

# LES MOUSTIQUES



TBE

*Gilles Bourbonnais / Cégep de Sainte-Foy*

## Diptères hématophages au Québec

**Simuliidae** (~ 60 espèces au Québec) : mouches noires



**Tabanidae** ( ~ 40 ) : taons, frappe-à-bord, mouches à chevreuils



**Ceratopogonidae** ( plus de 100 ) : brûlots



**Culicidae** (52) : moustiques, maringoins



= espèces **anautogènes** : la femelle doit se nourrir de sang pour assurer la maturation de ses œufs (besoin d'une nourriture riche en protéines)

(il y a des exceptions, certaines femelles peuvent se passer de sang = espèces **autogènes**)

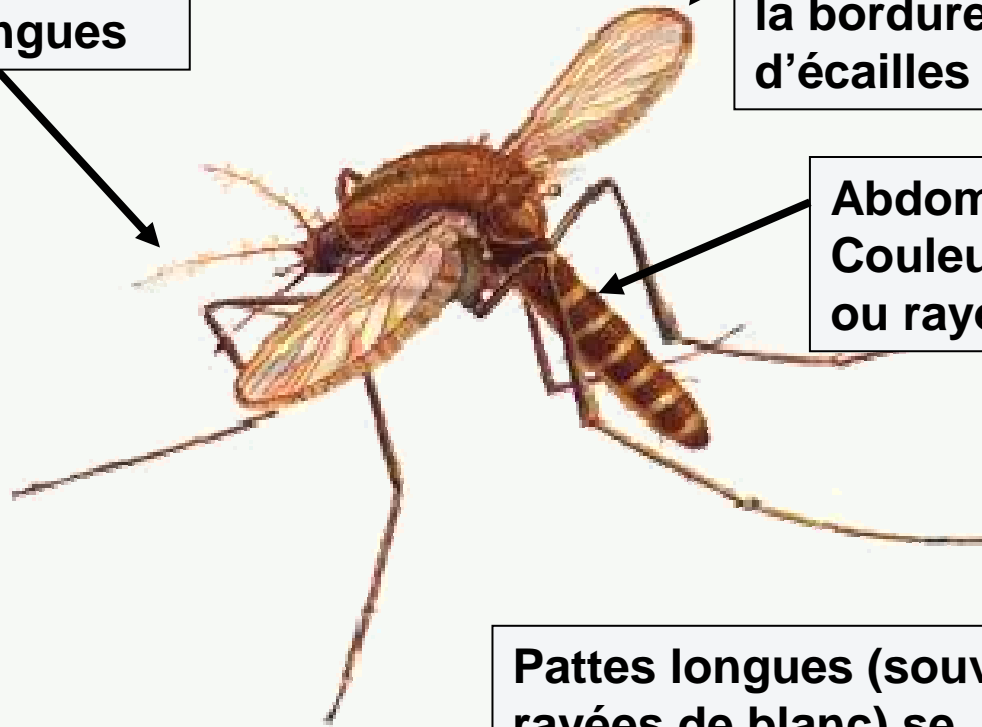
Les moustiques : **Culicidae**



Antennes longues

Ailes aux nervures et à la bordure couvertes d'écailles

Abdomen étroit. Couleur uniforme ou rayé de blanc.

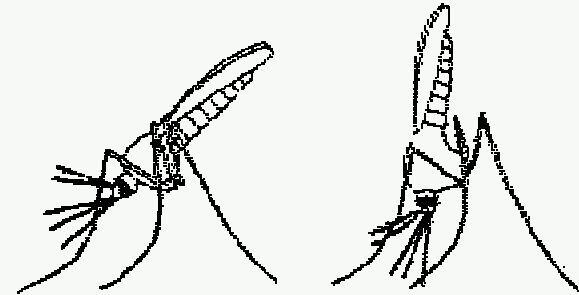


La femelle est généralement plus grosse que le mâle

Pattes longues (souvent rayées de blanc) se terminant par deux griffes.

# La plupart des espèces de Culicidae du Québec appartiennent à 4 genres (il y en a 9 en tout) :

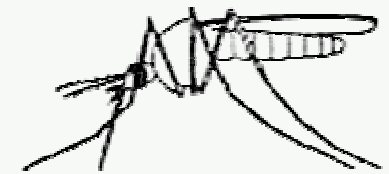
- **Aedes** ( 33 espèces )
- **Culiseta** (6 espèces)
- **Anopheles** ( 5 espèces )
- **Culex** ( 3 espèces)



Anopheles



Aedes



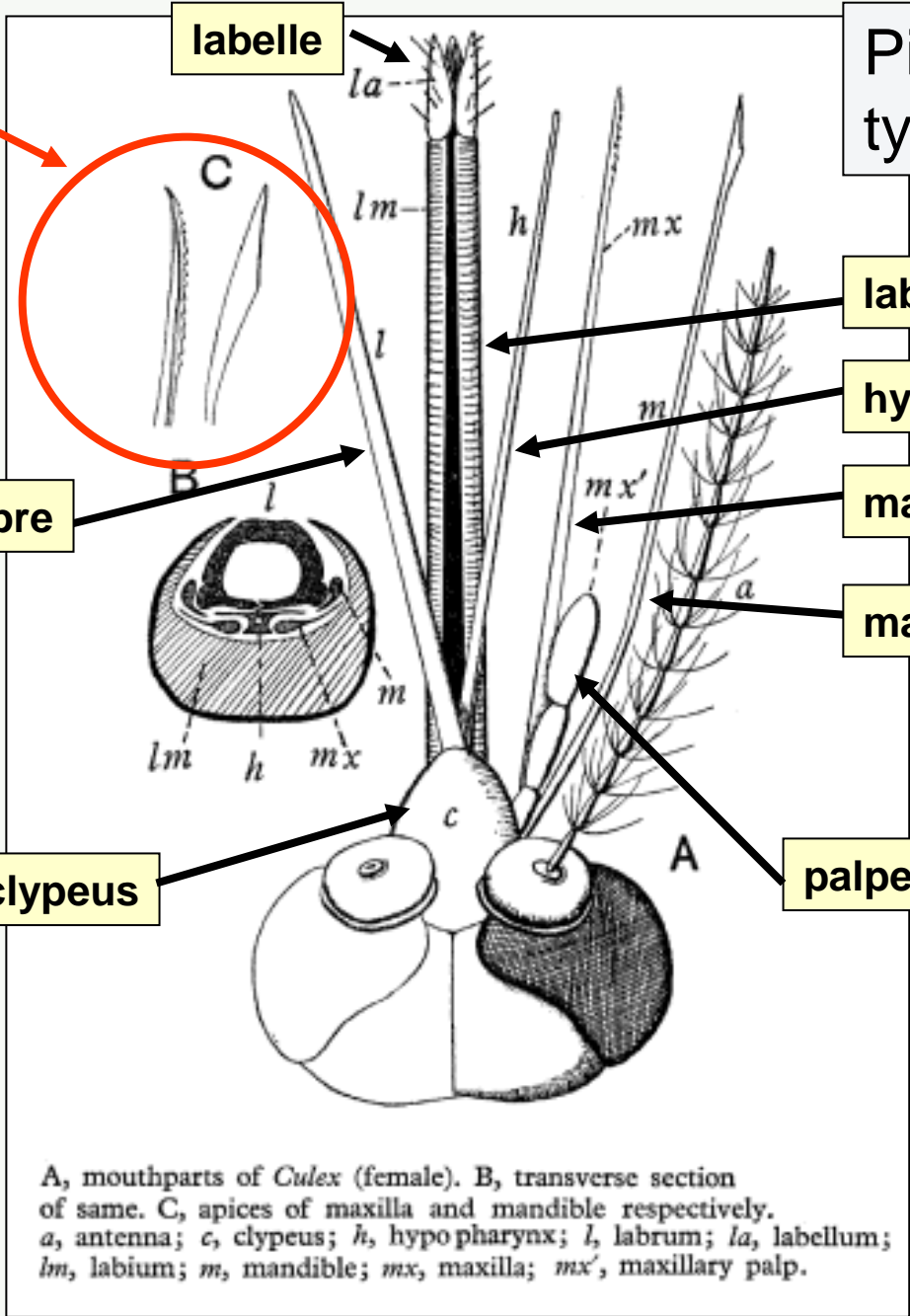
Culex



*Culex pipiens*

Notez la position des Anophèles lorsqu'ils piquent

maxille et mandibule modifiés en stylets acérés



Pièces buccales de type piqueur

labium

hypopharynx

maxille

mandibule

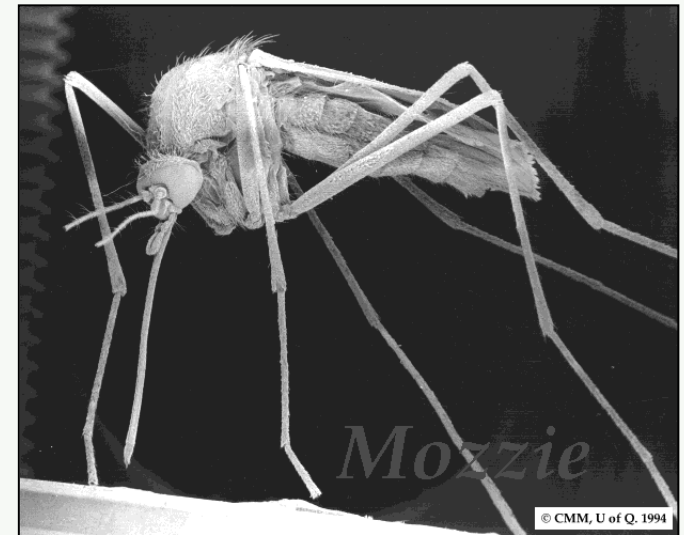
palpe maxillaire

L'hypopharynx (une extension du pharynx) contient le canal salivaire

A, mouthparts of *Culex* (female). B, transverse section of same. C, apices of maxilla and mandible respectively. a, antenna; c, clypeus; h, hypopharynx; l, labrum; la, labellum; lm, labium; m, mandible; mx, maxilla; mx', maxillary palp.



