

Introduction aux arthropodes nuisants, aux vecteurs et aux maladies à transmission vectorielle

Vincent Robert

INTRODUCTION

La France métropolitaine et l'Europe d'une part, la France d'outre-mer et les zones tropicales d'autre part ont été de longue date concernées par les maladies vectorielles. La peste transmise par les puces, et la fièvre jaune transmise par des moustiques du genre *Aedes* existaient en Europe jusqu'à la fin du XVIII^e siècle. Le paludisme, transmis par les moustiques *Anopheles*, était lui aussi endémique sur le continent européen à cette époque et même bien plus tard puisque le dernier cas autochtone métropolitain, survenu en Corse, date de 1972. Les cas importés de paludisme sont aussi d'actualité. En France métropolitaine, en 2006, environ 5 300 cas importés ont été recensés. Ce chiffre, extrapolé à partir des réseaux sentinelles, est probablement sous-estimé puisque la maladie n'a pas obligatoirement à être déclarée lorsqu'elle a été contractée à l'étranger ; le nombre exact se situerait vers 7 000-8 000 cas annuels. Seules les infections autochtones (cas secondaires et « paludisme d'aéroport ») doivent être signalées ; quoique bien réelles elles restent exceptionnelles (entre 1977 et 1999, on a comptabilisé 75 cas de paludisme d'aéroport en Europe, dont 28 en France ; MOUCHET, 2000). La plupart des cas de paludisme importés en métropole sont observés au retour d'Afrique, généralement après des vacances de personnes vivant sur le territoire français et qui ne prennent pas (ou mal) de chimioprophylaxie. Les anophèles présents en métropole sont réputés mauvais vecteurs de *Plasmodium falciparum*, mais des données anciennes démontrent, au contraire, qu'ils sont bons vecteurs de *P. vivax* tropicaux, notamment les anophèles du complexe *An. maculipennis* (ROUBAUD, 1918). Encore aujourd'hui, avec Mayotte et la Guyane, la France reste le dernier pays européen où le paludisme est endémique.

Ont été recensés en France métropolitaine, ces dernières années, plus de 900 cas de chikungunya et presque autant de cas de dengue : importés essentiellement de la Réunion et des Antilles, respectivement. De façon prévisible, à la fin de l'été 2010, les premiers cas autochtones de dengue (cas secondaires) ont été déclarés dans la ville de Nice, et les premiers cas autochtones de chikungunya dans la ville de Fréjus. Pour mémoire, l'Italie a connu en 2007 une épidémie de chikungunya avec près de 250 cas et la Grèce a connu en 1927-1928 une grosse épidémie de dengue avec plus d'un million de cas ayant entraîné plus de 1 600 décès.

Les maladies animales ou les maladies des végétaux (essentiellement des maladies virales transmises par pucerons) concernent aussi l'actualité des maladies à transmis-

sion vectorielle : la fièvre catarrhale ovine (*Bluetongue*, en anglais) a fait son apparition ces dernières années dans les pays du sud de l'Europe et, plus récemment, dans le nord de l'Europe. Mais parmi elles, seules quelques maladies animales peuvent aussi atteindre l'homme (on parle de maladies zoonotiques) comme la fièvre jaune, la fièvre de la vallée du Rift, la borréliose de Lyme et la borréliose à tiques.

La connaissance des vecteurs est évidemment essentielle pour la compréhension de ces maladies. La détermination des espèces potentiellement vectrices est souvent délicate. Les principaux groupes zoologiques impliqués (insectes et acariens) requièrent des spécialistes compétents, au fait non seulement des connaissances validées mais aussi des dernières avancées, très nombreuses pour tout ce qui touche aux complexes d'espèces jumelles largement impliqués dans la plupart des systèmes vectoriels. La biodiversité exubérante des insectes constitue ici un défi à relever. Par exemple, la famille des moustiques (*Culicidae*) pourrait paraître relativement bien connue. Le catalogue du Walter Reed (2001) dénombre 3 622 espèces actuelles (et une vingtaine d'espèces fossiles), réparties en 42 genres regroupés en deux sous-familles : *Culicinae* (39 genres) et *Anophelinae* (3 genres). Mais sur le seul genre de moustiques *Uranotaenia* à Madagascar, Brunhes et da Cunha Ramos ont publié une révision en 2004, faisant passer le nombre d'espèces signalées de 28 (dont 9 par erreur), à 71 espèces dont 48 nouvelles (la classification des *Culicidae* étant révisée périodiquement, le nombre des genres dépend de la révision ; voir par exemple REINERT (2000) et REINERT *et al.* (2004). Il apparaît donc que seules les espèces qui vivent au contact de l'homme sont assez bien connues. En France métropolitaine, le nombre d'espèces de moustiques est de 64, en incluant désormais *Aedes albopictus* (SCHAFFNER *et al.*, 2001 ; VAZEILLE *et al.*, 2008). Pour les acariens, on répertorie actuellement près de 50 000 espèces, mais la diversité réelle du groupe est probablement supérieure au million d'espèces (WALTER et PROCTOR, 1999).

L'objectif de cette revue introductive est de présenter les notions de nuisants et de vecteurs, de discuter la notion de vecteur au regard de quelques maladies vectorielles choisies pour illustrer la diversité des transmissions, et de dégager les idées fortes associées au système vectoriel.

NUISANTS ET/OU VECTEURS

La distinction entre arthropodes nuisants et arthropodes vecteurs n'est pas toujours évidente.

La notion de **nuisants** correspond à la gêne occasionnée par la présence d'un arthropode, elle-même étant souvent fonction de leur densité : une mouche domestique en vol circulaire au centre d'une pièce est un non-événement ; à l'inverse, des hordes de mouches attirées par les yeux ou les trous de nez peuvent constituer des nuisances à

la limite du supportable. Il en va de même entre une piqûre isolée d'un moustique, et un nuage de moustiques agressifs comme on peut en voir dans les zones nordiques au début de l'été ou dans certaines îles tropicales en saison des pluies. De même, le premier pou arrivant sur une tête ou la première blatte arrivant dans une cuisine passent inaperçus. On sait ce qu'il advient après leurs multiplications !

La notion de **nuisance** englobe et dépasse la dimension de l'inconfort. Les arthropodes hématophages (= qui se nourrissent de sang), par les piqûres ou les morsures qu'ils occasionnent, sont ressentis comme des nuisances. C'est également le cas pour tous les arthropodes non hématophages qui posent des problèmes en pathologie humaine : arthropodes venimeux, vulnérants, urticants, allergisants.

Beaucoup d'arthropodes nuisants sont hématophages et, en cas de forte agressivité, la quantité prélevée de sang peut se révéler importante ; renouvelée de jour en jour, cette spoliation sanguine peut entraîner une anémie. Une autre conséquence de l'hématophagie est l'injection de salive par l'arthropode au moment du repas de sang ; cette salive est ordinairement inflammatoire et immunogène, elle peut déclencher des réactions plus ou moins fortes, allant jusqu'aux allergies sévères.

Les arthropodes venimeux sont tous non hématophages. Ils se divisent en cinq groupes principaux qui utilisent divers systèmes inoculateurs. Le premier groupe, comme les araignées et les scolopendres, injectent du venin par les chélicères (paire de crochets située au voisinage de la cavité buccale). Le deuxième est constitué des scorpions dont le segment abdominal terminal est différencié en un dard. Le troisième groupe est celui des Hyménoptères comme les guêpes, abeilles, frelons, bourdons, dont les femelles piquent avec un dard situé à l'extrémité de l'abdomen. Le quatrième groupe est constitué de nombreux arthropodes qui utilisent leurs pièces buccales et leur salive pour se défendre lorsqu'on les saisit, et infligent de douloureuses piqûres ; c'est le cas d'Hétéroptères comme les punaises prédatrices ou bien suceuses de sève. Enfin, le dernier groupe est constitué de chenilles urticantes de papillons dont les soies sont reliées à des glandes à venin, comme la chenille processionnaire du pin.

Les arthropodes urticants ou vésicants relèvent principalement de certains papillons et coléoptères. La nuisance due à certains papillons nocturnes (surtout du genre *Hylesia* en Amérique latine) vient de leurs minuscules écailles pointues qui se détachent continuellement et qui déclenchent des dermatites très prurigineuses au contact de la peau, et des troubles respiratoires au contact des voies aériennes. Le contact avec le papillon n'est pas indispensable au déclenchement de ces manifestations cliniques puisque les écailles se détachent en vol. C'est une affection saisonnière fréquente en Guyane française. Les coléoptères vésicants, comme les Meloïdes, en particulier les cantharides, ont une hémolymphe extrêmement agressive qui suinte au niveau des articulations ou qui se répand lorsque l'insecte est écrasé, entraînant par contact de sévères irritations cutanées qui évoquent des brûlures à l'acide.

