

Université de Limoges  
Faculté de Pharmacie

Année 2018

Thèse N°

Thèse pour le diplôme d'Etat de docteur en Pharmacie

présentée et soutenue publiquement  
le 19 janvier 2018  
par

**Adrien Beaudrouet**

né le 23 janvier 1988, à Limoges

**Le réchauffement climatique et ses conséquences  
sur le comportement de quelques Diptères vecteurs  
d'infections humaines en France Métropolitaine**

Examineurs de la thèse :

M. le Professeur Gilles Dreyfuss

M. Bertrand Courtioux, Maître de Conférences

M. Yohan Desbordes, Docteur en pharmacie

Président

Juge

Juge







**Université de Limoges**  
**Faculté de Pharmacie**

Année 2018

Thèse N°

Thèse pour le diplôme d'Etat de docteur en Pharmacie

présentée et soutenue publiquement

le 19 janvier 2018

par

**Adrien Beaudrouet**

né le 23 janvier 1988, à Limoges

**Le réchauffement climatique et ses conséquences  
sur le comportement de quelques Diptères vecteurs  
d'infections humaines en France Métropolitaine**

Examineurs de la thèse :

M. le Professeur Gilles Dreyfuss

M. Bertrand Courtioux, Maître de Conférences

M Yohan Desbordes, Docteur en pharmacie

Président

Juge

Juge



## Liste des enseignants

---

**DOYEN DE LA FACULTE** : Monsieur le Professeur Jean-Luc **DUROUX**

**VICE-DOYEN** : Madame le Professeur Catherine **FAGNERE**

**ASSESEURS** : Madame le Professeur Sylvie **ROGEZ**

Monsieur le Professeur Serge **BATTU**

### **PROFESSEURS :**

**BATTU** Serge CHIMIE ANALYTIQUE

**CARDOT** Philippe CHIMIE ANALYTIQUE ET BROMATOLOGIE

**DESMOULIERE** Alexis PHYSIOLOGIE

**DUROUX** Jean-Luc BIOPHYSIQUE, BIOMATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE

**FAGNERE** Catherine CHIMIE THERAPEUTIQUE – CHIMIE ORGANIQUE

**LIAGRE** Bertrand BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE

**MAMBU** Lengo PHARMACOGNOSIE **ROUSSEAU** Annick BIostatistique

**TROUILLAS** Patrick CHIMIE PHYSIQUE – PHYSIQUE

**VIANA** Marylène PHARMACOTECHNIE

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES :**

**PICARD** Nicolas PHARMACOLOGIE

**ROGEZ** Sylvie BACTERIOLOGIE ET VIROLOGIE

**SAINT-MARCOUX** Franck TOXICOLOGIE

**ASSISTANT HOSPITALIER UNIVERSITAIRE DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES :**

**CHAUZEIX** Jasmine (renouvelé jusqu'au 01.11.2018) HEMATOLOGIE

**JOST** Jérémy (01.11.2016 pour 2 ans) PHARMACIE CLINIQUE

**MAITRES DE CONFERENCES :**

**BASLY** Jean-Philippe CHIMIE ANALYTIQUE ET BROMATOLOGIE

**BEAUBRUN-GIRY** Karine PHARMACOTECHNIE

**BILLET** Fabrice PHYSIOLOGIE

**CALLISTE** Claude BIOPHYSIQUE, BIOMATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE

**CHEMIN** Guillaume BIOCHIMIE FONDAMENTALE

**CLEDAT** Dominique CHIMIE ANALYTIQUE ET BROMATOLOGIE

**COMBY** Francis CHIMIE ORGANIQUE ET THERAPEUTIQUE

**COURTIOUX** Bertrand PHARMACOLOGIE, PARASITOLOGIE

**DELEBASSEE** Sylvie MICROBIOLOGIE-PARASITOLOGIE-IMMUNOLOGIE

**DEMIOT** Claire-Elise PHARMACOLOGIE

**FROISSARD** Didier BOTANIQUE ET CRYPTOLOGAMIE

**FABRE** Gabin CHIMIE PHYSIQUE – PHYSIQUE

**GRIMAUD** Gaëlle CHIMIE ANALYTIQUE ET CONTROLE DU MEDICAMENT

**JAMBUT** Anne-Catherine CHIMIE ORGANIQUE ET THERAPEUTIQUE

**LABROUSSE** Pascal BOTANIQUE ET CRYPTOLOGAMIE

**LEGER** David BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE

**MARION-THORE** Sandrine CHIMIE ORGANIQUE ET THERAPEUTIQUE

**MARRE-FOURNIER** Françoise BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE

**MERCIER** Aurélien PARASITOLOGIE

**MILLOT** Marion PHARMACOGNOSIE

**MOREAU** Jeanne MICROBIOLOGIE-PARASITOLOGIE-IMMUNOLOGIE

**MUSUAMBA TSHINANU** Flora PHARMACOLOGIE

**PASCAUD** Patricia PHARMACIE GALENIQUE – BIOMATERIAUX CERAMIQUES

**POUGET** Christelle CHIMIE ORGANIQUE ET THERAPEUTIQUE

**VIGNOLES** Philippe BIOPHYSIQUE, BIOMATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE

**ATTACHE TEMPORAIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE :**

**BONNET** Julien (01.10.2016 au 31.08.2018) PHARMACOLOGIE

**LAVERDET** Betty (1.09.2016 au 31.08.2018) PHARMACIE GALENIQUE

**PROFESSEURS EMERITES :**

**BUXERAUD** Jacques (jusqu'au 30/09/2019)

**DREYFUSS Gilles** (jusqu'au 30/09/2019)

**MOESCH** Christian (1er janvier 2017-1er janvier 2019)

## **Remerciements**

---

**A mon jury ;**

**A Monsieur le Professeur Gilles Dreyfuss**  
**Professeur émérite de l'Université de Limoges**

Merci de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse de fin d'étude.

Je tiens à vous remercier également de votre disponibilité, votre écoute et vos précieux conseils.

Je vous témoigne tout mon respect et ma reconnaissance.

**A Monsieur Bertrand Courtioux**

**Maître de conférences**

Je vous remercie d'avoir accepté spontanément de diriger mon travail. Merci encore pour le temps que vous m'avez consacré et toute l'aide que vous m'avez apportée.

Soyez assuré de ma sincère gratitude.

**A mon ami Yohan Desbordes**

**Docteur en pharmacie**

Merci à toi de me faire le plaisir de siéger dans ce jury, après avoir partagé ensemble une première année de concours que l'on a réussie à rendre agréable.

Je te témoigne mon amitié.

### **A mon épouse Céline**

Je te remercie pour tout le soutien que tu m'as apporté durant toutes ces années, pour la relecture de cette thèse et surtout ta patience. Merci de l'amour que tu me portes.

### **A mes parents**

A mes parents qui ont fait plus que de participer à la réussite de mes études. Pour tous vos encouragements, pour tout ce que vous faites pour nous depuis toujours, je vous témoigne tout mon amour. Vous avez toujours cru en moi et je le ressens.

### **A ma sœur, mon frère, Alex et Fifi**

Je vous remercie pour tous ces bons moments passés et à venir, de votre investissement dans mes projets, et merci pour ces superbes neveux.

### **A ma grand-mère**

Merci de t'intéresser autant à moi et à mes études.

### **A mes beaux-parents et à Mathieu**

Merci de votre présence et à toute l'affection que vous me portez.

### **A ma marraine Nathalie**

Merci de m'avoir aidé dans les moments cruciaux de ma scolarité et d'avoir toujours été là pour moi.

**A toute ma famille** qui s'est toujours soucié de mon avenir,

Marie-Aude, Pierre, Roger, Paul, Mimi, et tous les cousins... merci de votre affection.

### **A mes amis**

De la fac, du rugby, du lycée, d'enfance, merci pour toutes ces belles années et faisons-en sorte quelles perdurent.

Merci plus particulièrement au Kré pour ces nuits interminables de révisions ainsi qu'à Titi pour la "pseuso coloc" de première année.

Merci à Gautier pour ses talents de traducteur.

Merci à José et La Rifle pour m'avoir accompagné dans cette dernière ligne droite.



## Droits d'auteurs

---

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



## Sommaire

---

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 13 |
| I. Les différents vecteurs en France.....   | 14 |
| I.1. Données entomologiques sur les moustiques [3] [53] .....                     | 15 |
| I.1.1. Morphologie générale d'un moustique [53] .....                             | 16 |
| I.1.2. Biologie générale d'un moustique [4] [5] .....                             | 18 |
| I.1.2.1 Le stade ovulaire.....  | 19 |
| I.1.2.2 Le stade larvaire .....   | 20 |
| I.1.2.3 Le stade nymphal.....   | 21 |
| I.1.2.4 Le stade adulte .....   | 21 |
| I.2. Genre <i>Aedes</i> .....   | 22 |
| I.2.1. Classification [6] .....   | 22 |
| I.2.2. Morphologie d' <i>Aedes albopictus</i> .....                               | 24 |
| I.2.3. Biologie [7] [8] [9].....  | 25 |
| I.2.3.1 La ponte.....   | 25 |
| I.2.3.2 Stade adulte et aspect comportemental .....                               | 25 |
| I.2.4. Origine de l'expansion géographique d' <i>Aedes albopictus</i> . [7] ..... | 27 |
| I.2.5. Implantation d' <i>Aedes albopictus</i> en France [53] .....               | 28 |
| I.2.6. Le Chickungunya [11] [12] [13].....  | 29 |
| I.2.6.1 Symptômes.....  | 30 |
| I.2.6.2 Transmission.....   | 30 |
| I.2.6.3 Epidémiologie .....   | 31 |
| I.2.7. La Dengue [11] [12] [14] .....   | 32 |
| I.2.7.1 Symptômes.....  | 32 |
| I.2.7.2 Transmission.....   | 33 |
| I.2.7.3 Epidémiologie .....   | 33 |
| I.2.8. Le Zika [11].....  | 34 |
| I.2.8.1 Symptômes.....  | 34 |
| I.2.8.2 Epidémiologie .....   | 35 |
| I.3. Genre <i>Anopheles</i> [17] [14] [11] .....                                  | 35 |
| I.3.1. Classification .....   | 35 |
| I.3.2. Morphologie.....   | 36 |
| I.3.3. Biologie .....   | 37 |
| I.3.3.1 La ponte et le stade ovulaire .....                                       | 37 |
| I.3.3.2 Stade larvaire.....   | 37 |
| I.3.3.3 Stade nymphal.....  | 38 |
| I.3.3.4 Stade adulte et aspects comportementaux .....                             | 38 |
| I.3.4. Le Paludisme [9] [19].....   | 39 |
| I.3.4.1 Symptômes.....  | 39 |
| I.3.4.2 Transmissions et cycle parasitaire .....                                  | 41 |
| I.3.4.3 Epidémiologie .....   | 41 |
| I.4. <i>Culex</i> [9] .....   | 42 |
| I.4.1. Classification .....   | 42 |
| I.4.2. Morphologie [38].....  | 43 |
| I.4.3. Biologie .....   | 43 |
| I.4.4. Stade adulte et aspect comportemental.....                                 | 44 |

|  |    |
|--|----|
| I.4.5. La fièvre de West-Nile [9] [58] [59].....                               | 44 |
| I.4.5.1 Symptômes.....   | 44 |
| I.4.5.2 Transmission.....  | 45 |
| I.4.5.3 Epidémiologie .....  | 45 |
| I.5. Les Phlébotomes [17] [23] [24].....                                       | 46 |
| I.5.1. Classification .....  | 46 |
| I.5.2. Morphologie.....  | 47 |
| I.5.3. Biologie [10].....  | 48 |
| I.5.4. Mode de vie [17] [24] .....   | 49 |
| I.5.5. La Leishmaniose .....   | 50 |
| II. Le réchauffement climatique, conséquences sur la santé humaine .....       | 52 |
| II.1. Evolution du climat en France [26] .....                                 | 52 |
| II.1.1. Etude de la température moyenne annuelle jusqu'à nos jours .....       | 52 |
| II.1.2. Etude des prévisions climatiques en France.....                        | 54 |
| II.2. Conséquences sur la santé humaine [1] .....                              | 56 |
| II.2.1. Conséquences sur le Chikungunya, la dengue et Zika [29] [30] [31]..... | 57 |
| II.2.1.1 Propagation d' <i>Aedes albopictus</i> en France Métropolitaine ..... | 57 |
| II.2.1.2 Risque potentiel d'épidémies .....                                    | 60 |
| II.2.2. Conséquence sur le paludisme [32] [33] [34].....                       | 62 |
| III. Traitement-Prophylaxie-Conseil à l'officine .....                         | 66 |
| III.1. Conseils aux voyageurs .....  | 66 |
| III.1.1. Prévention des piqûres [36].....                                      | 66 |
| III.1.1.1 Différents moyens de prévention.....                                 | 66 |
| III.1.1.2 Liste des insecticides disponibles.....                              | 68 |
| III.1.2. Chimio-prophylaxie et vaccination .....                               | 69 |
| III.1.2.1 Chimio-prophylaxie du paludisme [37] [19].....                       | 69 |
| III.1.2.2 Cas de la Dengue .....   | 71 |
| III.1.2.3 Cas du Chikungunya.....  | 71 |
| III.2. Lutte antivectorielle [40] [41] .....                                   | 72 |
| III.2.1. Pièges pondoires.....   | 74 |
| III.2.2. Traitements insecticides .....  | 76 |
| III.3. Le rôle du pharmacien d'officine [52] [53] [54].....                    | 77 |
| III.3.1. Conseils pour l'élimination individuelle des lieux de ponte .....     | 77 |
| III.3.2. Choix du répulsif cutané .....  | 78 |
| III.3.3. Méthodes et périodes d'application des répulsifs cutanés .....        | 79 |
| III.3.4. Conduite à tenir pour les voyageurs .....                             | 80 |
| Conclusion .....   | 81 |
| Références bibliographiques .....  | 82 |
| Serment de Galien .....  | 88 |

## Table des illustrations

---

Figure 1 : Classification des moustiques

Figure 2 : Schéma général d'un moustique, exemple de *Culex pipiens*

Figure 3 : Cycle de développement d'un moustique

Figure 4 : *Aedes caspius*

Figure 5 : *Aedes aegypti*

Figure 6 : *Aedes aegypti* et *A. albopictus*

Figure 7 : *Aedes albopictus*

Figure 8 : Présence du moustique Tigre en France

Figure 9 : *Anopheles gambiae*

Figure 10 : *Culex pipiens*

Figure 11 : *Phlebotomus* sp

Figure 12 : Evolution de la température en France

Figure 13 : Evolution de l'invasion d'*Aedes albopictus* en Europe entre décembre 2012 et octobre 2014

Figure 14 : Evolution de l'implantation d'*Aedes albopictus* en France métropolitaine

Figure 15 : Répartition des moustiques du genre *Anopheles* en France métropolitaine et dans les DOM-TOM

Figure 16 : Efficacité relative des moyens de prévention disponibles contre les piqûres de moustiques

Figure 17 : Répulsifs pour la protection contre les piqûres d'arthropodes

Figure 18 : Echelle de risque de présence d'*Aedes albopictus*

Figure 19 : Piège pondoir

Figure 20 : Communes colonisées et détections en 2015

Figure 21 : Nombre de cas de Dengue et de Chikungunya en France métropolitaine chaque année.

## Introduction

---

En France, de nombreuses espèces d'insectes cohabitent avec l'Homme, parmi elles, les diptères, plus particulièrement, les moucheron et les moustiques sont connus par la population surtout pour leurs nuisances pendant la saison estivale. Parmi ces espèces, certaines peuvent transmettre des maladies à l'homme. Les risques d'émergences de ces maladies semblent être minimisés par la population car elles sont le plus souvent associées aux pays tropicaux en voie de développement.

Les diptères que nous allons décrire sont essentiellement des espèces de moustiques, (*Aedes*, *Anopheles*, *Culex*...) pouvant être responsables de certaines arboviroses (la Dengue, le Chikungunya, le Zika...) ou du paludisme.

L'objectif de cette thèse est de présenter quelques diptères susceptibles de transmettre aux Hommes des maladies vectorielles en France métropolitaine et de mettre en évidence les différents facteurs influençant leur répartition et leur prolifération. Parmi ces facteurs, le réchauffement climatique démontré par des relevés météorologiques depuis le début du XXème siècle, peut offrir des conditions propices aux développements de ces arthropodes. Nous pourrions alors nous projeter sur les futurs enjeux de santé publique dans un horizon plus ou moins proche.

Après avoir dans une première partie énuméré quelques diptères du territoire français métropolitain et présenté les différentes maladies qu'ils peuvent potentiellement véhiculer, nous nous intéresserons à l'incidence du réchauffement climatique sur ces populations d'insectes et sur les agents pathogènes qu'ils transmettent. Enfin, nous exposerons les méthodes et moyens de lutte dont nous disposons en France pour enrayer les risques d'épidémies, puis le rôle du pharmacien d'officine dans ce système de santé et les conseils qu'il doit apporter.

## I. Les différents vecteurs en France

---

Tout d'abord il nous faut définir la notion de vecteur, car il existe plusieurs définitions de ce terme. La plus globale est : tout être vivant capable de transmettre de façon active (en étant lui-même infecté) ou passive, un agent pathogène (bactérie, virus, parasite) aux hommes ou aux animaux.

Pour notre part nous utiliserons une autre définition plus restrictive. Un vecteur est un arthropode hématophage qui assure la transmission biologique et active d'un agent infectieux d'un vertébré à un autre vertébré.

Nous allons nous intéresser ici aux pathologies pouvant être transmises à l'homme ou aux animaux par l'intermédiaire de différents vecteurs présents en France métropolitaine. Les espèces qui nous intéressent appartiennent à l'ordre des Diptères et au sous-ordre des Nématocères. [1]

L'ordre des Diptères comprend de nombreux insectes, au moins 100 000 espèces (mouches, phlébotomes, moustiques, culicoïdes...). Ces insectes sont tous pourvus d'une paire d'ailes fonctionnelles et d'ailes postérieures servant de balanciers à rôle sensoriel. Le thorax est formé de trois segments, le prothorax, le métathorax et le mésothorax qui est la partie la plus développée car elle doit supporter les muscles alaires. Les pièces buccales sont le plus souvent transformées en trompe à fonction suceuse ou piqueuse. Le développement se fait à partir d'une larve apode sur un mode holométabole, c'est-à-dire qu'il présente une métamorphose complète. Cet ordre tient une grande place en entomologie agricole, vétérinaire et médicale par le nombre important d'espèces prédatrices, parasites, hématophages et vectrices de maladies graves.

Le sous-ordre des Nématocères a la particularité de présenter des pièces buccales de type suceur. Leurs antennes sont filiformes et multiarticulées : en effet les flagelles sont formés de 6 à 40 articles toujours au moins aussi longs que la longueur de la tête et du thorax réunis. La tête est prognathe avec des palpes maxillaires longs et composés de 4 à 6 articles. Leurs larves possèdent une tête bien identifiable (larves eucéphales). Les nymphes sont mobiles, voire très mobiles. Les Diptères Nématocères comportent les espèces de moustiques par opposition aux Diptères Brachycères qui correspondent aux mouches et aux taons.

Les vecteurs qui vont être décrits appartiennent à la famille des Culicidae, c'est-à-dire les moustiques avec trois sous-familles :

- Les Culicinae,
- Les Anophelinae,
- Les Toxorhynchitinae.

Leur distribution est cosmopolite : on les trouve en majorité dans les régions chaudes mais certaines espèces vivent dans les régions tempérées voire froides tandis que d'autres s'y implantent.

Les œufs sont pondus à la surface de l'eau isolément ou en groupe parfois de plusieurs centaines d'éléments. Leur forme et leur disposition sur le substrat sont très variées et caractéristiques du groupe.

Les larves sont le plus souvent saprophages. Elles se nourrissent de micro-organismes et de phytoplancton présents dans l'eau du gîte. Certaines dévorent celles d'autres moustiques. Le cycle biologique ne demande pas plus de trois semaines à 20°C.

Les femelles de la plupart des espèces ont besoin de s'alimenter de sang de vertébré pour assurer le développement et la maturation de leurs œufs. Elles possèdent des pièces buccales pointues qui s'assemblent pour former une véritable seringue hypodermique avec son étui protecteur, le labium, qui se rétracte quand l'insecte va piquer.

Les adultes des deux sexes se nourrissent de jus sucrés provenant du nectar des végétaux.

De plus nous allons aussi décrire les phlébotomes appartenant à la famille des Psychodidae. Ils ressemblent à de petits moucheron de 2 à 4 mm de long, brun clair. On les trouve dans une grande variété de biotopes, surtout secs, dans les zones tropicales et tempérées chaudes. Seules les femelles à activité nocturne sont hématophages. Elles ont besoin d'un repas sanguin pour leur cycle gonotrophique analogue à celui des moustiques. [2]

### **I.1. Données entomologiques sur les moustiques [3] [53]**

Le moustique est un Arthropode, ce qui signifie, « qui a des pieds articulés ». Ce phylum comprend de très nombreux animaux avec des formes extrêmement variables mais toujours

symétriques. Le corps est constitué de métamères reliés entre eux par des membranes souples formant l'unité structurale fondamentale de l'Arthropode.

Le moustique appartient à la classe des insectes : il s'agit du groupe le plus important du règne animal. En effet il représente plus de deux tiers des espèces animales. Les insectes se composent d'une multitude d'espèces (plusieurs milliers) caractérisées par la diversité de leurs formes et de leur comportement écologique.

Les moustiques appartiennent à la sous-classe des ptérygotes : ce sont les insectes ailés comme la plupart des insectes et passant par des stades larvaires.