**Le labium qui recouvre, comme une gaine, les autres pièces buccales se rétracte lors de la piqûre (il ne pénètre pas dans la peau).**



**Des cellules sensorielles, sur le labelle (l'extrémité du labium), permettent de « tâter » le terrain et d'y goûter. Le labelle permet aussi de guider les stylets.**

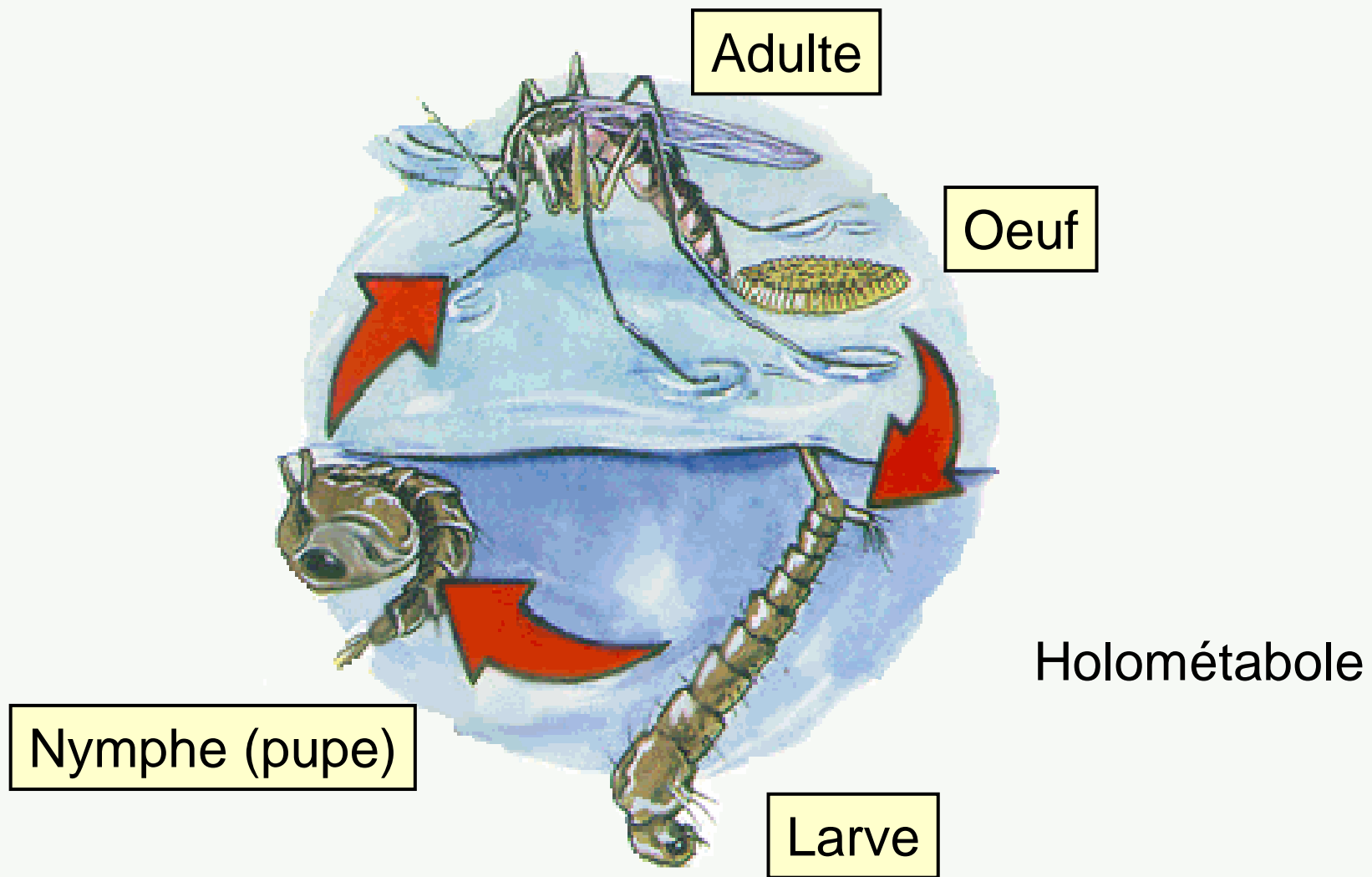


**Seules les femelles se nourrissent de sang** au moment où elles doivent faire leurs œufs (besoin d'une source de nourriture **riche** en protéines). Autrement, les moustiques se nourrissent **du nectar et de la sève des plantes**.

On connaît quelques espèces qui ne se nourrissent pas de sang.



# Cycle de vie





## La ponte

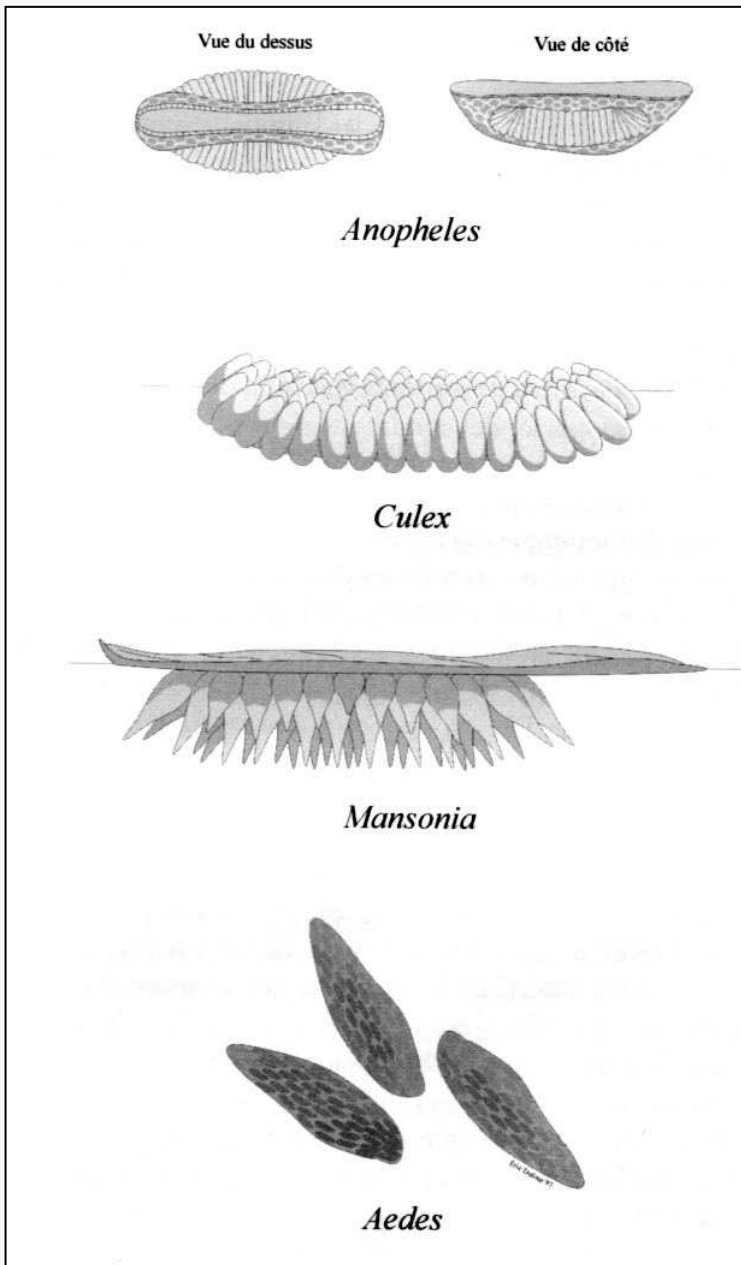
Œufs pondus **en milieu aquatique (eau stagnante) ou sur sol humide**

**Plusieurs espèces pondent sur un milieu qui s'assèche après la ponte. L'éclosion se produit quand le milieu est à nouveau inondé (souvent l'année suivante).**

50 à 300 œufs pondus en quelques heures ou sur quelques jours.

Éclosion quelques jours plus tard (3 à 7 en général)

Durée de développement de l'embryon dans l'œuf déterminée essentiellement par la température de l'eau.



Œufs parfois regroupés en radeaux flottants (assez rare quand même dans les régions tempérées)

Œufs de 0,5 à 0,65 mm

Prendent une couleur foncée peu après la ponte

Si les conditions ne sont pas favorables, le développement de l'œuf peut être retardé de plusieurs mois (jusqu'au printemps suivant sous nos latitudes);

cette période d'arrêt = **diapause**

Les œufs de certaines espèces peuvent résister à la sécheresse pendant 3 à 5 ans.