Tous les arthropodes peuvent se révéler allergisants mais rarement jusqu'à provoquer un problème de santé publique. Une exception notable concerne les acariens dans les poussières domestiques, impliqués dans de nombreuses allergies respiratoires.

La notion de nuisance ne comporte pas de dimension infectieuse, qui concerne au contraire pleinement la notion de vecteur.

Le terme **vecteur** vient du latin *vector*, « celui qui traîne ou qui porte ». L'usage français de ce terme est originellement mathématique : segment de droite orienté dans un référentiel donné. Cet usage, qui désigne à la fois un mouvement et un point à atteindre, se retrouve largement dans l'acception biomédicale, relativement récente en français courant puisque l'édition de 1964 du Larousse en 10 volumes n'en dit rien.

En biologie, il y a deux définitions des vecteurs (ROBERT *et al.*, 2008). L'acception la plus large inclut « tout organisme qui intervient dans la transmission d'un agent infectieux ». On peut alors préciser, *en fonction des modalités de transmission de l'agent*, s'il s'agit d'un vecteur passif (comme la mouche qui transporte des bactéries sur ses pattes souillées), d'un vecteur actif mécanique (par exemple, des insectes suceurs de sang tels que puces et moustiques dont les pièces buccales sont souillées par le virus de la myxomatose, le virus ne se multipliant pas chez l'insecte) ou d'un vecteur actif biologique (par exemple, la mouche tsé-tsé qui inocule par piqûre le trypanosome, agent de la maladie du sommeil).

La seconde définition, plus restrictive, se superpose et précise la dernière notion de vecteur biologique actif en désignant « tout organisme hématophage ou hémato-lymphophage assurant la transmission active d'un agent infectieux, d'un vertébré à un autre, après multiplication et/ou transformation de l'agent dans son organisme ». Dans tous les cas, le vecteur actif établit de lui-même le contact entre l'agent infectieux et le vertébré réceptif. Les vecteurs biologiques actifs assurent par leur comportement la transmission de nombreux agents infectieux dans le cycle desquels leur intervention est le plus souvent obligatoire (RODHAIN et PEREZ, 1985). Elle regroupe des insectes, les tiques mais aussi les sangsues vectrices de parasites de poissons, grenouilles et tortues (MOLYNEUX, 1977) et des chauves-souris vampires, vectrices de rage en Amérique latine (SCHNEIDER *et al.*, 2009). C'est cette seconde définition, légèrement modifiée avec une visée opérationnelle, qui a été retenue par l'expertise collégiale sur *La lutte antivectorielle en France* (FONTENILLE *et al.*, 2009) : « est vecteur tout arthropode hématophage qui assure la transmission biologique active d'un agent pathogène d'un vertébré à un autre vertébré ».

Notons, pour mémoire, que ces définitions semblent faire consensus auprès de la majorité des spécialistes, mais que d'éminentes personnalités telles que Jacques EUZÉBY *et al.* (2005) dans leur *Dictionnaire de parasitologie médicale et vétérinaire* suggèrent d'étendre la définition des vecteurs aux mollusques hôtes intermédiaires des trématodes. Dans le cas de la schistosomose à *Schistosoma haematobium* ou *S.*

mansoni, la cercaire est l'agent infectieux. Elle pénètre activement dans l'homme par effraction cutanée de la peau saine. L'homme est hôte définitif et un mollusque d'eau douce, un bulin ou une planorbe, est hôte intermédiaire. Il n'y a pas de contact entre le mollusque et l'homme, il n'y a pas non plus d'arthropodes ni d'hématophagie, et donc, en fonction de la définition de vecteur que nous avons retenue, il n'y a pas de vecteur ni de transmission vectorielle.

Pour mieux cerner la notion de vecteurs, prenons le cas des canards sauvages qui sont les hôtes de nombreux virus de l'influenza aviaire. Quoique le rôle de ces oiseaux dans la dissémination des virus ne soit pas démontré (YEE *et al.*, 2009), on a tendance à associer leur capacité de déplacement à grande distance avec un éventuel transport par des oiseaux infectés. De fait, on entend couramment ces oiseaux désignés comme « vecteurs » d'influenza aviaire. Mais, en raison de la définition des vecteurs, ces oiseaux n'étant pas des arthropodes hématophages même si, d'évidence, ils peuvent assurer la multiplication du virus et son transport au gré de leurs déplacements, il en résulte que l'influenza aviaire est bien une maladie vectorisée mais qu'elle n'est pas une maladie à vecteurs !

On a tendance à considérer que le statut de vecteur représente un stade ultérieur au-delà de celui de nuisant. Cela se vérifie souvent : *Aedes albopictus* était un moustique nuisant dans l'île de la Réunion, et lorsque le virus du chikungunya a été introduit, ce moustique en a assuré la transmission vectorielle, évidemment sans rien perdre de son pouvoir de nuisance. Cet exemple illustre qu'un nuisant, en présence d'un agent infectieux, peut momentanément (le temps d'une épidémie) devenir vecteur. Mais, selon les cas, la fonction de vecteur peut être totalement disjointe de la notion de nuisance ; c'est le cas de la borréliose à tiques, transmise nuitamment à une personne ordinairement endormie, par une tique molle dont la piqûre passe inaperçue car de courte durée et pratiquement indolore. Il y a donc bien là transmission vectorielle d'un agent infectieux, sans nuisance par la piqûre.

En marge de la transmission vectorielle existent d'autres modes de transmission qui concernent les arthropodes entre eux (et pas les vertébrés). Un des plus connus est la transmission verticale qui désigne la transmission d'un agent infectieux depuis un arthropode femelle infecté à sa descendance (c'est le cas de la transmission trans-ovarienne, ou de la transmission trans-chorionique). La transmission verticale est très fréquente, par exemple chez les tiques et également chez certains moustiques ; elle concerne principalement les virus et bactéries, exceptionnellement les protozoaires (par exemple, les *Babesia* et *Neospora* chez les tiques *Ixodidae*) et jamais les métazoaires. D'autres types de transmission existent entre arthropodes : trans-stadiale (d'un stade au stade successif du même arthropode), trans-sexuelle (d'un sexe à l'autre lors de la copulation), etc.

L'hématophagie est une notion centrale. Il en résulte que les vecteurs transmettent exclusivement des « parasites » dermiques, hémolymphatiques ou sanguins, seuls

compartiments auxquels ils ont accès (ainsi les parasites intestinaux ne sont pas transmis par voie vectorielle). L'ingestion de sang, nourriture liquide, riche en nutriments (et en eau), impose nombre de contraintes au premier rang desquelles une gestion de la coagulation et, de fait, toutes les salives d'hématophages sont anticoagulantes. Ensuite, il s'agit d'empêcher le reflux de cette nourriture liquide une fois ingérée ; divers systèmes de pompes aspirantes et de valves sont fonctionnels. Enfin, des mécanismes de concentration du bol alimentaire fonctionnent pour augmenter la quantité ingérée et/ou réduire le poids du bol alimentaire.

La transmission vectorielle peut très bien être effective, mais non obligatoire. C'est le cas par exemple de l'encéphalite européenne à tiques, grave maladie due à un arbovirus de la famille des *Flaviviridae*, qui sévit en Europe de l'Est, avec une extension jusqu'à l'est de la France. Le vecteur est une tique du genre *Ixodes*. Le réservoir de virus est constitué de nombreux animaux, dont les rongeurs et les oiseaux. Le bétail est aussi susceptible et le virus survit longtemps dans le lait des animaux domestiques. Il existe deux modalités de passage du virus à l'homme : une transmission vectorielle par piqûre de tiques et une transmission non vectorielle par ingestion de lait cru non pasteurisé.

Les vecteurs désignent donc des arthropodes hématophages (on en connaît 14 500 espèces), et donc en pratique, des insectes ou des tiques (tabl. 1).