L'ordre des Diptères répertorie quelques 100 000 espèces pourvues d'une seule paire d'ailes fonctionnelles et les pièces buccales sont transformées en trompe à fonction piqueuse ou suceuse. Les moustiques appartiennent au sous-ordre des Nématocères, ce qui les différencie des Brachycères.

|                 |                         |                    |              |                  |                 |
|-----------------|-------------------------|--------------------|--------------|------------------|-----------------|
| Règne :         |                         | Animal             |              |                  |                 |
| Embranchement : |                         | Invertébré         |              |                  |                 |
| Classe :        |                         | Insecte            |              |                  |                 |
| Sous-classe :   |                         | Ptérygote          |              |                  |                 |
| Ordre :         |                         | Diptère            |              |                  |                 |
| Sous-ordre :    |                         | Nématocère         |              |                  |                 |
| Famille :       |                         | <i>Culicidae</i>   |              |                  |                 |
| Sous-famille :  | <i>Toxorhynchitinae</i> | <i>Anophelinae</i> |              | <i>Culicinae</i> |                 |
| Genre :         | <i>Toxorhynchites</i>   | <i>Anopheles</i>   | <i>Culex</i> | <i>Aedes</i>     | <i>Mansonia</i> |

Figure 1 : Classification des moustiques (D'après mémoiresonline.fr) [56]

### I.1.1. Morphologie générale d'un moustique [53]

Le corps du moustique est constitué de 3 segments ou tagmes : la tête, le thorax et l'abdomen.

La tête porte 2 gros yeux composés, des antennes plumeuses chez le mâle et glabres chez la femelle. De plus, celle-ci possède des palpes maxillaires qui ont un rôle sensoriel, longs et soyeux chez le mâle, courts chez la femelle. Les pièces buccales forment une trompe piqueuse



mince et longue appelée le proboscis. Ce proboscis est composé de différentes structures difficilement séparables les unes des autres :

- les mandibules ayant un rôle perforant caractéristique des espèces hématophages.
- les maxilles à rôle perforant également.
- le labre à rôle perforant et aspirateur, percé par le canal alimentaire.
- l'hypopharynx est creusé du canal salivaire jouant un rôle important chez les espèces hématophages vectrices de maladies. C'est par ce canal que la salive est injectée.
- le labium constitue la partie centrale et la plus importante de la trompe, il enveloppe les autres pièces buccales, il est souple et se repli au moment de la piqûre.

Le thorax est formé de 3 segments : le mésothorax, le prothorax et le métathorax.

Les deux derniers segments sont considérablement réduits chez les Diptères : le mésothorax est la partie la plus développée ; le tergite (la partie dorsale de ce segment) se divise en différentes structures. Depuis la portion antérieure vers la portion postérieure, on distingue le préscutum, le scutum, le scutellum et le postnotum.

Sur chacun des 3 segments thoraciques se fixe une paire de pattes. Ces pattes sont constituées depuis la portion proximale du coxa, du trochanter, du fémur, du tibia et du tarse composé de 5 articles dont la portion distale porte des griffes.

Les moustiques ne possèdent qu'une seule paire d'ailes fonctionnelles motrices fixées à la partie antérieure du mésothorax. Les ailes postérieures fixées au métathorax sont appelées haltères ou balanciers. Elles sont très mobiles et ont notamment un rôle sensoriel. Les ailes des moustiques sont écailleuses et ne possèdent pas de cellules discales mais caractérisées par la présence de 10 à 11 branches de nervures atteignant le bord des ailes. Chez les Culicinae et les Anophelinae, elles portent des écailles et des soies à la marge inférieure et tout au long des nervures. La répartition de ces agréments joue un rôle important en morphologie systématique.

L'abdomen est la partie postérieure du corps et renferme la plupart des organes du moustique. Il est formé de 11 segments mais seulement 8 sont visibles. Les segments 9 et 10 composent la structure génitale et jouent aussi un grand rôle en morphologie systématique (figure 2). [3]

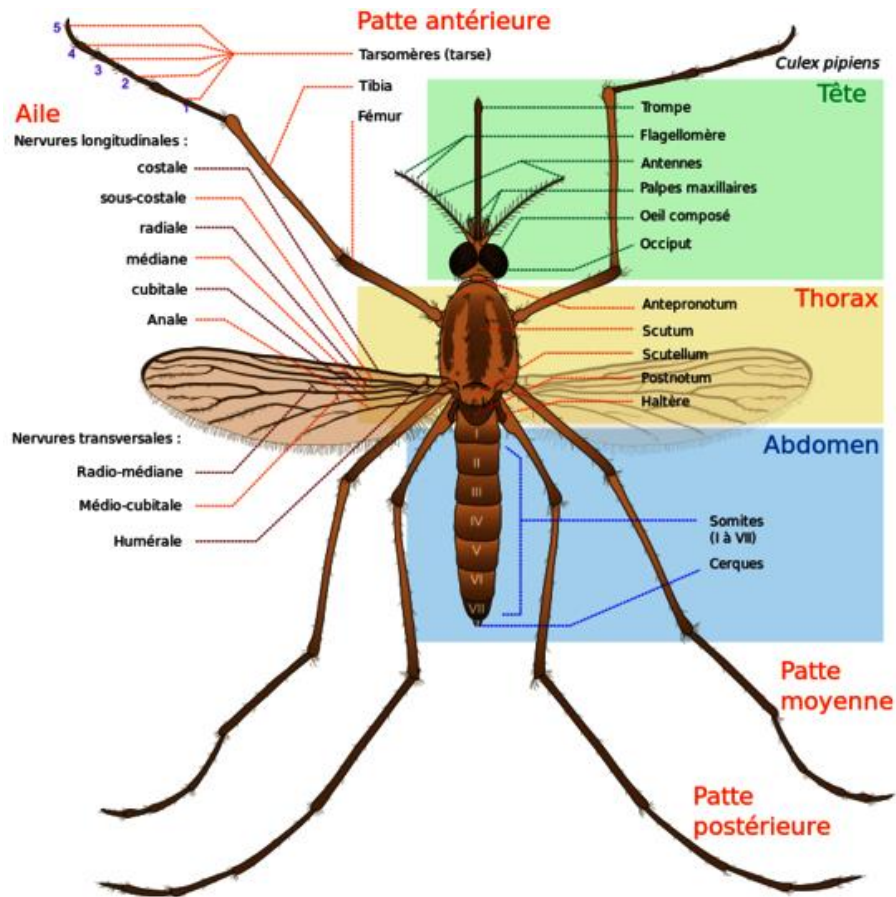


Figure 2 : Schéma général d'un moustique (exemple de *Culex pipiens*)  
(D'après humanite-biodiversité.fr) [16]

### I.1.2. Biologie générale d'un moustique [4] [5]

Le cycle de développement comprend différentes étapes et parcourt des milieux différents (figure 3). On distingue une phase aquatique correspondant aux différentes transformations et une phase aérienne et terrestre lorsque le moustique est adulte.

1. La ponte a lieu sur l'eau ou à proximité immédiate de l'eau.
2. Les œufs vont éclore et libérer les larves.
3. La larve va passer par 4 stades et se transformer en nymphe.
4. A partir de la nymphe, c'est l'émergence de la forme adulte (imago) mâle ou femelle.
5. Stade adulte, vie extra aquatique et repas sanguin pour la femelle.

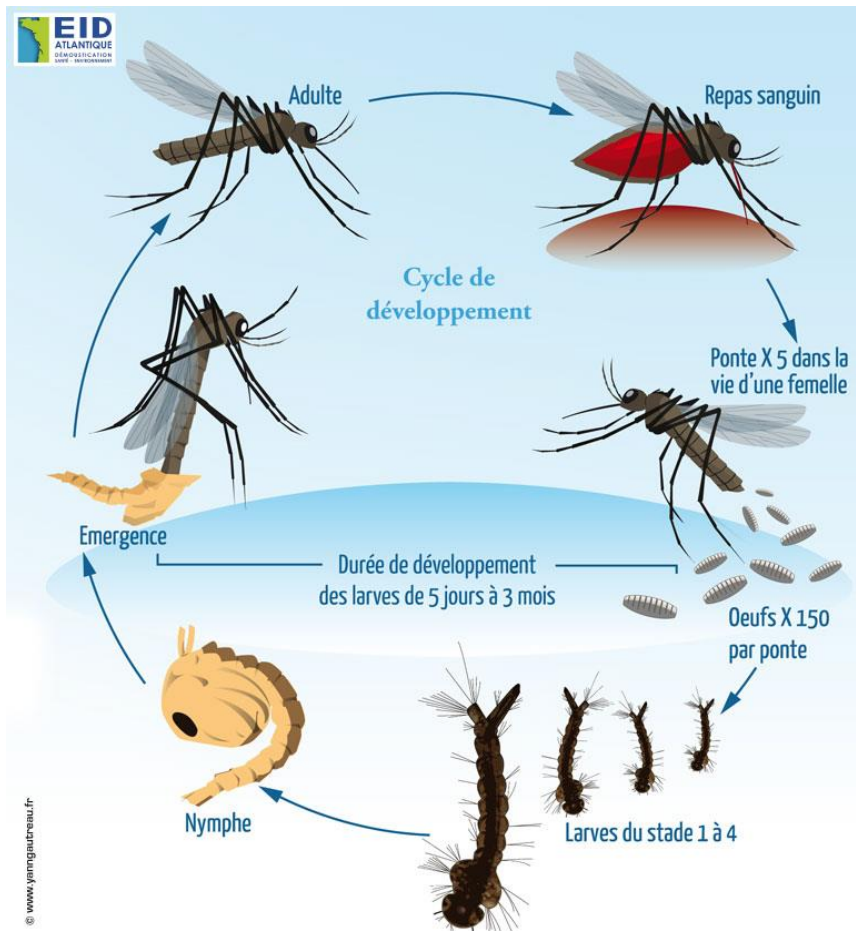


Figure 3 : Cycle de développement d'un moustique  
(D'après EIDatlantique) [22]

### I.1.2.1 Le stade ovulaire

Les femelles, selon les espèces, pondent à la surface de l'eau soit des œufs isolés, soit groupés en nacelles de 50 à 200 œufs. Les œufs pondus à la surface de l'eau sont insubmersibles grâce à des flotteurs ou à leur arrangement en nacelle. Les œufs sont généralement fusiformes mesurant environ 1 mm de long. Ils sont blanchâtres au moment de la ponte et s'assombrissent dans les heures qui suivent. Le nombre d'œufs composant une ponte est en moyenne de 150 mais peut aller jusqu'à 400. Lorsque les conditions climatiques sont favorables à l'éclosion, la durée du stade ovulaire est de 2 à 3 jours, sinon elle peut être retardée en fonction de la température.

### **I.1.2.2 Le stade larvaire**

Les larves sont mobiles, toujours aquatiques et respirent à la surface de l'eau, soit directement (anophèles), soit par l'intermédiaire d'un siphon respiratoire (culex). C'est une larve dite apode (qui signifie littéralement, sans pied) et eucéphale (la tête est normalement constituée). Ces larves peuvent également plonger en profondeur du gîte larvaire lorsqu'elles se sentent menacées ou afin de rechercher de la nourriture comme des algues microscopiques, des bactéries ou des protozoaires. Elles possèdent des pièces buccales de type broyeur, adaptées à un régime saprophyte. Certaines espèces (Simuliidae) sont carrément fixées aux tiges ou aux racines de plantes aquatiques par l'intermédiaire de leur siphon modifié afin d'y prélever l'air nécessaire à la respiration au niveau des vaisseaux aérifères.

La croissance de la larve de moustique est discontinue, elle passe par 4 stades larvaires successifs séparés par des mues. Au début de la croissance, la larve mesure à peine 2 mm pour terminer à 12 mm. La durée du stade larvaire peut être très variable, de quelques jours en été (8 à 12 en moyenne) à quelques mois en hivers pour les espèces hibernant au stade larvaire dans des eaux très froides. A chaque mue, la larve abandonne l'exuvie (tégument) du stade précédent. La dernière mue transformera la larve en nymphe.

Une multitude de gîtes larvaires différents existe selon les espèces de moustiques. C'est la femelle pondreuse qui choisira le site du gîte. Les eaux courantes (bord de rivières ou de torrents) vont être opposées aux eaux stagnantes (étangs, mares, marécages, flaques). L'endroit du gîte peut être également ensoleillé ou ombragé, il peut être de grande dimensions (lacs, bordures de fleuves) ou de petite taille (flaques, feuilles mortes), à forte teneur en sels minéraux (eaux saumâtres comme la mangrove ou les salines). Le gîte larvaire peut être fait de matières organiques comme des trous d'arbres, champignons creux ou bien artificiel comme des gouttières ou des pots de fleurs. Plusieurs facteurs rentrent aussi en compte pour la croissance larvaire comme le pH et la température ainsi que la nature et la densité de la végétation aquatique et de la faune associée.

### **I.1.2.3 Le stade nymphal**

Ce stade nymphal dure environ 1 à 5 jours. La nymphe, aquatique comme la larve, est aussi mobile mais ne se nourrit pas. Elle respire l'air atmosphérique grâce à deux trompettes respiratoires.

La nymphe va subir pendant ce stade de profondes transformations morphologiques et physiologiques préparant le stade adulte. En effet, c'est un stade de transition qui lui permet de passer d'une larve aquatique et saprophyte à une forme adulte aérienne et hématophage pour la femelle. A la fin du stade nymphal, au moment de l'exuviation de l'adulte, la pression interne provoque la rupture des téguments du céphalothorax. Les bords de la fente s'écartent pour permettre la sortie de l'adulte qui dégagera successivement son thorax, sa tête, ses pattes et son abdomen abandonnant dans l'eau son exuvie nymphale. Cette phase d'émergence dure environ 15 min et pendant ce court laps de temps, le moustique se trouve exposé à de nombreux prédateurs. C'est une étape délicate car la mortalité est souvent élevée (jusqu'à 80%).

### **I.1.2.4 Le stade adulte**

Au stade adulte, la taille du moustique varie de 3 à 40 mm selon les espèces mais ne dépasse que très rarement 10 mm.

Les principales différences entre les mâles et les femelles se situent au niveau de la tête. Chez le mâle, les antennes sont plumeuses et les palpes maxillaires sont longs et couverts de soies, tandis que chez la femelle, les antennes sont non-plumeuses et les palpes maxillaires courts (Culicinae) ou longs (Anophelinae).

Les moustiques des deux sexes ont besoin d'absorber un repas de sucre, généralement sous la forme de nectar ou de sève. Durant le reste de leur vie, le mâle et la femelle se nourrissent surtout de ces liquides et d'eau. Mais contrairement aux femelles, les mâles vont se contenter uniquement de ces sucres d'origine végétale, c'est pour cela qu'ils ne s'aventurent guère très loin de leur site d'émergence. Leur seul rôle épidémiologique est de participer à la reproduction en fécondant les femelles.

Seule la femelle possède, chez un grand groupe de moustiques, des pièces buccales de type piqueur-suceur, capables de percer l'épiderme des vertébrés pour aspirer le sang. Seule la femelle est dite hématophage. Les substances résultant de la digestion du repas sanguin sont

utilisées en partie pour la nutrition mais surtout pour la maturation des œufs. La plupart des espèces ne peuvent amener leurs œufs à maturité ou pondent beaucoup moins si elles n'absorbent pas de sang. Le repas de sang conditionne donc la ponte. Un seul repas peut suffire à produire une ponte. Toutefois, certaines espèces, dites autogènes, peuvent se passer du repas sanguin.

Pour la plupart des espèces où la femelle est hématophage, la première étape du stade adulte est la recherche de l'hôte. Les hôtes peuvent être des mammifères, des oiseaux, des reptiles ou des batraciens. Chez certaines espèces, le choix de l'hôte peut être très strict, voire spécifique, tandis que d'autres espèces auront un éventail très large d'hôtes potentiels. Ces différentes modalités vont évidemment avoir un impact sur l'importance épidémiologique.

La nécessité de rechercher un hôte convenable va favoriser la dispersion autour du gîte d'émergence. La dispersion peut s'étendre de plusieurs mètres à plusieurs kilomètres, ce phénomène peut être actif (vol du moustique) ou passif (véhiculé par le vent ou par des moyens de transport de l'Homme).

## **I.2. Genre *Aedes***

### **I.2.1. Classification [6]**

Les moustiques du genre *Aedes* se composent de 263 espèces. Ce sont des Diptères Nématocères appartenant à la famille des Culicidae et à la sous-famille des Culicinae.

Les plus connus sont :

*Aedes caspius*, qui mesure 5 mm, il est roux avec des bandes claires le long du thorax et des bandes blanches sur les pattes (figure 4). Il est essentiellement retrouvé en Camargue. Il peut être vecteur de filaires animales et d'arboviroses (Tahyna, virus de la myxomatose).



Figure 4 : *Aedes caspius*  
(D'après wikimedia.org) [25]

*Aedes aegypti* mesure 5 mm, il est de couleur sombre et possède une tache caractéristique en forme de lyre sur le thorax (figure 5). Il est originaire d'Afrique et a colonisé toutes les zones tropicales. Il n'est pas présent en France métropolitaine. Il est le vecteur principal de la Dengue, du Chikungunya, du virus Zika et de la fièvre jaune. C'est lui qui est responsable des épidémies de Dengue et de Chikungunya dans les départements d'Outre-mer (Guadeloupe, Guyane, Martinique et Réunion).



Figure 5 : *Aedes aegypti*  
(D'après sutter-yuba mosquito.org) [27]

*Aedes albopictus*, plus connu sous le nom de moustique Tigre, est l'espèce qui va nous intéresser plus particulièrement (figure 6). En effet, ce moustique est responsable lui aussi de la transmission de deux maladies redoutables, la Dengue et le Chikungunya. Originaire d'Asie

du sud-est, cet arthropode a été découvert pour la première fois en France, à Menton en 2004. Il est en septembre 2015 implanté dans 22 départements de Métropole (figure 8).



Figure 6 : *Aedes aegypti* et *A. albopictus*  
(D'après moustique-tigre.info) [28]

### I.2.2. Morphologie d'*Aedes albopictus*

Le moustique Tigre ou *Aedes albopictus* doit son nom aux rayures blanches sur ses pattes et à son caractère particulièrement agressif (figure 7). Son corps est de couleur noire et présente une ligne thoracique longitudinale blanche en position centrale. Il mesure en moyenne 5 mm de long mais la taille des individus dépend de la densité larvaire et de la disponibilité alimentaire.



Figure 7 : *Aedes albopictus*  
(D'après univers-nature.com) [30]



### **I.2.3. Biologie [7] [8] [9]**

#### **I.2.3.1 La ponte**

Les moustiques du genre *Aedes* suivent le même cycle de développement que l'ensemble des moustiques (œuf, larve, nymphe et adulte).

Mais contrairement à la plupart d'entre eux, les femelles ne pondent pas leurs œufs directement à la surface de l'eau mais sur une surface solide proche de l'eau. Ils ne poursuivront leur cycle de croissance qu'une fois entièrement recouverts d'eau (après une crue ou des précipitations). Ce processus impose qu'il y ait assez d'eau pour que l'œuf puisse passer par tous les stades du cycle de vie avant que la source d'eau ne s'assèche. Ce phénomène est rendu possible grâce à la très grande résistance des œufs à la sécheresse. En effet, ils peuvent survivre jusqu'à 9 mois pendant les périodes de froid ou d'assèchement en état d'attente. C'est la phase de diapause : ils pourront éclore lorsque les conditions climatiques seront favorables (chaleur et humidité). Le développement des œufs dure de 7 à 20 jours mais plus la température est élevée plus le cycle est rapide. Une femelle peut pondre tous les 2 à 3 jours jusqu'à 250 œufs par ponte.

*Aedes albopictus* a la capacité de se reproduire dans des habitats naturels (creux d'arbre) et artificiels (pneus, vases, gouttières, abreuvoirs). Ils ne sont pas connus pour se reproduire dans l'eau saumâtre ou salé. On retrouve le moustique aux stades immatures dans des gîtes larvaires remplis d'eau, le plus souvent à proximité des habitations, voire à l'intérieur de celles-ci.

#### **I.2.3.2 Stade adulte et aspect comportemental**

Dans nos régions, le moustique Tigre est actif du printemps à l'automne, c'est-à-dire du mois de mai au mois de novembre. Sa phase active dépendra de la température et de la luminosité.

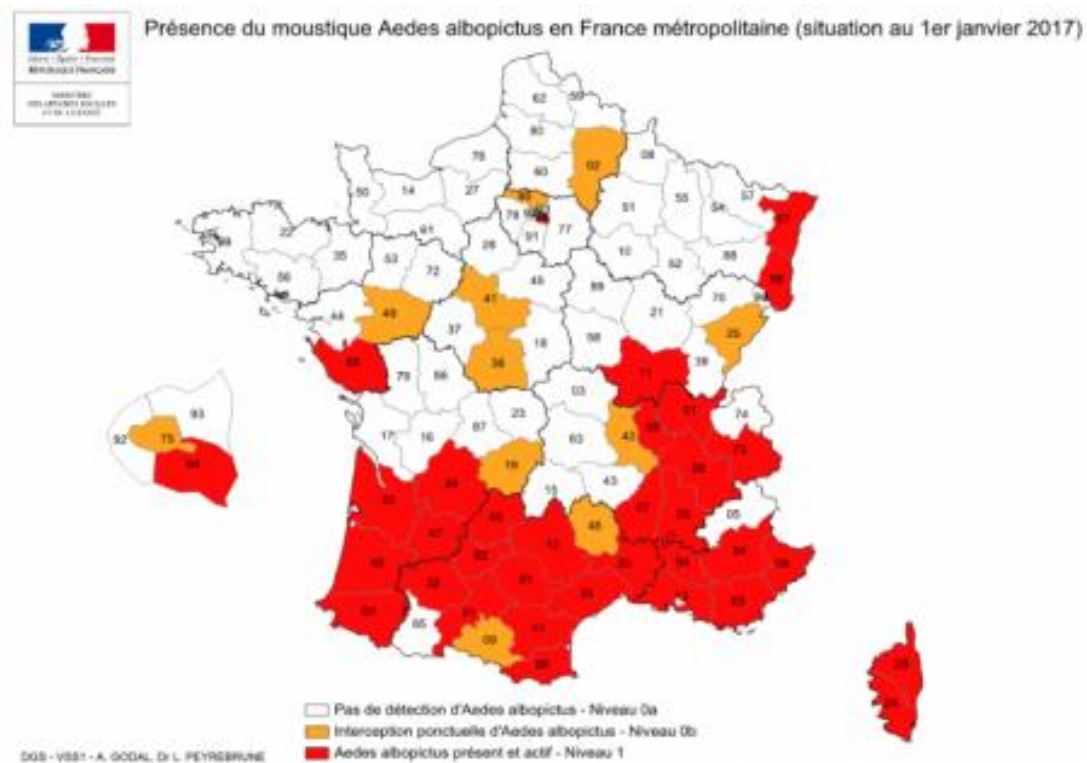


Figure 8 : Présence du moustique tigre en France (D'après science et avenir) [33]

Il vit aussi bien en pleine nature qu'en ville où les lieux de ponte sont multiples. En général, en Europe, ils ont une préférence pour les habitats urbain et suburbain.