- Chez certaines espèces, la **diapause est obligatoire** (certaines espèces d'Aedes émergeant au printemps). L'œuf ne peut éclore qu'après l'hiver. Donc, une seule génération par année = espèces **univoltines**).
- D'autres espèces (surtout estivales et de fin d'été) peuvent avoir plusieurs générations par année (= espèces **multivoltines** ; Anopheles et Culex surtout). Ces espèces ont une **diapause facultative** (l'œuf entre en diapause si la température est basse, mais il ne nécessite pas de diapause pour éclore).
- La diapause est déclenchée par la combinaison de la **baisse de température** et de **photopériode**.

**Chez les espèces tropicales, la diapause est généralement provoquée par l'assèchement du milieu.**

## Éclosion

### **Espèces printanières (Aedes surtout) :**

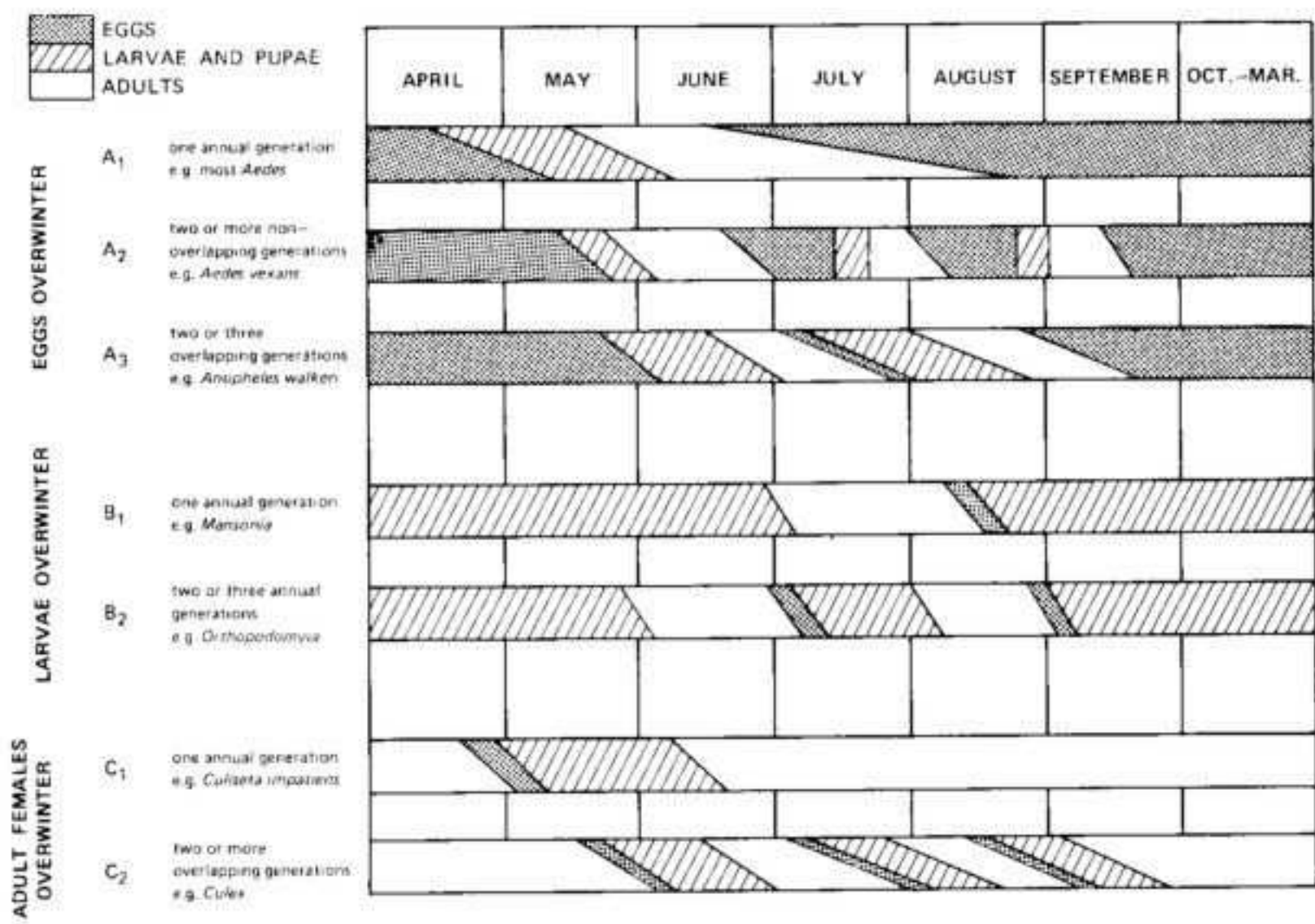
Éclosion dès que l'eau atteint 4°C à 6°C (1°C même pour certaines espèces d'Aedes) donc vers mai et début juin

### **Espèces estivales :**

Éclosion quand l'eau atteint 11°C à 18°C donc à partir de fin juin en général.

Certaines femelles peuvent aussi hiverner à l'état adulte (Culex et Anopheles). Ces femelles se sont déjà accouplées, mais n'ont pas encore pris le repas de sang nécessaire au développement des œufs.

Certaines espèces passent l'hiver sous forme larvaire (*Wyeomyia smithii* qui vit dans les urnes foliaires des Sarracénies).



**Table 1. Approximate correlation between seasons and developmental stages of Canadian mosquitoes**

# Stade larvaire



Siphon respiratoire sur le 8<sup>e</sup> segment

Abdomen

Branchies sur le 9<sup>e</sup> segment

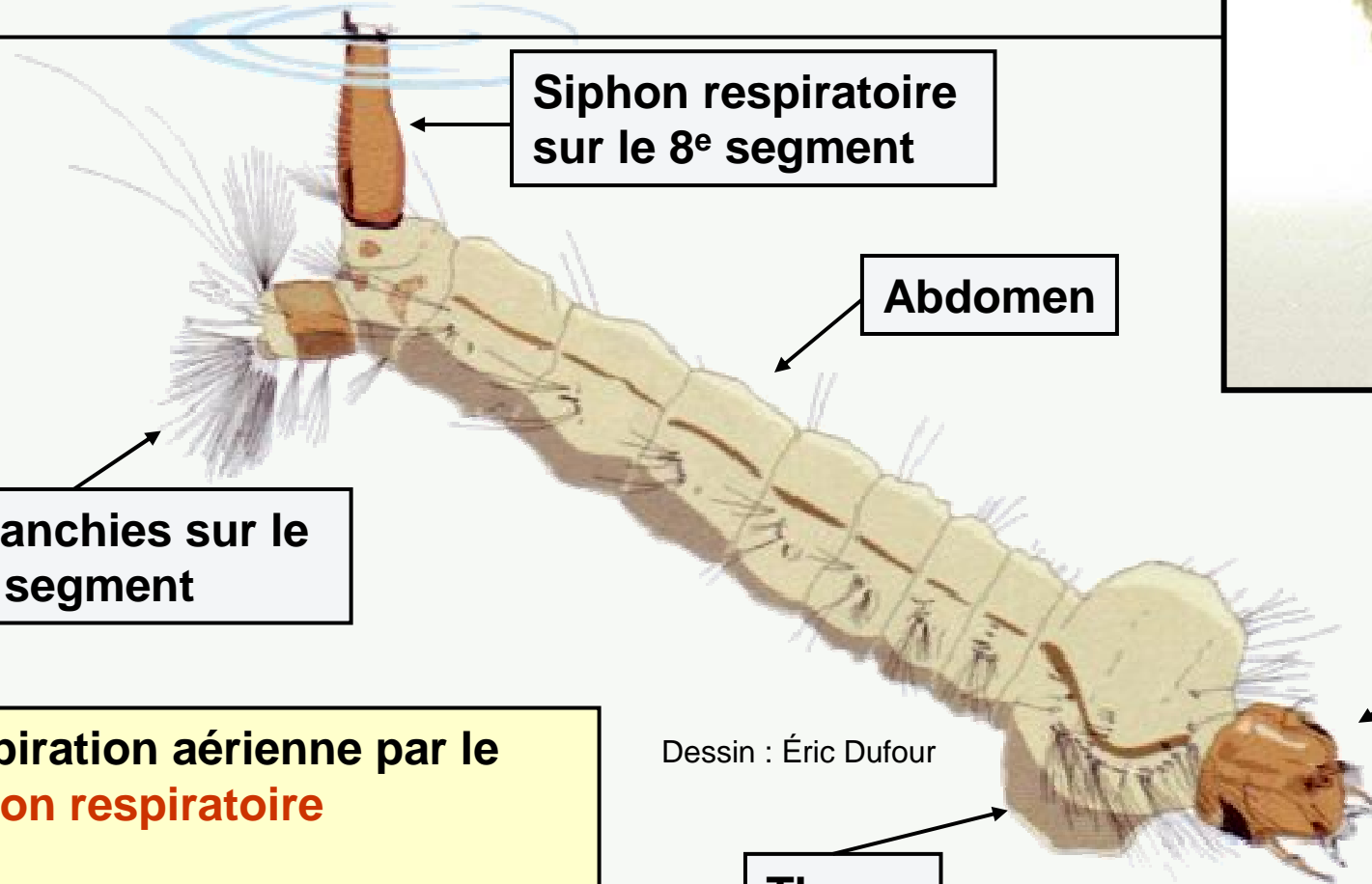
Respiration aérienne par le **siphon respiratoire** ET aquatique par des **branchies**