Les insectes

Parmi les vecteurs de maladies figurent les **moustiques** anophèles qui sont les vecteurs exclusifs de *Plasmodium* de mammifères, le parasite responsable du paludisme. Quelque 30 espèces d'anophèles interviennent dans la transmission du parasite, avec chacune leurs particularités biologiques et écologiques. On peut citer certaines espèces du complexe *Anopheles gambiae* en Afrique subsaharienne, qui sont des vecteurs très efficaces, *An. darlingi* en Amérique du Sud, qui prolifère dans les clairières de la forêt humide, *An. culicifacies* en Asie méridionale qui affectionne les mares d'eau stagnante ensoleillée, en particulier dans les réseaux d'irrigation, et enfin *An. dirus*, en Asie du Sud-Est, qui prospère dans les zones de forêt humide. Dans certaines régions du monde, les anophèles jouent également un rôle dans la transmission de la filariose de Bancroft ou filariose lymphatique.

La sous-famille des moustiques *Culicinae* comprend notamment des espèces appartenant aux genres *Culex* et *Aedes*. Parmi les espèces du genre *Culex*, *Cx quinquefasciatus* est un moustique essentiellement urbain qui constitue une forte nuisance et qui peut être vecteur de la filariose de Bancroft et un certain nombre d'affections virales, notamment la fièvre à virus West Nile. Parmi les autres représentants importants du genre *Culex* figurent *Cx vishnui* et *Cx tritaeniorhynchus* qui prolifèrent dans les rizières irriguées et transmettent le virus de l'encéphalite japonaise.

Les moustiques du genre *Aedes* sont les vecteurs des virus de la dengue, de la fièvre jaune et du chikungunya. Contrairement aux anophèles et aux *Culex*, les *Aedes* piquent principalement de jour, mais aussi de nuit. *Aedes aegypti* et *Ae. albopictus* prolifèrent dans les petites collections d'eau situées aux alentours et à l'intérieur des habitations. C'est dans les zones défavorisées que leur densité est la plus forte mais les habitats avec jardin dans les zones résidentielles leur conviennent également. Les flambées épidémiques de ces maladies virales trouvent un large écho dans les médias. Le tableau 2 reprend les principaux points de comparaison de ces genres de moustiques.

En Afrique subsaharienne, la **mouche tsé-tsé** ou glossine est un important vecteur des redoutables trypanosomes qui sont les agents de la maladie du sommeil. La distribution de la mouche tsé-tsé est beaucoup plus large que celle de la forme humaine de la maladie du sommeil, qui n'est présente que dans un nombre limité de foyers. Dans les paysages de savane, ces mouches affectionnent les forêts-galeries en bordure des cours d'eau.

Les **phlébotomes** et les **cératopogonides** sont de petits moucheron dont la larve est terrestre et se développe dans les débris humides riches en humus. Leur piqûre est caractéristique en ce sens que le point de piqûre est matérialisé par une micro-goutte de sang qui perle aussitôt après le retrait des pièces buccales de l'insecte, et que la piqûre apparaît rapidement entourée d'une marque circulaire rougeâtre, sans enflure. Les phlébotomes transmettent un protozoaire du genre *Leishmania* qui provoque la leishmaniose. Les phlébotomes ont une large gamme de préférence d'habitats allant des constructions insalubres des zones méditerranéennes aux écosystèmes forestiers tropicaux, notamment la forêt humide. Sur les quelque 1 300 espèces recensées de cératopogonides, seules une quinzaine (du genre *Culicoides*) sont connues ou pressenties pour transmettre le virus de la fièvre catarrhale ovine, grave maladie animale, qui ne touche pas l'homme.

Les **simulies** sont des moucheron capables de transmettre l'onchocercose, maladie africaine également connue sous le nom de cécité des rivières. Les larves de ce vecteur se développent exclusivement dans les cours d'eau, au niveau des rapides et des chutes. Pour presque toutes les maladies vectorielles, une seule injection d'agent pathogène suffit à déclencher la maladie. Sous cet aspect, l'onchocercose, maladie d'accumulation, constitue une exception puisque la cécité apparaît après de nombreuses années d'exposition et résulte de fortes charges parasitaires.

Les **taons** appartiennent à la famille des *Tabanidae*. Ce sont des mouches trapues aux grands yeux composés, qui se nourrissent du sang des grands mammifères. Ces insectes sont pratiquement tous diurnes. Ils jouent un rôle dans la transmission des trypanosomes animaux. Les chrysops en Afrique centrale sont vecteurs d'une filaire humaine du tissu conjonctif, *Loa loa*, qui déclenche une helminthose.

Les **puces** constituent l'ordre des siphonaptères. À l'état adulte, les puces sont des ectoparasites qui infectent les mammifères (dont l'homme) et quelques oiseaux et

qui vivent du sang de leurs porteurs. La peste est la principale maladie humaine transmise par la puce du rat, *Xenopsylla cheopsis*. L'agent de cette maladie est le bacille *Yersinia pestis* qui affecte aussi bien les animaux que les hommes.

Les **réduves** et **triatomes** sont des punaises hématophages qui transmettent l'agent de la maladie de Chagas, due à *Trypanosoma cruzi*, dans la Région des Amériques. Ces punaises vivent dans les fissures des constructions en adobe, quelquefois dans les toits de palme et de temps en temps, dans l'environnement péri-domestique, au creux des piles de bois, dans les poulaillers ou les enclos à chèvres.

À tous les stades de leur développement, les **poux** sont des ectoparasites de l'homme ou de l'animal. Ils s'accrochent au pelage ou à la pilosité et, en particulier, aux cheveux chez l'homme. Le pou de corps *Pediculus humanus humanus* est l'un des principaux vecteurs du typhus. Les poux de tête *Pediculus humanus capitis* relèvent exclusivement de la catégorie des nuisants (et non de la catégorie des vecteurs) car ils n'ont jamais été impliqués dans aucune transmission ; il en va de même pour les punaises de lit *Cimex lectularius*.

Les acariens

Les **tiques** appartiennent aux acariens qui appartiennent eux-mêmes aux arthropodes arachnides (qui regroupent araignées, scorpions et acariens). Les tiques sont des ectoparasites hématophages qui se nourrissent du sang de mammifères, d'oiseaux ou de reptiles. Chaque mue, stade ou stase, nécessite un repas de sang. Durant chaque repas, la tique a la possibilité d'échanger des germes avec son hôte, c'est-à-dire de s'infecter ou de transmettre un agent infectieux, ou les deux à la fois.

Les tiques se répartissent en deux grands groupes, les *Ixodidae* (tiques dures) et les *Argasidae* (tiques molles). Trois longs repas, chacun d'environ une semaine, sont nécessaires à l'accomplissement du cycle de vie des *Ixodidae* femelles (deux seulement chez les mâles qui ne se nourrissent ordinairement pas au stade adulte). En contraste, au cours de leur vie, les *Argasidae* font une dizaine de repas, de moins de vingt minutes.

Les tiques sont de redoutables vecteurs de nombreuses affections dans les zones tropicales, notamment diverses fièvres à rickettsies (la fièvre pourprée et la fièvre transmise par les tiques), la fièvre hémorragique Crimée-Congo, la tularémie, l'ehrlichiose et les borrélioses. Elles ont, de plus, acquis une certaine notoriété, notamment en France, depuis que la borréliose de Lyme est devenue un problème de santé publique dans les zones tempérées des États-Unis d'Amérique et d'Europe. Les zones à risque sont constituées d'étendues de forêt peuplées d'animaux tels que les cervidés, où le vecteur contaminé peut inoculer le spirochète responsable de la maladie. L'encéphalite à tiques en Europe et la maladie de la forêt de Kyasanur en Asie du Sud-Est sont des viroses graves dont le taux de mortalité est élevé.

MALADIES HUMAINES ET TRANSMISSION VECTORIELLE

Dans le cas de transmission vectorielle, l'agent infectieux transmis est des plus variés : virus, bactérie, protozoaire, métazoaire. S'il est toujours infectieux, il n'est pas toujours pathogène (certains « parasites » sont remarquablement bien tolérés par leur hôte vertébré qui ne manifeste ni signes ni symptômes). L'hôte est un homme ou un animal, parfois même les deux dans le cas des zoonoses. La liste des maladies humaines qui présentent un mode de transmission vectorielle est considérable. Un aperçu géographique de ces maladies est présenté tableau 3 ; en fonction de l'agent pathogène, ces maladies sont aussi présentées tableau 4 (maladies strictement humaines) et tableau 5 (maladies zoonotiques).