En moyenne, l'individu adulte vit entre 2 et 6 semaines et la femelle vit plus longtemps que le mâle. Il a été observé que la température idéale de longévité se situe entre 25 et 30°C. Notons que la nourriture à disposition des femelles conditionne aussi leur longévité. En effet une femelle qui aura accès aux deux types de nourritures que sont le sang et le nectar vivra plus longtemps qu'une femelle ne disposant que de nectar.

Les piqûres des femelles interviennent durant le jour avec un fort pic d'agressivité au crépuscule et un autre moins prononcé à l'aube. Ce moustique est caractérisé comme agressif. Cependant, l'activité de recherche d'hôte est nulle pendant la nuit.

Les adultes *Aedes albopictus* volent près du sol et ne sont pas observés par vent violent. Ils ont une autonomie de vol ne dépassant pas 200 mètres. Leur moyen de dispersion est donc aidé par les transports humains.

#### 1.2.4. Origine de l'expansion géographique d'*Aedes albopictus*. [7]

*Aedes albopictus* est un moustique originaire d'Asie du Sud-Est et de l'Océan Indien mais se propage actuellement dans le monde entier.

Au cours du 19<sup>e</sup> siècle, il colonise les îles du Pacifique puis l'Océan Indien, par Madagascar avec les vagues d'immigrations indonésiennes à cette époque. Puis ce sont les Seychelles qui sont concernées et l'île de la Réunion dans les années 1900. Bien que son aire de répartition reste localisée dans ces régions, son extension s'est considérablement accélérée à la fin des années 1970.

En Europe, en 1979, c'est en Albanie que le moustique Tigre a été découvert pour la première fois. Une enquête révélera que l'origine de cette invasion était le port maritime de Durrës qui échangeait des marchandises avec la Chine. Il est déclaré présent en Italie en 1990, en France en 1999, Belgique en 2000, Serbie et Monténégro en 2001, Espagne et Suisse en 2003, Croatie et Grèce en 2004, Bosnie-Herzégovine, Pays-Bas et Slovénie en 2005.

En Amérique du nord, il a été identifié dès 1972, puis déjà bien implanté au Texas en 1985. Il est aujourd'hui implanté dans plus de 25 États Américains. Au Brésil, il est signalé en 1986 puis au Mexique en 1988. En 1995, la dissémination s'étend à quasiment l'ensemble de l'Amérique du Sud.

En 1990 il est remarqué en Australie, à Darwin puis au Queensland.

Aux Caraïbes, c'est en 1993 qu'il est d'abord retrouvé à la Barbade.

En Afrique continentale, il a été observé pour la première fois dans le port de Durban en Afrique du Sud en 1989, puis au Nigeria en 1991, où il est maintenant abondant. Il a été ensuite mis évidence au Cameroun dès 1999 puis en Guinée équatoriale en 2003.

Le commerce international serait un des responsables de cette dispersion répartie sur l'ensemble du globe. En effet, le mode de dispersion principal de cette espèce est le transport des œufs dans des pneus usagés stockés à ciel ouvert. Ce commerce, concernant les pneus de poids lourds, de véhicules de chantier et d'avions est très actif entre l'Asie, les États-Unis et l'Europe.

La biologie d'*Aedes albopictus* est responsable de sa capacité d'adaptation. Comme on a vu précédemment, la femelle pond ses œufs sur la partie sèche qui jouxte une surface d'eau. Ces réservoirs d'eau peuvent être des pneus ou tout autre contenant exposé à ciel ouvert pouvant se remplir d'eau de pluie. La mise en eau de ces gîtes par l'eau de pluie va permettre

le développement des larves puis l'émergence des adultes. Mais ces œufs peuvent entrer en diapause et attendre ainsi le moment propice pour l'éclosion ; cela favorise son transport et augmente sa durée de vie. Leur résistance au froid et à l'assèchement, et ces adaptations biologiques confèrent à cette espèce tropicale une faculté d'adaptation à notre climat tempéré.

Deux phénomènes sont à l'origine de cette expansion mondiale : la biologie de l'espèce et le commerce international. Un troisième va l'accélérer selon de nombreuses études qui prévoient sa dissémination dans l'Europe entière ; c'est le réchauffement climatique. Les recherches des projets EDEN, EDENNext et VBORNET ont porté sur les processus d'émergence et d'installation des infections vectorielles ainsi que sur l'évaluation des méthodes de contrôle des populations de vecteurs pour briser les cycles épidémiologiques. Ces projets reposent sur les conséquences des changements environnementaux sur les infections à transmissions vectorielles, nous allons les détailler dans une seconde partie. [9]

#### **1.2.5. Implantation d'*Aedes albopictus* en France [53]**

Depuis la détection de la présence d'*Aedes albopictus* en Italie dans les années 1990, l'espèce est surveillée en France métropolitaine depuis la fin de cette décennie. En 1999, une campagne de contrôle permet de découvrir deux populations du moustique dans les départements de l'Orne et de la Vienne. Dans ces deux départements, les deux sites concernés sont des lieux de stockage de pneus usagés. Paradoxalement, des sites de stockage de pneus sous surveillance comme Lyon, Marseille et des villes proches de la frontière Italienne ne rapportaient pas de telles populations. Il est alors mis en évidence que l'apparition de ce moustique venait du commerce de pneus entre les Etats-Unis et le Japon.

Depuis cette date, un programme de contrôle et de surveillance financé par le Ministère de la Santé a été instauré. Ainsi toutes les potentielles voies d'introduction furent surveillées. L'outil de surveillance entomologique est le piège pondoir. Ce piège est constitué d'un seau noir rempli d'eau et d'un morceau de polystyrène flottant constituant un support de ponte attractif pour l'insecte. A ce piège s'ajoutent des larvicides et des insecticides afin d'éviter toute prolifération du moustique. Ces mesures ont permis l'éradication de cette espèce sur ces sites de stockage de vieux pneus.

Mais cette surveillance est aussi mise en place dans les grandes agglomérations et le long des axes de communication car les œufs et les adultes peuvent être déplacés passivement par l'homme.

En effet il a été établi que le trafic routier constituait un formidable moyen de dispersion du moustique à travers l'Europe. Depuis les zones infestées, les moustiques femelles, à la recherche d'un repas sanguin, suivent les hommes et entrent dans les véhicules. Lors des arrêts, ils peuvent donc en ressortir à des kilomètres de leurs sites d'émergence colonisant de nouvelles régions jusque-là non infestées.

C'est en septembre 2004 que le moustique Tigre est retrouvé dans la ville de Menton (Alpes Maritimes) ; rapidement des mesures de contrôle sont appliquées et des pièges pondoires sont installés. Mais en juillet 2005, d'autres populations de moustiques sont détectées dans d'autres villes de la côte d'Azur, de Menton jusqu'à Nice.

La surveillance s'est ensuite amplifiée (13 pièges pondoires en 2002, 2 600 pièges en 2012) et a permis de suivre sa progression.

En 2014, l'espèce a colonisé la quasi-totalité des départements des Alpes-Maritimes, du Var, des Bouches-du-Rhône, de la Haute-Corse et de la Corse-du-Sud. L'espèce est également implantée dans des communes des Alpes-de-Haute-Provence, du Vaucluse, de l'Hérault, du Gard, de l'Aude, des Pyrénées-Orientales, de la Haute-Garonne, du Lot-et-Garonne, de l'Ardèche, de la Drôme, de l'Isère, de la Gironde, de la Saône-et-Loire, de la Savoie et du Rhône.

En 2015, *Aedes albopictus* s'est implanté dans l'Ain, le Bas-Rhin, la Dordogne, les Landes, le Lot, Les Pyrénées-Atlantiques, le Tarn-et-Garonne, le Tarn, le Val-de-Marne ainsi qu'en Vendée.

Ainsi, à ce jour, l'espèce est implantée dans des communes de 30 départements de France métropolitaine.

Des interceptions (identification de la présence et contrôle) sont également régulièrement réalisées à d'autres points du territoire.

#### **I.2.6. Le Chikungunya [11] [12] [13]**

Le Chikungunya est une maladie virale transmise par des moustiques femelles du genre *Aedes*. Cette maladie a été décrite pour la première fois en Afrique dans le sud de la Tanzanie en 1953. Son nom est tiré du de la langue Makonde qui signifie « se tenir vouté ». En effet, il fait référence aux personnes atteintes par ce virus ayant des douleurs articulaires et donc une démarche significative. Il s'agit d'un arbovirus (transmis par des Arthropodes) de la famille des Togaviridae. Ce virus peut causer une maladie aiguë, subaiguë ou chronique.

### **I.2.6.1 Symptômes**

Le chikungunya se caractérise par l'apparition brutale de fièvres souvent accompagnées d'arthralgies. Cette infection présente un délai d'incubation de 2 à 10 jours. Les atteintes articulaires sont souvent très invalidantes, principalement au niveau des petites articulations comme les poignets, les doigts, et les chevilles mais aussi les genoux, les hanches ou les épaules. Les autres signes et symptômes associés à la fièvre sont notamment des maux de têtes, nausées, fatigue, éruption cutanée et douleurs musculaires importantes. La plupart des patients se rétablissent complètement, au bout de quelques jours ou de quelques semaines, mais dans certains cas l'arthralgie peut persister pendant plusieurs mois ou même plusieurs années.

Les complications graves ne sont pas fréquentes ; cependant on peut rencontrer des formes neurologiques à type de méningo-encéphalite et d'atteinte des nerfs périphériques. On les retrouve uniquement chez les personnes âgées, chez les nourrissons ou chez les immunodéprimés, pouvant contribuer à leur décès.

Les symptômes sont souvent légers chez les personnes infectées et l'infection peut passer inaperçue ou faire l'objet d'un diagnostic erroné dans les zones où sévit la dengue.

### **I.2.6.2 Transmission**

Le vecteur est donc le moustique femelle du genre *Aedes* et principalement *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* (ce dernier étant le seul présent en France métropolitaine).

Le moustique doit piquer un premier individu contaminé afin d'être susceptible de contaminer à son tour un autre individu.

Le moustique joue à la fois le rôle de vecteur et de réservoir : n'étant pas significativement affecté par le virus, il reste infecté et donc infectant toute sa vie. Il acquiert le virus en piquant une personne infectée, et devient compétent pour une transmission virale après 3 à 4 jours.

La période de contagiosité chez l'homme est de 7 jours en moyenne avec des cas décrits jusqu'à 12 jours.

### I.2.6.3 Epidémiologie

Le virus du Chikungunya découvert en 1953 en Tanzanie a depuis été responsable de nombreuses poussées épidémiques en Afrique et en Asie. Depuis une dizaine d'années, il est responsable d'épidémies importantes survenues entre 2005 et 2006 dans les Iles de l'Océan Indien et plus particulièrement à la Réunion. Plus de 244 000 personnes ont été touchées sur l'île de la Réunion, c'est-à-dire 1/3 de la population. La transmission était due ici en majorité au moustique *Aedes albopictus*.

En 2006, cette maladie infectieuse devient une pathologie à déclaration obligatoire. Entre juillet 2006 et décembre 2009, 70 cas ont été rapportés par L'Institut de Veille Sanitaire (InVS) en métropole. Tous ces cas concernent des voyageurs ayant été exposés dans des zones épidémiques ; ce ne sont donc que des cas importés.

Cependant, les premiers cas autochtones ont été mis en évidence en Europe. En septembre 2007, dans le nord de l'Italie, une épidémie est responsable de 254 cas. L'origine de celle-ci était un voyageur rentré d'Inde. Puis pour la première fois en septembre 2010 en France dans le Var, 2 cas autochtones ont été confirmés.

Du 1<sup>er</sup> mai au 30 novembre, chaque année, l'InVS coordonne donc la surveillance renforcée saisonnière du Chikungunya et de la dengue dans les départements métropolitains colonisés par le moustique vecteur, *Aedes albopictus*, en lien avec les Agences régionales de santé (ARS) concernés.

Les données plus récentes sont :

En 2013, 2 cas importés de Chikungunya sont confirmés.

En 2014, 443 cas importés de Chikungunya et 11 cas autochtones sont confirmés. Ces 11 cas autochtones ont été identifiés dans un même quartier de Montpellier et constituent un foyer de transmission.

En 2015, ce sont 30 cas qui sont importés.

En 2016, 18 cas de Chikungunya sont importés et il n'y a eu aucune transmission vectorielle autochtone.

En 2017, on a recensé 3 cas importés de Chikungunya.

### **I.2.7. La Dengue [11] [12] [14]**

La Dengue est aussi appelée « grippe tropicale » ; le virus appartient à la famille des Flaviviridae, au genre Flavivirus comme le virus de la fièvre jaune et du West Nile. Ce virus est transmis à l'homme par la piqûre des femelles moustiques infectées du genre *Aedes* tout comme le Chikungunya.

Les souches du virus de la dengue se répartissent en 4 sérotypes différents : DEN-1, DEN-2, DEN-3, et DEN-4. La guérison entraîne une immunité à vie contre le sérotype à l'origine de cette infection mais pas contre les autres sérotypes. Un individu peut donc être infecté par les quatre sérotypes au cours de sa vie. Par contre, des infections ultérieures par d'autres sérotypes accroissent le risque de développer la dengue sévère.

#### **I.2.7.1 Symptômes**

La dengue dite « classique » apparaît après une période d'incubation de 2 à 14 jours et en moyenne 7 jours. Elle se manifeste par une forte fièvre, accompagnée de céphalées, de nausées, de vomissements, de douleurs articulaires et musculaires et une éruption maculo-papuleuse. La guérison est généralement sans séquelle en 10 à 15 jours. Mais dans de rares cas, après 3 à 4 jours, une brève rémission peut être observée avant que les symptômes s'intensifient (hémorragies conjonctivales, gingivorragies, épistaxis, ecchymoses) et régressent rapidement au bout d'une semaine. Puis la convalescence va durer une quinzaine de jours. La dengue classique, bien que fortement invalidante, n'est pas considérée comme une maladie sévère contrairement à la dengue hémorragique.

La dengue hémorragique, qui se manifeste dans 0,5% des cas, est extrêmement sévère. Lorsque, normalement, la fièvre commence à diminuer entre 3 à 7 jours après le début des symptômes, des signes sévères peuvent apparaître : vomissements, hypothermie, manifestations hémorragiques, douleurs abdominales et même confusion mentale.

Le tableau clinique peut encore évoluer vers la dengue avec état de choc qui associe à la dengue hémorragique, des signes de défaillance circulatoire qui peuvent être mortels. La létalité de ces formes sévères peut atteindre 30 à 40% en l'absence de prise en charge.



### **I.2.7.2 Transmission**

Le moyen de transmission est le même que pour le Chikungunya, c'est la femelle *Aedes* qui est aussi responsable. Le moustique *Aedes aegypti* en est le principal vecteur mais c'est l'*Aedes albopictus* qui sévit en Europe. Après une piqûre sur un individu porteur et une incubation de 4 à 10 jours, le moustique devient infecté et peut transmettre le virus tout le reste de sa vie. L'Homme infecté permet la prolifération du virus et sert de réservoir pour les moustiques qui ne sont pas encore porteurs et cela pendant 4 à 5 jours voire au maximum 12 jours après l'apparition des premiers symptômes.

### **I.2.7.3 Epidémiologie**

La dengue est aujourd'hui considérée comme une maladie réémergente. L'OMS estime à 50 millions le nombre de cas annuels dont 500 000 cas de dengue hémorragique qui peuvent être mortels dans 20% des cas. La dengue est très répandue sous les tropiques et le niveau de risque est fonction des précipitations, de la température et de l'urbanisation rapide et non-maitrisée. Depuis l'augmentation des échanges des biens et des personnes ces dernières décennies, elle tend à atteindre de nouvelles zones géographiques. Les épidémies sont de plus en plus importantes dans les environnements urbains.

A l'origine, elle sévit principalement dans l'ensemble de la zone intertropicale. Elle est d'abord limitée à l'Asie du Sud-Est dans les années 1980 puis s'étend à l'Océan Indien, au Pacifique Sud, aux Antilles Françaises et à l'Amérique Latine.

Depuis fin 2009, la maladie sévit sur un mode épidémique aux Antilles. En 2010, la dengue est à l'origine de 86 000 cas en Martinique et Guadeloupe (source InVS). En 2011 et 2012, l'épidémie ne se déclare pas.

En 2013, l'épidémie est déclarée en Guyane : cette année-là, il a été déclaré 2,35 millions de cas en Amérique dont 37 687 cas de dengue sévère. Les programmes inefficaces d'éradication du moustique, la croissance démographique, et la paupérisation des populations semblent être les principaux facteurs influençant les épidémies.

Ces dernières années, avec l'implantation d'*Aedes albopictus* (vecteur secondaire de la dengue) en Amérique du Nord, en Europe et en France, le risque de transmission de la dengue dans nos régions est devenu une réalité. La menace d'une flambée de dengue sur le territoire français existe désormais et une transmission locale a été rapportée pour la

première fois en 2010. C'est à Nice que les 2 premiers cas autochtones ont été déclarés. En 2012, une forte épidémie que l'on appelle « flambée » provoque plus de 2000 cas sur l'archipel de Madère (Portugal) et plusieurs cas isolés ont été détectés dans 10 autres pays européens.

Chaque année, du 1<sup>er</sup> mai au 30 novembre, Santé publique France coordonne la surveillance renforcée saisonnière du Chikungunya et de la Dengue dans les départements colonisés par *Aedes albopictus*.

| Années | Cas confirmés importés |             |              | Cas confirmés autochtones |             |              |
|--------|------------------------|-------------|--------------|---------------------------|-------------|--------------|
|        | Dengue                 | Chikungunya | Co-infection | Dengue                    | Chikungunya | Co-infection |
| 2013   | 188                    | 2           |              |                           |             |              |
| 2014   | 163                    |             | 6            | 4                         |             |              |
| 2015   | 127                    |             |              | 6                         |             |              |
| 2016   | 167                    | 18          |              |                           |             |              |
| 2017   | 137                    |             | 4            |                           | 17          |              |

Figure 21 : Nombre de cas de Dengue et de Chikungunya en France métropolitaine chaque année.

D'après SantépubliqueFrance.fr

### I.2.8. Le Zika [11]

Le virus Zika a été isolé en 1947, d'un singe de la forêt Zika en Ouganda. La première identification chez l'homme date de 1952 en Ouganda et en Tanzanie. C'est un arbovirus appartenant à la famille des Flaviviridae, comme ceux de la Dengue et de la fièvre jaune.

L'espèce actuellement capable de transmettre le virus est *Aedes aegypti* mais *Aedes albopictus* pourrait également se positionner comme un vecteur potentiel du virus Zika.

#### I.2.8.1 Symptômes

80% des cas sont asymptomatiques mais, dans le reste de la population, les symptômes du virus Zika sont de type grippal, avec une fièvre, des éruptions maculo-papuleuses, des myalgies et des arthralgies. Toutes ces manifestations disparaissent en une semaine au

maximum. Le diagnostic exact est difficile car ces symptômes sont peu spécifiques et le virus Zika sévit dans les mêmes régions que celles de la dengue et du chikungunya.

Les cas sont en majorité bénins et les complications sont peu fréquentes. Cependant, certains cas de complications neurologiques post-infectieuses, de type syndrome de Guillain-Barré, ont été constatés au Brésil et en Polynésie Française en 2013. Ce syndrome se caractérise par une paralysie ascendante progressive qui peut atteindre les muscles respiratoires.

Les femmes enceintes risquent de transmettre le virus au fœtus pouvant engendrer des anomalies du développement cérébral chez l'enfant (microcéphalie).

### **I.2.8.2 Epidémiologie**

Dans le Pacifique, la première épidémie est survenue sur l'île de Yap (Micronésie) en 2007 causant 5000 cas. En 2013 et en 2014, c'est en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie que le virus atteint plus de 55 000 individus. Puis il est responsable de plusieurs épidémies majeures aux Antilles et en Amérique du Sud et Centrale entre 2015 et 2016. C'est au Brésil que le virus touchera le plus grand nombre de personnes, entre 450 000 et 1 500 000 cas suspects rapportés. [15] [9]

Les vecteurs majeurs sont *Aedes. aegypti* et *Aedes. hensili*.

En 2017, 10 cas importés de Zika ont été confirmés en France Métropolitaine.

## **I.3. Genre *Anopheles* [17] [14] [11]**

### **I.3.1. Classification**

Les moustiques du genre *Anopheles* appartiennent à la famille des Culicidae, et à la sous-famille des Anophelinae. On compte dans ce genre plus de 430 espèces. Les moustiques appartenant au genre *Anopheles* sont surtout connus pour leur rôle dans la transmission du paludisme, mais parmi ces espèces, seulement une soixantaine environ interviennent dans ce processus.

Les espèces d'anophèles se trouvent dans le monde entier, sauf en Antarctique. Le paludisme est transmis par différentes espèces d'anophèles selon les régions et l'environnement. Les

anophèles qui peuvent transmettre le paludisme se trouvent non seulement dans les zones où le paludisme est endémique mais aussi dans les zones où le paludisme a été éradiqué. Les zones où il a été éliminé sont donc constamment un risque de réintroduction de la maladie. La France fait partie de ces régions à risque car la présence de ce moustique couvre tout le territoire.

