

# INTRODUCTION AUX VECTEURS ET AUX MALADIES A TRANSMISSION VECTORIELLE \*

Vincent Robert <sup>1</sup>, Didier Fontenille <sup>1</sup> et Frédéric Simard <sup>1</sup>

## RESUME

Les maladies à transmission vectorielle sont nombreuses en santé humaine comme en santé animale. L'actualité vient périodiquement en rappeler l'importance considérable. Cet article présente les différentes définitions du concept de vecteur et les principaux vecteurs, insectes et tiques. Il introduit aussi aux différentes modalités de la transmission vectorielle et aux notions générales de cette transmission.

**Mots-clés** : Vecteur, transmission, agent infectieux, compétence vectorielle, capacité vectorielle, insecte, tique, hématophagie.

## SUMMARY

Vector transmitted diseases are numerous both in humans and in animals. Occasional reports remind us periodically of their huge importance. In this paper we present various definitions of the vector concept, and list the prominent vectors among insects and ticks. We also describe various modalities of disease transmission by vectors and other related relevant issues.

**Keywords** : Vector, Transmission, Infectious agents, Vectorial competence, Vectorial capacity, Insect, Tick, Hematophagy.



## I - INTRODUCTION

L'Europe et la France métropolitaine ont été de longue date concernées par les maladies vectorielles. Ainsi, 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<sup>ème</sup> siècle. Le paludisme, transmis par les moustiques *Anopheles*, était lui aussi endémique sur le continent à cette époque et même bien plus tard puisque le dernier cas autochtone

français, survenu en Corse, date de 1972. Encore aujourd'hui, la France métropolitaine reste concernée par la leishmaniose transmise par des phlébotomes à partir de chiens infectés. Les premiers cas d'infection par le virus West Nile ont également été recensés dans notre pays en 1960 ; et à la suite d'une épidémie survenue à Bucarest en 1996, d'autres pays européens, dont la France, ont été touchés.

\* Texte de la conférence présentée lors des Journées AEEMA, 22-23 mai 2008

<sup>1</sup> IRD, Centre de Montpellier, UR-016 Biologie et contrôle des vecteurs, France

Plus récemment, des cas de dengue ou de chikungunya importés ont été recensés en métropole. La Grèce a connu en 1927 une épidémie de dengue avec plus d'un million de personnes infectées. C'est donc que le (les) vecteur(s) étai(en)t présent(s) sur le continent. En France métropolitaine, près de 900 cas de chikungunya et 300 cas de dengue ont récemment été importés, mais aucun cas secondaire n'a été détecté à ce jour, contrairement à l'Italie où près de 250 personnes y ont contracté une infection par le chikungunya en 2007.

Le paludisme est lui 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. Seules les infections autochtones (cas secondaires ou « paludisme d'aéroport ») doivent être signalées et elles restent tout à fait exceptionnelles. La plupart des cas de paludisme recensés en métropole sont observés au retour d'Afrique, généralement pour des vacances de personnes vivant sur le territoire français et qui ne se protègent pas (ou mal) par une chimioprophylaxie efficace. 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].

Les maladies animales sont elles aussi en prise avec l'actualité des maladies à transmission vectorielle : la fièvre catarrhale ovine a fait son apparition ces dernières années dans les pays du Sud de l'Europe et, plus récemment, dans le Nord de l'Europe.

Enfin, les maladies des végétaux sont aussi concernées par la transmission vectorielle puisque la majorité des virus de plantes sont transmis par des vecteurs (souvent des insectes Hémiptères).

La liste des maladies humaines ou animales qui sévissent en Europe et qui présentent un mode de transmission vectorielle est considérable (tableau 1). Il n'est pas question ici de vouloir traiter ce vaste sujet tant sur le plan historique que sur celui des risques d'émergence ou de réémergence. L'objectif de cet article introductif est plus modestement de présenter la notion de vecteur, de discuter cette notion au regard de quelques maladies choisies pour illustrer la diversité des transmissions, qu'elles soient vectorielles ou non, et de dégager les idées fortes de la compétence et de la capacité vectorielle.

---

## II - QU'EST-CE QU'UN VECTEUR ?

---

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. 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 dont les pattes sont souillées par des bactéries), 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, le culicoïde qui inocule par piqûre le virus de la fièvre catarrhale ovine).