Dessin : Éric Dufour

Thorax

Tête

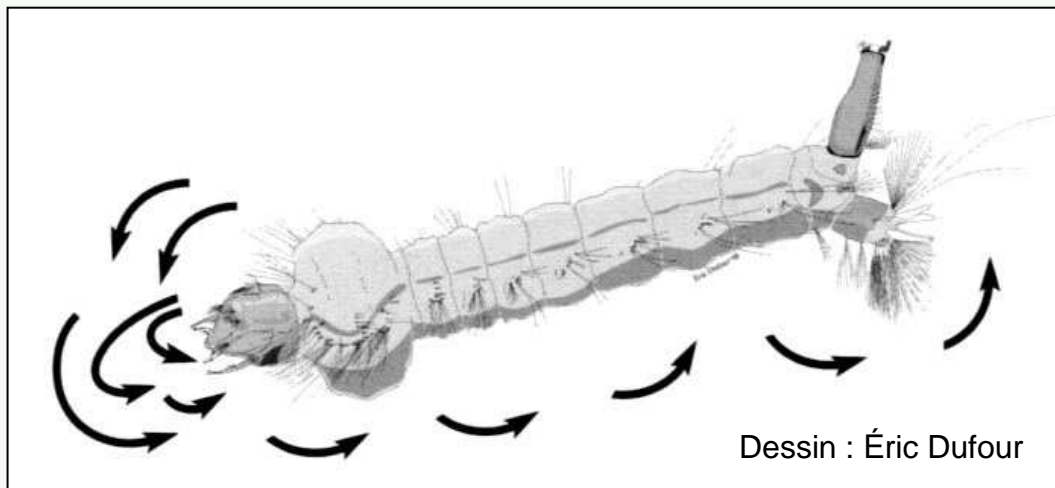
Yeux et antennes



Pas de membres ou d'organes natatoires. Les déplacements se font par de brusques mouvements de l'abdomen (se « tortille »).

Se nourrit de plancton et de débris organiques présents dans l'eau (débris de feuilles, champignons, bactéries, protistes)

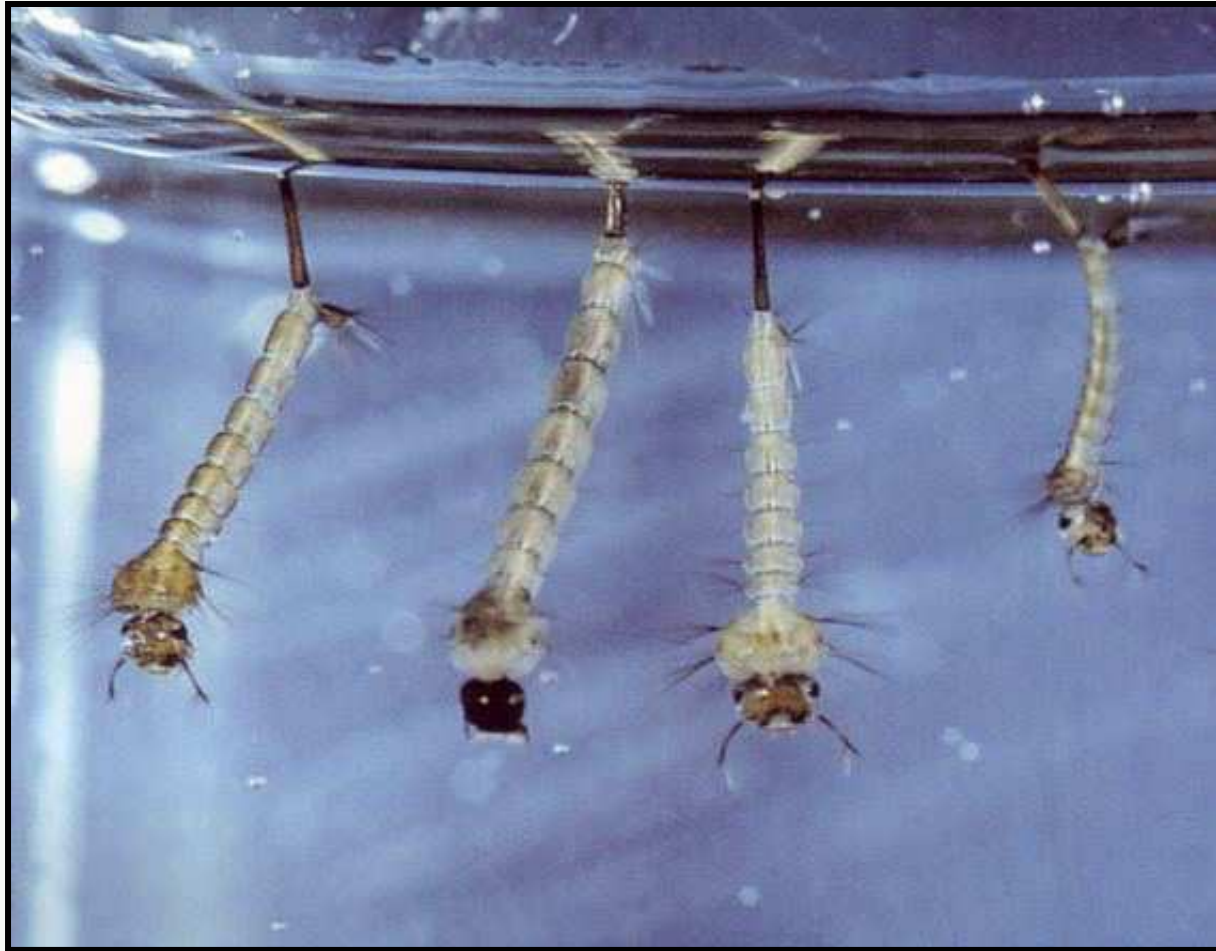
4 mues avant la nymphose.



**Durée du stade larvaire :  
environ 7 à 10 jours quand  
la température de l'eau est  
d'environ 20°C**

**Un peu plus quand l'eau  
est plus froide.**

**Mouvement de l'eau engendré par le mouvement des pièces buccales (elles sont bordées de cils). Une larve à son dernier stade peut filtrer 100 L d'eau par jour.**





**Nymphe (pupe)**



**Deux « trompettes » situées sur le thorax permettent la respiration aérienne (le siphon et les branchies de la larve sont disparus)**