Le moustique du genre *Anopheles* le plus connu est *Anopheles gambiae* qui est vecteur de la Filariose lymphatique et surtout du paludisme en Afrique subsaharienne, en Asie et dans d'autres régions tropicales.

Les anophèles transmettent les *Plasmodium* responsables du paludisme. [17]

### I.3.2. Morphologie

Les moustiques du genre *Anopheles* sont constitués comme tous les moustiques de 3 parties ; la tête qui porte deux yeux, deux antennes deux palpes et une trompe ; il y a le thorax qui est composé de deux ailes et de trois paires de pattes ; et enfin l'abdomen qui renferme les organes de digestion, de reproduction et de développement des œufs.

Mais il existe chez l'anophèle, deux caractéristiques uniques permettant de le reconnaître (figure 9). Il possède de discrètes écailles noires et blanches sur ses ailes et lorsqu'il est posé sur une surface il se tient incliné, la tête penchée vers le sol et l'abdomen vers le haut, c'est une position oblique qui est caractéristique de l'espèce. [17]



Figure 9 : *Anophele gambiae*  
(D'après France moustique) [42]

### **I.3.3. Biologie**

Le cycle de l'anophèle comprend 4 stades comme tous les moustiques.

Il passe par deux grandes phases, une phase aquatique d'une dizaine de jours (œuf, larve, nymphe) et une phase aérienne d'une durée d'un mois environ (moustique adulte).

#### **I.3.3.1 La ponte et le stade ovulaire**

Les anophèles femelles, une fois fécondées pondent, directement à la surface de l'eau contrairement aux *Aedes*. Elles pondent 50 à 200 œufs par ponte qui mesurent 0,5 mm de long. Ils sont pondus individuellement et pourvus de flotteurs de chaque côté. Les œufs sont assez fragiles, ne résistent pas au séchage et doivent éclore dans les 2 à 3 jours bien que l'éclosion puisse prendre jusqu'à 2 à 3 semaines dans les climats froids. L'eau doit être relativement propre c'est-à-dire faiblement polluée mais plus ou moins vaseuse selon les espèces. L'eau doit être quasi stagnante et les gîtes de ponte peuvent être plus ou moins ensoleillés en fonction des espèces.

Les œufs flottent alors à la surface de l'eau soumis au jeu des tensions superficielles ; ils se regroupent parfois par leur extrémité pour former des sortes d'étoiles composés de six œufs.

#### **I.3.3.2 Stade larvaire**

La larve d'anophèle se compose de 3 parties : la tête, le thorax et l'abdomen. Mais elle se distingue des autres larves de moustiques par l'absence de pattes et un thorax relativement gros.

Elle va au cours de son développement passer par 4 stades larvaires ; c'est le phénomène de mue qui lui permet d'accroître sa taille à chaque stade pendant que la nouvelle cuticule durcit. Après la troisième mue, sa taille sera d'environ 12 à 15 mm.

De plus, cette larve respire et s'alimente parallèlement à la surface de l'eau, ce qui est caractéristique de cette espèce. La face dorsale positionnée vers le haut, elle va pouvoir créer

un courant apportant les éléments nutritifs au niveau de la bouche en position ventrale. Elle se nourrit de bactéries, de microplanctons, de micro-algues et de levures.

La durée de vie de la larve est d'une à deux semaines selon les espèces et les conditions climatiques ; elle s'alimente dans l'eau tout en respirant l'air atmosphérique.

### **I.3.3.3 Stade nymphal**

La cuticule de la larve va se fendre de façon longitudinale formant la nymphe, c'est une métamorphose complète. La tête et le thorax vont fusionner laissant apparaître un céphalothorax volumineux suivi d'un abdomen à 10 segments (8 bien visibles et 2 palettes natatoires). La nymphe acquiert une mobilité grâce à des contractions brusques de l'abdomen qui lui permettent de se déplacer pour échapper aux prédateurs. La nymphe ne s'alimente pas. La respiration se fait par l'intermédiaire de deux trompettes respiratoires reliées latéralement au céphalothorax. Ce dernier stade aquatique est responsable de remaniements internes très importants qui vont permettre la transformation en adulte ailé.

### **I.3.3.4 Stade adulte et aspects comportementaux**

Ce moustique est reconnaissable parmi les autres grâce à ses ailes tachetées et son corps présentant un abdomen relevé au repos. La reproduction de l'adulte se fait 24 à 48 heures après son émergence. Les femelles anophèles ne s'accouplent qu'une seule fois au cours de leur existence. En effet, elles conservent les spermatozoïdes dans une spermathèque. Lors de la ponte ovulaire, les spermatozoïdes ainsi stockés vont pouvoir être acheminés par le canal spermathéal jusqu'à son débouché qui se trouve près du vagin. L'œuf, avant d'être libéré est maintenu dans une position précise en regard du débouché du canal spermathéal. Un spermatozoïde pourra donc pénétrer dans l'ovule pour le féconder. Ce phénomène pourra se répéter plusieurs fois dans la vie de la femelle. La vie d'un adulte dure une semaine chez le mâle et jusqu'à 2 mois chez la femelle.

Les moustiques du genre *Anopheles* sont présents sur tout le territoire français mais plus particulièrement en Corse et en Camargue. Leur extension a été favorisée par la riziculture et ils sont très présents dans les marais. Le delta du Rhône est très fréquenté par les anophèles. Leurs déplacements sont limités à quelques kilomètres. La recherche du repas sanguin a lieu à l'aube et au crépuscule ; c'est à ces deux moments qu'ils sont les plus actifs. [18]

### I.3.4. Le Paludisme [9] [19]

Le paludisme est causé par un protozoaire sanguin de la classe des Sporozoaires appartenant au genre *Plasmodium*. Plus de 2 milliards de sujets y sont exposés. Le paludisme doit être évoqué devant toute fièvre au retour de pays tropicaux.

Cinq espèces plasmodiales sont les agents du paludisme humain :

- *P. falciparum* est le plus répandu en régions tropicales et intertropicales ; il est responsable d'une létalité élevée ;
- *P. vivax* se répand dans les régions à climat plus tempéré ; il peut entraîner très exceptionnellement des formes graves, voire le décès ;
- *P. ovale* est situé essentiellement en Afrique intertropicale ; il est plus rare ;
- *P. malariae* se localise sous forme de foyers dans toutes les régions d'endémie palustre ;
- *P. knowlesi*, a été reconnu récemment en Asie du Sud-Est, responsable de rares cas humains parfois fatals.

#### I.3.4.1 Symptômes

La présence des hématozoaires dans le foie est sans conséquence clinique. Cette phase dure au minimum 1 semaine pour *P. falciparum*, et 10 à 15 jours pour les autres espèces plasmodiales. C'est la période d'incubation minimale. Les symptômes débutent en fait de plusieurs heures à une semaine après la phase sanguine. Les signes cliniques vont apparaître lorsque la parasitémie dépasse un certain seuil qui est variable en fonction des individus. En cas de parasitisme intense, l'hémolyse est la principale cause de l'anémie et de l'ictère. L'organisme réagit par l'hyperplasie des cellules macrophagiques ce qui provoque l'hépatomégalie et la splénomégalie. *P. falciparum* est la seule espèce à assurer sa schizogonie érythrocytaire au niveau des capillaires viscéraux et cérébraux notamment, entraînant dans ses formes graves, des lésions tissulaires.

Il n'existe pas d'immunité naturelle, mais l'homme vivant en zone d'endémie soumis à des réinfections périodiques peut développer progressivement une immunité partielle (prémunition). Cet état limite la parasitémie et les effets pathogènes du parasite, ce qui peut aller jusqu'au portage parasitaire asymptomatique en zone d'endémie. Cette prémunition disparaît si le sujet n'est plus exposé à des piqûres infectantes ; c'est le cas d'émigrés retournant en vacances dans leur pays d'origine.

Pour la forme commune du paludisme non compliqué, la symptomatologie initiale est celle d'une fièvre évoluant par pics, associée à des frissons et à un syndrome algique (céphalées, myalgies). Cette forme peut présenter des troubles digestifs souvent chez l'enfant (anorexie, nausées, vomissements, douleurs abdominales et diarrhée). L'adulte peut présenter des formes de toux. En fonction de la répétition des accès palustres, apparaît une hépatomégalie et une splénomégalie qui demeurent inconstantes. Après quelques jours, la fièvre peut devenir récurrente : ces accès se répètent tous les 1 à 3 jours selon l'espèce plasmodiale responsable. Les patients comme le jeune enfant, la personne âgée, la femme enceinte, le sujet splénectomisé ou immunodéprimé doivent bénéficier d'une grande attention du fait des risques de complications.

Les formes graves, essentiellement causées par *P. falciparum* peuvent apparaître soit d'emblée, soit après des manifestations cliniques non reconnues comme accès palustre ou dont le traitement était inadapté ou tardif. La présence de l'un ou de plusieurs des critères de gravité du paludisme à *P. falciparum* chez un patient impose le transfert immédiat en secteur de réanimation. Parmi ces critères, on retiendra, les défaillances neurologiques (obnubilation, confusion, somnolence, prostration), les défaillances respiratoires, les défaillances cardiocirculatoires, les acidoses, les convulsions répétées (au moins 2 par 24h), hémorragies, hyperlactatémies, insuffisance rénale...

Le paludisme évolutif est une forme subaiguë ou chronique qui s'observe rarement. Il peut se déclarer en zone d'endémie chez l'enfant en cours d'acquisition de sa prémunition, lors d'infestations parasitaires répétées chez des sujets expatriés se soumettant à des chimioprophylaxies ou prenant des traitements antipaludiques partiellement efficaces ou chez des migrants ne vivant plus en zone d'endémie. Tout se passe comme si l'expression aiguë du paludisme était atténuée pour laisser place à une infection subintrante. Le tableau clinique associe une altération progressive de l'état général (asthénie, anorexie, amaigrissement), une fébricule irrégulière à 38°C parfois absente, une splénomégalie constante, un subictère



parfois, une élévation des IgG sériques, une parasitémie très faible voire parfois non détectable et surtout une sérologie palustre très positive.

#### **I.3.4.2 Transmissions et cycle parasitaire**

Les hématozoaires (protozoaires des globules rouges) sont transmis par la piqûre indolore de l'anophèle femelle, le soir et surtout la nuit. Une seule piqûre infectante suffit pour transmettre un paludisme.

Le moustique inocule des sporozoïtes (cellules infectantes) qui atteignent le foie et s'y multiplient. De façon générale, les hépatocytes parasités vont libérer des mérozoïtes. Ces mérozoïtes vont pénétrer dans les hématies et se transforment en trophozoïtes puis par multiplication nucléaire, en schizonte. Le cycle de maturation intra-érythrocytaire varie selon l'espèce et dure 24h (*P. knowlesi*), 48h (*P. falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale*) ou 72h (*P. malariae*). Ces différents cycles expliquent la périodicité des accès de fièvre par éclatement synchrone d'un grand nombre d'hématies. Après plusieurs cycles, apparaissent dans les hématies les formes sexuées non pathogènes, qui sont les gamétocytes mâles et femelles.

Lors d'une piqûre chez une personne impaludée, l'anophèle absorbe les gamétocytes. Leur transformation finale en sporozoïtes nécessite selon les espèces plasmodiales des températures d'au moins 17 à 20°C et une hygrométrie supérieure à 60%.

La transmission par voie placentaire est possible. La transmission suite à une transfusion, ou par greffon, par exposition au sang pour des soignants ou par toxicomanie a été rapportée dans des cas exceptionnels. [19]

#### **I.3.4.3 Epidémiologie**

Le paludisme touche une centaine de pays dans le monde et plus particulièrement les zones tropicales défavorisées d'Afrique, d'Asie et d'Amérique Latine. Le continent le plus impacté reste tout de même l'Afrique avec 90% des cas de paludisme recensés dans ces zones tropicales. Des épidémies peuvent survenir lors de mouvements de populations peu exposées au paludisme vers des zones hautement endémiques.

L'Europe connaît des cas de paludisme d'importation. En France, en 2011, 3 560 cas d'importation ont été rapportés (source InVS) [20.] Les voyages touristiques et professionnels vers les zones d'endémie et la fréquence croissante de retours temporaires d'immigrés dans leur pays d'origine pour des raisons familiales expliquent la majorité des cas de paludisme importés en France métropolitaine. Cependant, le paludisme de port ou d'aéroport reste exceptionnel.

Le réservoir semble être principalement humain, à l'exception de *P. knowlesi* pour lequel les singes macaques sont le réservoir naturel.

## **I.4. Culex [9]**

### **I.4.1. Classification**

Le genre *Culex* désigne les plus communs des moustiques. Ils appartiennent à la famille des Culicidae et à la sous-famille des Culicinae. Il existe 768 espèces de ce genre. Les plus connus sont *Culex pipiens*, *Culex quinquefasciatus* et *Culex australicus*.

Ces moustiques sont présents aussi bien en milieu tropical qu'en milieu tempéré. Les culex sont les moustiques prédominants en France Métropolitaine. Il existe de nombreuses espèces mais c'est *Culex pipiens* ou moustique commun qui est le plus répandu. *Culex pipiens* présente deux sous-espèces. La première, *Culex pipiens pipiens* est un moustique des « champs » en zones tempérées principalement ornithophiles, piquant la nuit et se reposant à l'extérieur des habitations. Les larves se développent dans de l'eau pas ou peu polluée (mares, marais...). La seconde, *Culex pipiens molestus* correspond à un moustique commun des « villes » qui possède une attirance très prononcée pour les environnements anthropiques où il pique l'Homme. Ses larves se développent dans des gîtes artificiels parfois très pollués par des matières organiques.

*Culex quinquefasciatus* est connu pour véhiculer la filariose et la fièvre du Nil occidental mais ce moustique n'est pas présent en France ; on le trouve aux Etats-Unis et en Inde.

*Culex pipiens* est impliqué dans la transmission d'agents pathogènes aux oiseaux (principalement des arbovirus) ainsi qu'aux mammifères et à l'Homme sous sa forme *molestus* (virus de la fièvre West Nile, et la fièvre de la vallée du Rift). *Culex pipiens molestus* peut être considéré comme un vecteur « bridge » capable d'assurer des transferts de virus enzootiques de la faune sauvage vers les animaux domestiques et l'Homme.

### I.4.2. Morphologie [38]

Les moustiques du genre *Culex* mesurent de 5 à 7 mm de long, comme tous les Culicidae, la tête comporte deux yeux, deux antennes, une trompe et deux palpes (figure 10). Le thorax est composé de deux ailes et de trois paires de pattes. Les ailes sont couvertes et bordées d'écailles et dépassent légèrement de l'abdomen qui est brun et annelé. L'abdomen renferme les organes de digestion, de reproduction et de maturation des œufs.

Les deux moyens de reconnaissance du genre *Culex* sont les pulvilli et les palpes. Les pulvilli forment le système d'accroche du moustique situé à l'extrémité des pattes. Les palpes du mâle qui sont les organes sensoriels sont repliés vers le haut. [21]



Figure 10 : *Culex pipiens*  
(D'après cinq sur cinq.fr) [43]

### I.4.3. Biologie

La femelle *Culex* peut pondre tous les 2 à 3 jours et jusqu'à 150 œufs. Les œufs sont rassemblés sous forme de nacelle. Une semaine après la ponte, les œufs éclosent. Les larves apparaissent donc et se placent verticalement par rapport à la surface de l'eau, la tête vers le bas respirant par l'intermédiaire d'un siphon respiratoire. Le cycle gonadotrophique va durer une dizaine de jours entre l'éclosion et l'émergence de l'adulte.

#### **I.4.4. Stade adulte et aspect comportemental**

Les culex privilégient les eaux stagnantes et riches en matière organique comme les mares, les fossés ou les stations d'épuration. La dispersion autour du gîte larvaire se limite de quelques centaines de mètres à deux ou trois kilomètres. Ce moustique est nocturne ; c'est pendant la nuit qu'il va rechercher son repas sanguin. La femelle peut piquer deux fois par semaine en plein été. Si elle ne trouve pas de sang, elle peut se nourrir de nectar, mais ne pondra alors qu'une vingtaine d'œufs. Les mâles vivent environ trois semaines et les femelles jusqu'à 3 mois.

Chez la plupart des sous-espèces de *Culex*, la cible préférentielle pour le repas de sang sont souvent les oiseaux, c'est pour cela qu'ils sont considérés comme moins dangereux que les *Aedes* ou les *Anopheles*. Cependant plusieurs sous-espèces sont impliquées dans la transmission de maladies comme la fièvre du Nil occidental, l'Encéphalite japonaise ou la filariose. [9]

#### **I.4.5. La fièvre de West-Nile [9] [58] [59]**

Le virus du West-Nile ou virus du Nil occidental a été isolé pour la première fois en 1937 en Ouganda. Il appartient au genre *Flavivirus*, et au complexe antigénique de l'encéphalite japonaise, dans la famille des *Flaviviridae*, il est présent sur tous les continents, à l'exception de l'Antarctique et il est considéré comme l'arbovirus le plus répandu dans le monde.

##### **I.4.5.1 Symptômes**

Chez l'Homme, la majorité des cas d'infection par le virus du West-Nile (80%) est asymptomatique. Les formes symptomatiques de cette maladie sont caractérisées par l'apparition brutale d'une fièvre importante après 3 à 6 jours d'incubation. Cette fièvre s'accompagne de maux de tête, de douleurs musculaires, d'une éruption cutanée, de nausées, de diarrhées et de symptômes respiratoires. Des complications neurologiques (méningites, encéphalite) peuvent survenir dans moins de 1% des cas. Plus rarement, d'autres complications peuvent apparaître (hépatite, pancréatite ou myocardite).

Dans la plupart du temps, le malade récupère spontanément avec parfois quelques séquelles. Cette infection virale peut s'avérer mortelle principalement chez les personnes âgées ou l'immunodéprimé.

### **I.4.5.2 Transmission**

Ce virus infecte principalement les oiseaux qui sont des hôtes amplificateurs mais peut également infecter des hôtes accidentels tels que les chevaux et d'autres animaux domestiques. Les oiseaux migrateurs jouent ici le rôle de réservoir. Le virus du West-Nile est transmis à l'Homme principalement par la piqûre d'un moustique vecteur infecté. Ces insectes se contaminent en se nourrissant sur des oiseaux infectés, chez lesquels le virus reste pendant quelques jours dans le sang. Le virus va migrer dans les glandes salivaires du moustique femelle, qui devient alors compétent pour la transmission du virus à l'Homme lors d'un prochain repas de sang.

Il faut noter que quelques cas de transmissions par transfusion sanguine ont été rapportés.

Les espèces de moustiques impliquées dans la transmission du virus appartiennent essentiellement au genre *Culex*. En Afrique et au Moyen Orient, les principaux vecteurs sont *Culex univittatus*, *Culex antennatus* et *Culex pipiens*. En Asie, il s'agit de *Culex tritaeniorhynchus* et *Culex quinquefasciatus*. En Europe et en Russie, les plus observés sont *Culex pipiens* et *Culex modestus*.

*Culex pipiens* est l'espèce responsable des épidémies de grande ampleur aussi bien sous sa forme *pipiens* que *molestus*.

### **I.4.5.3 Epidémiologie**

Découvert en 1937 en Ouganda, le virus du West-Nile est présent dans toute l'Afrique, dans certaines parties de l'Europe, du Moyen-Orient, en Asie Occidentale et en Australie. Son Introduction aux Etats-Unis a eu lieu en 1999 et s'est aujourd'hui propagé du Canada au Venezuela. Les plus grandes flambées épidémiques se sont produites en Grèce, en Roumanie, en Russie et aux Etats-Unis. Il a été démontré une corrélation entre ces épidémies et les principales voies de migration des oiseaux.

En France métropolitaine, les premiers cas équin ont été diagnostiqués dans le début des années 1960. Le virus a été responsable d'une épidémie chez les chevaux en Camargue en 2000 et 7 cas humains ont été recensés en 2003 dans le Var.

Aujourd'hui, le virus du West-Nile est endémique dans plusieurs pays d'Europe comme la Grèce et l'Italie et son aire de répartition est en progression.

### **I.5. Les Phlébotomes [17] [23] [24]**

Les phlébotomes sont des insectes de très petite taille, d'aspect de petits moucheron appartenant à la famille des Psychodidae. Seule la femelle est hématophage et susceptible de transmettre la leishmaniose qui est une parasitose du système monocytes-macrophages dont l'agent est un protozoaire flagellé du genre *Leishmania*.

#### **I.5.1. Classification**

Les phlébotomes sont des Diptères Nématocères qui appartiennent à la sous-famille des Phlebotominae. Deux genres présentent un intérêt médical : *Phlebotomus* spp vecteur des leishmanioses eurasiatiques et africaines et *Lutzomyia* spp pour les leishmanioses américaines. Pour le genre *Phlebotomus*, les principales espèces vectrices se répartissent en six sous-genres : *Phlebotomus*, *Paraphlebotomus*, *Larroussius*, *Symphlebotomus*, *Adlerius* et *Euphlebotomus*. Pour le genre *Lutzomyia*, les sous-genres les plus importants sont : *Lutzomyia*, *Nyssomyia* et *Psychodopyrgus*. Ces différents sous-genres sont les vecteurs exclusifs des leishmanioses mais aussi de diverses arboviroses et d'une bartonellose.