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 & Perez, 1985].

**Tableau 1**  
**Quelques maladies à transmission vectorielle (liste non exhaustive)**

	Agent de la maladie	Maladies	Distribution	
			Europe occidentale	Reste du monde
<b>Virus (arbovirus)</b>	<i>Togaviridae</i> , Alphavirus	Chikungunya	X	x
		Encéphalite équine	X	x
	<i>Flaviviridae</i> , Flavivirus	Fièvre jaune		x
		West Nile	X	x
		Dengue		x
		Encéphalite européenne à tiques	X	
	<i>Reoviridae</i> , Orbivirus	Fièvre catarrhale ovine	X	x
<i>Bunyaviridae</i> , Nairovirus	Fièvre hémorragique de Crimée-Congo	X	x	
<b>Bactéries</b>	<i>Borrelia burgdorferi</i>	Maladie de Lyme	X	x
	<i>Borrelia crocidurae</i>	Fièvre récurrente à tiques	X	
	<i>Borrelia hispanica</i>	Borréliose à tiques		x
	<i>Yersinia pestis</i>	Peste		x
	<i>Coxiella burneti</i>	Fièvre Q	X	x
	<i>Rickettsia conorii</i>	Fièvre boutonneuse méditerranéenne	X	x
<b>Protozoaires</b>	<i>Leishmania sp.</i>	Leishmanioses	X	x
	<i>Plasmodium sp</i>	Paludisme humain		x
	<i>Plasmodium sp</i>	Paludisme aviaire	X	x
	<i>Trypanosoma cruzi</i>	Maladie de Chagas		x
	<i>Trypanosoma gambiense</i>	Maladie du sommeil		x
	<i>Babesia divergens</i>	Babésioses ou piroplasmose de la fièvre hémoglobinurique des bovins	X	x
<b>Métazoaires</b>	<i>Dirofilaria repens</i>	Dirofilariose sous-cutanée	X	x
	<i>Dirofilaria immitis</i>	Dirofilariose cardio-pulmonaire du chien	X	x
	<i>Loa loa</i>	Loase		x
	<i>Wuchereria bancrofti</i>	Filariose de Bancroft		x

L'agent infectieux est des plus variés : virus, bactérie, protozoaire, métazoaire ; il est pathogène ou non. Par définition, les virus ainsi transmis relèvent des arbovirus ("arthropod borne viruses" = virus apportés par arthropodes). Le vertébré est, bien entendu, un homme ou un animal ; parfois même un homme et un animal, dans le cas des zoonoses.

L'hématophagie est une notion centrale. L'ingestion de sang, nourriture liquide riche en nutriments (et en eau) impose une gestion de la coagulation et, de fait, toutes les salives d'hématophages sont anticoagulantes. Une autre contrainte est celle d'empêcher le reflux de cette nourriture liquide une fois ingérée ; divers systèmes de pompe aspirante ou de valve sont efficaces. Enfin des mécanismes de concentration du bol alimentaire fonctionnent pour augmenter la quantité ingérée et/ou réduire le poids du bol alimentaire.

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 collègues [2005] dans leur *Dictionnaire de parasitologie médicale et vétérinaire* suggèrent d'étendre la définition des vecteurs aux mollusques hôtes intermédiaires des trématodes.

Notons enfin le cas des oiseaux sauvages d'eau et des rivages qui sont les hôtes et le réservoir de nombreux virus de l'influenza aviaire (IA). Quoique le rôle de ces oiseaux dans la dissémination des virus ne soit pas démontré [Yee *et al.*, 2008], on a tendance à associer leur capacité de migration à grande distance avec un éventuel transport par des oiseaux infectés. De fait, on entend couramment tout oiseau infecté désigné comme « vecteur » d'IA. Mais, en raison de la définition des vecteurs, centrée sur le mode de transmission de l'agent infectieux, ces oiseaux ne sont pas des « vecteurs actifs biologiques » même si, d'évidence, ils sont « vecteur passif » au regard du transport du virus, « actifs » dans leurs déplacements, et « biologiques » au regard de la multiplication

virale. Il en découle que l'IA est bien une maladie vectorisée mais qu'elle n'est pas une maladie à vecteurs !