**Le stade de nymphe ne dure que 2 à 3 jours.**

**Tête et thorax intimement accolés**

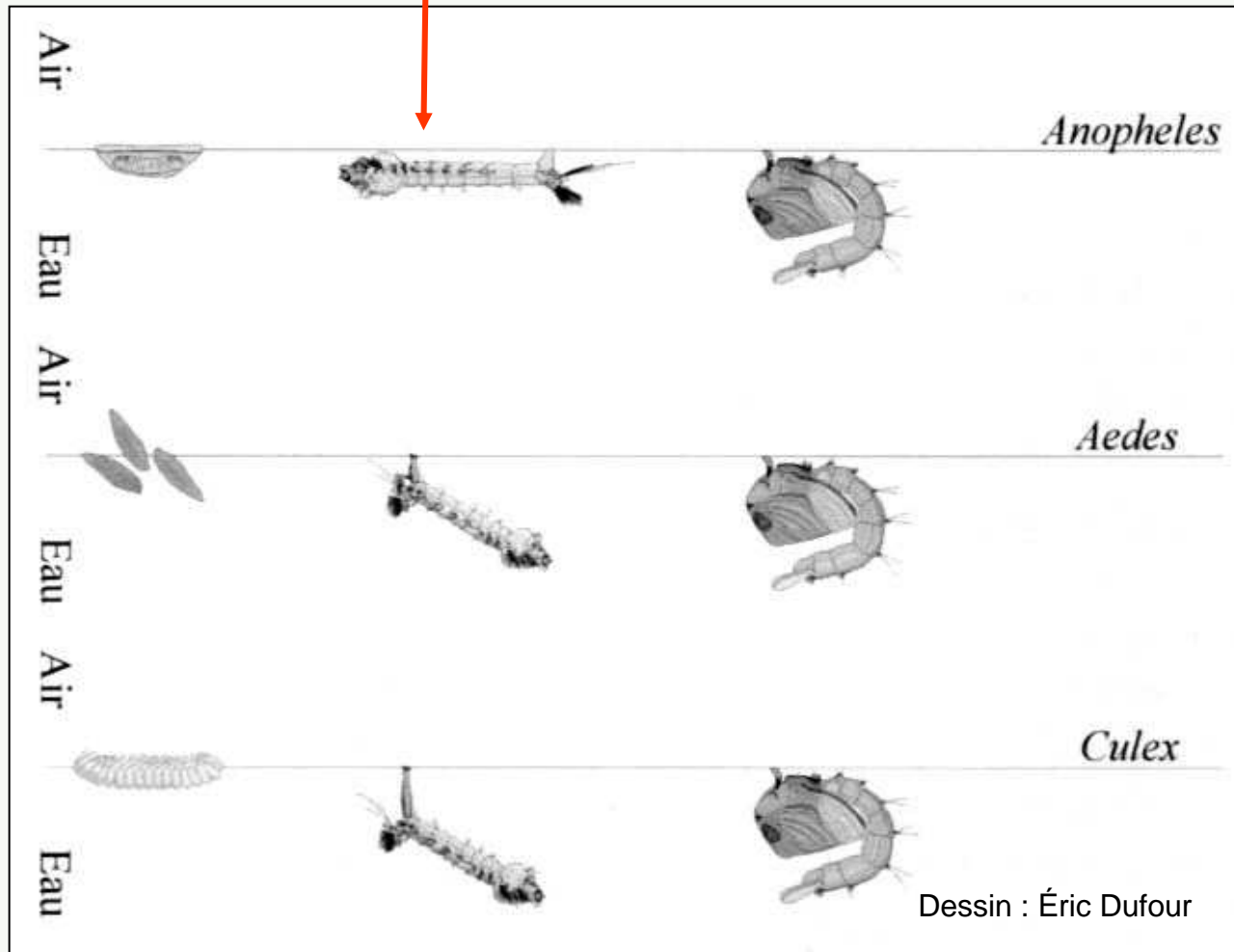
**Taille de 3 à 7 mm**

**Agitée de mouvements saccadés**

**Pas de pièces buccales; ne se nourrit pas**

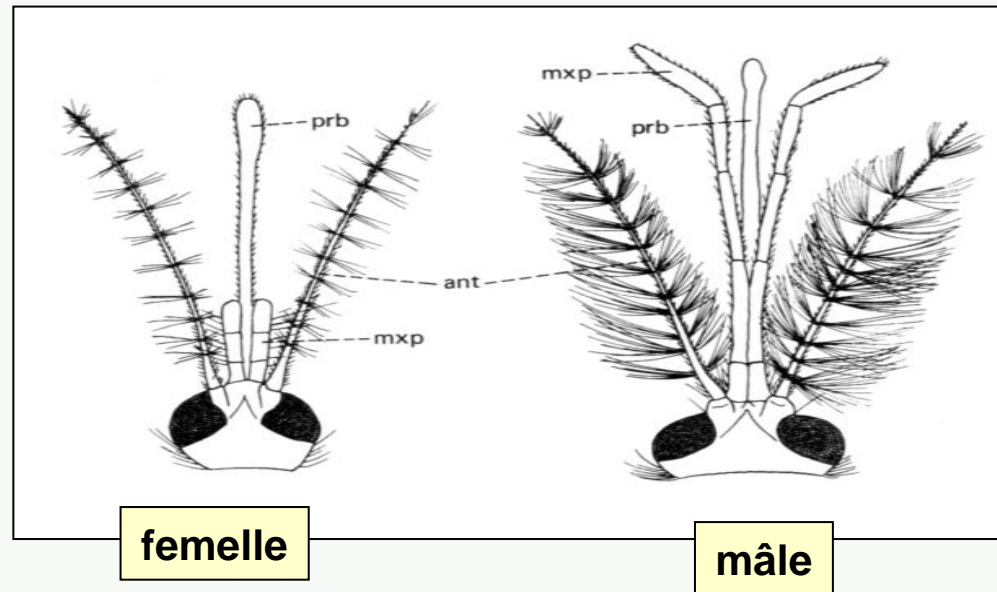


La larve des Anopheles ne possède pas de siphon tubulaire. Elle doit donc rester horizontale à la surface pour pouvoir mettre son ouverture respiratoire en contact avec l'air.





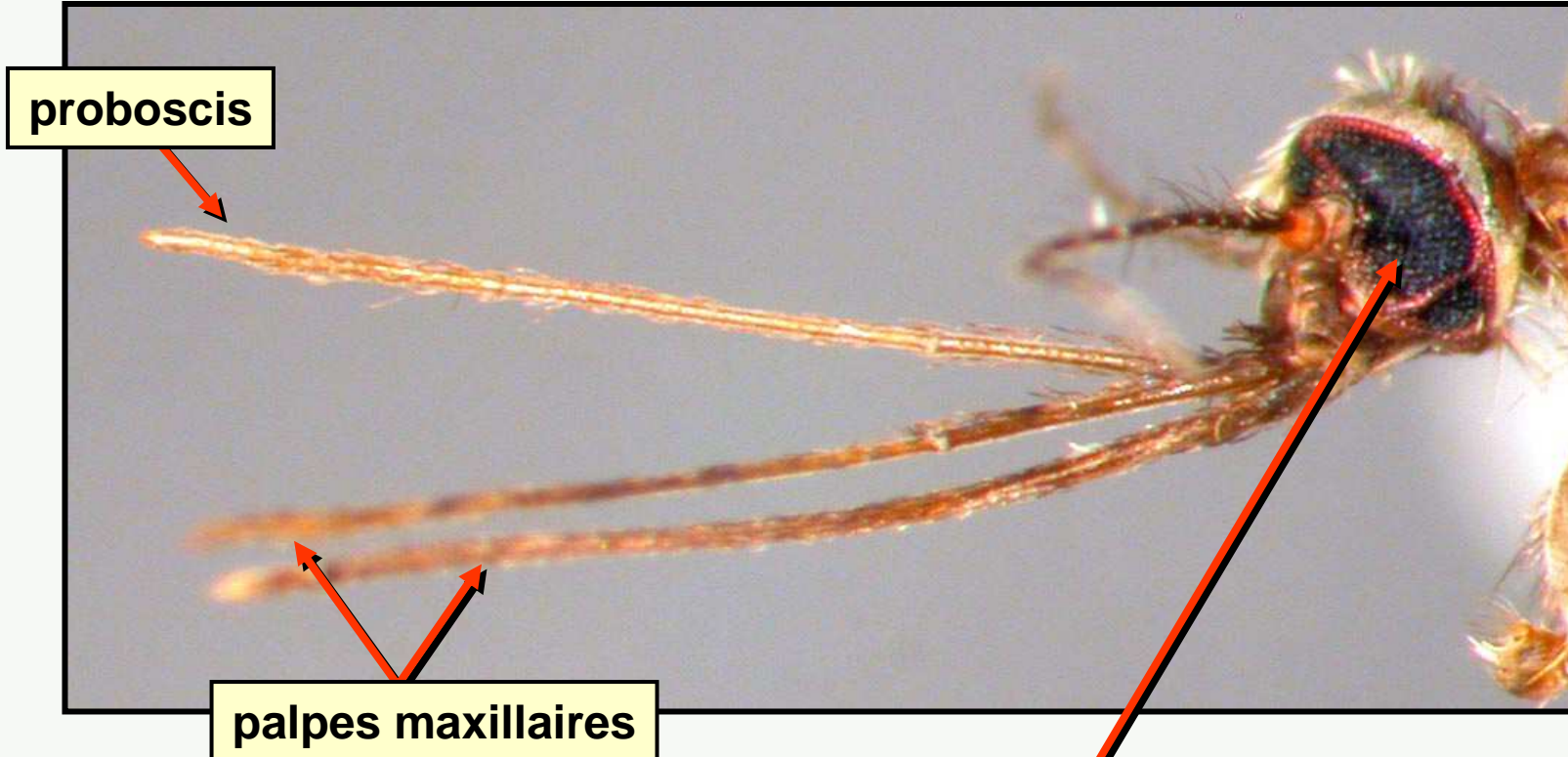
Émergence de l'adulte



Antennes munies de soies sensorielles sensibles à certaines odeurs. **Antennes du mâle généralement plumeuses** (très sensibles aux phéromones de la femelle). Femelle sensible surtout aux **odeurs** des hôtes à piquer et du sol ou de l'eau où elle pond.

Peuvent percevoir les **ondes sonores** produites par le battement d'ailes des autres individus.

**Palpes maxillaires (mxp) du mâle longs** (ceux de la femelle sont courts).



proboscis

palpes maxillaires

**Yeux composés.**  
**Sont sensibles à la lumière et aux infrarouges (à la chaleur)**

## Accouplement

Se fait souvent au sein d'essaims formés surtout de mâles volant au-dessus des zones où se fera la ponte ou des zones où il y a beaucoup d'hôtes potentiels pour les femelles.

Les femelles peuvent aussi attirer les mâles par des phéromones ou la vibration particulière de leurs ailes (vibration qui semble varier selon l'espèce).

La femelle accumule le sperme dans sa **spermathèque**.

**Sous nos latitudes, les femelles s'accouplent avant de piquer.  
Sous les tropiques, ce n'est pas rare qu'elles le fassent après.**

## À la recherche de protéines

Les femelles doivent trouver un repas de sang afin d'obtenir un repas riche en protéines (acides aminés) nécessaires au développement des œufs dans ses ovaires.

**Une femelle qui ne trouve pas de repas de sang arrivera quand même à pondre, mais le nombre d'œufs sera beaucoup plus faibles que si elle avait piqué.**

Peuvent piquer des mammifères, des oiseaux, des reptiles ou des amphibiens (généralement, chaque espèce a une préférence).

