des hôtes intermédiaires et donc des maladies, en fonction de l'évolution des biotopes favorables aux vecteurs et/ou aux réservoirs et/ou aux hôtes intermédiaires. Les maladies vectorielles sont particulièrement sensibles à un réchauffement climatique, en raison de la sensibilité des arthropodes à la température de leur milieu de vie (survie hivernale, nombre de cycles de reproduction) (Rodhain *et al.*, 2005).

Les **changements d'utilisation des terres** : ce thème est lié au développement des activités humaines (anthropisation) et concerne les conséquences de la déprise agricole sur les modifications du paysage. C'est particulièrement important en région méditerranéenne, où il y a de nombreuses contraintes : sécheresse en été, maintien d'un paysage ouvert et d'une biodiversité spécifique grâce au pastoralisme. En raison de cette déprise agricole, nous observons dans ces régions une reforestation naturelle importante. Un autre aspect, aussi important dans ces régions, est l'impact de la périurbanisation sur la biodiversité. Le mitage des zones agricoles ou des zones naturelles par les immeubles d'habitation, autour des villes et des villages, a des conséquences sur les paysages, sur la biodiversité en général et sur le contact homme – insectes vecteurs potentiels. Le cas du développement de la leishmaniose dans certains foyers provençaux est typique à cet égard, les modifications du paysage favorisant les populations de phlébotomes (**figure 4**). Enfin, sous les cieux tropicaux, nous savons que près de 50 % des forêts ont déjà disparu. Or ces forêts tropicales sont considérées comme les poumons de la Terre et comme des centres importants de biodiversité. Cela pourrait avoir un impact important sur le climat, à la fois direct car la déforestation pour l'agriculture représente un relargage de





**Figure 4 :** Étude des gîtes à phlébotomes en fonction des zones d'isodensité de l'habitat dans un village provençal. Absence de gîte dans le cœur du village (densité d'habitat élevée), présence de gîtes potentiels dans les zones périphériques (Vuillez, 2004).

1,6 milliard de tonnes de carbone par an, mais aussi indirect car la forêt fait partie du système climatique (échanges d'eau et de CO<sup>2</sup>). D'autre part, ce contact de plus en plus étroit entre l'homme et les forêts tropicales est à l'origine de bien des maladies émergentes, souvent à transmission vectorielle.

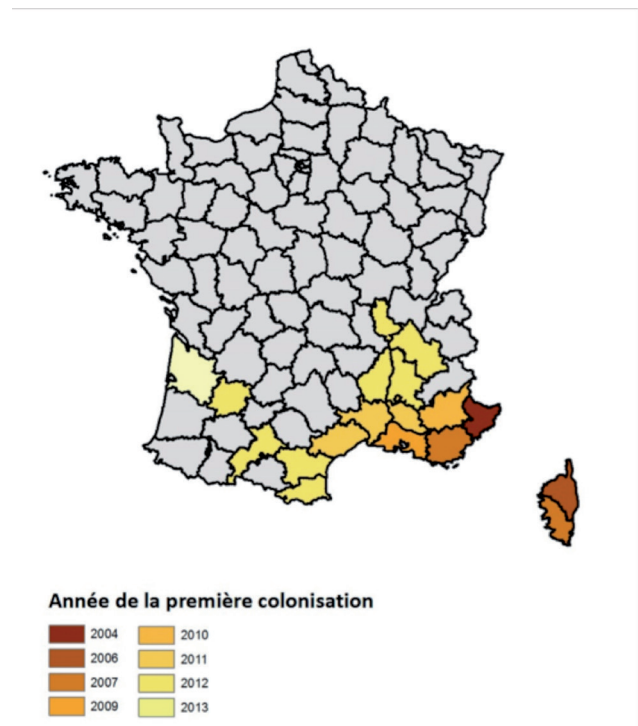
**Les pollutions** de l'air, de l'eau et des sols ont des conséquences directes sur la biodiversité et sur la santé des hommes et de ses animaux domestiques. Il a été observé, par exemple, que l'augmentation de la charge en matière organique des ruisseaux ou des rivières pouvait entraîner des pullulations d'insectes nuisants ou vecteurs ayant des stades immatures aquatiques (cas des simuliés).