La catégorie de vecteurs biologiques actifs désigne ordinairement un arthropode, insecte ou tique (tableau 2), plus rarement une sangsue ou une chauve-souris vampire.

**Tableau 2**  
**Principaux vecteurs insectes et acariens**

Classe	Ordre	Famille	Stades hémato-phages	Stades préimaginaux
Insectes	Diptères	<i>Culicidae</i> = moustiques	Adultes femelles	Aquatiques
		<i>Simulidae</i> = simulies	Adultes femelles	Aquatiques
		<i>Phlebotominae</i> = phlébotomes	Adultes femelles	Terrestres
		<i>Tabanidae</i> = taons : <i>Chrysops</i>	Adultes femelles	Terrestres
		<i>Ceratopogonidae</i> : <i>Culicoides</i>	Adultes femelles	Terrestres
		<i>Glossinidae</i> = mouches tsé-tsé	Adultes mâles et femelles	Terrestres
	Siphonaptères (= puces)		Adultes mâles et femelles	Terrestres
	Hémiptères Hétéroptères	Punaises : réduves, triatomes	Adultes mâles et femelles, et immatures	Terrestres
	Anoploures	Poux	Adultes mâles et femelles, et immatures	Ectoparasites
	Arachnides	Acariens	<i>Ixodidae</i> = tiques dures	Adultes mâles et femelles, et immatures
<i>Argasidae</i> = tiques molles			Adultes mâles et femelles, et immatures	Terrestres

## 1. LES INSECTES VECTEURS

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 de la maladie, 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 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 de *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 moustiques du genre *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 en général dans les zones défavorisées que leur densité est la plus forte mais, même dans les zones résidentielles, les

conditions peuvent leur être favorables. Les flambées épidémiques de ces maladies virales trouvent généralement un large écho dans les médias.

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. En réalité, 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 1300 espèces recensées de cératopogonides, seule une quinzaine (du genre *Culicoides*) est connue ou décrite comme susceptible de transmettre le virus de la fièvre catarrhale ovine.

La **simulie** est un moucheron qui est capable de transmettre l'onchocercose, également connue sous le nom de cécité des rivières car les larves de ce vecteur se développent exclusivement dans les cours d'eau africains là où ces derniers forment des rapides ou des chutes. La cécité n'apparaît qu'au bout de nombreuses années d'exposition et de fortes charges parasitaires.

Les **taons** appartiennent à la famille des *Tabanidae*. Ce sont des mouches trapues aux grands yeux composés. Les femelles se nourrissent du sang des grands mammifères alors que les mâles ne consomment que du nectar. Ces insectes sont pratiquement tous diurnes. Ils jouent un rôle dans la transmission des trypanosomes animaux. Les chrysops sont responsables d'une helminthose humaine due à *Loa loa* qui est une filariose du tissu conjonctif. Les tabanidés transmettent

également, mais de façon passive, la leucose bovine enzootique et l'anémie infectieuse des équidés.

Les **puces** constituent l'ordre des siphonaptères. A 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 *Xenopsylla cheopsis* qui est la puce du rat. L'agent de cette maladie est le bacille *Yersinia pestis* qui affecte aussi bien les animaux que les hommes.

Les **réduves** ou **triatomes** sont des punaises hématophages qui transmettent l'agent de la maladie de Chagas, due à *Trypanosoma cruzi* limité à 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.

A 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 est l'un des principaux vecteurs du typhus.

## 2. 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). Les *Argasidae*, au contraire, 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 borrelioses. Elles ont, de plus, acquies une certaine notoriété depuis que la maladie de Lyme est devenue un problème de santé publique dans les zones tempérées des Etats-Unis d'Amérique et d'Europe. Les zones à risque sont constituées d'étendues de forêt peuplées d'animaux tels que les cervidés, où l'on peut être contaminé par le spirochète responsable de la maladie. L'encéphalite à tiques en Europe et la maladie de la forêt de Kysanur en Asie du Sud-Est sont des viroses graves dont le taux de mortalité est élevé.