## I.5.2. Morphologie



Figure 11 : *Phlebotomus* sp

(D'après wikimédia.fr) [44]

Les phlébotomes sont des petits Diptères hématophages présentant un corps grêle et allongé (figure 11). Les adultes mesurent de 2 à 4 mm de long. Leur corps est de couleur pâle (jaunâtre, grisâtre ou brunâtre) et fortement velu. Au repos, leurs ailes forment un angle de 45° ce qui leur confère une attitude caractéristique. Ces ailes sont également très soyeuses et de forme lancéolée ; elles présentent 7 nervures longitudinales et des nervures transversales toujours situées près de la base d'insertion. La tête est formée en grande partie par une capsule chitineuse (épicroâne), limitée de chaque côté par un œil composé de plusieurs unités similaires. Elle porte deux antennes et les pièces buccales qui forment le proboscis assez court. Les deux antennes qui s'insèrent au niveau de la région frontale sont formées chacune de 16 segments soyeux, deux segments basaux pas plus longs que larges et de 14 segments beaucoup plus minces constituant le flagellum. Ces segments sont constitués d'épines géniculées. L'ensemble des pièces buccales forme donc une trompe courte. Seules les femelles portent des mandibules dentelées. Le thorax est bien développé, il est convexe et constitué de trois segments : le prothorax, le mésothorax et le métathorax. Sur chacun des trois segments thoraciques fusionnés, est insérée une paire de pattes articulées longues et fines. L'abdomen cylindrique est formé de 10 segments, les 7 premiers portent chacun une paire de stigmates respiratoires et les trois derniers, modifiés, constituent les organes génitaux. Ceux-ci sont très développés chez les mâles. [17]

### I.5.3. Biologie [10]

Le cycle de vie des phlébotomes est holométabole, comprenant 4 stades larvaires, une nymphe et un imago. Les 4 stades larvaires sont terrestres et saprophages, ces larves vivent confinées dans des gîtes caractérisés par la stabilité de l'environnement, dans des lieux sombres, calmes, assez humides : creux d'arbre, anfractuosités du sol ou des murs, terriers de rongeurs, etc. Les nymphes qui restent immobiles, se trouvent dans les mêmes habitats. Les adultes fréquentent eux aussi des micro-habitats sombres, humides et isolés du vent, se trouvant proches des habitats de leurs hôtes vertébrés. En effet, dès leur émergence, les phlébotomes cherchent à se nourrir. Alors que l'insecte mâle se contente de sucs de plantes, et de miellat de pucerons, la femelle doit se procurer du sang pour le développement de ses œufs. Elle se nourrit en piquant aussi bien l'homme que les animaux vertébrés. La piqûre est telmophage, créant un micro hématome, une "flaque" dans laquelle le sang est puisé. Cette piqûre est douloureuse et s'accompagne de l'inoculation de salive contenant des substances aux propriétés anticoagulantes et ayant un rôle sur l'immunité locale. Le sang continue donc de saigner après la piqûre et déprime l'immunité locale, par inhibition de la production D'INF- $\gamma$  et de dérivés nitrogénés par le macrophage. La prolifération cellulaire des macrophages et la présentation des antigènes sont alors inhibées. Ce processus facilite donc l'infection leishmanienne lorsque le phlébotome est infecté. Le temps entre un repas sanguin et la maturation des œufs dépend de l'espèce, de la vitesse de digestion et de la température ambiante. La femelle, après s'être gorgée de sang prend une brève période de repos, va rejoindre son abri où elle digère son repas sanguin. La digestion qui dure généralement plus de 48 heures permettra la maturation d'une centaine d'œufs. La femelle ayant pondu ses œufs à même le sol, va rechercher un nouvel hôte pour un nouveau repas sanguin. Ces cycles gonadotrophiques durent de 3 à 10 jours. Entre chaque cycle la femelle se nourrit de sucs végétaux comme le mâle. Le premier repas sanguin a lieu 48h après l'émergence des insectes adultes ; il est précédé ou suivi d'un accouplement avec le mâle. Sa durée de vie étant de 1 à 3 mois, la femelle phlébotome prendra des repas sanguins sur plusieurs hôtes, elle pourra alors s'infecter sur un hôte et permettre le développement d'agents pathogènes sur d'autres, assurant la diffusion de la leishmaniose.

La survie et le développement des œufs dépendent des conditions appropriées de température et d'humidité. L'incubation des œufs est de l'ordre de 4 à 17 jours et varie en fonction de la température, qui est idéale entre 26 et 30°. Chaque œuf allongé mesurant entre 0,3 et 0,4 mm donne une larve vermiforme de 8 mm, terricole, sédentaire et phytophage. Il y a 4 stades larvaires, c'est-à-dire qu'elle va muer trois fois avant de se transformer en nymphe.



La durée de ces 4 stades est aussi dépendante de la température. La nymphe blanchâtre est fixée en position verticale par son extrémité postérieure. Elle reste sur les mêmes gîtes que ceux de la larve, elle doit être protégée de l'insolation et de tout facteur météorologique brutal. Le stade nymphal dure de 6 à 15 jours ; il est caractérisé par une vie ralentie et la nymphe va subir la mue imaginale conduisant à l'insecte adulte.

En résumé, le développement d'un phlébotome de l'œuf au stade imaginal dure de 20 à 90 jours. Cette période est néanmoins dépendante des conditions climatiques et peut se voir interrompue par des phénomènes de diapause pouvant intervenir si les conditions climatiques ne sont pas favorables. En climat tempéré comme en France métropolitaine, l'hibernation se fait au stade d'œuf ou de larve durant l'hiver.

#### **I.5.4. Mode de vie [17] [24]**

Les phlébotomes sont présents sur tous les continents mais leur période d'activité et leur densité varient selon l'altitude, la latitude, la saison et l'espèce. Dans les régions tropicales, ils sont actifs toute l'année, tandis que dans les régions tempérées ils sont en pause hivernale.

En France les adultes sont actifs du printemps à l'été, dans le sud ; la saison des phlébotomes débute en mars et s'achève en septembre. Lorsque la fin de l'été est douce, la saison peut se prolonger jusqu'en octobre et la dernière génération de phlébotomes hiberne au stade larvaire.

Les adultes sont actifs seulement à certaines heures de la journée : à l'aube et au crépuscule.

La nuit ils se déplacent peu et la journée ils se cachent dans des endroits obscurs et abrités.

Leurs habitats sont assez variables : zones humides, semi-arides, et du niveau de la mer jusqu'à de hautes altitudes (1500 m). Le phlébotome dispose d'une importante capacité d'adaptation et se satisfait de nombreux micro-habitats naturels et domestiques. Leur battement d'ailes n'est pas audible à la différence d'autres diptères et par conséquent il est très difficile de détecter leur présence. Leurs déplacements sont très courts, de l'ordre de 200 m. Ce qui limite leur aire d'évolution et par conséquent restreint les zones affectées.

Les phlébotomes sont présents en France jusqu'à hauteur de la vallée de la Loire. Les conditions climatiques et biologiques jouent un rôle important pour le repos et la reproduction. Le vent est néfaste pour les phlébotomes : les biotopes abrités sont privilégiés. La présence d'humus et de matières organiques pour les gîtes larvaires est indispensable ainsi qu'un taux d'humidité assez élevé. Une température comprise entre 26 et 30°C est optimum pour favoriser leur pullulation. C'est pourquoi la pullulation des phlébotomes est limitée en France à la saison estivale. Les facteurs météorologiques étant d'une année sur l'autre différents, ils

peuvent limiter ou au contraire accentuer leur pullulation. Mais depuis ces dernières décennies, la tendance est à une élévation de la température qui entraîne un climat favorable à la prolifération des phlébotomes.

### **I.5.5. La Leishmaniose**

La leishmaniose est une maladie chronique due à l'infestation par un protozoaire flagellé appartenant au genre *Leishmania* et à la famille des Trypanosomatidae. La leishmaniose canine est fréquente dans le sud de la France alors que les leishmanioses humaines ont une prévalence globalement faible. Les leishmanioses humaines incluent des formes viscérales, des formes cutanées localisées ou diffuses et des formes cutanéomuqueuses. Cette multiplicité de tableaux cliniques résulte à la fois d'un large éventail d'espèces leishmaniennes et de la variation de la réponse immunitaire de l'hôte infecté. La leishmaniose viscérale, la forme la plus grave, se manifeste par de la fièvre, de l'anémie, un amaigrissement, un gonflement du foie et de la rate et des ganglions lymphatiques. Elle est mortelle en l'absence de traitement.

Les leishmanies sont transmises à l'homme par la piqûre d'un phlébotome. Elles sont injectées au stade promastigote à l'hôte. Dans le derme, ces leishmanies sont digérées par les macrophages les transformant en amastigotes, c'est-à-dire qui ne possèdent plus de flagelles. Les cellules qui les hébergent peuvent ensuite se localiser dans différents tissus ou organes. En fonction de facteurs propres à l'hôte et à l'espèce de leishmanie, les symptômes de la maladie apparaissent.

En France métropolitaine, la leishmaniose, notamment la leishmaniose viscérale, est présente dans les biotopes méditerranéens (Pyrénées Orientales, Cévennes, Provence, Côte d'Azur et Corse). *Leishmania infantum* est l'espèce responsable de cette zoonose des canidés domestiques et sauvages.

Deux espèces de phlébotomes sont vectrices de *Leishmania infantum* en France :

*Phlebotomus perniciosus* est une espèce à large répartition géographique s'étendant en Europe, du Portugal à l'ouest jusqu'à la Turquie à l'est. C'est l'espèce vectrice principale dans la partie occidentale du sud de l'Europe, et en particulier en France où elle remonte jusqu'en Haute Marne, en Seine et Marne et dans le Val d'Oise. Son aire d'extension dépasse

largement le pourtour méditerranéen rendant possible une expansion de l'endémie en cas de réchauffement climatique.

*Phlebotomus ariasi* est seulement rencontré dans la partie occidentale du Bassin méditerranéen, au Portugal, en Espagne et en France. [25]

## **II. Le réchauffement climatique, conséquences sur la santé humaine**

---

Le réchauffement climatique est une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre. Son existence n'était pas encore soupçonnée il y a quelques décennies. Mais la réalité de ce phénomène et même ses causes sont désormais reconnues par tous ou presque. Nous n'allons pas nous attarder sur l'étude des facteurs influençant ce changement de climat car ils sont extrêmement nombreux et reliés entre eux par des interactions multiples. Cependant, nous ne pouvons nier les facteurs anthropiques relatés par le Groupe Intergouvernemental d'Expert sur l'évolution du Climat (GIEC). En effet, ce réchauffement serait lié à la libération de quantités massives de gaz à effet de serre dans l'atmosphère due aux activités humaines. Ces émissions ont pour origine la combustion des énergies fossiles comme le pétrole ou le charbon.

L'analyse de ces effets éventuels s'avère très délicate d'autant que ces changements et donc ces effets ne seront pas les mêmes partout.

Nous allons nous intéresser aux données mesurables prouvant un réel réchauffement climatique et aux prévisions de celui-ci pour les années futures. Puis nous étudierons les conséquences qui en découlent sur la santé humaine par le biais des comportements des populations d'insectes vecteurs de maladies.

### **II.1. Evolution du climat en France [26]**

#### **II.1.1. Etude de la température moyenne annuelle jusqu'à nos jours**

En France, en 1899, la Météorologie Nationale met en place un indice des températures moyennes mensuelles. Cet événement marque un tournant dans les mesures de températures systématiques qui fournissent de précieuses indications. Ainsi Météo France a pu enregistrer 118 ans de relevés de températures en France. Une année exceptionnellement chaude ne constitue pas à elle seule un symptôme de réchauffement. Cependant ces enregistrements nous permettent de remarquer un réchauffement clairement prononcé depuis plus de vingt ans. L'étude des données de température montre que les 10 années les plus chaudes sont toutes postérieures à 1990 et que parmi les 10 années les plus froides, 5 ont été enregistrées avant 1930 et la plus récente date de 1963.

La moyenne annuelle de température en France est passée de 11,44°C dans les années 1900 à 11,82°C dans les années 1950, puis à 12,96°C dans les années 2000 et enfin à 13,04°C dans les années 2010. On constate donc une élévation de la température moyenne depuis 1900 à nos jours de 1,6 °C (figure 12).

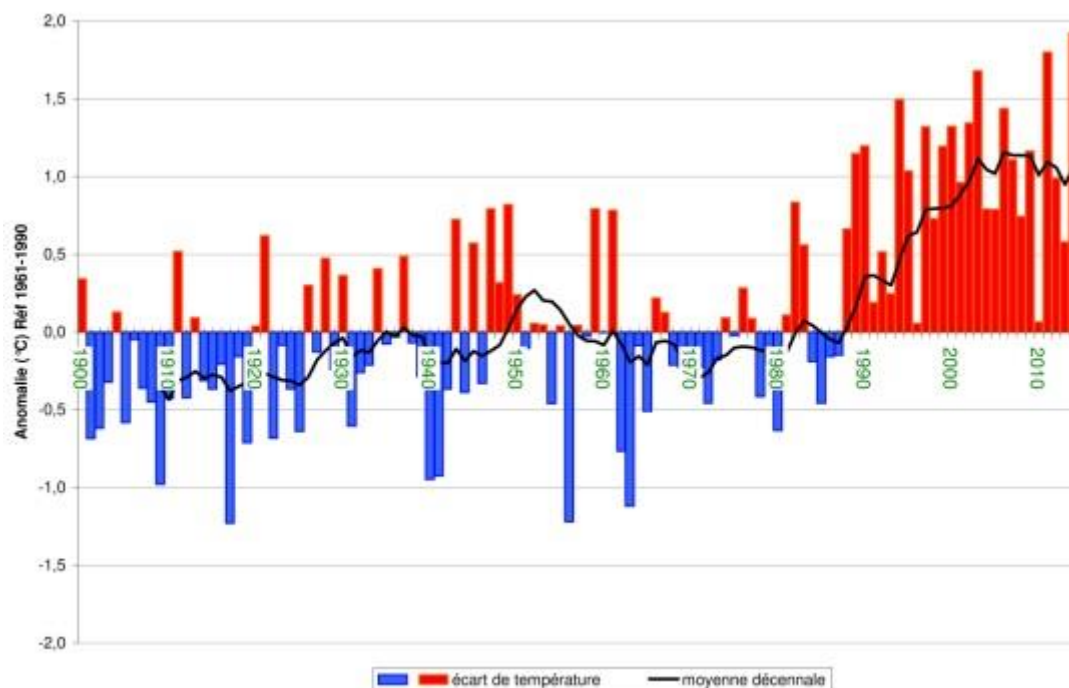


Figure 12 : Evolution de la température en France  
(D'après Météo France) [45]

*Anomalie de la température moyenne annuelle de l'air, en surface, par rapport à la normale de référence : température moyenne en France (l'indicateur est constitué de la moyenne des températures de 30 stations météorologiques. Le zéro correspond à la moyenne de l'indicateur sur la période 1961-1990, soit 11,8 °C).*

On voit sur ce graphique que depuis les années 1990, les écarts de températures moyennes annuelles sont uniquement en hausse par rapport à la moyenne.

Cela se traduit par une diminution du nombre de jours de gel en hiver et une augmentation du nombre de jours dépassant les 25°C sur l'ensemble du territoire.

On peut constater une tendance claire au réchauffement climatique depuis 1899 et même une accélération de celui-ci depuis les années 1970. En effet au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, la

température moyenne a augmenté en France de 0,1°C par décennie mais la tendance s'est récemment accélérée.

Au niveau des précipitations, on constate une hausse de celles-ci en hiver et une baisse en été allongeant les périodes de sécheresse.

Au cours du XXe siècle, la température moyenne du globe a augmenté d'environ 0,6 °C et celle de la France métropolitaine de plus de 1 °C.

## **II.1.2. Etude des prévisions climatiques en France**

En Septembre 2014, un rapport est remis au ministère de l'écologie par un groupe d'experts dirigé par le climatologue Jean Jouzel. Ce rapport, notamment rédigé par des scientifiques de Météo France, présente différents scénarios de changement climatique en France jusqu'en 2100.

Parmi ces spécialistes, les économistes ont défini trois scénarios distincts en fonction des probabilités d'évolution technologique et socio-économique. Ce sont les RCP, « Representation Concentration Pathways » ou Profils représentatifs d'Evolution de Concentration. Les climatologues peuvent alors en déduire des projections climatiques. Ces prévisions sont dénommées ainsi :

- RCP 2,6 : Scénario avec une politique de climat visant à faire baisser les concentrations en CO<sub>2</sub>.
- RCP 4,5 : Scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO<sub>2</sub>.
- RCP 8,5 : Scénario sans politique de climat.

Ces prévisions sont aussi découpées en trois horizons différents :

- Horizon proche : 2021 à 2050.
- Horizon moyen : 2051 à 2070.
- Horizon lointain : 2071 à 2100.

Les résultats de ce rapport montrent qu'il y aura une augmentation de la température moyenne annuelle pour les trois scénarios RCP et les trois horizons. Mais cette augmentation est croissante pour les scénarios RCP 4,5 et RCP 8,5 contrairement au scénario RCP 2,6.

Les résultats mettent en évidence pour les trois scénarios RCP une augmentation de la température moyenne annuelle au cours des prochaines décennies sur le territoire métropolitain, pour les trois horizons considérés. Il est important de signaler que cette augmentation est croissante pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5, mais pas pour le scénario RCP 2.6 (scénario qui prend en compte les effets de politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C) pour lequel le réchauffement se stabilise, voire diminue en fin de siècle par rapport à l'horizon à moyen terme.

L'augmentation moyenne pour le milieu du XXI<sup>ème</sup> siècle, est comprise entre 1 et 2°C pour les régions d'influence Atlantique et Méditerranéenne, et entre 2 et 3°C pour les territoires plus continentaux. En ce qui concerne la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle, les résultats présentent pour le scénario le plus pessimiste (RCP 8.5) une augmentation moyenne annuelle comprise entre 3 et 4°C pour la façade nord-ouest, et entre 4 et 5 °C pour le reste du territoire.

On constate ainsi des résultats cohérents entre les différentes simulations, avec des intensités de réchauffement qui varient en fonction du scénario choisi.

En métropole dans un horizon proche (2021-2050) :

- une hausse des températures moyennes entre 0,6 et 1,3°C (plus forte dans le Sud-Est en été),
- une augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur en été, en particulier dans les régions du quart Sud-Est,
- une diminution du nombre de jours anormalement froids en hiver sur l'ensemble de la France métropolitaine, en particulier dans les régions du quart Nord-Est.

D'ici la fin du siècle (2071-2100), les tendances observées en début de siècle s'accroissent, avec notamment :

- une forte hausse des températures moyennes pour certains scénarios : de 0,9°C à 1,3°C pour le scénario de plus faibles émissions (RCP 2.6), mais pouvant atteindre de 2,6°C à 5,3°C en été pour le scénario de croissance continue des émissions (RCP 8.5),
- un nombre de jours de vagues de chaleur qui pourrait dépasser les 20 jours au Sud-Est du territoire métropolitain pour le scénario RCP 8.5,

- la poursuite de la diminution des extrêmes froids,
- des épisodes de sécheresse plus nombreux dans une large partie sud du pays, pouvant s'étendre à l'ensemble du pays,
- un renforcement des précipitations extrêmes sur une large partie du territoire, mais avec une forte variabilité des zones concernées. [26]

## **II.2. Conséquences sur la santé humaine [1]**

Les spécialistes nous proposant plusieurs scénarios possibles, l'étude des comportements des différents systèmes vectoriels s'avère difficile. Dans tous les cas, il ne fait aucun doute que les conséquences se feront sentir sur le fonctionnement des écosystèmes et notamment sur l'épidémiologie des maladies à vecteur. Les impacts auront lieu, ou ont déjà lieu, sur les trois composantes des systèmes vectoriels, à savoir les populations des réservoirs naturels, celles des agents infectieux et celles des arthropodes vecteurs.

Chacune des espèces impliquées est amenée à subir des modifications écologiques qui auront des répercussions sur la densité de leur population, sur des phénomènes de migrations et donc sur leur répartition géographique. Il y aura alors des changements entre les relations des hôtes et des vecteurs.

On peut alors s'attendre pour les vecteurs à voir apparaître des modifications de leur aire géographique, de leur densité, de leur longévité, de la durée de leur cycle biologique, et de leur dynamique saisonnière. Leur taux de natalité peut s'élever en fonction de la température mais dépend aussi des taux d'humidité et de sécheresse. La survie des insectes peut s'élever avec la température jusqu'à un point maximum mais diminue fortement si la sécheresse augmente.

Pour ce qui est des relations entre parasites et vecteurs, là encore le réchauffement climatique peut jouer un rôle sur la durée de l'incubation extrinsèque qui peut diminuer dans certaines limites, lorsque la température s'élève. Le taux de transmission verticale peut donc aussi être concerné.

Les conséquences du réchauffement climatique sur les maladies à transmission vectorielle pourront se manifester sur ;



- Les répartitions des zones d'endémies et sur la dissémination des épidémies,
- Les saisons de transmission, avec des conséquences sur l'immunité des populations de vertébrés,
- Les intensités de transmission, avec des conséquences sur l'incidence des maladies et sur l'immunité des populations.

Par leurs traits biologiques et écologiques, les arthropodes sont très sensibles aux conditions environnementales. Ils subissent ces conditions comme l'humidité et la température tout en disposant de moyens limités pour y échapper. Ils vont rechercher des conditions favorables dans leur micro-environnement ou rentrer en diapause si ces conditions sont défavorables. En conséquence, les changements environnementaux et climatiques affectent grandement les émergences d'infections à transmission vectorielle. [27] [28]

Lors de l'étape de diffusion d'un vecteur nouvellement installés, si celui-ci est adapté à la survie dans les conditions locales, il pourra s'étendre progressivement à de nouveaux territoires. Cela sera permis par les capacités de diffusion extrinsèque du vecteur. Pour des espèces exotiques provenant de zones climatiques comparables, aucun changement climatique ni environnemental n'est nécessaire à cette étape. Dans les deux cas, il est difficile de prévoir quand ce processus démarrera et quelle en sera l'ampleur.