Diversité des modalités de la transmission vectorielle

Les modalités de la transmission vectorielle d'agents infectieux sont extrêmement diverses. Pour la transmission de la plupart des infections, une piqûre infectieuse suffit (cas d'un moustique *Aedes*, vecteur de chikungunya piquant un individu immunologiquement naïf), alors que pour d'autres il faut une longue exposition avec inoculations multiples pour qu'apparaissent des symptômes (cas des piqûres des mouches simuliées, vecteurs de l'onchocercose humaine).

Le paludisme, dont l'agent infectieux est un protozoaire du genre *Plasmodium*, est la première parasitose humaine mondiale pour son importance en santé publique. La transmission s'effectue selon trois modes : (i) un mode vectoriel (piqûre d'un moustique anophèle femelle), (ii) un mode transfusionnel ou par greffe, *via* des globules rouges infectés, (iii) et un mode trans-placentaire, *in utero*, de la mère au fœtus. La transmission vectorielle, en zone d'endémo-épidémie, est de très loin la plus importante.

En règle générale, l'association entre un vecteur et un germe pathogène est très spécifique. Quel que soit le groupe biologique auquel le vecteur appartient, la distribution de la maladie qu'il transmet dépend directement de l'écologie de ce vecteur. C'est dans la niche écologique de l'espèce vectrice que la transmission est la plus intense, devenant plus instable vers les limites de l'aire de distribution du vecteur. Un deuxième point important tient au rôle déterminant que l'eau joue dans l'écologie de la plupart des vecteurs. Les limites de la zone de distribution de la maladie sont en grande partie déterminées par cette association entre vecteur et hydrographie. Dans de nombreuses régions du monde, la transmission des maladies véhiculées par des vecteurs est saisonnière, liée au régime des précipitations. La température joue également un rôle déterminant dans la délimitation de l'aire d'extension des maladies à transmission vectorielle, soit parce qu'elle limite la distribution du

vecteur, soit parce qu'en dessous d'un certain minimum, la température ne permet plus d'assurer tout le cycle évolutif de l'agent pathogène. La transmission est donc interrompue au-delà de certaines altitudes ou latitudes en raison de la température trop basse.

Le cas des maladies émergentes à vecteurs

L'émergence d'une maladie à transmission vectorielle peut être due à de nombreuses causes dont les plus évidentes sont l'introduction du pathogène dans des zones où le vecteur est présent, et/ou l'invasion et la pullulation de vecteurs dans des régions préalablement indemnes. Dans le cas des zoonoses, c'est aussi l'intrusion de l'homme dans un écosystème où circule habituellement l'agent pathogène (HOEN *et al.*, 2009).

Des cas récents autochtones de paludisme en France métropolitaine illustrent l'émergence du pathogène. Le parasite a été éliminé en France métropolitaine mais son introduction a été confirmée en septembre 2006, avec un cas de transmission autochtone à Porto en Corse du Sud. Le parasite en cause était une souche malgache de *P. vivax* (ARMENGAUD *et al.*, 2008). L'espèce anophélienne vectrice reste inconnue. Au cours de l'été 2006, deux autres cas de transmission autochtone de *P. falciparum* ont été suspectés dans la région de Marseille (DOUDIER *et al.*, 2007).

De récents cas autochtones de chikungunya en Italie illustrent la double introduction du vecteur et du pathogène. L'espèce de moustique *Aedes albopictus* est originaire du Sud-Est asiatique et elle manifeste un comportement typique d'une espèce envahissante (*invasive species*) ; elle est en passe de coloniser la plupart des zones tropicales et tempérées. Ce moustique urbain vit au stade larvaire dans de petites collections d'eau (soucoupes de pots de fleurs, pneus abandonnés, tout réceptacle exposé à la pluie, dans les regards des évacuations des eaux pluviales, etc.). Sa présence a été observée pour la première fois en Italie en 1997 (et en France en 2005). Le virus a été introduit en Italie, dans la région Emilia-Romagna, par un homme virémique infecté en Inde, zone d'endémie. À partir de ce cas humain de chikungunya, la transmission vectorielle a entraîné près de 250 cas probables ou confirmés, entre le 15 juin et le 28 septembre 2007. L'épidémie a été stoppée grâce à une importante campagne de lutte antivectorielle (ANGELINI *et al.*, 2008). De façon comparable, les premiers cas autochtones en Provence de dengue et de chikungunya en août-septembre 2010 objectivent la double introduction du vecteur et des virus pathogènes.

En matière de transmission vectorielle, chacun associe spontanément l'image d'un insecte en train d'injecter un pathogène à un hôte susceptible ; par exemple, un moustique anophèle en train d'inoculer des *Plasmodium*, agent du paludisme, en même temps qu'il prend un repas de sang sur un enfant endormi. Cette vision est

partielle car elle concerne uniquement la transmission moustique-homme. La transmission homme-moustique, qui s'effectue aussi lors de la prise d'un repas de sang, doit être prise en compte. En effet, un moustique pourra transmettre le *Plasmodium* uniquement s'il s'est lui-même préalablement infecté et si le parasite a accompli toutes les étapes de son développement au sein de son vecteur. Le moustique passe alors du statut d'infecté à celui d'infectant. Ce délai, pour un moustique donné, entre la transmission homme-moustique et la transmission moustique-homme est appelé **incubation extrinsèque**, notion très générale et fondamentale dans la compréhension des mécanismes de transmission.

Compétence vectorielle et capacité vectorielle

En matière de transmission vectorielle, deux autres notions sont fondamentales : la compétence vectorielle et la capacité vectorielle.

La **Compétence vectorielle** (CV), telle que définie par DYE (1992) et LORD *et al.* (1996) désigne la « faculté du vecteur à s'infecter après ingestion du repas de sang infecté, puis à assurer le développement du pathogène et enfin à transmettre le pathogène au vertébré par une piqûre ». En d'autres termes, la compétence vectorielle mesure le niveau de coadaptation pathogène/vecteur invertébré, et dépend essentiellement de facteurs génétiques. À titre d'exemples, on notera qu'*An. gambiae* a une CV nulle pour le virus chikungunya. *Ae. albopictus* avait une CV médiocre pour le virus chikungunya jusqu'au moment où a été sélectionné un virus ayant une mutation d'un gène d'une protéine virale impliquée dans l'attachement du virus à l'épithélium digestif du moustique ; la CV d'*Ae. albopictus* est dès lors devenue bonne pour le virus chikungunya muté (VAZEILLE *et al.*, 2007). La récente épidémie de chikungunya sur l'île de la Réunion en est une conséquence. La compétence vectorielle est donc une variable quantitative.

La notion de capacité vectorielle peut aussi être abordée en poursuivant l'exemple sur le paludisme : si un anophèle prend son 2^e repas de sang sur un homme porteur de gamétocytes (stade sanguin du parasite infectant pour le moustique), et si ce moustique prend habituellement un repas de sang toutes les trois nuits (soit un cycle gonotrophique de trois jours), puisque le développement sporogonique du *Plasmodium* (incubation extrinsèque) dure 11 jours (au moins à 27 °C), alors le moustique ne pourra héberger des sporozoïtes (stade du parasite infectant pour l'homme) dans ses glandes salivaires, et donc les transmettre, qu'à partir de son 6^e repas sanguin, lui-même étant alors âgé de 17 jours. La survie de ce moustique jusqu'à son 17^e jour est indispensable pour la transmission à l'homme ; il en résulte qu'une grande longévité des vecteurs potentiels est cruciale pour le système vectoriel.

Cette notion est prise en compte dans le concept plus général de la **capacité vectorielle**. Sa définition mathématique a été formalisée par GARRET-JONES (1964) à par-

tir des paramètres de MACDONALD (1957). La capacité vectorielle exprime le potentiel de transmission d'une population d'un vecteur. Elle dépend de facteurs liés au vecteur, à l'agent infectieux et à l'environnement : densité de population du vecteur, fréquence du contact vecteur-hôte vertébré, survie du vecteur, et durée du développement extrinsèque. En d'autres termes, la capacité vectorielle désigne le nombre moyen de piqûres qu'un spécimen de la population d'un vecteur ayant piqué un individu infectant, inflige à la population d'hôtes pendant le reste de sa vie, une fois achevée la phase d'incubation extrinsèque. La capacité vectorielle représente aussi le nombre de piqûres potentiellement infectantes qu'un individu peut générer, par l'intermédiaire de la population vectrice, par unité de temps (TRAN *et al.*, 2005). Elle constitue donc un des indicateurs du potentiel de transmission de la maladie (même en absence de tout agent de la maladie).