### 3. LES AUTRES VECTEURS HEMATOPHAGES

Les **chauves-souris** de la sous-famille *Desmodontinae* sont appelées communément vampires car elles sont hématophages. Le vampire entaille le tégument d'un vertébré et lape le sang plutôt qu'il ne le suce ; la salive anticoagulante permet ce mode d'alimentation. Contrairement à la croyance populaire, ces chauves-souris s'attaquent assez rarement à l'homme. Elles sont partiellement insectivores. Seulement trois espèces de chauves-souris vampires existent, toutes en Amérique latine. Les vampires constituent un important vecteur de la rage qui, outre son danger pour l'homme, est annuellement responsable de la mort de plusieurs milliers d'animaux de ferme. Les vampires sont également vecteurs de *Trypanosoma evansi* et chez ces chauves-souris, le trypanosome se multiplie activement.

Les **sangsues** sont des annélides de la sous-classe des Hirudinea et regroupent environ 650 espèces de 1 à 20 cm de longueur. Environ 300 espèces sont des parasites temporaires d'animaux marins, d'eau douce ou terrestres. Les sangsues sont les vecteurs de plusieurs *Trypanosoma*, *Cryptobia* et *Haemogregarina* qui infectent des poissons d'eau douce comme d'eau de mer. Elles sont aussi vectrices de trypanosomes de grenouilles et de tortues [Molyneux, 1977].

### 4. MALADIES TRANSMISSIBLES ET NOTION DE VECTEURS

Pour la transmission d'un certain nombre d'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 moucheron simulies vecteurs de l'onchocercose humaine).

Les modalités de la transmission d'agents infectieux sont extrêmement diverses. Une série d'exemples aidera à mieux cerner la notion de vecteur.

En Belgique, existe un foyer épidémique d'un **hantavirus**, sérotype « Puumala », dans l'Entre-Sambre-et-Meuse, avec une centaine de cas annuels. Quelques cas ont également été observés dans le Nord et le Nord-Est de la France. Ce virus infecte des campagnols forestiers. La transmission à l'homme se fait par l'urine et les déchets fécaux des rongeurs, par inhalations et brèches cutanées. Le rongeur est clairement l'hôte principal. La transmission directe, par aérosols, n'est pas vectorielle.

Les rongeurs sont d'importants réservoirs de nombreux germes pathogènes, notamment ceux qui provoquent la peste (transmise du rat à l'homme par la puce), la leishmaniose dans certaines républiques d'Asie Centrale, la leptospirose et un certain nombre de viroses et de rickettsioses.

Dans le cas de la **schistosomose** à *Schistosoma haematobium* ou *S. mansoni*, le cercaire est l'agent infectieux. Il pénètre dans l'homme, activement, avec 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, la transmission n'est pas vectorielle.

La **maladie de la griffade de chat** est due à *Bartonella henselae*. Le chat est fréquemment bactériémique asymptomatique. La puce du chat se contamine avec un repas de sang et ses déjections contaminent le pelage et les griffes du chat. La transmission à l'homme se fait par griffade. Le chat est hôte, la puce est hôte et vecteur actif. Dans ce cas, la transmission entre chat et puce fait intervenir un vecteur, mais la transmission à l'homme n'est pas vectorielle. Il faut ajouter à cela que 10 espèces d'animaux domestiques et sauvages ont été trouvés infectés par *B. henselae* et que la transmission vectorielle par la tique *Ixodes ricinus* a récemment été démontrée incluant l'infection de la tique par repas sanguin, la migration et la multiplication de la bactérie dans les glandes salivaires de la tique, et l'inoculation à l'hôte vertébré par piqûre (Cotté et al., 2008).

Une grave maladie due à un arbovirus de la famille *Flaviviridae*, qui sévit en Europe de l'Est est l'**encéphalite européenne à tiques**. Des cas ont été observés dans 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 consommation de lait cru non pasteurisé.

Le cas du **paludisme**, dû à des *Plasmodium*, première parasitose humaine mondiale, est bien documenté. La transmission s'effectue selon trois modes : (i) vectoriel (piqûre d'un moustique anophèle femelle), (ii) transfusionnel ou par greffe, via des érythrocytes infectés, (iii) trans-placentaire, *in utero*, de la mère au fœtus. La transmission vectorielle, en zone d'endémo-épidémie, est très majoritaire.