## **II.2.1. Conséquences sur le Chikungunya, la dengue et Zika [29] [30] [31]**

### **II.2.1.1 Propagation d'*Aedes albopictus* en France Métropolitaine**

Plusieurs espèces d'*Aedes* sont reconnues comme invasives en Europe et leur évolution est suivie de près. Des cinq espèces, *Aedes albopictus* est la plus connue. Découvert en Europe, en Albanie dans les années 1970, le moustique tigre s'y est installé par le biais de fortes importations de matériels militaires chinois. Sa diffusion est restée limitée car le pays était hermétiquement fermé aux échanges avec le reste de l'Europe. Ce n'est qu'après la chute du mur de Berlin en 1989 que les frontières avec le reste de l'Europe se sont ouvertes. Ce moustique a donc pu commencer à voyager grâce aux nouveaux échanges commerciaux. La preuve en est, sa présence est confirmée en Italie en 1990.

Les souches de moustiques introduites, sont alors génétiquement programmées pour entrer en diapause en hiver car elles proviennent de régions d'Albanie au climat tempéré. Elles sont donc tout à fait capables de s'installer dans les pays du pourtour méditerranéen. Ces moustiques diffusent maintenant vers le nord le long des grands axes routiers grâce aux véhicules empruntés par l'homme (figure 13).

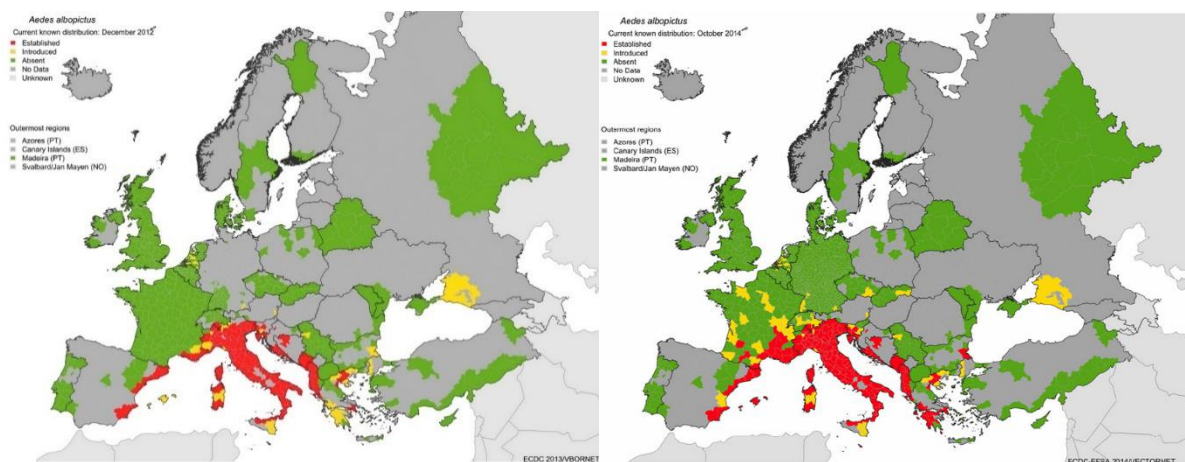


Figure 13 : Evolution de l'Invasion en Europe d'*Aedes albopictus* en Europe en décembre 2012 puis en octobre 2014 (D'après VBORNET) [46]

Une équipe dirigée par le français Frédéric Sicmard travaille à modéliser la progression du Tigre en France. Leurs travaux sont publiés en mai 2015 dans PLOS ONE [31]. Cette étude démontre que les activités humaines sont particulièrement importantes pour la dispersion des moustiques *Aedes albopictus* et que son étendue progresse d'année en année. De plus, elle s'intéresse à l'adaptation potentielle aux climats plus froids, sous des latitudes plus nordiques. Cette investigation est basée sur l'exploitation des pièges pondoirs dans le sud de la France en partenariat avec l'Entente Interdépartementale de démoustication (EID). Ces résultats prouvent que ce moustique se déplace le long des axes routiers et qu'il a une préférence pour les régions urbaines et suburbaines. En effet cet *Aedes* est hautement anthropophile lorsqu'il a à sa disposition un large éventail d'hôtes disponibles amplifiant les risques en santé publique. *Aedes*, à l'origine considéré comme un moustique rural car il se reproduisait préférentiellement dans les habitats naturels (notamment lisière de forêts), est de plus en plus répandu dans les milieux urbains où il y trouve des zones de plus en plus propices.

Le modèle de prévision statistique est fondé sur les prévisions de l'année n-1 et le taux de confirmation pour l'année suivante. La concordance des données entomologiques recueillies et les prédictions pour la même période permettent de faire des prédictions sur les futures voies de dispersion, mettant en évidence un risque majeur pour l'établissement d'*Aedes albopictus* dans les zones fortement urbanisées le long du réseau routier vers le nord et l'ouest de la France. Ainsi, au fur et à mesure des années, ils obtiennent des résultats de plus en plus fiables. La propagation d'*Aedes albopictus* en France continentale augmente d'année en année ce qui suggère une accélération du processus d'invasion. Des interceptions ponctuelles vers le nord dans des régions non-colonisées montre que le trafic routier est responsable de la dispersion de l'insecte, ces régions étant, chaque année, plus éloignées des zones colonisées. [31]

Dans cette étude, certains facteurs climatiques sont particulièrement importants comme la température minimale du mois le plus froid, permettant la survie ou non des œufs pendant l'hiver. Il est aussi bien connu que la température influence fortement le développement d'*Aedes albopictus* (rôle sur l'émergence et sur la mortalité). Une différence de 4°C suffit pour voir une densité de moustique divisée par deux. Cette différence de température pourrait coïncider entre les températures de la frontière italienne et les régions du centre de la France (figure 14).

Nous avons donc deux facteurs qui entrent en compte pour prédire l'évolution de l'invasion de ce moustique. D'un côté les prévisions météorologiques pessimistes sur le réchauffement des températures, donc des hivers plus doux dans les régions plus au nord, et de l'autre, un insecte qui évolue et qui s'adapte de plus en plus au climat tempéré.

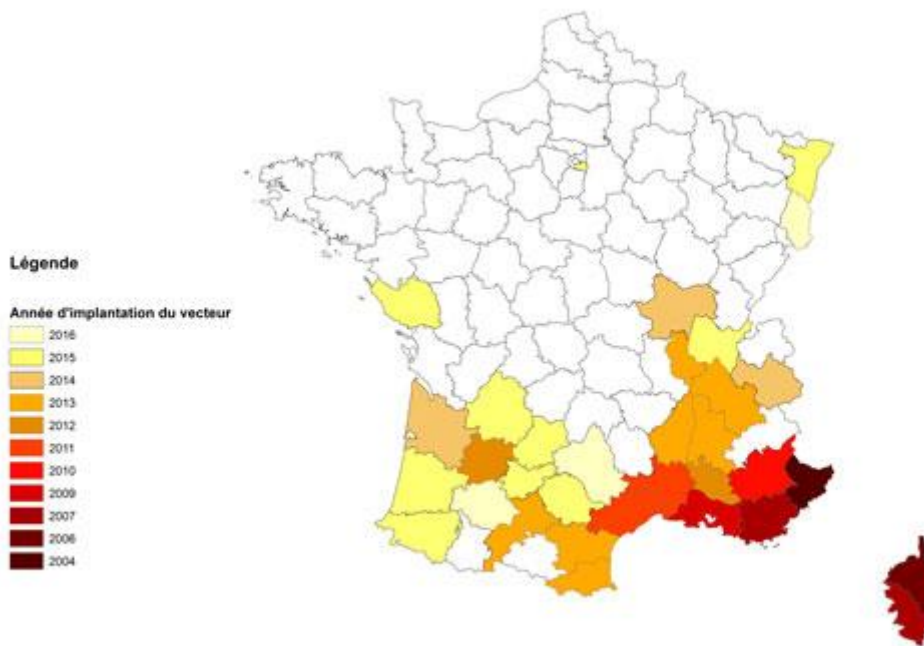


Figure 14 : Evolution de l'implantation d'*Aedes albopictus* en France métropolitaine (D'après l'Institut de veille sanitaire.) [47]

### II.2.1.2 Risque potentiel d'épidémies

L'introduction, l'installation et la diffusion du moustique ne sont donc pas uniquement l'effet de changements climatiques mais sont plutôt dus à l'activité humaine et aux flux commerciaux. Cependant, l'Europe et la France ayant une population de vecteurs bien établie et en pleine expansion, la diffusion de pathogènes tropicaux comme la dengue et le Chikungunya peut être facilitée par ces changements climatiques.

C'est ainsi qu'un foyer de Chikungunya est apparu dans la région de Ravenne en Italie entre juillet et septembre 2007. Cette épidémie a été introduite par un seul voyageur infecté revenant d'Inde. Le virus s'est transmis par la population locale d'*Aedes albopictus*. Deux cents cas autochtones ont été observés mais l'épidémie s'est vite arrêtée car le virus n'a pas trouvé de mécanisme de survie pour l'hiver.

Un cas autochtone de chikungunya associé à *Aedes. albopictus* a également été mis en évidence à Fréjus dans le Var en 2010 et 11 cas autochtones ont été observés à Montpellier en 2014. La même année, deux cas de dengue ont été diagnostiqués à Nice. Depuis, plusieurs autres foyers épidémiques ont été rapportés en France pendant la saison d'activité vectorielle.

Les autorités de santé publique suivent de très près l'évolution de l'implantation du moustique Tigre et les situations épidémiques de la Dengue et du Chikungunya qui sont des maladies à déclaration obligatoire. Ces deux maladies sont très surveillées car les touristes toujours plus nombreux, introduisent chaque année ces virus en Europe et en France. De plus, les changements climatiques en cours et à venir peuvent allonger la période propice à l'installation des pathogènes et promouvoir leur présence permanente.

Santé Publique France met en place tous les ans une surveillance renforcée saisonnière du chikungunya et de la dengue dans les départements métropolitains concernés. Ce plan anti-dissémination est en lien avec les ARS des départements colonisés par le moustique tigre. Depuis 2016, ce plan inclut également la surveillance du virus Zika.

En 2017, du 1<sup>er</sup> mai au 29 septembre, 114 cas importés de dengue ont été confirmés, 3 de Chikungunya et 10 de Zika.

De plus, au mois d'août, un foyer de transmission autochtone du chikungunya a été mis en évidence dans un quartier de la commune du Cannet-des-Maures (Var). Au 15 septembre 2017, 7 cas autochtones ont été confirmés et deux cas probables ont été isolés. Le même jour, 2 autres cas ont été mis en évidence à Taradeau, une commune située à environ 10 km de Cannet-des-Maures. Ces deux nouveaux cas constituent un 2<sup>ème</sup> foyer de chikungunya.

Les cas autochtones signifient que les personnes infectées n'avaient pas voyagé dans les 15 jours précédant les symptômes. La transmission du virus est donc bien causée par un moustique local. Un lien épidémiologique entre ces deux foyers a été établi par les investigations. Immédiatement après ces découvertes, les lieux de résidence de ces différents cas ainsi que leurs abords ont été démoustiqués. Depuis, les patients sont guéris. Le département du Var reste placé en niveau 3 du plan anti-dissémination du Chikungunya, de la Dengue et du Zika.

Il s'agit du deuxième foyer de transmission autochtone dans le département du Var et du troisième en France métropolitaine. Les deux derniers cas de transmission autochtone remontaient à 2010 à Fréjus et à 2014 à Montpellier.

Aucun cas de transmission de dengue autochtone n'a été rapporté en 2017, cependant il y en a déjà eu 6 depuis 2010.

Actuellement, *Aedes albopictus* est implanté dans 33 départements français de métropole. Ces départements présentent des risques de contamination pour ces 3 virus, lorsque des individus reviennent de pays où ces virus circulent.

Bien que *Aedes albopictus* ait une forte capacité adaptative à nos régions tempérées, le réchauffement climatique en cours permettra en effet de faciliter son expansion à tout le territoire français métropolitain. Mais ces changements climatiques auront surtout une incidence sur la réduction du temps de diapause voire sur sa disparition. Ce phénomène aura un impact primordial sur les épidémies car contrairement à aujourd'hui, elles ne seront pas stoppées par l'hiver. De plus, l'augmentation des températures a une incidence sur le métabolisme du moustique, accroissant la vitesse de maturation. Le moustique devient adulte plus rapidement. Cela joue également sur le temps d'entrée et de sortie du virus chez le moustique, accélérant le processus de transmission.

Si des épidémies apparaissaient dans un avenir où les hivers ne seraient plus ou très peu marqués, il pourrait y avoir de réelles conséquences sur le contrôle de celles-ci.

### **II.2.2. Conséquence sur le paludisme [32] [33] [34]**

Au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, le paludisme a été éradiqué de métropole, puis des Antilles françaises, puis de la Réunion. Seuls deux territoires français restent impaludés, la Guyane et l'île de Mayotte. Pourtant, les pouvoirs publics ont abouti à une nette amélioration depuis la dernière décennie, on note une diminution conséquente sur le plan quantitatif (nombre de cas et cas graves recensés).

Si le paludisme a disparu de métropole et de la plupart des départements et territoires d'outre-mer, des vecteurs compétents restent installés sur ces territoires et peuvent potentiellement donner lieu à des épidémies.

En France métropolitaine, seuls les cas de paludisme autochtone sont à déclaration obligatoire. Chaque année, quelques cas sont signalés et font l'objet d'une enquête afin de confirmer ou d'infirmer leur origine autochtone.

Depuis 1985, un réseau de laboratoires de parasitologie métropolitains coordonne la surveillance des cas de paludisme importés.

Le paludisme est transmis par la piqûre de l'anophèle femelle. Il existe plus de 400 espèces d'anophèles dans le monde mais seulement une soixantaine est susceptible de transmettre à l'homme le paludisme. Les espèces les plus dangereuses sont les espèces anthropophiles, qui préfèrent piquer l'homme plutôt que l'animal et les espèces endophiles, qui trouvent refuge dans les habitations.

La répartition des anophèles peut être modifiée par de nombreux facteurs climatiques et environnementaux, naturels, (sécheresses, variations de température...) ou dus à l'homme (assèchement de marécages, construction de barrages, irrigations...). Tous ces phénomènes influencent donc la transmission du paludisme.

Si les conditions favorables de réimplantation dans des foyers actuellement éradiqués survenaient, la transmission de *Plasmodium* pourrait s'y établir à nouveau.

En effet, la répartition mondiale des anophèles dépasse largement celle du paludisme. En France métropolitaine, les anophèles sont présents sur tout le territoire et pourtant le paludisme a été éradiqué au XX<sup>ème</sup> siècle. Seuls persistent des cas d'importation en provenance de pays d'endémies (figure 15).

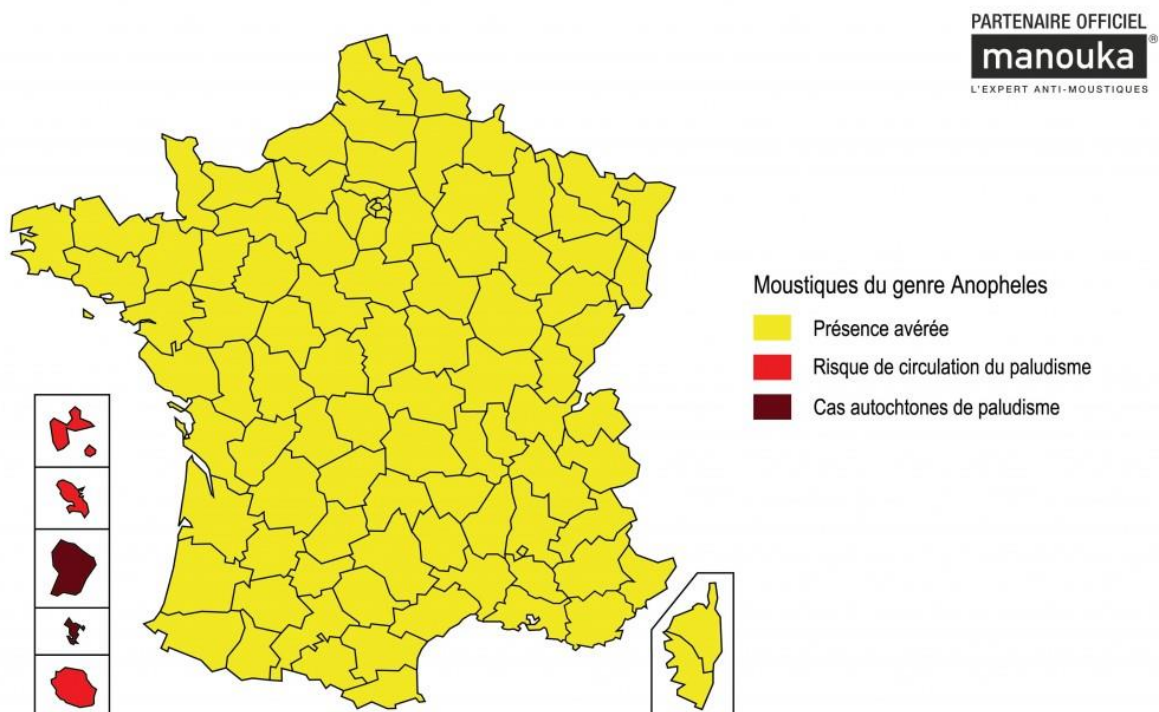


Figure 15 : Répartition des moustiques du genre *Anopheles* en France métropolitaine et dans les DOM-TOM. (D'après Vigilance Moustique) [48]

Nous pouvons cartographier les grandes lignes de la répartition mondiale du paludisme, mais en raison des facteurs influençant l'épidémiologie, comme la distribution des anophèles, la capacité vectorielle, et les caractéristiques biologiques des différentes espèces de *Plasmodium*, il faut savoir que la répartition géographique varie d'un pays à l'autre mais aussi d'une région à une autre, voire d'un village à un autre. Le paludisme humain n'est pas un modèle simple mais une mosaïque de systèmes complexes présentant une très grande diversité spatio-temporelle. L'incidence du paludisme dans une zone donnée dépend en particulier des variables suivantes agissant sur les vecteurs, les parasites et l'Homme : climatiques, environnementales, culturelles et socio-économiques.

Officiellement, le paludisme a été éradiqué en Europe, en revanche, il existe une région de Russie (partie européenne comprenant la région de Moscou) où la transmission du paludisme persisterait. Cette transmission serait due à *Plasmodium vivax* qui pourrait se réimplanter dans le sud de l'Europe, comme cela a déjà été le cas en Italie ou en Corse.

Du fait de la sensibilité des maladies vectorielles à l'environnement et aux changements climatiques, ainsi qu'à leur recrudescence et aux craintes liées à ces changements, la Commission Européenne a lancé en 2004 le projet EDEN (Emerging diseases in a changing European environment) coordonnée par le CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement). Ce projet concerne 24 pays et 49 partenaires d'Europe du Moyen-Orient et d'Afrique. Il vise à identifier les écosystèmes soumis à un risque élevé d'émergence de maladies à vecteur et à expliquer et modéliser les processus épidémiologiques en cause. Le but de cette étude est de parvenir à donner aux agences de santé publique, des méthodes utilisables pour développer des outils de surveillance, des moyens d'alertes précoces et d'aide à la décision pour la prévention des maladies vectorielles. Le sous-projet « Malaria » se consacre à l'étude du paludisme dans huit pays différents. Les travaux les plus avancés ont été menés en Camargue dans le cadre du travail de thèse de Ponçon (2008). En effet, les spécialistes se sont intéressés à cette grande région humide française du Delta du Rhône où le paludisme a été éradiqué après la seconde guerre mondiale alors que ses vecteurs sont toujours présents et plus particulièrement *Anopheles hyrcanus*.

Afin de concevoir de nouveaux réseaux de surveillance, la biologie et l'écologie de ces vecteurs potentiels du paludisme sont étudiés de près, y compris leur compétence vectorielle et leurs dynamiques saisonnières. Une analyse quantitative du risque d'émergence du paludisme a pu être établie en cas de réintroduction d'un cycle épidémiologique en Camargue. Grâce aux enquêtes de terrains et aux modélisations sur la répartition d'*Anopheles hyrcanus*, des estimations sur les expositions humaines aux piqûres du moustique ont pu être établies. Le risque entomologique a ensuite pu être calculé.



Le risque entomologique est égal au produit de la réceptivité et de la sensibilité.

La réceptivité est le nombre quotidien de nouvelles contaminations causées par l'introduction d'un cas infectieux de paludisme.

L'infectivité est la sensibilité d'une espèce d'anophèles à une espèce de plasmodium.

Le risque entomologique correspond donc au nombre moyen quotidien de nouvelles contaminations humaines que provoqueraient les piqûres d'anophèles suite à l'introduction d'un cas de paludisme infectieux dans la population.

En conclusion de ces travaux du projet EDEN, il ressort que les anophèles restent abondants en Europe. On dit que l'on est en situation de présence du vecteur sans paludisme. Il a été démontré que les anophèles européens sont tout à fait capables de transmettre des plasmodiums africains mais que leur compétence vectorielle est très faible comparée à celles des vecteurs africains. De plus, l'interaction anophèles-homme n'est élevée que dans certaines zones irriguées ou inondables dans lesquelles l'homme est très peu présent. Et pour finir, la probabilité de contact entre un homme parasité et un vecteur compétent, puis de survie de celui-ci jusqu'à ce qu'il puisse retransmettre le parasite à un hôte indemne reste négligeable.

Grâce à cette étude menée par des entomologistes et des écologues, il est possible d'établir les principales recommandations aux agences de santé. Il est important de maintenir une cartographie dynamique des zones à risque de résurgence du paludisme en fonction des indicateurs climatiques, environnementaux, de densité et de comportement des hôtes. L'établissement de telles cartes joue un rôle essentiel pour contrôler les populations de vecteurs et pour pouvoir réduire le contact hôte-vecteur. [35]

Les risques d'une résurgence du paludisme dans le pourtour méditerranéen sont donc très faibles. Cependant, l'équipe EDEN, qui a quasiment écarté l'influence des changements climatiques sur le retour du paludisme dans cette région, explique que l'agriculture et les politiques agricoles pourraient avoir des conséquences sur ce risque. La détection rapide et un traitement précoce des cas autochtones sont cruciaux dans la prévention et la réapparition du paludisme. Pour cela, il faut maintenir la vigilance des médecins et des structures de santé, et renforcer les conseils aux voyageurs se rendant en zone d'endémie de paludisme.