Cette approche explique pourquoi la transmission du paludisme humain en Afrique est très supérieure à celle observée dans le reste du monde. Les vecteurs africains en sont responsables ; ce sont les plus efficaces. Leur longévité est très importante, leur anthropophilie aussi, leur cycle gonotrophique est court, leur densité est élevée. Il en résulte que leur capacité vectorielle est très élevée.

La triade vectorielle dans un environnement changeant

Un système vectoriel est constitué de trois éléments : l'agent infectieux, son (ses) vecteur(s), son (ses) hôte(s) vertébré(s). Ce système de triade biologique fonctionne dans la nature et les facteurs de l'environnement interviennent puissamment sur son fonctionnement selon des modalités qui, pour un même agent infectieux, varient dans le temps comme dans l'espace (RODHAIN, 2008). Aucun écosystème n'a été épargné (même en Antarctique où la pression démographique reste pourtant infime). L'environnement se modifie sans cesse et l'un des plus intenses moteurs de ces modifications est l'homme lui-même et ses activités qui, directement ou indirectement, transforment profondément la surface de la terre (démographie galopante et/ou densification de la population, évolution des pratiques de l'agriculture et de l'élevage, assèchement des zones humides, aménagements hydro-agricoles, déforestation, reboisement, changements climatiques locaux ou globaux...). Tout cela a un impact sur l'épidémiologie des maladies à transmission vectorielle.

Cette influence de l'environnement amène naturellement à prendre en compte la dimension locale qui est celle des populations et non des espèces. C'est en effet au niveau des populations naturelles que tout se joue : populations de l'agent infectieux, population de son (ses) vecteur(s), populations de son (ses) hôte(s) vertébré(s). Pour ne considérer que les vecteurs, les différentes populations qui représentent l'espèce n'ont pas nécessairement la même compétence vectorielle vis-à-vis d'un agent infectieux. Cela signifie notamment qu'un résultat établi en un lieu n'est pas

toujours valide en un autre où la population de vecteur diffère. Il en va de même pour l'hôte vertébré. On sait par exemple que le motif antigénique Duffy sur les membranes plasmiques des érythrocytes est indispensable pour la pénétration des mérozoïtes de *Plasmodium vivax* ; les populations humaines d'Afrique de l'Ouest et du Centre, qui en sont largement dépourvues, sont donc naturellement réfractaires à cette espèce plasmodiale.

Des comportements récents d'une fraction croissante de l'humanité se mettent en place. Les trois exemples suivants sont issus de contextes fortement contrastés. (1) Les voyages ultra-rapides sont de plus en plus nombreux, aussi bien sur de petites distances (ADAMS et KAPAN, 2009) que sur des grandes (il faut moins de 48 heures pour faire le tour du monde en avion). (2) La mode des « nouveaux animaux de compagnie » dépasse l'engouement passager et s'installe dans la durée. (3) Le phénomène des « sans domicile fixe » est d'importance croissante dans les pays développés (BROUQUI et RAOULT, 2006). Ces phénomènes ont en commun de favoriser le contact entre les agents infectieux et l'homme, qui vivaient auparavant dans des niches écologiques disjointes, et donc de favoriser l'émergence de maladies nouvelles. La proximité des rongeurs va dans le même sens car ils sont réservoirs de nombreux germes pathogènes, notamment ceux qui provoquent la peste (transmise à l'homme par les puces), la leishmaniose dans certaines républiques d'Asie centrale (transmise à l'homme par les phlébotomes), les rickettsioses (transmises à l'homme par les tiques), la leptospirose et des viroses (hantavirus, etc.).

On peut aussi présager que les changements climatiques globaux auront un impact significatif, dans les décennies à venir, sur la dynamique des infections à transmission vectorielle (modifications des aires d'endémie et d'épidémie ; modifications des saisons de transmission ; modifications des intensités de transmission et donc des risques d'infection). D'ores et déjà, on suspecte ces changements climatiques de modifier la distribution des vecteurs, leur capacité vectorielle, et leur contact avec les parasites et les hôtes.

REMARQUES CONCLUSIVES

Dans le domaine des interrelations entre les êtres vivants, les aspects de transmission vectorisée jouent un rôle important et occupent une place transversale reliant toutes les grandes catégories des règnes du vivant (virus, bactéries, protozoaires et métazoaires). Dans cette diversité, la nature démontre qu'elle est souvent plus imaginative que les concepts rigides élaborés par l'esprit humain dans un souci de classifier. De surcroît, cette biodiversité est elle-même changeante, la distribution des espèces vectrices varie (certaines disparaissent, d'autres sont invasives), la structure génétique des agents infectieux varie (en particulier, celle des virus), les comportements et pra-

tiques des hôtes varient (comme l'homme au cours des dernières générations... et des prochaines !). Dans la biosphère, qui recoupe largement ce qu'on appelle maintenant environnement, il est là aussi bien difficile de dégager des constantes.

Au-delà de ces changements objectifs, il faut aussi être conscient que c'est parfois la seule connaissance que nous avons des phénomènes, qui progresse. Ainsi, pour des générations de médecins et de vétérinaires, la maladie de la griffade de chat, due à *Bartonella henselae*, était connue pour être transmise à l'homme directement par les griffes du chat. Celui-ci est fréquemment bactériémique asymptomatique ; les puces du chat se contaminent avec un repas de sang et leurs déjections contaminent le pelage et les griffes du chat. Les puces assurent la transmission (non vectorielle) entre chats. Mais COTTÉ *et al.* (2008) ont trouvé que 10 espèces d'animaux domestiques et sauvages sont infectés par *B. henselae* ; ces auteurs ont aussi démontré que sa transmission vectorielle par la tique *Ixodes ricinus* est une réalité. À la transmission directe à l'homme par griffade, il convient de considérer désormais la transmission vectorielle par tiques, ce qui rajoute *B. henselae* à la liste des agents infectieux à transmission vectorielle.

Face aux constats de la diversité du vivant incluant hôtes, vecteurs et parasites, face à la multitude des maladies à transmission vectorielle et des modes d'inoculation, face à des systèmes vectoriels de mieux en mieux compris mais toujours en perpétuelle évolution, le pragmatisme s'impose. En pratique, les vecteurs sont pris en compte dans deux grands domaines d'activités ou de comportement humain qui ne font d'ailleurs pas véritablement la distinction entre nuisances et vecteurs : (1) **la lutte antivectorielle** qui désigne comme cible le vecteur, pour l'éliminer complètement, au moins localement, et qui est souvent le fait des communautés (ex : lutte contre *Ae. aegypti* lors du percement du canal de Panama pour interrompre la transmission de la fièvre jaune, lutte contre les simulies en Afrique de l'Ouest pour interrompre la transmission de l'onchocercose, lutte contre les moustiques à Mayotte pour interrompre la transmission de paludisme et d'arboviroses, lutte contre les moustiques en Camargue pour réduire les piqûres, etc.) (tabl. 6) ; (2) **la Protection personnelle antivectorielle (PPAV)** qui vise à protéger l'individu ou la famille, mais qui se place d'emblée à une échelle de moyens plus limités que la lutte antivectorielle.

La lutte antivectorielle en France vient de faire l'objet d'une saisine interministérielle qui a déclenché une expertise collective dont les conclusions ont été récemment publiées (FONTENILLE *et al.*, 2009). La PPAV fait l'objet de ces présentes recommandations de pratique clinique.

BIBLIOGRAPHIE

ADAMS B., KAPAN D. D. 2009 – Man bites mosquito: understanding the contribution of human movement to vector-borne disease dynamics. *PLoS One*, 4 : e6763.

ANGELINI P., MACINI P., FINARELLI A. C., POL C., VENTURELLI C., BELLINI R., DOTTORI M., 2008 – Chikungunya epidemic outbreak in Emilia-Romagna (Italy) during summer 2007. *Parasitologia*, 50 : 97-98.

ARMENGAUD A., LEGROS F., D'ORTENZIO E., QUATRESOUS I., BARRE H., HOUZE S., VALAYER P., FANTON Y., SCHAFFNER F., 2008 – A case of autochthonous *Plasmodium vivax* malaria, Corsica, August 2006. *Travel Med. Infect. Dis.*, 6 : 36-40.

BROUQUI P., RAOULT D., 2006 – Arthropod-borne diseases in homeless. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1078 : 223-35.