Des centaines d'espèces de virus de plantes, dont nombre d'entre eux présentent une importance économique considérable, sont transmis par piqûre d'insectes Homoptères (en particulier les Aphides ou pucerons). La plupart de ces virus sont vectorisés selon un mode dit non circulant et non propagatif en ce sens qu'ils ne pénètrent pas dans les cellules de l'insecte, y compris dans l'épithélium digestif, et qu'ils ne s'y multiplient donc pas. Ainsi, les particules virales de la mosaïque du chou-fleur (CaMV) se fixent sur les pièces buccales du puceron *Brevicoryne brassicae* sur des différenciations de l'extrémité des maxilles au niveau du canal unique (alimentaire + salivaire), via des récepteurs spécifiques du virus, de nature protéique et enchassés dans la matrice cuticulaire (Uzest *et al.*, 2007). Dès lors, cette transmission n'est pas consécutive à une triviale souillure des pièces buccales et une étroite spécificité existe entre le virus et son vecteur.

---

### III - LA TRANSMISSION VECTORIELLE

---

L'émergence d'une maladie vectorisée peut être due à de nombreuses causes dont les plus évidentes sont l'introduction du pathogène dans des zones où le(les) vecteur(s) est(sont) présent(s), et/ou l'invasion et la pullulation de vecteurs dans des régions préalablement indemnes.

Des récents cas 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]. La fièvre catarrhale ovine, également appelée maladie de la langue bleue (« Bluetongue » en anglais), est une maladie du bétail due à un arbovirus. Sa répartition concernait essentiellement les zones subtropicales du fait de la biologie de son vecteur, des moucheron piqueurs de la famille des *Ceratopogonidae* et du genre *Culicoides*. Le sérotype 1 du virus a

fait son apparition ces dernières années dans les pays du Sud de l'Europe (Grèce, Italie, Espagne et également la Corse), probablement en provenance du Maghreb. Très récemment le sérotype 8 du virus est apparu de façon surprenante dans le Nord de l'Europe (Allemagne, Belgique, Pays-Bas et France continentale), illustrant, là encore, l'émergence d'une maladie par introduction de l'agent pathogène. Plus de 6 000 cas sont déjà répertoriés pour le seul premier semestre 2008.

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 invasive ; 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, par un homme virémique

infecté en zone endémique. Une transmission autochtone a occasionné près de 250 cas probables ou confirmés de chikungunya, dans la région Emilia-Romagna, entre le 15 juin et le 12 septembre 2007.

La connaissance des vecteurs est évidemment essentielle pour la compréhension des maladies vectorisées. La détermination des espèces potentiellement vectrices est toujours essentielle, et 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 de 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'espèce de moustiques est de 64, en incluant désormais *Aedes albopictus* [Schaffner *et al.*, 2001, Vazeille *et al.*, 2008]. Comme autre exemple, on a actuellement répertorié près de 50 000 espèces d'acariens, mais la diversité réelle du groupe est probablement supérieure au million d'espèces [Walter et Proctor, 1999].

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 nocturne ne permet pas à l'organisme de ce dernier 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.

En matière de transmission vectorielle, chacun associe spontanément l'image d'un insecte en train d'injecter un agent 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. Son pendant, la transmission homme-moustique qui s'effectue aussi lors de la prise d'un repas de sang, doit également être prise en compte car un moustique pourra transmettre le *Plasmodium* uniquement s'il s'est lui-même préalablement infecté et si le parasite a pu accomplir avec succès toutes les étapes de son développement au sein de son vecteur, faisant ainsi passer ce dernier de l'état de moustique infecté à celui de moustique 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.

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 de l'agent pathogène et enfin à le transmettre au vertébré par une piqûre* ». En d'autres termes, la compétence vectorielle mesure le niveau de coadaptation agent/pathogène-vecteur /invertébré, et dépend essentiellement de facteurs génétiques. A 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.