### III. Traitement-Prophylaxie-Conseil à l'officine

---

#### III.1. Conseils aux voyageurs

##### III.1.1. Prévention des piqûres [36]

Le meilleur moyen d'éviter de contracter une maladie vectorielle est d'éviter les piqûres. Les risques liés aux Arthropodes sont à évaluer en fonction de la destination et des conditions du séjour.

###### III.1.1.1 Différents moyens de prévention

De façon générale, pour les voyageurs vers des destinations tropicales, il est recommandé de :

- Se protéger contre les piqûres d'insectes,
- Dormir la nuit sous une moustiquaire imprégnée d'insecticide
- Porter des vêtements légers et couvrants
- Utiliser des vêtements imprégnés d'insecticides lorsque le risque est important.

Il est recommandé de se protéger de jour comme de nuit.

Les anophèles pouvant transmettre le paludisme, piquent habituellement entre le coucher et le lever du soleil. Les culex, vecteurs de maladies comme des arboviroses (Virus du Nil occidental, Encéphalites américaines, Encéphalite japonaise) et des filarioses, piquent surtout pendant la nuit. Ces deux espèces de moustiques se rencontrent dans toutes les zones tropicales d'Afrique, d'Amérique et d'Asie mais aussi dans certaines zones plus tempérées des Etats-Unis, d'Asie et parfois d'Europe.

Les moustiques du genre *Aedes* (vecteur de la dengue, Chikungunya et Zika) piquent plutôt le jour. On les retrouve sur tous les continents dans l'ensemble des zones tropicales bien que des épidémies puissent émerger dans des zones plus tempérées.

Il est donc important de se protéger des piqûres avec un type de protection adapté au risque. Les répulsifs cutanés sont composés de substances actives qui éloignent les moustiques sans les tuer. Ils doivent être appliqués sur toutes les parties du corps non-couvertes. L'application doit être renouvelée dans la journée, en fonction de la durée de protection qui peut varier de 4 à 8h en fonction du produit et de la concentration utilisée. Après une baignade, le répulsif doit être renouvelé car il est éliminé par l'eau. S'il y a utilisation de crème solaire, le répulsif doit être appliqué au moins 20 min après celle-ci afin de limiter la diminution due à la crème solaire. Chez l'enfant et la femme enceinte, l'utilisation de répulsifs doit respecter un mode d'emploi précis en fonction de la molécule utilisée, de l'âge de l'enfant, et respecter le nombre maximal d'applications par jour (figure 16).

| Genres de moustiques vecteurs potentiels  | Anophèles et <i>Culex</i><br><i>Piquent souvent la nuit</i> | <i>Aedes</i><br><i>Piquent souvent le jour</i> |
|---|---|--|
| Maladies potentiellement transmises   | Paludisme, Filarioses, Arboviroses                          | Arboviroses (Dengue et Chikungunya) Filarioses |
| Moyens  |   |  |
| Moustiquaire, imprégnée ou non, de berceau, de poussette... pour un enfant avant l'âge de la marche | ++++  | ++++   |
| Moustiquaire imprégnée d'insecticide  | ++++  | ++   |
| Moustiquaires grillagées aux fenêtres et portes   | +++   | +++  |
| Répulsifs cutanés   | +++   | +++  |
| Vêtements imprégnés d'insecticide   | ++  | ++   |
| Diffuseur électrique d'insecticide (à l'intérieur)  | ++  | ++   |
| Raquettes électriques   | +   | ++   |
| Pulvérisation intra-domiciliaire de « bombes » insecticides (disponibles dans le commerce)          | +   | +  |
| Climatisation   | +   | +  |
| Ventilation   | +   | +  |
| Serpentin fumigène (extérieur)  | +   | +  |

Figure 16 : Efficacité relative des moyens de prévention disponibles contre les piqûres de moustiques. (D'après Recommandations voyageurs 2017) [49]

L'utilisation d'une moustiquaire imprégnée d'insecticide est la meilleure protection pour la nuit. Il est recommandé d'éviter de sortir pendant la nuit même un court moment. Le seul produit disponible est la perméthrine.

Les vêtements ainsi que les toiles de tente peuvent être imprégnés par spray ou trempage dans la perméthrine, (ou l'association deltaméthrine+transtétraméthrine).

Cependant, il est fortement déconseillé d'utiliser des bracelets anti-insectes et des huiles essentielles pour se protéger des moustiques car leur durée d'efficacité ne dépasse

généralement pas 20 min. A écarter aussi, l'homéopathie, la vitamine B1 et les appareils à ultrasons.

La climatisation qui diminue la température dans une pièce et les diffuseurs d'insecticides peuvent aider à diminuer les risques dans les habitations.

Notons que toutes ces recommandations doivent être appliquées également pour des séjours en zones infestées de France métropolitaine de mai à novembre.

De retour de zones tropicales, il faudra être vigilant à la survenue d'éventuels signes d'infection (poussée de fièvre, maux de tête, nausées, vomissements, douleurs articulaires...) et consulter un médecin si ces signes apparaissent.

### **III.1.1.2 Liste des insecticides disponibles**

La société de médecine des voyages et la société française de parasitologie ont établi une liste de substances actives conforme aux recommandations de bonne pratique clinique sur la protection personnelle « antivectorielle ».

Les répulsifs retenus sont ceux qui possèdent dans leur formulation du DEET, de l'IR3535, du PMDRBO (mélange de *cis*- et *trans*-p-menthane-3,8 diol) et de l'icaridine (figure 17). Le nombre d'applications décrit dans les notices d'utilisation a pour premier but de prendre en compte les risques de toxicité individuels et environnementaux et non la prévention de maladies vectorielles. C'est pour cela qu'en zone d'endémie de maladies vectorielles, les restrictions peuvent être diminuées.

| Substance active et concentration  | Nom commercial et présentation (liste non exhaustive, donnée à titre indicatif et ne constituant pas une recommandation officielle des produits) | Nombre maximal d'application(s) quotidienne(s)   |  |                    |          |                  |   |
|--|--|--|--|--------------------|----------|------------------|---|
|  |  | À partir de 6 mois et tant que l'enfant ne marche pas  | Dès que l'enfant marche et jusqu'à 24 mois | > 24 mois à 12 ans | > 12 ans | Femmes enceintes |   |
| DEET <sup>2,3,4</sup><br>(N1,N-diéthyl-m-toluamide)  | 20%  | Ultrathon® lotion (spray)  | 1  | 2                  | 2        | 3                | 3 |
|  | 25%  | Insect Ecran® famille (spray)  | 1  | 2                  | 2        | 3                | 3 |
|  | 30%  | Moustidose® lotion répulsive zones infestées (lotion), Moustifluid® zones à hauts risques (spray), Prébutix® lotion répulsive zone tropicale (lotion)  | 1  | 2                  | 2        | 3                | 3 |
|  | 34%  | Ultrathon® crème (crème)   |  |                    |          | 3                |   |
|  | 50%  | Insect Ecran® zones infestées adultes (spray)  |  |                    |          | 3                |   |
| IR3535 <sup>5</sup><br>(N-acétyl-N-butyl-β-alaninate d'éthyle)                                 | 20%  | Biovectrol® famille, Moustifluid® zones tempérées, Moustifluid® jeunes enfants, Moustikologue® haute tolérance (lotion), Picso® anti-moustiques, Les botaniques insectes® (spray), Vendome® adultes (spray), Apaisyl® répulsif moustique | 1  | 2                  | 2        | 3                | 3 |
|  | 25%  | Cinq sur Cinq® zones tempérées (lotion), Prébutix® lotion répulsive zone Europe (spray, roll-on), Moustifluid® zone tropicale et à risque (lotion)   |  |                    | 2        | 3                |   |
|  | 30%  | Bouclier Insect'® spray  |  |                    | 2        | 3                |   |
|  | 35%  | Cinq sur Cinq®Tropic (lotion)  |  |                    | 2        | 3                |   |
| KBR3023 <sup>5</sup><br>(Carboxylate de Sec-butyl 2-(2-hydroxyéthyl) pipéridine-1 / Icaridine) | 20%  | Centaura® (spray), Insect écran® répulsif peau enfant, Moskito guard® (spray), Répuls' Total® (émulsion), Apaisyl® répulsif moustique haute protection   |  |                    | 2        | 3                | 3 |
|  | 25%  | Insect Ecran® spécial tropiques (spray), Moustidose® lait répulsif famille (lait), Moustikologue® protection extrême (lotion)  |  |                    | 2        | 3                |   |
| PMDRBO <sup>5</sup><br>(mélange de cis- et trans-p-menthane-3,8 diol)                          | 19 à 20%   | Mousticare® peau, spray famille, lingettes répulsives, Puresentiel spray antipique®  | 1  | 2                  | 2        | 3                |   |
|  | 25%  | Mousticare® zones infestées (spray), Biovectrol naturel® (spray), Mosi-guard® (spray et stick)   | 1  | 2                  | 2        | 3                |   |

Figure 17 : Répulsifs pour la protection contre les piqûres d'arthropodes.

(D'après Recommandations voyageurs 2017) [49]

### III.1.2. Chimio prophylaxie et vaccination

La chimio prophylaxie reste le pilier de la prévention pour ce qui est du paludisme.

#### III.1.2.1 Chimio prophylaxie du paludisme [37] [19]

La chimio prophylaxie du paludisme, même bien prise n'empêche pas l'infestation, ni les manifestations cliniques tardives d'un paludisme à *P. vivax* ou *P. ovale*. Elle s'adresse aux sujets se rendant surtout en zone d'endémie avérée à *P. falciparum*.

Elle fait essentiellement appel à 5 antipaludiques délivrés uniquement sur prescription médicale.

- Chloroquine (Nivaquine® 100 mg et Nivaquine® sirop 25 mg/5 mL)

La prise est à débiter le jour de l'arrivée dans la zone à risque, et à poursuivre quatre semaines après le retour. La posologie est de 1 comprimé par jour ou de 1,7 mg/kg/jour pour les enfants et les personnes pesant moins de 50 kg. Elle peut être administrée aux femmes enceintes.

- Association atovaquone (250 mg) et proguanil (100 mg)

Le traitement est à débiter la veille ou le jour du départ en zone à risque et doit être poursuivi une semaine après le retour. La posologie est d'un comprimé par jour pour les personnes pesant plus de 40 kg.

- Méfloquine (Lariam® 250 mg)

La posologie est de 1 comprimé par semaine pour une personne pesant plus de 45 kg ; pour un enfant, elle est de 5 mg/kg/semaine. La prise est à commencer au moins 10 jours avant l'arrivée dans la zone à risque afin d'évaluer si le traitement est bien toléré. Le traitement devra être poursuivi 3 semaines après le retour.

- Doxycycline (Doxypalu® 50 ou 100 mg)

La posologie est de 100 mg/jour pour les sujets pesant plus de 40 kg sinon la posologie est de 50 mg/jour. La Doxycycline est contre-indiquée avant 8 ans et à partir du deuxième trimestre de la grossesse. En raison des risques de photosensibilisation, il est conseillé de la prendre le soir et d'avoir recours à une protection solaire adaptée. La prise est à débiter la veille du départ pour la zone à risque et à poursuivre quatre semaines après l'avoir quittée.

- Association chloroquine et proguanil

Cette association n'est à utiliser qu'en dernier recours, dans les cas d'impossibilité d'utiliser un autre antipaludique. C'est le traitement le moins efficace. La posologie est de 100 mg de chloroquine et 200 mg de proguanil par jour pour un sujet de plus de 50 kg, et chez l'enfant, on passe la chloroquine à la dose de 1,5 mg/kg/j et le proguanil à 3 mg/kg/j. Ce traitement peut être administré à la femme enceinte ou allaitante et il doit être instauré le jour de l'arrivée sur la zone à risque et perdurer 4 semaines après le retour.

Le choix de l'antipaludique dépend principalement du lieu de séjour (niveau de résistance) et des possibilités financières du voyageur. Les autres critères qui peuvent intervenir sont la durée du séjour, la pharmacocinétique, la tolérance au traitement, l'âge du voyageur, et les contre-indications individuelles (grossesse, interactions médicamenteuses...)

Beaucoup d'efforts ont été réalisés pour le développement d'un vaccin contre le paludisme, et de nombreux candidats vaccins ont été évalués. Cependant il n'existe pas aujourd'hui de vaccin antipaludique disponible sur le marché.

### **III.1.2.2 Cas de la Dengue**

Il n'existe pas de traitement antiviral pour la dengue ni de chimioprophylaxie, c'est pour cela que la prévention est essentielle et repose sur les mesures efficaces de lutte antivectorielle. Elles incluent la protection individuelle (répulsif, moustiquaires...) et la destruction des gîtes larvaires, qu'elle soit individuelle ou collective.

En cas de dengue, le traitement sera avant tout symptomatique, notamment antalgique ou antipyrétique. L'aspirine et les anti-inflammatoires non stéroïdiens sont contre indiqués du fait du risque hémorragique.

Pour la forme simple, il s'agira de l'utilisation du paracétamol pour soulager les douleurs et faire baisser la fièvre en veillant à une hydratation importante.

Pour les formes sévères, il s'agira d'une hospitalisation en urgence (réhydratation intraveineuse, correction du choc hémodynamique, transfusion de plaquettes...). [38]

Un vaccin contre la dengue a été commercialisé par Sanofi Pasteur pour la première fois en décembre 2015 au Mexique. Ce vaccin est destiné aux populations des zones endémiques les plus exposées aux risques. Il n'est pas recommandé pour Mayotte et la Réunion, il est cependant en cours d'évaluation pour le département de la Guyane.

### **III.1.2.3 Cas du Chikungunya**

Il n'existe pas non plus d'antiviraux pour le Chikungunya et les moyens de préventions sont les mêmes que pour la dengue. La prise en charge de cette virose est aussi purement

symptomatique. Le traitement repose sur l'utilisation d'anti-douleurs et d'anti-inflammatoires. Une corticothérapie peut être nécessaire dans les formes sévères. [39]

Un vaccin est en cours d'élaboration.

### **III.2. Lutte antivectorielle [40] [41]**

La lutte antivectorielle est le seul moyen de prévention de masse pour les nombreuses maladies pour lesquelles on ne dispose pas de vaccin comme le paludisme et le chikungunya. L'objectif général de la lutte antivectorielle est la réduction de la mortalité ou de la morbidité des maladies à transmission vectorielle. Les objectifs à l'échelle collective sont d'agir sur la densité des vecteurs, le contact hôte-vecteur ou sur la longévité des vecteurs.

En 2006, du fait de l'implantation durable et de l'expansion significative d'*Aedes albopictus* dans le sud de la France, le ministère de la Santé élabore un plan anti-dissémination du Chikungunya et de la Dengue. Ce plan prévoit pour la France métropolitaine, la mise en place d'une surveillance entomologique et épidémiologique afin de prévenir et d'évaluer les risques de dissémination, de renforcer la lutte pour les moustiques vecteurs, d'informer et de mobiliser la population et les professionnels de santé et de développer la recherche et les connaissances. La stratégie est de pouvoir détecter le plus précocement possible la présence d'*Aedes albopictus* ainsi que les patients porteurs du virus.

Pour faciliter cette surveillance, une échelle des niveaux de risques a été établie (figure 18) :



|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Niveau 0</b> | 0.a Absence d' <i>Aedes albopictus</i><br>0.b Présence contrôlée d' <i>Aedes albopictus</i> : détection(s) ponctuelle(s) d' <i>Aedes albopictus</i> au cours de sa période d'activité pour l'année en cours et/ou pour l'année précédente  |
| <b>Niveau 1</b> | <i>Aedes albopictus</i> implantés et actifs  |
| <b>Niveau 2</b> | <i>Aedes albopictus</i> implantés et actifs et présence d'un cas humain autochtone confirmé de transmission vectorielle de chikungunya ou dengue   |
| <b>Niveau 3</b> | <i>Aedes albopictus</i> implantés et actifs et présence d'un foyer de cas humains autochtones (au moins 2 cas groupés dans le temps et l'espace)   |
| <b>Niveau 4</b> | <i>Aedes albopictus</i> implantés et actifs et présence de plusieurs foyers de cas humains autochtones (foyers distincts sans lien épidémiologique ni géographique entre eux)  |
| <b>Niveau 5</b> | <i>Aedes albopictus</i> implantés et actifs et épidémie<br>5.a Répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés<br>5.b Épidémie sur une zone élargie avec un taux d'attaques élevé qui dépasse les capacités de surveillance épidémiologique et entomologique mises en place pour les niveaux antérieurs et nécessite une adaptation des modalités de surveillance et d'action. |

Figure 18 : Echelle de risque de présence d'*Aedes albopictus*

(D'après solidarités-santé.gouv.fr) [49]

La surveillance entomologique relative au risque de transmission de la dengue et du chikungunya en métropole a pour objectif de :

- Détecter la présence d'*Aedes albopictus* pour éviter son implantation sur les territoires colonisés.
- Evaluer l'évolution de son aire d'implantation sur les territoires où l'espèce est implantée.
- Réaliser des enquêtes entomologiques autour de cas importés autochtones pour mettre en place les mesures de lutte anti-vectorielle adaptées et proportionnées au niveau de risque.

Dans les départements non colonisés par *Aedes albopictus*, la surveillance entomologique de ce vecteur est placée sous la responsabilité de la DGS et mise en œuvre dans le cadre d'une convention nationale. Cette convention cadre est signée entre l'Etat et les différents organismes publics chargés de la surveillance entomologique (EID méditerranéen, EID Atlantique, EID Rhône-Alpes, ARS Corse, SIVU de démoustication du Bas Rhin et service de lutte collective contre les moustiques dans le Haut Rhin ou Brigade verte du Haut Rhin).

En cas de détection d'*Aedes albopictus* (œufs, larves ou adultes), la surveillance entomologique par pièges pondoires est renforcée aux alentours des sites surveillés (nombre

de pièges et fréquences des relevés). La mise en œuvre de traitements anti-larvaires ou anti-adultes décidée en tenant compte de l'évaluation entomologique et des conditions environnementales, est réalisée sur demande de la DGS (Direction Régionale de Santé) qui délivre une autorisation d'intervention.

La surveillance s'appuie également sur toute la population, en effet, un site ([signalement-moustique.fr](http://signalement-moustique.fr)) est dédié à un acte citoyen : tout un chacun peut signaler la présence d'*Aedes albopictus*.

De plus, l'instauration des maladies à déclaration obligatoires permet de prévenir et d'agir pour enrayer une épidémie. Lorsqu'un cas de Dengue ou de Chikungunya est détecté, les autorités déclenchent une opération de démoustication de la zone concernée.

### **III.2.1. Pièges pondoirs**

Les pièges pondoirs permettent la détection d'espèces de moustique. Ils doivent mimer les conditions naturelles et si possible être plus attractifs pour l'espèce ciblée. Le piège pondoir se présente sous la forme d'un seau noir rempli d'eau (3L pour les relevés mensuels et 1L pour les relevés bimensuels) dans lequel flotte un carré de polystyrène idéal pour un support de ponte. Il est aussi muni d'une pastille insecticide comme *Bacillus thuringiensis israelensis* afin d'inhiber le développement larvaire (figure 19). Les femelles gravides, vont pondre sur la tranche du support de ponte en polystyrène qui flotte à la surface de l'eau. Le support suivant les variations de niveau d'eau, n'est jamais submergé, limitant ainsi une potentielle éclosion des œufs. Le piège permet avant tout de détecter une espèce dans une zone non colonisée et de pouvoir mesurer sa densité dans les zones colonisées.



Figure 19 : Piège pondoïr

(D'après EID-rhonealpes.com) [50]

Les pièges sont permanents, avec un relevé mensuel dans les zones non colonisées et bimensuels pour les zones colonisées afin de suivre la dynamique saisonnière. Pendant les périodes hivernales, les relevés peuvent être plus espacés dans le temps.

Les pièges pondoïrs sont installés suivant une priorité stratégique :

- Sites en bordure de la zone colonisée (année n-1)
- Principaux axes de transport routier en provenance de la zone colonisée
- Communes et agglomérations un peu plus éloignées, mais à proximité de la zone colonisée
- Points d'arrêts des axes de communications (tous types confondus) partant de la zone colonisée (française, italienne ou espagnole)
- Grandes agglomérations sensibles (axes routiers, fret, plates-formes logistiques, marché d'intérêt national)
- Points d'entrée internationaux (ports, aéroports, ferroutage, etc.)