**Dans les régions tempérées, la femelle ne pique généralement qu'une seule fois. Sous les tropiques, elle peut souvent piquer plusieurs fois (d'où le danger de propager des maladies).**

## Trouver l'hôte

Signaux qui attirent la femelle :

- **Vue : forme et mouvement**
- **Radiation thermique** de la peau : les moustiques perçoivent le rayonnement infrarouge
- **Couleur** : ce sont les couleurs foncées (le bleu surtout) qui attirent le plus les moustiques
- **Odeurs** : surtout **l'acide lactique** contenue dans la sueur; d'autres sécrétions de la peau seraient aussi attractives. Certains parfums sont attirants, d'autres sont répulsifs.
- **Gaz carbonique (CO<sub>2</sub>)**



DONC :

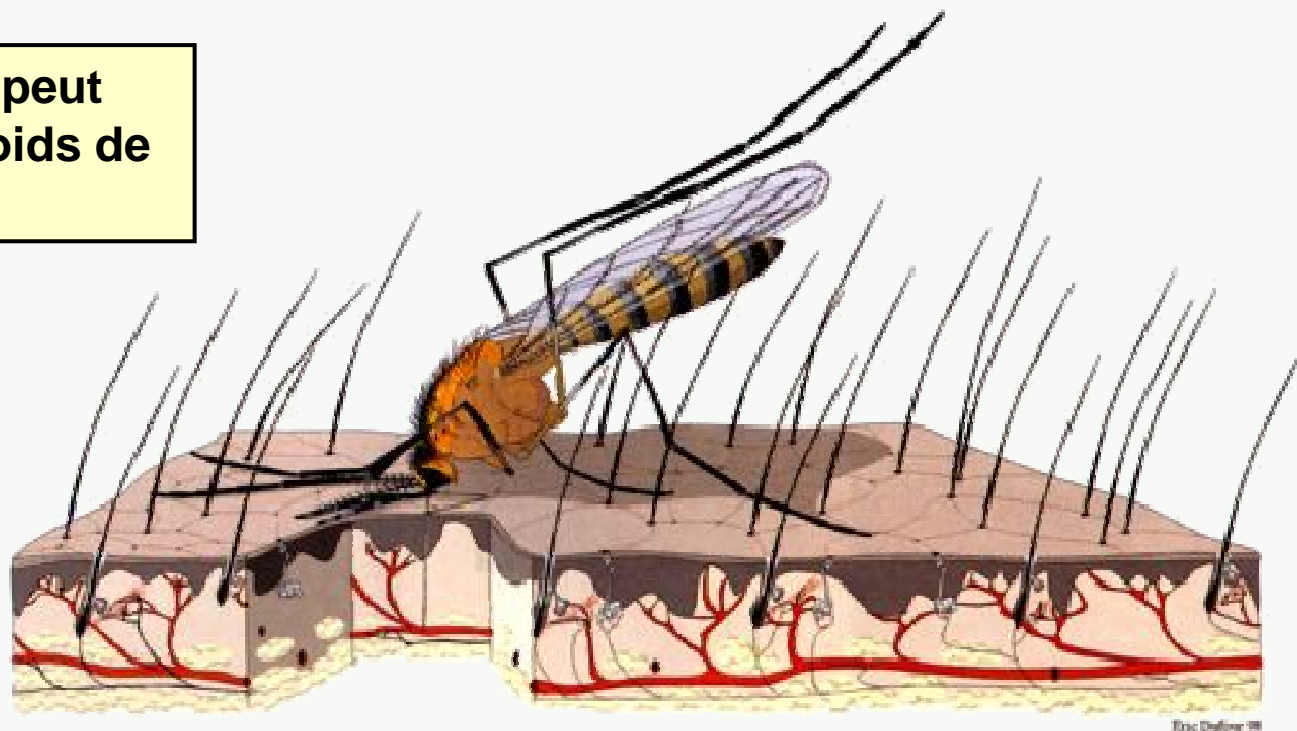
Éviter les couleurs sombres

Éviter de s'énerver (ça augmente les mouvements, la chaleur, la transpiration, le gaz carbonique émis et l'acide lactique)

Femelles surtout actives dans les heures précédant le coucher du soleil et à l'aube.

Les moustiques sont **très sensibles au dessèchement**.  
Maximum d'agressivité quand l'humidité relative est de 30% à 60% et la température entre 18°C et 25°C (quoique certaines espèces demeurent actives à des températures plus basses).

Le repas de sang peut faire doubler le poids de la femelle



Une fois sous la peau, la trompe injecte de la salive. La salive contient :

- Un lubrifiant
- Un anticoagulant
- Un agent dilatateur de vaisseau sanguin

Ces substances sont responsables de **l'inflammation et de la démangeaison** (réactions du système immunitaire)

**La femelle peut piquer à nouveau dans l'heure qui suit si elle est dérangée pendant son repas.**

**La femelle ne meurt pas après la piqûre. Elle digère !!!**

**La recherche d'un lieu de ponte débute généralement dans les 36 à 72 heures suivant le repas de sang.**

**Plusieurs espèces recherchent des lieux de pontes assurant une bonne nutrition aux futures larves.**

**Plusieurs sont aussi attirées par des odeurs caractéristiques de leur lieu d'éclosion.**

**Certaines femelles sont aussi sensibles à des phéromones émises par les larves de leur espèce.**



**L'espérance de vie des adultes varie d'environ une semaine à un mois (beaucoup moins pour les mâles qui meurent après l'accouplement).**

Certaines espèces opportunistes tirent profit de milieux associés aux activités humaines :

- Vieux récipients abandonnés
- Puits d'égouts et puisards
- Auges d'animaux domestiques
- Vieux pneus
- Ornières laissées par les véhicules sur les chemins de terre
- Bains d'oiseaux et autres aménagements contenant de l'eau



## Les moustiques vecteurs de maladies

Paludisme, dengue, fièvre jaune, filariose sont les maladies les plus connues parmi celles transmises par les moustiques.

Espèces tropicales surtout.

Sont des hôtes intermédiaires de parasites

- Une partie du cycle de vie du parasite se déroule dans le moustique (souvent sans l'affecter) et une autre partie dans l'hôte piqué par le moustique.
- Dans le moustique, le parasite doit connaître un stade où il gagne les glandes salivaires (ce qui lui permet d'être injecté dans l'autre hôte lors de la piqûre).

## Paludisme (ou malaria)

Causé par un **protozoaire** (*Plasmodium sp.*).

Transmis par quelques espèces d'**anophèles**.

Plus de 400 millions de personnes touchées dans le monde.

Cause **2 millions de morts par année** (enfants surtout)

Fortes fièvres cycliques (qui reviennent environ tous les trois jours)



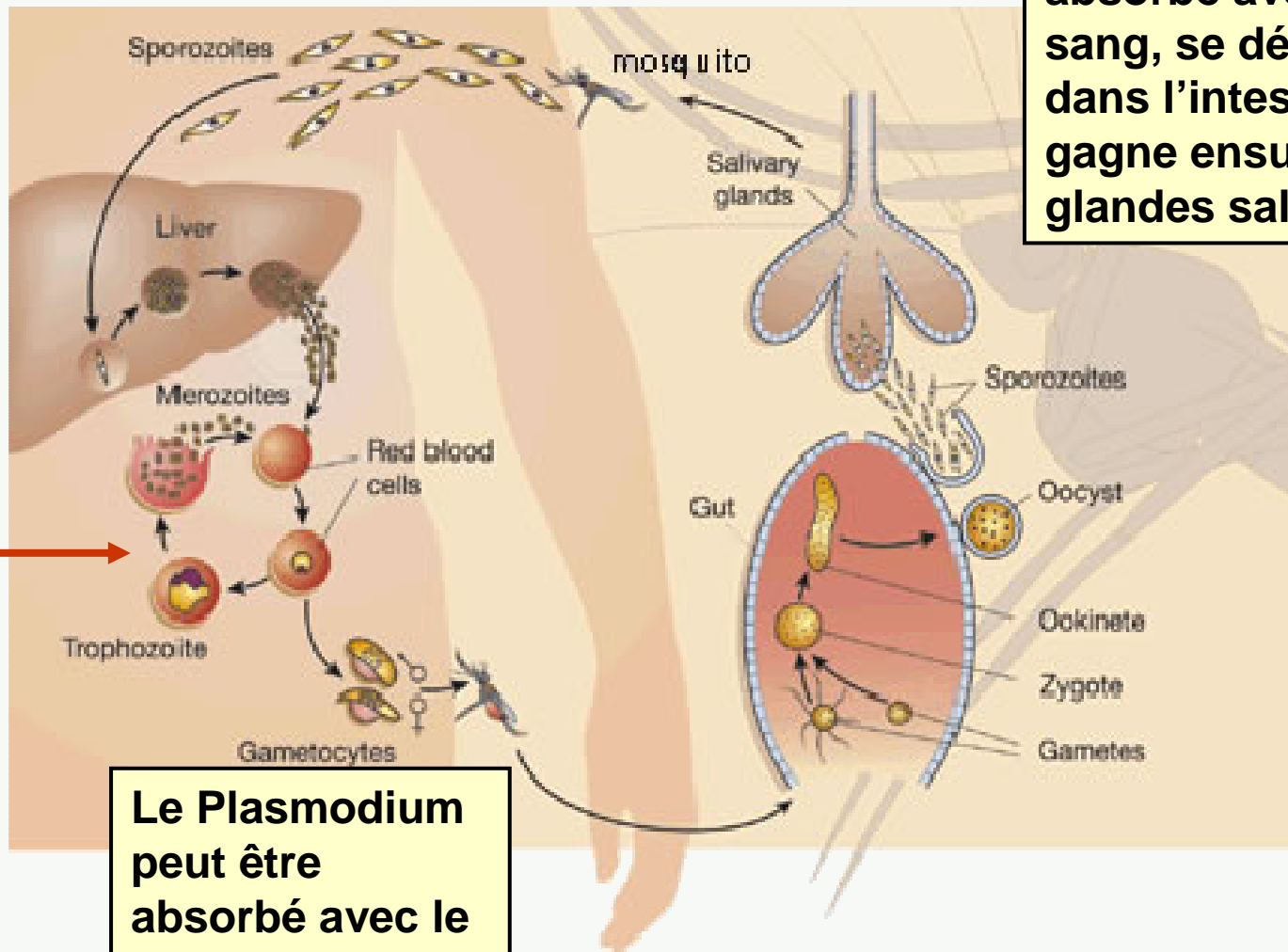
*Anopheles gambiae*  
(vecteur de la malaria)

Au Québec, **deux des six espèces d'anophèles** pourraient transmettre le parasite.