**Les invasions biologiques**, le plus souvent liées à l'action de l'homme, en particulier ses déplacements intercontinentaux, sont réputées également pour avoir des conséquences dramatiques sur la biodiversité et sur la santé. Nous le verrons ci-après en citant des exemples liés aux insectes vecteurs potentiels d'agents pathogènes.

**Cas d'*Aedes albopictus*** (Delatte *et al.*, 2008) : ce moustique originaire du Sud-Est asiatique est une espèce invasive, et l'extension de son aire de distribution est liée au commerce international des pneumatiques ou des fleurs (grâce à la résistance des œufs de cette espèce à la dessiccation) et aux moyens de transport. Cette espèce est vectrice des virus de la dengue et de la fièvre à chikungunya (épidémie à La Réunion en 2005-2006). On a suivi son développement en Italie (transmission de la fièvre à chikungunya autour de Ravenne en septembre 2007) et, après quelques incursions occasionnelles dans l'Ouest de la France en 1999-2004, cette espèce s'est installée sur la Côte d'Azur en 2005. Si des cas de transmission autochtone des virus de la dengue et de la fièvre à chikungunya avaient déjà été observés en 2010 dans le Sud-Est de la France, onze cas de transmission locale de chikungunya ont été diagnostiqués en ville à Montpellier fin 2014 (**figure 5**). Et fin octobre 2007, la présence du moustique avait été détectée en Suisse, confirmant ainsi son extension à de nouveaux territoires.

**Cas des phlébotomes** (vecteurs de leishmaniose) (Rioux *et al.*, 2003) : deux foyers historiques de transmission de la leishmaniose canine et humaine (forme viscérale) étaient connus dans le Sud de la France, en Cévennes et en Provence. Actuellement, on considère qu'il y a un grand foyer de transmission dans un triangle reliant Andorre à Lyon et à Nice. L'aire de distribution des phlébotomes vecteurs s'étend vers le Nord et les conditions climatiques adoucies peuvent faciliter l'apparition de nouveaux foyers. En transportant des chiens parasités, l'Homme met en contact des vecteurs potentiels et des parasites jusqu'à Aix-la-Chapelle en Allemagne, où un cas de transmission locale a été observé chez un bébé (Bogdan *et al.*, 2001). Nous avons également observé que la périurbanisation galopante, en zone agricole, autour des villages du Sud de la France favorisait le développement de gîtes à phlébotomes et donc de foyers potentiels de transmission au chien et à l'Homme (Vuillez *et al.*, 2004).

**Moustiques et fièvre à West Nile** (Zeller *et al.*, 2001 ; Balenghien *et al.*, 2007) : ce virus apparu en Afrique de l'Est est transmis entre oiseaux par des moustiques ornithophiles et transporté vers les régions tempérées par les oiseaux migrateurs. Des épidémies sont apparues en France en 1965-67, puis en 1999-2000, et en 2004. Apparu pour la première fois à New York en 1999, ce virus a désormais envahi l'ensemble du continent nord-américain, malgré l'ampleur du système de surveillance mis en place. Un manque de connaissances précises sur le fonctionnement des écosystèmes dans les foyers de transmission ne permet pas de comprendre complètement l'épidémiologie de cette arbovirose.



**Figure 5 :** Carte de répartition d'*Aedes albopictus* en France. Départements colonisés de 2004 à 2013 (Centre national d'expertise des vecteurs, Montpellier).