CARNEVALE P., ROBERT V., MANGUIN S., CORBEL V., FONTENILLE D., GARROS C., ROGIER C., 2009 – *Les anophèles - Biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle*. IRD Éditions, coll. Didactiques, 391 p.

COTTÉ V., BONNET S., LE RHUM D., LE NAOUR E., CHAUVIN A., BOULOUIS H.-J., LECUELLE B., LILIN T., VAYSSIER-TAUSSAT M., 2008 – Transmission of *Bartonella henselae* by *Ixodes ricinus*. *Emerg. Infect. Dis.*, 14 : 1074-1080.

DOUDIER B., BOGREAU H., DEVRIES A., PONÇON N., STAUFFER W. M. 3rd, FONTENILLE D., ROGIER C., PAROLA P., 2007 – Possible autochthonous malaria from Marseille to Minneapolis. *Emerg. Infect. Dis.*, 13 : 1236-1238.

DYE C., 1992 – The analysis of parasite transmission by bloodsucking insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 37 : 1-19.

ENSERINK M., 2008 – A mosquito goes global. *Science* (16 may), 320 : 8664-8866.

EUZÉBY J., BOURDOISEAU G., CHAUVE C. M., 2005 – *Dictionnaire de parasitologie médicale et vétérinaire*. Londres, Éditions tec & doc, Lavoisier, 492 p.

FONTENILLE D., 2008 – Écosystèmes, entomologie et lutte antivectorielle. *Responsabilité & environnement*, 51 : 55-60.

FONTENILLE D., LAGNEAU C., LECOLLINET S., LEFAIT-ROBIN R., SETBON M., TIREL B., YÉBAKIMA A., 2009 – *La lutte antivectorielle en France – Disease control in France*. IRD Éditions, coll. Expertise collégiale, 533 p.

GARRET-JONES C., 1964 – Prognosis for interruption of malaria transmission through assessment of the mosquito's vectorial capacity. *Nature*, 204 : 1173-1175.

Haut Conseil de la santé publique – Recommandations sanitaires pour les voyageurs 2009 (à l'attention des professionnels de santé). *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, 2 juin 2009, N° 23-24, 238-256.

HOEN A. G., MARGOS G., BENT S. J., DIUK-WASSER M. A., BARBOUR A., KURTENBACH K., FISH D., 2009 – Phylogeography of *Borrelia burgdorferi* in the eastern United States reflects multiple independent Lyme disease emergence events. *Proc. Natl. Acad. Sci U S A*, 106 : 15013-15018.

LORD C. C., WOOLHOUSE M. E., HEESTERBEEK J. A., MELLOR P. S., 1996 – Vector-borne diseases and the basic reproduction number: a case study of African horse sickness. *Med. Vet. Entomol.*, 10 : 19-28.

MACDONALD G., 1957 – *The epidemiology and control of malaria*. London, New York, Toronto, Oxford University Press, 201 p.

MOLYNEUX D. H., 1977 – Vector relationships in the Trypanosomatidae. *Advances Parasitol.*, 15 : 1-82.

MOUCHET J., 2000 – Le paludisme d'aéroport : une maladie rare encore mal comprise. *Eurosurveillance*, 5 : 75-76.

REINERT J. F., 2000 – New classification for the composite genus *Aedes* (Culicidae: Aedini), elevation of subgenus *Ochlerotatus* to generic rank, reclassification of the other subgenera, and notes on certain subgenera and species. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 16 : 175-188.

REINERT J. F., HARBACH R. E., KITCHING I. J., 2004 – Phylogeny and classification of Aedini (Diptera: Culicidae), based on morphological characters of all life stages. *Zool. J. Linnean Soc.*, 142 : 289-368.

ROBERT V., FONTENILLE D., SIMARD F., 2008 – Introduction aux vecteurs et aux maladies à transmission vectorielle. *Épidémiol. et santé animale*, 54 : 1-11.

RODHAIN F., 2008 – Aspects épidémiologiques de la transmission vectorielle. *Épidémiol. et santé animale*, 54 : 13-18.

RODHAIN F., PEREZ C., 1985 – *Précis d'entomologie médicale et vétérinaire, notions d'épidémiologie des maladies à vecteurs*. Paris, Éd. Maloine, 458 p.

ROUBAUD E., 1918 – Recherches sur la transmission du paludisme par les anophèles de régions non palustres (Yonne et région parisienne). *Ann. Inst. Pasteur*, 10 : 430-462.

SCHAFFNER F., ANGEL G., GEOFFROY B., HERVY J. P., RHAJEM A., BRUNHES J., 2001 – *Les moustiques d'Europe – The mosquitoes of Europe*. IRD Éditions, coll. Didactiques, CD-ROM.

SCHNEIDER M. C., ROMIJN P. C., UIEDA W., TAMAYO H., DA SILVA D. F., BELOTTO A., DA SILVA J. B., LEANES L. F., 2009 – Rabies transmitted by vampire bats to humans: an emerging zoonotic disease in Latin America? *Rev. Panam Salud Publica*, 25 : 260-269.

TRAN A., BITEAU-COROLLER F., GUIH H., ROGER F., 2005 – Modélisation des maladies vectorielles. *Épidémiol. et santé anim.*, 47 : 35-51.

UZEST M., GARGANI D., DRUCKER M., HÉBRARD E., GARZO E., CANDRESSE T., FERERES A., BLANC S., 2007 – A protein key to plant virus transmission at the tip of the insect vector stylet. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104 : 17959-17964.

VAZEILLE M., MOUTAILLER S., COUDRIER D., ROUSSEAU C., KHUN H., HUERRE M., THIRIA J., DEHECQ J. S., FONTENILLE D., SCHUFFENECKER I., DESPRES P., FAILLOUX A. B., 2007 – Two chikungunya isolates from the outbreak of La Reunion (Indian Ocean) exhibit different patterns of infection in the mosquito *Aedes albopictus*. *PLoS ONE*, 2 : e1168.

VAZEILLE M., JEANNIN C., MARTIN E., SCHAFFNER F., FAILLOUX A. B., 2008 – Chikungunya: a risk for Mediterranean countries? *Acta Tropica*, 105 : 200-202.

WALTER D. E., PROCTOR H. C., 1999 – *Mites: Ecology, Evolution and Behaviour*. CAB International, 332 p.

Walter Reed Biosystematics Unit – 2001 Systematic catalogue of Culicidae - <http://www.mosquitocatalog.org/>

YEE K. S., CARPENTER T. E., CARDONA C. J., 2009 – Epidemiology of H5N1 avian influenza. *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.*, 32 : 325-340.

Tableau 1
Principaux vecteurs insectes et acariens

Classe	Ordre	Famille ou sous-famille	Stades hémato-phages	Biologie de l'hématophagie	Stades juvéniles
Insectes	Diptères	<i>Culicidae</i> (moustiques)	Adultes femelles	Principalement crépusculaire pour <i>Aedes</i> ; principalement nocturne pour <i>Anopheles</i> et <i>Culex</i>	Aquatiques (eaux stagnantes ou calmes)
		<i>Simuliidae</i> (simulies)	Adultes femelles	Diurne	Aquatiques (eaux vives)
		<i>Phlebotominae</i> (phlébotomes)	Adultes femelles	Nocturne	Terrestres (humus)
		<i>Tabanidae</i> (taons, <i>Chrysops</i>)	Adultes femelles	Diurne	Terrestres ou semi-aquatiques
		<i>Ceratopogonidae</i> (dont <i>Culicoides</i>)	Adultes femelles	Surtout crépusculaire mais variable selon les espèces	Terrestres (humus)
		<i>Glossinidae</i> (mouches tsé-tsé)	Adultes mâles et femelles	Diurne	Dans les voies génitales de la femelle (sauf la pupe terricole)
	Siphonaptères (puces)	Nombreuses familles	Adultes mâles et femelles	Plusieurs repas de sang par nyctémère	Terrestres (litières)
	Hémiptères Hétéroptères	<i>Reduviidae</i> (punaises, réduves, triatomés)	Adultes mâles et femelles, et immatures	Nocturne	Terrestres
	Anoploures	<i>Pediculicidae</i> (poux)	Adultes mâles et femelles, et immatures	Plusieurs repas de sang par nyctémère	Ectoparasites
Arachnides	Acariens	Acariens <i>Ixodidae</i> (tiques dures)	Adultes mâles et femelles, et immatures	Le repas de sang dure plusieurs jours	Terrestres
		<i>Argasidae</i> (tiques molles)	Adultes mâles et femelles, et immatures	Nocturne	Terrestres
		<i>Trombiculidae</i>	Larves	Le repas de lymphe dure plusieurs jours	Ectoparasites pour les larves, libre et terrestre pour les nymphes

Tableau 2
Principaux traits de la biologie comparée des moustiques *Anopheles*, *Aedes* et *Culex*.