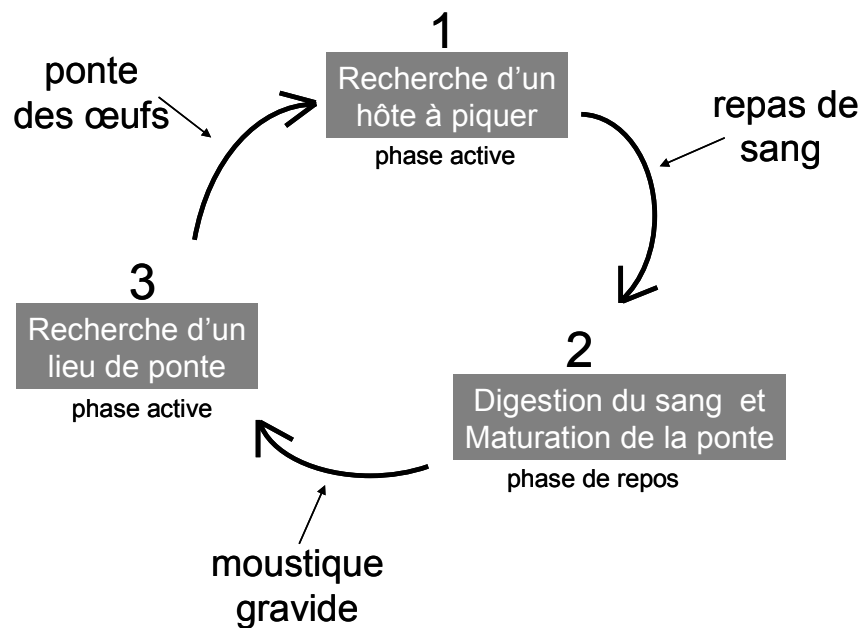
La notion de capacité vectorielle sera abordée en poursuivant l'exemple sur le paludisme : si

un anophèle prend son 2<sup>ème</sup> 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, voir figure 1), 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<sup>ème</sup> repas sanguin, lui-même étant alors âgé de 17 jours.

Figure 1

### Cycle gonotrophique d'un moustique femelle adulte

Ce cycle commence par une phase active de recherche d'un hôte convenable à piquer. Dès le repas de sang ingéré, la deuxième phase, ordinairement la plus longue, permet la digestion du sang et l'élaboration de la ponte. Lorsque le moustique femelle est prêt à pondre (la femelle est alors gravide), elle se met en quête d'un gîte convenable pour pondre. Ce cycle est bouclé en 2 à 7 jours (selon les espèces et la température) et, une fois achevé, il peut aussitôt se renouveler.



La survie de ce moustique jusqu'à son 17<sup>ème</sup> 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 partir des paramètres de Macdonald [1957] ; (encadré

1). 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 (encadré 1). 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.

### Encadré 1

#### Définition et calcul de la capacité vectorielle des moustiques

[d'après Macdonald, 1957 et Garrett-Jones, 1964]

$$\text{Capacité vectorielle} = \frac{ma a p^n}{-\text{Log}_e p}$$

- ma** = taux de piqûre du moustique (par homme)  
**a** = fréquence journalière d'alimentation du moustique sur homme  
**p** = taux quotidien de survie du moustique  
**n** = durée de l'incubation extrinsèque du parasite

En pratique, on obtient :

- ma**, par dénombrement de moustiques au cours de captures sur homme  
**a**, par le rapport entre anthropophilie et durée du cycle gonotrophique (L)  
**p**, par la racine  $L^{\text{ème}}$  du taux de parturité (nombre de femelles pares, sur nombre de femelles pares plus nullipares)  
**n**, par l'observation en insectarium de moustiques expérimentalement infectés

---

## IV - REMARQUES CONCLUSIVES

---

De cette introduction aux vecteurs et aux maladies à transmission vectorielle, il ressort que les maladies à transmission vectorielle sont nombreuses. Si les zones tropicales sont les plus touchées par ces maladies, l'Europe occidentale n'est pas épargnée. La notion de vecteur peut être perçue différemment selon les interlocuteurs et exige une définition

précise. Les vecteurs appartiennent essentiellement aux vastes groupes des insectes et des tiques. L'hématophagie est au cœur du fonctionnement des systèmes vectoriels. La compréhension des modalités de la transmission vectorielle implique une connaissance approfondie de la biologie du vecteur.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

Armengaud A., Legros F., D'Ortenzio E., Quatresous I., Barre H., Houze S., Valayer P., Fanton Y. & Schaffner F. - A

case of autochthonous *Plasmodium vivax* malaria, Corsica, August 2006. *Travel Med. Infect. Dis.*, 2008, 6(1-2), 36-40.