Une fois ces principales zones couvertes, des sites sont ajoutés dans les zones non surveillées pour couvrir la plus large portion du territoire possible (figure 20). [41]

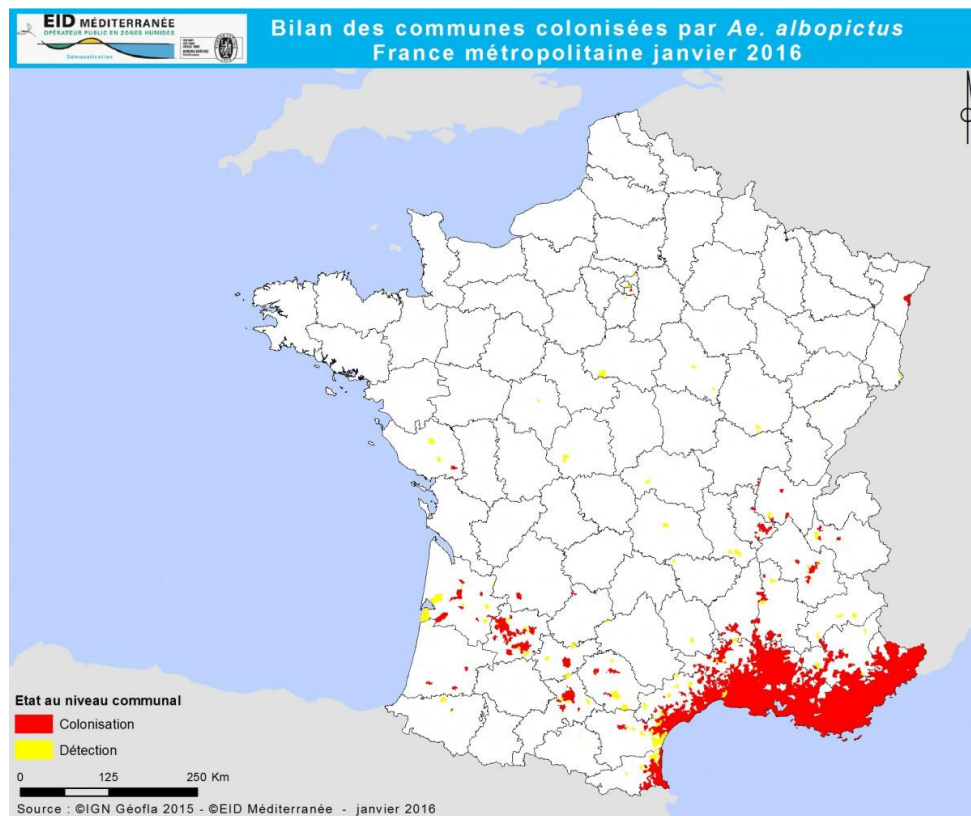


Figure 20 : Communes colonisées et détections en 2015

(D'après EID méditerranée) [51]

C'est grâce à ces pièges que l'on peut établir des cartes des zones colonisées et repérer des zones où le moustique tigre a été détecté.

### III.2.2. Traitements insecticides

La lutte antivectorielle à l'échelle du territoire français, est réalisée par des opérateurs publics ou privés mais toujours sous le contrôle des autorités. Cette lutte a deux composantes, larvicide (dirigée spécifiquement contre les larves de moustique) ou adulticide (contre les moustiques adultes). Pour que cette lutte soit efficace et pérenne, elle doit être basée sur des molécules ayant des moyens d'action différents afin de limiter les résistances chez les vecteurs concernés. Depuis la nouvelle réglementation européenne sur les produits biocides, plusieurs molécules sont progressivement retirées du marché pour des raisons toxiques ou écotoxiques.

En France, on utilise aujourd'hui très peu de substances actives larvicides ou adulticides. Le larvicide principalement employé est le *Bacillus thuringiensis israelensis*, qui doit être ingéré par les larves de moustiques. Jusqu'à présent, aucune résistance n'a été démontré face à cette bactérie. La deltaméthrine est un insecticide neurotoxique de la famille des pyréthriinoïdes. Il est utilisé en priorité en France comme adulticide sur les moustiques. Son utilisation abondante dans les départements ultra marins a conduit au développement de résistances dans les populations de vecteurs. Il faudrait donc à l'avenir se munir d'un panel de nouvelles molécules. L'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a engagé des travaux afin de commercialiser d'autres insecticides alternatifs à la deltaméthrine qui sont en cours d'évaluation notamment pour mesurer les risques sur l'environnement.

Aujourd'hui, c'est bien la deltaméthrine qui est utilisée en France pour la démoustication dans le cadre du plan anti-dissémination de la dengue et du Chikungunya. Mais cette démoustication doit être réalisée de façon ponctuelle, lorsqu'un cas de Chikungunya ou de dengue est détecté pour éviter la propagation de la maladie autour du foyer de contamination. Cette lutte insecticide a ses limites et il faut favoriser l'élimination physique des gîtes larvaires, l'utilisation de larvicides naturels, la prévention (en limitant les zones humides, collections d'eau...) et la protection personnelle.

### **III.3. Le rôle du pharmacien d'officine [52] [53] [54]**

Le pharmacien d'officine joue un rôle primordial dans la protection individuelle contre les arthropodes en France Métropolitaine. En effet, c'est à lui que la population s'adresse lorsqu'il s'agit de trouver des solutions contre les nuisances causées par les insectes. Mais il intervient aussi dans la lutte contre les maladies à vecteur. La population minimisant souvent les risques sur le territoire, il se doit de la sensibiliser aux potentielles contaminations. Il doit donc proposer la meilleure protection en prenant compte de la localité, de l'individu et du vecteur.

#### **III.3.1. Conseils pour l'élimination individuelle des lieux de ponte**

Limiter les gîtes larvaires est la première et principale mesure de protection individuelle. Il faut responsabiliser la population afin qu'elle adopte les bons gestes pour empêcher la prolifération des moustiques autour des habitations. Il s'agit d'éliminer les eaux stagnantes en priorité durant la période de d'activité des moustiques (de mai à novembre) ;

- Nettoyer les gouttières et caniveaux
- Vider ou ranger les récipients pouvant contenir de l'eau
- Couvrir les réserves d'eau, utilisation possible de pastilles de *Bacillus thuringiensis israelensis*
- Eviter les dépôts sauvages des déchets

### III.3.2. Choix du répulsif cutané

Les répulsifs cutanés conformes aux bonnes pratiques cliniques sont ceux qui contiennent ; du DEET, de la picaridine (ou icaridine), de l'IR3535 et du PMDRBO. Le pharmacien doit ensuite tenir compte de plusieurs paramètres pour le choix du répulsif.

- L'âge (enfant ou adulte)
- Les conditions physiologiques (femmes enceintes ou allaitantes)
- Nature de la substance active en fonction de la tolérance de chacun
- Forme galénique
- La durée d'action

En ce qui concerne l'âge, les concentrations doivent être adaptés aux jeunes enfants. Le DEET est sans doute le répulsif le plus utilisé, mais il est contre-indiqué chez le nourrisson. On peut l'utiliser à partir de 6 mois et la spécialité devra contenir entre 10 et 30% de DEET. Le PMDRBOI (mélange de *cis*- et *trans*-p-menthane-3,8 diol) doit être concentré entre 20 et 30% ou 20% pour l'IR3535. En revanche la picaridine ne peut être appliquée qu'après l'âge de 24 mois. Le nombre d'application maximale ne doit pas dépasser 1 application par jour entre 6 et 24 mois, puis 2 applications par jour jusqu'à 12 ans. Après 12 ans, jusqu'à 3 applications par jours sont possibles. [35]

En dehors des situations où le risque de maladie vectorielle est important, l'ANSM recommande l'usage de l'IR3535 en première intention.

Chez la femme enceinte et allaitante il est recommandé d'utiliser les répulsifs cutanés quel que soit le terme de la grossesse en cas de risque élevé de maladie vectorielles. Donc il faut

prendre en compte la localité et le niveau d'infestation. L'utilisation chez la femme qui allaite doit être proscrite au niveau des seins et un lavage des mains s'impose avant la mise au sein.

Le pharmacien doit aussi vérifier les contre-indications et les tolérances de chacun dans le choix du répulsif. Le DEET et les terpènes (contenu dans les huiles essentielles) sont fortement déconseillés en cas d'antécédents de convulsions, donc exclure ces produits pour les personnes épileptiques. Les pyréthrinoïdes contenus dans les kits d'imprégnations sont fortement déconseillés aux personnes atteintes de pathologies pulmonaires tel que l'asthme, l'achat de textiles ou de moustiquaires pré-imprégnés sera à privilégier. Les terpènes ainsi que le PMDRBO sont à éviter en cas d'antécédents de photosensibilisations et d'allergies.

Bon nombre de piqûres de moustiques se produisent à travers les vêtements, d'où l'importance des insecticides vestimentaires, comme la perméthrine qui est réservée à l'imprégnation des tissus et des moustiquaires.

D'autres méthodes pour se protéger personnellement des piqûres comme la climatisation, les moustiquaires imprégnées, vêtements couvrants et les diffuseurs d'insecticides sont de bonnes mesures additionnelles.

Les huiles essentielles doivent être utilisées avec discernement, bien que ce soit des produits naturels, mais très concentrés, elles ne sont pas dénuées d'effets secondaires (irritation cutanée pour le citral et effet cancérigènes pour l'eugénol). De plus elles ont été écartées de la liste des bonnes pratiques clinique émis par la société de médecine des voyages et la société française de parasitologie. Leur utilisation sera donc réservée dans les régions où il n'y a pas de risques de transmissions vectorielles contre les moustiques nuisibles.

### **III.3.3. Méthodes et périodes d'application des répulsifs cutanés**

Il faut adapter le rythme des applications en fonction des activités de la personne et du vecteur présents dans la zone de résidence ou de séjour. Pour cela il faut connaître les différents vecteurs. La période d'activité, que ce soit des phlébotomes ou des moustiques s'étend en France de mai à novembre. Les moustiques du genre anophèle ainsi que les culex sont essentiellement nocturne alors que les *Aedes* sont en revanche diurnes, les phlébotomes eux piquent à la tombée de la nuit.

Les applications doivent être effectuées sur une peau saine. Il ne faut pas pulvériser directement sur le visage mais sur les mains puis étaler sur le visage en respectant les zones péri-muqueuses et oculaires. Chez l'enfant, le répulsif doit être appliqué par un adulte.

### **III.3.4. Conduite à tenir pour les voyageurs**

Le pharmacien doit se tenir au courant des recommandations aux voyageurs. En prévision d'un séjour en zone à risque, il doit informer le patient qu'il est indispensable de consulter un médecin (généraliste ou exerçant dans un centre de vaccination internationale) avant toute chose. Il faut savoir si une vaccination est nécessaire ou si des méthodes de prophylaxie existent comme dans le cas du paludisme. Le voyageur se doit de consulter 1 à 2 mois avant le départ. Si un vaccin ou une chimioprophylaxie est nécessaire, le pharmacien devra compléter la prévention et la protection par son discours et le large panel de produits répulsifs efficaces qu'il a à sa disposition.

Devant un patient qui se plaint de fièvre de retour de pays à risque, le pharmacien devra supposer avant toute chose une maladie infectieuse vectorielle et l'envoyer le plus rapidement consulter.



## Conclusion

---

La France compte de nombreux diptères sur son territoire et parmi eux, plusieurs sont susceptibles de transmettre des maladies. Certains y sont implantés depuis très longtemps pour ne pas dire depuis toujours tandis que d'autres s'y installent ou tentent de s'y installer.

Les anophèles vecteurs du paludisme sont encore bien présents en France et pourtant, celui-ci a été éradiqué au début du XXème siècle grâce essentiellement aux nouvelles méthodes agricoles et aux aménagements du territoire. Seul des cas de paludisme d'importation sont rapportés tous les ans. Cela signifie que la présence du vecteur ne suffit pas pour rendre une zone impaludée.

Les échanges commerciaux internationaux augmentent le risque de voir apparaître de nouvelles espèces. *Aedes albopictus* en est l'exemple, originaire d'Asie du Sud-est, il est présent en France seulement depuis 2004 mais il est implanté aujourd'hui dans 33 départements. Son expansion ne cesse de progresser d'année en année vers des latitudes de plus en plus nordiques, cela peut s'expliquer en partie par sa formidable capacité adaptative à nos régions tempérées.

De plus le réchauffement climatique semble jouer aussi un rôle important dans ce phénomène. La période d'activité des moustiques se voit prolongée, les hivers deviennent plus doux, et donc facilitent leur survie. L'augmentation des températures estivales a une incidence sur la vitesse de maturation des larves, accroissant leur prolifération.

Les voyages touristiques ainsi que professionnels à l'étranger permettent la circulation de virus tropicaux (Dengue, Chikungunya, Zika) et d'autres agents pathogènes (protozoaires). En effet, des individus infectés engendrent de potentielles contaminations à leur retour sur le sol français par le biais de vecteurs déjà présents.

C'est pour ces raisons que les pouvoirs publics ont instauré un dispositif visant à limiter le risque épidémique sous la responsabilité de la DGS au niveau national et des ARS au niveau régionale avec la création des maladies à déclaration obligatoire et du plan anti-dissémination.

Le pharmacien a un rôle essentiel d'éducation à jouer dans ce contexte, il a pour mission de sensibiliser la population à ces nouveaux risques et permettre l'accès à l'information et aux méthodes de préventions vis-à-vis des maladies vectorielles. Il doit conseiller le voyageur à destination de zones d'endémie, être vigilant à son retour et dispenser une protection efficace aux résidents des zones colonisées par *Aedes albopictus*.

## Références bibliographiques

---

- [1] RHODAIN (F.) Le parasite, le moustique, l'homme et les autres. 2015. Edition Docis. 135-136.
- [2] GAUMONT (R.) 1985 Diptères, *Encyclopedia Universalis*, Corpus 6, 261-268.
- [3] ROTH (M.) 1974 Ordre des diptères, initiation à la morphologie, la systématique et la biologie des insectes, éd par ROTH (M.), ORSTOM, Paris 1980, 125-139.
- [4] <https://moustiques.fr/biologie-des-moustiques.htm>, consultation novembre 2016.
- [5] [http://www.memoireonline.com/08/09/2510/m\\_Developpement-des-larves-de-moustiques](http://www.memoireonline.com/08/09/2510/m_Developpement-des-larves-de-moustiques), consultation novembre 2016.
- [6] <https://moustiques.fr/aedes.htm>, consultation novembre 2016.
- [7] <http://www.moustiquetigre.org/index.php/les-moustiques-en-general> consultation de novembre à décembre 2016.
- [8] [www.who.int/denguecontrol/mosquito/fr/](http://www.who.int/denguecontrol/mosquito/fr/), site de l'OMS, consultation de novembre à décembre 2016.
- [9] DUVALLET (G.), FONTENILLE (D.), ROBERT (V.) Chapitre 11 : Culicinae, Entomologie médicale et vétérinaire, IRD édition, 2017, 687p.
- [10] BENARAB (D.), DIF (S.) Mémoire de master en science biologique. Université des frères Mentouri Constantine. Revue bibliographique sur les phlébotomes et leur rôle dans la transmission de la leishmaniose. 2015, 41p.
- [11] <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies> consultation décembre 2016.

[12] <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses/Maladies-a-transmission-vectorielle>, consultation janvier 2017.

[13] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs327/fr/> site de l'OMS consultation janvier 2017.

[14] <http://www.who.int/topics/dengue/fr/> site de l'OMS consultation janvier 2017.

[15] <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/zika#causes> consultation juillet 2017.

[16] [humanitebiodiversite.fr](http://humanitebiodiversite.fr) (figure 2) consultation janvier 2017.

[17] ANOFEL. Parasitoses et mycoses des régions tempérées et tropicales, Edition MASSON 2<sup>ème</sup> édition 2010, 28-34.

[18] CARNEVALE (P.), ROBERT (V.) Les anophèles : biologie, transmission du *Plasmodium* et lutte antivectorielle. Collection Didactique, IRD, 2009, 391.

[19] CMIT 105 Paludisme. In E. PILLY : Vivactis Plus Ed ; 2012 : 428-429.

[20] <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/paludisme> consultation avril 2017.

[21] <https://moustiques.fr/culex.htm> site France moustique consultation mars 2017.

[22] [EIDatlantique.fr](http://EIDatlantique.fr) (figure 3) consultation janvier 2017.

[23] DEDET (JP). Les leishmanioses. Paris : Ellipses, 1999, 253 p.

[24] IZRI (A.), DEPAQUIT(J.), PAROLA (P.) Phlébotomes et transmission d'agents pathogènes autour du bassin méditerranéen. Médecine tropicale, 2006, 66, 429-437.

[25] [wikimedia.org](http://wikimedia.org) (figure 4) consultation janvier 2017.

[26] <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/le-climat-futur-en-france> site météoFrance, consultation de novembre à décembre 2016

[27] Sutter-yuba mosquito and vector control district.

<http://www.sutter-yubamvcd.org/chikungunya-dengue-fever-yellow-fever-and-zika>, consultation novembre 2016 (figure 5).

[28] moustique-tigre.info (figure 6) consultation novembre 2016.

[29] <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses/Maladies-a-transmission-vectorielle/Dengue>, site de l'InVs, consultation avril à septembre 2017.

[30] univers-nature.com (figure 7) consultation janvier 2017.

[31] Roche (B.), Léger (L.), L'Ambert (G.), Lacour (G.), Foussadier (R.), Besnard (G.), Barre-cardi (H.), Sicmard (S.) Fontenille (D.). (2015) The Spread of *Aedes albopictus* in Metropolitan France: Contribution of Environmental Drivers and Human Activities and Predictions for a Near Future. PLoS ONE 10(5): e0125600.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125600> , consultation octobre 2017.

[32] <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses/Maladies-a-declaration-obligatoire/Paludisme/Surveillance-du-paludisme>. Site de l'InVs consultation Aout 2017.

[33] science et avenir.fr (figure 8) consultation juin 2017.

[34] ANOFEL. [campus.cerimes.fr/parasitologie/enseignement/paludisme/site/html/cours.pdf](http://campus.cerimes.fr/parasitologie/enseignement/paludisme/site/html/cours.pdf), Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie, 2014.

[35] LANCELOT (R), PONÇON (N), HENDRICKX (G), FONTENILLE (D) Bull. Acad. Vét. France 2009 - Tome 162 - N°1 8p, <http://www.academie-veterinaire-defrance.org/> consultation septembre 2017.

[36] [https://www.mesvaccins.net/textes/BEH\\_Recommandations\\_voyageurs\\_2017.pdf](https://www.mesvaccins.net/textes/BEH_Recommandations_voyageurs_2017.pdf) consultation septembre 2017.

[37] Recommandations sanitaires pour les voyageurs 2017, bulletin épidémiologique hebdomadaire 6 juin 2017 Santé publique France.

[38] <http://vigilance-moustiques.com> consultation mars 2017.

[39] [invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses](http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses), site de l'Invs santé publique, consultation octobre 2017.

[40] Guide relatif aux modalités de mise en œuvre du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole. Mise à jour 2015. Ministère du travail, de l'Emploi et de la Santé, 94p.

[41] [paca.ars.santé.fr](http://paca.ars.santé.fr), surveillance du moustique *Aedes albopictus* en France métropolitaine bilan 2015, consultation octobre 2017.

[42] [France.moustique.fr](http://France.moustique.fr) (figure 9) consultation janvier 2017.

[43] [cinq sur cinq.fr](http://cinqsurcinq.fr) (figure 10) consultation mars 2017.

[44] [wikimédia.fr](http://wikimédia.fr) (figure 11) consultation janvier 2017.

[45] [Météofrance.fr](http://Météofrance.fr) (figure 12) consultation de novembre à décembre 2016.

[46] [VBORNET](http://VBORNET) (figure 13) consultation septembre 2017.

[47] [Invs.santepubliquefrance.fr](http://Invs.santepubliquefrance.fr) (figure 14) consultation mars 2017.

[48] [Vigilancemoustique.fr](http://Vigilancemoustique.fr) (figure 15) consultation janvier 2017.

[49] Recommandations voyageurs 2017 (figures 16,17 et 18) consultation janvier 2017.

[50] EID-rhonealpes.com (figure 19) consultation janvier 2017.

[51] EID méditerranée.com (figure 20) consultation mars 2017.

[52] GOISLARD C. Les répulsifs antimoustiques à l'officine. 2012. Thèse de docteur en pharmacie. Université Angers. 120p.

[53] VACUS G. Expansion géographique d'*Aedes albopictus*. 2012. Mémoire de diplôme de médecine agricole. 109p.

[54] <http://www.cmete.com/bilan-de-sante/prevention-des-piqures-d-insectes> site de CMETE médecine des voyages consultation septembre 2017.

[55] <https://www.antimoustic.com> consultation novembre 2017.

[56] [memoironeline.fr](http://memoironeline.fr) (figure1) consultation mars 2017.

[57] <http://invs.santepubliquefrance.fr> consultation décembre 2017.

[58] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs354/fr/> site de l'OMS consultation décembre 2017.

[59] <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/west-nile> site de l'institut Pasteur consultation décembre 2017.

[60] [SantepubliqueFrance.fr](http://SantepubliqueFrance.fr) (figure 21) consultation décembre 2017.



## Serment de Galien

---

Je jure en présence de mes Maîtres de la Faculté et de mes condisciples :

- d'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;
- d'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;
- de ne jamais oublier ma responsabilité, mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine, de respecter le secret professionnel.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères, si j'y manque.





## **Le réchauffement climatique et ses conséquences sur le comportement de quelques Diptères vecteurs d'infections humaines en France Métropolitaine**

---

En France métropolitaine, de nombreux diptères sont présents, parmi eux, certains ont un rôle de vecteur de maladie transmissible à l'homme. Ces insectes responsables d'arboviroses tel que la Dengue, le Chikungunya, ou le Zika et de parasitose comme le Paludisme sont essentiellement des moustiques (*Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, etc). La population française a tendance à minimiser sur son territoire les risques potentiels de ces épidémies qui se déclenchent lorsqu'un sujet virémique est introduit sur le lieu d'implantation du vecteur. Les échanges internationaux humains et commerciaux toujours plus denses ont conduit à l'implantation d'*Aedes albopictus* dans les départements français du sud de la France depuis 2004. L'incidence du réchauffement climatique semble faciliter la prolifération de ces vecteurs et leur progression vers des latitudes plus nordiques.

---

Mots-clés : Diptères, rôle vecteur, réchauffement climatique, France métropolitaine, *Aedes albopictus*.

### **Global warming and its consequences on the behavior of some dipterans, vectors of humans infections in Metropolitan France.**

---

In Metropolitan France, numerous dipterans are found. Among them, some have a potential vector role in communicable diseases to humans. Those insects responsible for arboviruses such as dengue, chikungunya or zika, and for parasitosis such as paludism, are mainly mosquitos (*Aedes*, *Anopheles*, *Culex*, etc.). The French population tends to minimize potential risks of epidemics on its territory, which go off when an infected subject is introduced on the establishment location of the vector. Increasingly dense human and commercial international exchanges lead to the implantation of *Aedes Albopictus* in southern French departments since 2004. The incidence of global warming seems to facilitate vectors' proliferation and their geographical expansion to northern latitudes of the French territory.

---

**Keywords : Dipterans, vector role, global warming, metropolitan France, *Aedes albopictus*.**