On connaît au moins un cas d'épidémie (construction du canal Rideau en 1826). On ignore quel était le moustique vecteur.

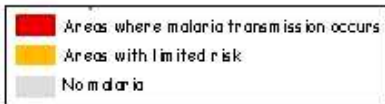
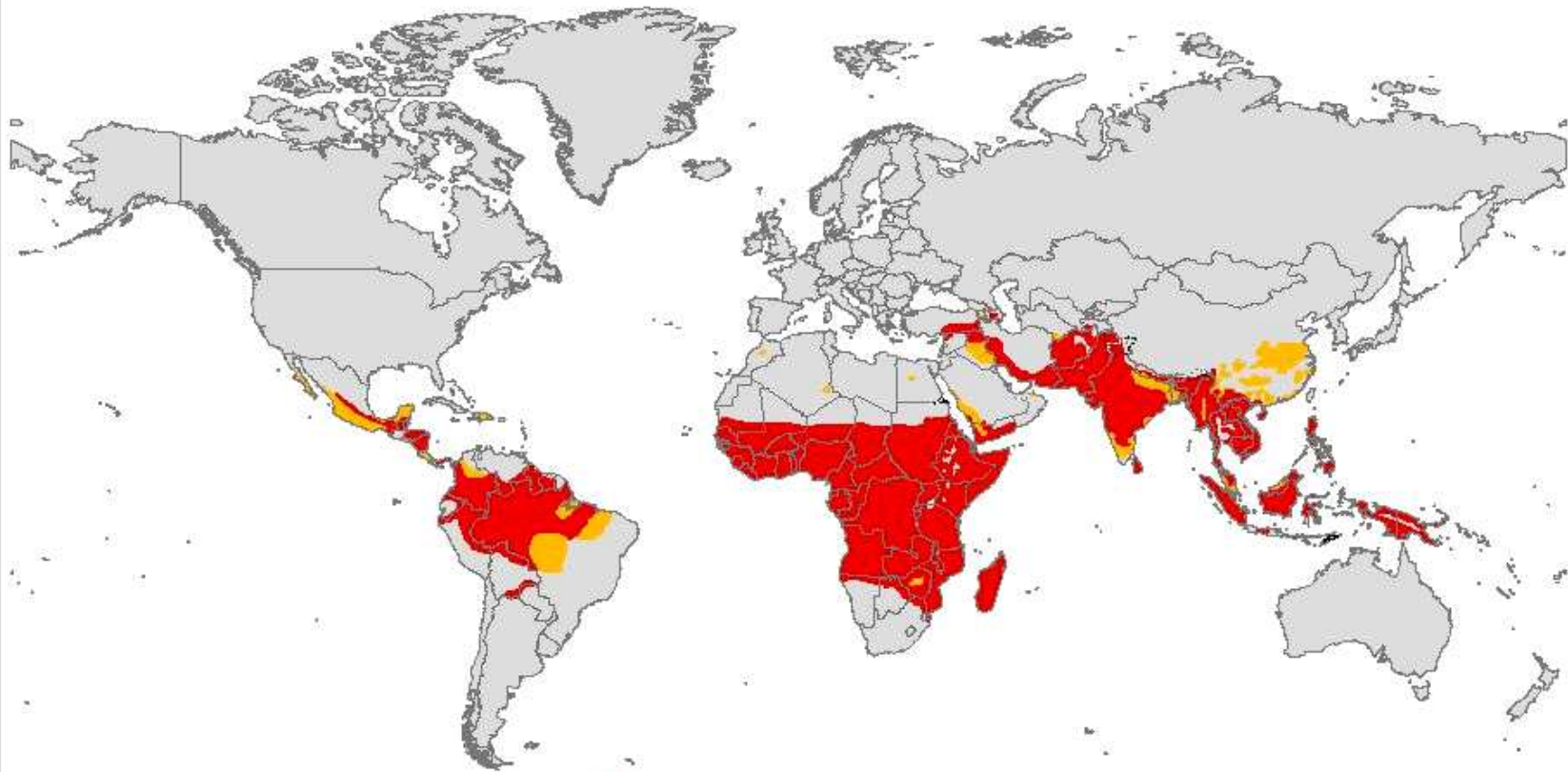
Dans l'humain, il se multiplie d'abord dans le foie et ensuite, de façon **cyclique**, dans les globules rouges.

Dans le moustique, le Plasmodium, absorbé avec le sang, se développe dans l'intestin et gagne ensuite les glandes salivaires



Le Plasmodium peut être absorbé avec le sang aspiré par un moustique.

## Worldwide malaria distribution in 2002



The presentation of material on the maps contained herein does not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the World Health Organization concerning the legal status of any country, territory, city or areas or of its authorities, or concerning the delineation of its frontiers or boundaries.

0 2000 4000 Kilometers

Data Source: WHO/RBM  
Map Production:  
Public Health Mapping Group  
Communicable Diseases, CDR  
World Health Organization  
© World Health Organization, November 2002



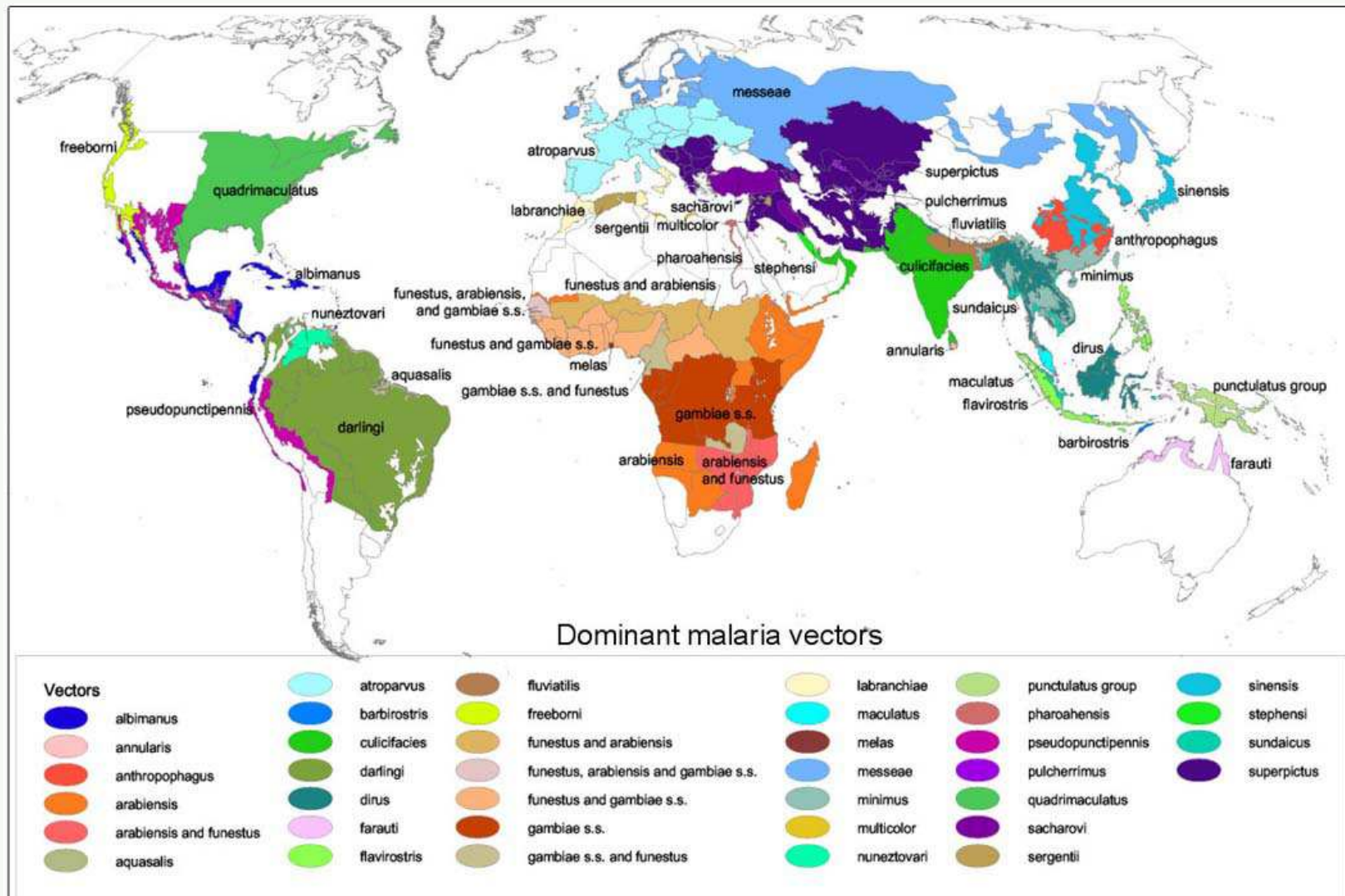
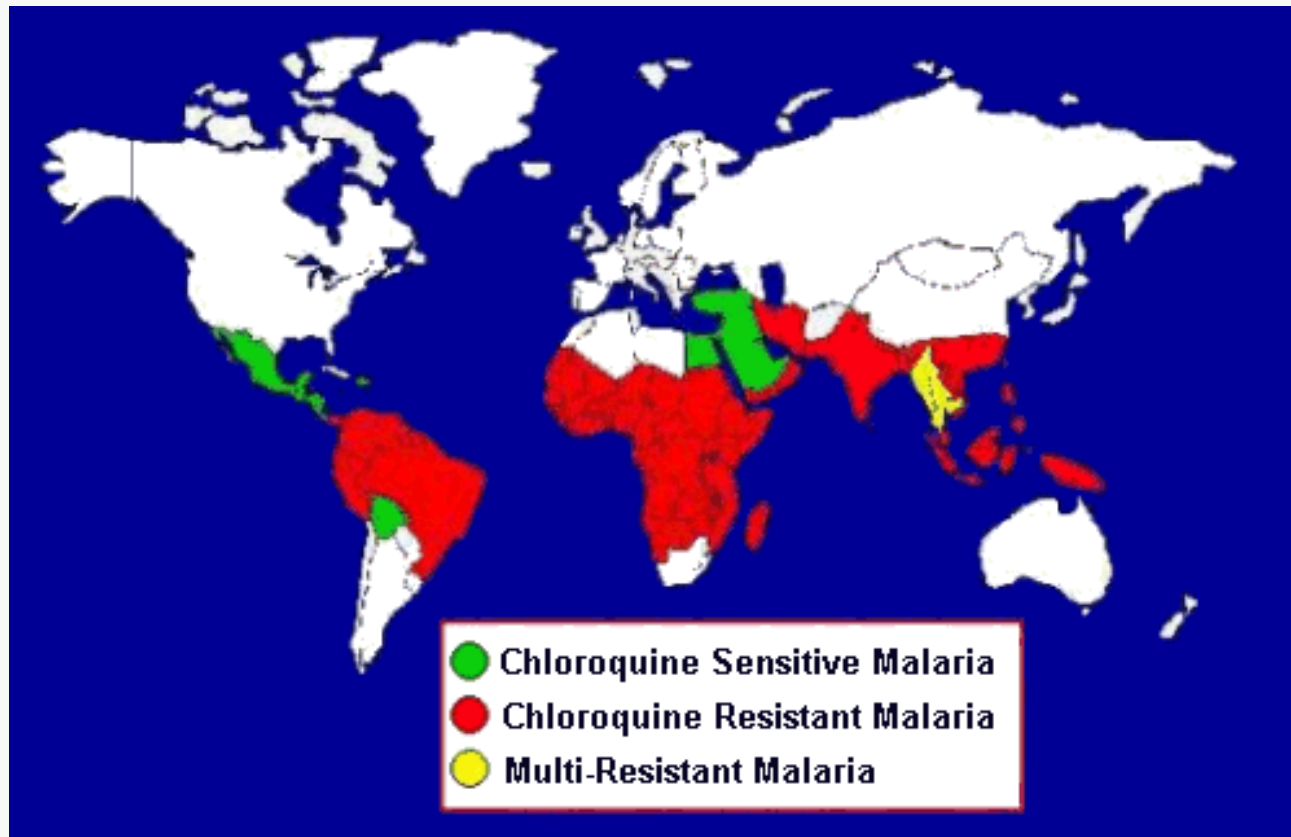