Fièvre catarrhale du mouton (Blue tongue) (Gerhier *et al.*, 2006) : cette maladie des petits ruminants est due à un arbovirus et est transmise par un Diptère Ceratopogonidae (*Culicoides imicola*). Le développement vers le Nord des populations de ce vecteur a été suivi, ainsi que l'apparition de foyers de maladie en Italie, en Corse, en Espagne. Plus récemment, cette maladie est apparue brusquement dans le Nord de l'Europe près de la frontière entre les Pays-Bas, l'Allemagne et la Belgique. Il a été montré que de nouvelles espèces de *Culicoides* sont impliquées dans la transmission du virus (Meiswinkel *et al.*, 2007). La maladie, dont les effets pathogènes se sont développés aussi chez les bovins, s'est répandue rapidement à tout le Nord de l'Europe, à la moitié nord de la France, puis à l'ensemble du pays, avec un impact économique très important sur la filière élevage.

On voit par ces quelques exemples à la fois le rôle important des régions méditerranéennes du continent européen, aux avant-postes de l'extension vers le Nord des espèces des régions tropicales, mais aussi le rôle crucial des actions de l'Homme dans la circulation des vecteurs et des pathogènes. On insiste aussi sur l'impérieuse nécessité de replacer les études épidémiologiques, trop souvent purement médicales ou entomologiques, dans un cadre écologique.

## CONCLUSION

Le réchauffement climatique joue un rôle important sur les populations d'insectes vecteurs de pathogènes. Il favorise en particulier l'implantation dans le sud de l'Europe d'espèces invasives et favorise l'extension de leur distribution vers le nord. L'analyse des impacts nécessite plus de recherches en éco-physiologie pour comprendre les processus en jeu. Cependant, pour les maladies à transmission vectorielle, de nombreux autres facteurs jouent un rôle souvent plus important. Ce sont les facteurs anthropiques (démographie, aménagements, urbanisation), les changements de pratiques (déplacements intra- et inter-continentaux, échanges commerciaux), et les facteurs socio-économiques (dégradation des systèmes sanitaires, affaiblissement des systèmes de surveillance).

Il s'agit d'un véritable défi pour les scientifiques et les réponses passent nécessairement par des recherches pluridisciplinaires.

## REMERCIEMENTS

*J'adresse mes vifs remerciements à René Houin et Michel Thibier pour leur lecture attentive d'une première version du manuscrit et leurs propositions de modifications.*

## BIBLIOGRAPHIE

- Baldacchino F, Muenworn V, Desquesnes M, Desoli F, Charoenviriyaphap T, Duvallet G. Transmission of pathogens by *Stomoxys* flies (Diptera, Muscidae): a review. *Parasite* 2013 ; 20: 26. doi: 10.1051/parasite/2013026.
- Balenghien T, Fouqu, F, Sabatier P, Bicout D. Quels sont les vecteurs du virus West Nile dans le Sud de la France ? *Environnement, Risques & Santé* 2007 ; 6 : 453-460.
- Besancenot JP. Climat et santé. Paris: PUF; 2001.
- Bogdan C, Schonian G, Banuls AL, Hide M, Pralong F, Lorenz E *et al.*. Visceral leishmaniasis in a German child who had never entered a known endemic area: case report and review of the literature. *Clinical Infectious Diseases* 2001; 32: 302-306.
- Davis AJ, Lawton JH, Shorrocks B, Jenkinson LS. Individualistic species responses invalidate simple physiological models of community dynamics under global environmental change. *Journal of Animal Ecology* 1998; 67: 600-612.
- Delatte H, Paupy C, Dehecq JS, Thiria J, Failloux AB, Fontenille D. *Aedes albopictus*, vecteur des virus du Chikungunya et de la dengue à La Réunion : Biologie et contrôle. *Parasite* 2008 ; 15 : 1-11.
- Dereure J, Vanwambeke SO, Malé P, Martinez S, Pralong F, Balard Y, Dedet JP. The potential effects of global warming on changes in canine leishmaniasis in a focus outside the classical area of the disease in southern France. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2009; 9(6): 687-94. doi: 10.1089/vbz.2008.0126.
- Duvallet G. Insectes et santé animale : état des lieux et problèmes d'actualité. In : *Pastoralismes et entomofaune*. Lumaret JP, ed. Pastum hors-série, AFP, CEFE et Cardère, Lirac ; 2010, pp. 73-82.
- Duvallet G, Boulanger N, Chandre F, Colin de Verdière N, Consigny PH, Delaunay P *et al.* Personal protection against biting insects and ticks. *Parasite* 2011; 18: 93-111.
- Epstein PR. Is Global Warming Harmful to Health? *Scientific American* August 2000; 36-43.
- Gerhier G, Parodi J, Biteau-Coroller F, Baldet T, Mathieu B, Zientara S *et al.* Surveillance de la fièvre catarrhale ovine (bluetongue) en France et dans l'ouest méditerranéen : bilan et perspectives. *Épidémiologie et santé animale* 2006 ; 49 : 37-44.
- GIEC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, editors]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013; 1535 pp. doi: 10.1017/CBO9781107415324.
- Gilles J, David JF, Duvallet G. Temperature effects on the development and survival of two stable flies, *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger niger* (Diptera: Muscidae), in La Réunion island. *Journal of Medical Entomology* 2005a; 42(3): 260-265.
- Gilles J, David JF, Duvallet G. Effects of temperature on the rate of increase of two stable flies from La Réunion island, *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger niger* (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology* 2005b; 42 (6): 959-965.
- Gilles J, David JF, Duvallet G, Tillard E. Potential impacts of climate change on stable flies, investigated along an altitudinal gradient. *Medical Veterinary Entomology* 2008; 22: 74-81.
- Hlavacova J, Votypka J, Volf P. The Effect of Temperature on *Leishmania* (Kinetoplastida:

- Trypanosomatidae) Development in Sand Flies. *Journal of Medical Entomology* 2013; 50(5):955-958. <http://dx.doi.org/10.1603/ME13053>
- Meiswinkel R, van Rijn P, Leijns P, Goffredo M. Potential new *Culicoides* vector of bluetongue virus in northern Europe. *Veterinary Record* 2007; 161: 564-565.
  - Millenium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, DC: World Resources Institute; 2005, 100 pp.
  - Rioux JA, De La Rocque S, Rodhain F. Climats, leishmanioses et trypanosomoses. *Annales de l'Institut Pasteur (Actualités)* 2003 ; 16 : 41-62.
  - Rioux JA, Carron S, Dereure J, Périères J, Zeraia L, Franquet E *et al.* Ecology of leishmaniasis in the South of France. 22. Reliability and representativeness of 12 *Phlebotomus ariasi*, *P. perniciosus* and *Sergentomyia minuta* (Diptera: Psychodidae) sampling stations in Vallespir (eastern French Pyrenees region). *Parasite* 2013; 20: 34. <http://dx.doi.org/10.1051/parasite/2013035>
  - Ready P. D. 2008. Leishmaniasis emergence and climate change. *Rev. Sci. Tech.* 27: 399-412.
  - Rodhain F & Perez C. Précis d'entomologie médicale et vétérinaire : notions d'épidémiologie des maladies à vecteurs. Paris : Maloine ; 1985.
  - Rodhain F. Les maladies à vecteurs. Paris : PUF (Que sais-je ?) ; 1999.
  - Rodhain F, Albina E, Andre-Fontaine G, Armengaud M, Dreyfuss G, Dufour B *et al.* Rapport sur l'évaluation du risque d'apparition et de développement de maladies animales compte tenu d'un éventuel réchauffement climatique. Maisons-Alfort: AFSSA; 2005.
  - Steffen W, Sanderson A, Tyson PD, Jager J, Matson PM, Moore III B *et al.* Global change and the Earth system: a planet under pressure. New York: Springer-Verlag; 2004.
  - Vuillez I. Étude des gîtes à phlébotomes (Diptera : Psychodidae) dans le foyer de leishmaniose viscérale du Lubéron. Typologie des espaces et impact de la périurbanisation. Mémoire de DEA Biosciences de l'Environnement, Université de Provence, Marseille ; 2004.
  - Zeller HG, Berthet FX, Deubel V, Murgue B. West Nile: regain de circulation dans le bassin méditerranéen et émergence inattendue en Amérique du Nord. *Virologie* 2001; 5: 409-417.