Points communs	<i>Anopheles</i>	<i>Aedes</i>	<i>Culex</i>
Alimentation des adultes	La femelle (partiellement) et le mâle (exclusivement) se nourrissent de liquide sucré d'origine végétale		
Hématophagie	Seule la femelle adulte est hématophage		
Nombre de repas de sang	Chaque femelle prend ordinairement plusieurs repas sanguins qui durent quelques minutes, au cours de sa vie		
Durée de vie de la femelle adulte	De quelques semaines à plusieurs mois, mais moins d'un an		
Ponte des œufs	Après la digestion d'un repas de sang, la femelle pond des œufs		
Éclosion des œufs et stade larvaire	Les œufs éclosent dans l'eau et libèrent des larves mobiles ; ces larves ont une respiration aérienne et se nourrissent en filtrant l'eau		
Stade nymphal	Le stade nymphal est aquatique ; il est intermédiaire entre le stade larvaire IV et le stade adulte (imago) ; la nymphe est mobile mais ne se nourrit pas		
Sexe des moustiques	Le sexe des larves est indiscernable alors qu'un net dimorphisme sexuel est observé chez les nymphes et les adultes		

Différences	<i>Anopheles</i>	<i>Aedes</i>	<i>Culex</i>
Position de la larve par rapport à la surface de l'eau	Parallèle	Perpendiculaire	
Position de l'abdomen de l'adulte au repos, par rapport au support	Oblique	Parallèle	
Habitat préférentiel	Rural	Variable selon les espèces, mais parfois strictement urbain	
Modalité de ponte	Œufs pondus un à un		Œufs pondus en une seule fois, en un lot compact
Résistance de l'œuf à la sécheresse	Non	Oui	Variable selon les espèces
Horaire des piqûres	Nocturne	Diurne	Nocturne
Mode de piqûre	En une fois	Harcèle son hôte	Ordinairement, en une fois

Tableau 3
Principales maladies à transmission vectorielle en fonction des grandes zones géographiques
 (1 = arboviroses ; 2 = maladies bactériennes ; 3 = protozooses ; 4 = helminthoses).

Zones géographiques	Maladies à transmission vectorielle
Europe du Nord	1. Encéphalite européenne à tiques ; Fièvre hémorragique de Crimée-Congo 2. Borréliose de Lyme ; Bartonellose ; Fièvre Q 3. Babésiose
Europe du Sud	1. Infection à virus du Nil occidental (<i>West Nile Fever</i>) ; Infection à virus Toscana ; Chikungunya ; Dengue 2. Borréliose de Lyme ; Fièvre boutonneuse méditerranéenne ; Bartonellose ; Fièvre Q 3. Leishmanioses
Afrique du Nord	1. Infection à virus du Nil occidental (<i>West Nile Fever</i>) ; Infection à virus Toscana 2. Borréliose de Lyme ; Fièvre boutonneuse méditerranéenne ; Bartonellose ; Typhus murin ; Typhus exanthématique ; Fièvre Q ; Peste ; Fièvre récurrente à tiques 3. Leishmanioses
Afrique subsaharienne	1. Dengue ; Fièvre jaune ; Chikungunya ; Fièvre de la vallée du Rift ; Fièvre hémorragique de Crimée-Congo ; Infection à virus du Nil occidental (<i>West Nile Fever</i>) 2. Fièvre récurrente à tiques ; Fièvre africaine à tiques ; Bartonellose ; Typhus murin ; Typhus exanthématique ; Fièvre Q ; Peste 3. Paludisme ; Trypanosomose humaine africaine (maladie du sommeil) ; Leishmanioses 4. Filariose lymphatique ; Loase ; Onchocercose ; Filariose des séreuses (Mansonellose)
Sud-Ouest de l'océan Indien	1. Dengue ; Chikungunya ; Fièvre de la vallée du Rift 2. Peste 3. Paludisme 4. Filariose lymphatique
Asie	1. Dengue ; Chikungunya ; Fièvre hémorragique de Crimée-Congo ; Encéphalite asiatique à tiques ; Encéphalite japonaise 2. Typhus des broussailles (Scrub typhus) ; Typhus murin ; Peste 3. Paludisme ; Leishmanioses 4. Filariose lymphatique
Océanie	1. Dengue ; Chikungunya ; Encéphalite japonaise ; Ross River Fever 3. Paludisme 4. Filariose lymphatique
Amérique du Nord	1. Infection à virus du Nil occidental (<i>West Nile Fever</i>) ; Dengue 2. Borréliose de Lyme ; Fièvre pourprée des montagnes rocheuses ; Ehrlichiose ; Peste 3. Babésiose
Amérique latine	1. Dengue ; Fièvre jaune ; Infection à virus du Nil occidental (<i>West Nile Fever</i>) 2. Fièvre d'Oroya (maladie de Carrion) ; Peste ; Typhus exanthématique ; Typhus murin 3. Paludisme ; Trypanosomose humaine américaine (maladie de Chagas) ; Leishmanioses 4. Filariose des séreuses (Mansonellose)

Tableau 4

Principales infections humaines à transmission vectorielle, avec leurs principales caractéristiques épidémiologiques (liste non exhaustive).

DFA = Départements français d'Amérique.

	Agent de la maladie	Maladie	Vecteurs	Hôtes réservoirs	Répartition	Mode	Incidence en zone de transmission	Morbidité	Létalité	Tendance
Virus (arbovirus)	Flaviviridae Flavivirus	Dengue	<i>Ae. aegypti</i> , <i>Ae. albopictus</i> <i>Ae. polynesiensis</i>	Homme, vecteurs	Cosmopolite (dont métropole, DFA, Réunion, Mayotte, Polynésie), sauf zones tempérées ou froides	Endémo- épidémique	Élevée	Importante	Oui	En expansion
	Flaviviridae Flavivirus	Encéphalite japonaise	<i>Culex</i> <i>tritaeniorhyn- chus</i>	Porc, oiseaux sauvages	Zones rurales d'Extrême-Orient, Asie du Sud-est, Papouasie	Endémo- épidémique	Élevée	Importante	Oui	En réduction dans les pays qui pratiquent la vaccination
	Togaviridae Alphavirus	Chikungunya	<i>Ae. aegypti</i> , <i>Ae. albopictus</i>	Homme, singes, vecteurs	Afrique, océan Indien (dont Réunion, Mayotte), Asie, Europe du Sud dont France. Potentielle : DFA, Pacifique	Épidémique	Élevée	Importante	Faible	Épidémies récurrentes tous les 10-20 ans
	Bunyaviridae Phlebovirus	Infection à virus Toscana	Phlébotomes	Homme (autres mammifères), vecteurs	Pourtour méditerranéen	Endémique	Faible	Modérée	Nulle	Stable mais mieux reconnue
Bactéries	<i>Barionella</i> <i>quintana</i>	Fièvre des tranchées	Poux de corps	Homme	Cosmopolite	Endémique	Élevée	Importante	Oui	En expansion chez les SDF et les populations en grande précarité
	<i>Rickettsia</i> <i>provarazekii</i>	Thyphus (historique) à pou = T. exanthématique	Poux de corps	Homme	Cosmopolite dont montagnes d'Afrique et Amérique latine	Endémo- épidémique	Variable	Importante	Faible	Stable

Tableau 4 (suite)

Principales infections humaines à transmission vectorielle, avec leurs principales caractéristiques épidémiologiques (liste non exhaustive).

DFA = Départements français d'Amérique.