- Cotté V., Bonnet S., Le Rhum D., Le Naour E., Chauvin A., Boulouis H.-J., Lecuelle B., Lilin T. & Vayssier-Taussat M. – Transmission of *Bartonella henselae* by *Ixodes ricinus*. *Emerg. Infect. Dis.*, 2008, **14**(7), 1074-1080.
- Doudier B., Bogreau H., DeVries A., Ponçon N., Stauffer W.M. 3rd, Fontenille D., Rogier C. & Parola P. - Possible autochthonous malaria from Marseille to Minneapolis. *Emerg. Infect. Dis.*, 2007, **13**(8), 1236-1238.
- Dye C. - The analysis of parasite transmission by bloodsucking insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 1992, **37**, 1-19.
- Enserink M. - A mosquito goes global. *Science*, 2008 (16 may), **320**, 8664-8866.
- Euzéby J., Bourdoiseau G. & Chauve C.M. - *Dictionnaire de parasitologie médicale et vétérinaire*, 492 pages, Editions tec & doc, Lavoisier, Londres, 2005.
- Fontenille D. - Ecosystèmes, entomologie et lutte anti-vectorielle. *Responsabilité & environnement*, 2008, 51, **55-60**.
- Garret-Jones C. - Prognosis for interruption of malaria transmission through assessment of the mosquito's vectorial capacity. *Nature*, 1964, **204**, 1173-1175.
- Lord C.C., Woolhouse M.E., Heesterbeek J.A. & Mellor P.S. - Vector-borne diseases and the basic reproduction number: a case study of African horse sickness. *Med. Vet. Entomol.*, 1996, **10**(1), 19-28.
- Macdonald G. - *The epidemiology and control of malaria*, Oxford University Press, London, New York, Toronto, 1957.
- Molyneux D.H. - Vector relationships in the Trypanosomatidae. *Advances Parasitol.*, 1977, **15**, 1-82.
- Reinert J.F. - 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.*, 2000, **16**, 175-188.
- Reinert J.F., Harbach R.E. & Kitching I.J. - Phylogeny and classification of Aedini (Diptera: Culicidae), based on morphological characters of all life stages. *Zool. J. Linnean Soc.*, 2004, **142**, 289-368.
- Rodhain F. & Perez C. - *Précis d'entomologie médicale et vétérinaire, Notions d'épidémiologie des maladies à vecteurs*, 458 pages, Ed. Maloine, 1985, Paris.
- Roubaud E. - Recherches sur la transmission du paludisme par les anophèles de régions non palustres (Yonne et région parisienne). *Ann. Inst. Pasteur*, 1918, **10**, 430-462.
- Schaffner F., Angel G., Geoffroy B., Hervy J.P., Rhaïem A. & Brunhes J. - *Les moustiques d'Europe - The mosquitoes of Europe*. Coll. Didactiques, CD-ROM, IRD éditions, 2001.
- Tran A., Biteau-Coroller F., Guis H. & Roger F. - Modélisation des maladies vectorielles. *Epidémiol. et santé anim.*, 2005, **47**, 35-51.
- Uzest M., Gargani D., Drucker M., Hébrard E., Garzo E., Candresse T., Fereres A. & Blanc S. – A protein key to plant virus transmission at the tip of the insect vector stylet. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, **104**(46), 17959-17964.
- Vazeille M., Moutailler S., Coudrier D., Rousseaux C., Khun H., Huerre M., Thiria J., Dehecq J.S., Fontenille D., Schuffenecker I., Despres P. & Failloux A.B. - Two chikungunya isolates from the outbreak of La Reunion (Indian Ocean) exhibit different patterns of infection in the mosquito *Aedes albopictus*. *PLoS ONE*, 2007, **2**(11), e1168.
- Vazeille M., Jeannin C., Martin E., Schaffner F. & Failloux A.B. - Chikungunya: a risk for Mediterranean countries? *Acta Tropica*, 2008, **105**, 200-202.
- Walter D.E. & Proctor H.C. - *Mites: Ecology, Evolution and Behaviour*, CAB International, 1999.
- Walter Reed Biosystematics Unit - 2001 Systematic catalogue of Culicidae - <http://www.mosquitocatalog.org/>
- Yee K.S., Carpenter T.E. & Cardona C.J. - Epidemiology of H5N1 avian influenza. *Comp Immunol. Microbiol. Infect. Dis.*, 2008 Apr 28. [Epub ahead of print]