	Agent de la maladie	Maladie	Vecteurs	Hôtes réservoirs	Répartition	Mode	Incidence en zone de transmission	Morbidité	Létalité	Tendance
Bactéries	<i>Coxiella burnetii</i>	Fièvre Q ou coxiellose	Tiques	Mammifères	Cosmopolite	Endémique	Élevée	Importante	Oui	Épidémie en cours aux Pays-Bas. Ailleurs stable
	<i>Bartonella bacilliformis</i>	Fièvre de Oroya = Maladie de Carrion	Phlébotomes		Dans les hautes vallées de la Cordillère des Andes, en Amérique du Sud intertropicale	Endémique	Élevée	Importante	Oui	Stable
Protozoaires	<i>Plasmodium</i> sp.	Paludisme	Moustiques <i>Anopheles</i> sp.	Homme (et grands singes ?)	Régions intertropicales	Endémo-épidémique	Élevée	Importante	Élevée pour <i>P. falciparum</i>	Tendance à la baisse en Guyane et à Mayotte
	<i>Trypanosoma brucei gambiense</i>	Maladie du sommeil	Mouches tsé-tsé	Homme (et porcs ?)	Afrique Ouest et centrale	Foyers endémo-épidémiques	Élevée	Importante	Très élevée sans traitement	Stable
Helminthes	Filaire <i>Wuchereria bancrofti</i> <i>Brugia malayi</i>	Filariose lymphatique	Moustiques <i>Aedes</i> , <i>Anopheles</i> <i>Culex</i> <i>Mansonia</i>	Homme	Afrique, océan Indien (dont Mayotte), Pacifique (dont Polynésie française, Wallis-et-Futuna), Asie	Endémique	Faible	Peut être importante et invalidante	Non	En régression
	Filaire <i>Loa loa</i>	Loase	Taons <i>Chrysops</i>	Homme	Afrique centrale forêt	Endémique	Faible	Importante	Non	Stable
	Filaire <i>Onchocerca volvulus</i>	Onchocercose ou cécité des rivières	Simulies	Homme	Afrique Ouest et centrale, Amérique du Sud	Endémique	Importante	Importante	Non	En forte régression
	Filaire <i>Mansonella</i> sp.	Filariose des séreuses (Mansonnellose)	Cératopogonides	Homme	Afrique Ouest et centrale, Amérique du Sud	Endémique	Importante	Faible	Non	Stable

Tableau 5
Principales infections zoonotiques à transmission vectorielle, avec leurs principales caractéristiques épidémiologiques (liste non exhaustive).

	Agent de la maladie	Maladie	Vecteurs	Hôtes réservoirs	Répartition	Mode	Incidence en zone de transmission	Morbidité	Létalité	Tendance
Virus (arbovirus)	Flaviviridae Flavivirus	Infection à virus du Nil occidental	Moustiques <i>Culex</i> sp.	Oiseaux	Tous les continents dont l'Europe, le pourtour méditerranéen, la Guadeloupe	Endémo-épidémique	Faible	Potentiellement importante en cas d'épidémie	Importante en cas d'encéphalites	Expansion en Amérique du Nord et dans le pourtour méditerranéen
	Flaviviridae Flavivirus	Encéphalite européenne à tiques	Tiques <i>Ixodes ricinus</i>	Mammifères sauvages vecteurs	Europe centrale, de l'Est, et nord-est de la France	Endémique	Faible	Importante	Modérée à importante en cas d'encéphalite	Expansion en Europe de l'Est. Stable en métropole
	Flaviviridae Flavivirus	Fièvre jaune	Moustiques <i>Aedes</i> sp.	Singes, vecteurs	Afrique, subsaharienne Amazonie (dont Guyane)	Cas isolés Épidémies	Faible	Importante	Élevée	Instabilité (vaccination)
	Bunyaviridae Phlebovirus	Fièvre de la vallée du Rift	Moustiques <i>Culex, Aedes</i>	Ruminants, vecteurs	Afrique, océan Indien (dont Mayotte)	Endémo-épidémique	En cours de documentation à Mayotte	Importante	Faible	En expansion
	Bunyaviridae Nairovirus	Fièvre hémorragique de Crimée-Congo	Tiques Ixodidae dont <i>Hyalomma</i> sp.	Mammifères sauvages vecteurs	Europe, Asie, Afrique	Endémo-épidémique	Faible	Importante	Élevée	Stable
Bactéries	<i>Borrelia burgdorferi</i>	Borréliose de Lyme	Tiques <i>Ixodes</i> sp.	Rongeurs, cervidés, oiseaux, vecteurs	Hémisphère nord	Endémique	Élevée	Importante	Très faible	En expansion

Tableau 5 (suite)

Principales infections zoonotiques à transmission vectorielle, avec leurs principales caractéristiques épidémiologiques (liste non exhaustive).

	Agent de la maladie	Maladie	Vecteurs	Hôtes réservoirs	Répartition	Mode	Incidence en zone de transmission	Morbidité	Létalité	Tendance
Bactéries	<i>Borrelia crocidunae</i>	Fièvre récurrente à tiques	Tiques <i>Alectorobius sonnai</i>	Rongeurs	Afrique de l'Ouest	Endémique	Élevée	Importante	Faible	Stable
	<i>Borrelia conorii</i>	Fièvre boutonneuse méditerranéenne	Tiques <i>Rhipicephalus sanguineus</i>	Vecteurs chiens, rongeurs	Méditerranée dont sud-est de la France	Endémique	Modérée	Importante	Limitée	Possible extension
	<i>Yersinia pestis</i>	Peste	Puces	Rats, réservoir tellurique	Cosmopolite	Endémo-épidémique	Faible sauf à Madagascar et en République démocratique du Congo	Importante	Très élevée sans traitement (faible avec antibiotiques)	Stable
Protozoaires	<i>Leishmania</i> sp.	Leishmaniose	Phlébotomes	Mammifères dont chien en métropole	Tous les continents dont métropole, Guyane et Martinique	Endémique	Faible	Importante	Faible pour la forme cutanée, forte pour la forme viscérale	En expansion en Guyane. Influence du changement climatique en métropole ?
	<i>Trypanosoma cruzi</i>	Maladie de Chagas	Triatominae	Mammifères sauvages, Homme	Amérique latine dont Guyane	Endémique	Mal estimée	Importante	Importante	Stable
	<i>Trypanosoma brucei rhodesiense</i>	Maladie du sommeil	Mouches tsé-tsé	Grands ongulés sauvages	Afrique de l'Est	Foyers endémo-épidémiques	Élevée	Importante	Très élevée sans traitement	En expansion

Tableau 6

Principales méthodes de lutte antivectorielle contre les moustiques (d'après CARNEVALE *et al.*, 2009).

Classification des méthodes de lutte antivectorielle selon :	
1) la technique de lutte :	<ul style="list-style-type: none">• physique, biologique, chimique, génétique
2) la cible :	<ul style="list-style-type: none">• larves, adultes
3) l'effet recherché pour réduire :	
– le contact hôte/vecteur :	<ul style="list-style-type: none">• port de vêtements longs• répulsifs cutanés• vêtements imprégnés (répulsifs-insecticides)• protection par usage domestique des pesticides (aérosols, serpentins, etc.)• moustiquaires de lit simples ou imprégnées d'insecticide
– la densité de vecteurs :	<ul style="list-style-type: none">• réduction des gîtes larvaires par modifications de l'environnement• lutte anti-larvaire avec des larvicides biologiques (poissons larvivores), biopesticides (<i>Bacillus thuringiensis</i>) ou larvicides chimiques• moustiquaires de lit imprégnées en utilisation à grande échelle (effet de masse)• pulvérisations spatiales
– la longévité des vecteurs :	<ul style="list-style-type: none">• aspersions intradomiciliaires• moustiquaires de lit imprégnées en utilisation à grande échelle (effet de masse)• pulvérisations spatiales

Protection personnelle antivectorielle



Gérard Duvallet

Ludovic de Gentile

Protection personnelle antivectorielle

sous la direction de :

Gérard
Duvallet

Ludovic
de Gentile

IRD Éditions
INSTITUT DE RECHERCHE
POUR LE DÉVELOPPEMENT

Collection  **ACTIQUES**

Marseille, 2012

Préparation éditoriale
Yolande Cavallazzi

Mise en page
Francis Duval

Coordination, fabrication
Catherine Plasse

Maquette intérieure
Pierre Lopez – Aline Lugand/Gris Souris

Maquette de couverture
Michelle Saint-Léger

Photo de couverture :

© EID/MED/J.-B. Ferré – *Aedes albopictus*.

Photos 4^e de couverture :

© IRD/ Y. Boulvert – Campement au lever du jour (lits de camp et moustiquaires), Kaoara, Niger.

© IRD/N. Rahola – Phlébotome femelle collecté dans le Bemaraha à Madagascar.

La loi du 1^{er} juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2012

ISBN : 978-2-7099-1718-6