Figure 1 from Anthony Kiszewski, Andrew Mellinger, Andrew Spielman, Pia Malaney, Sonia Erlich Sachs, and Jeffrey Sachs. A Global Index Representing The Stability of Malaria Transmission. *Am J Trop Med Hyg* 2004 70:486-498.

**Distribution des espèces d'anophèles pouvant transmettre la malaria**



La **chloroquine** est le principal médicament utilisé par les voyageurs pour **prévenir** la malaria. La chloroquine agit sur les Plasmodium lorsqu'ils infestent les globules rouges. Des résistances se sont développées dans de nombreux pays. On utilise de la **méfloquine** dans les zones où il y a de la résistance. Le Plasmodium est un **Protozoaire** et non une bactérie, donc les antibiotiques sont inutiles.

On utilise surtout de la **quinine** pour le traitement de la maladie.

## Dengue

« **Arthropod-born viruses** »  
Virus transmis par un  
Arthropodes  
(généralement un  
moustique)

Causée par un **virus** (*arbovirus*).

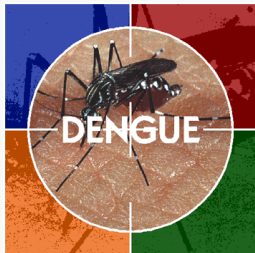
20 millions de personnes atteintes chaque année.

Transmise par un moustique : surtout *Aedes aegypti*.

Peut aussi être transmise par *Aedes albopictus*.

Les deux espèces ont été introduites en Amérique.

*Aedes aegypti* est présent dans l'Est de l'Amérique du Nord (de l'État de New-York à la Floride). Les œufs ne supporteraient pas nos hivers.



**Poussées de fièvre, nausées, importantes douleurs musculaires. Peut causer des hémorragies mortelles.**



## La dengue dans le monde

**Hémorragie locale  
causée par la dengue**

## Fièvre jaune

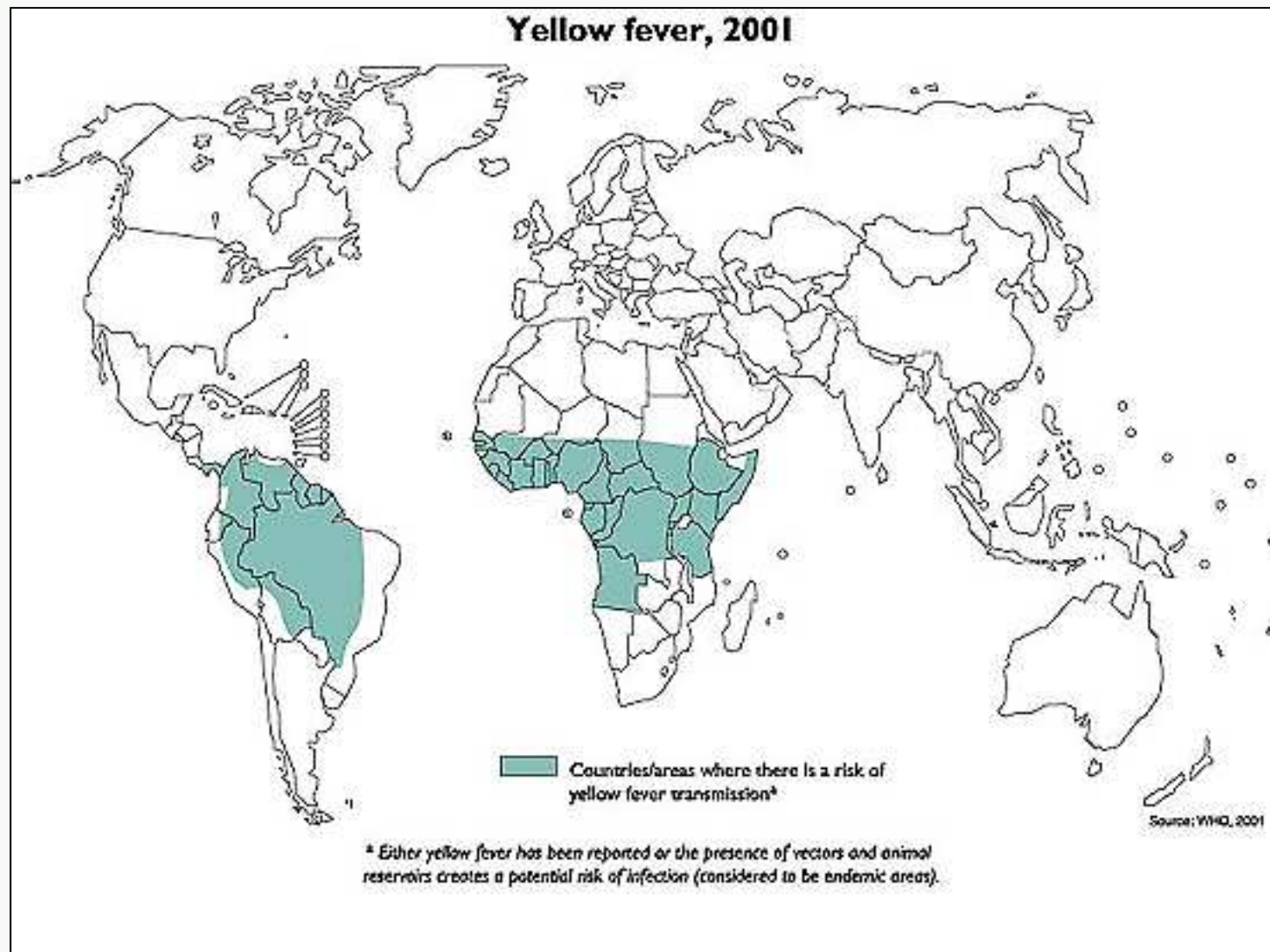
Autre maladie à *arbovirus* transmise surtout par *Aedes Aegypti*

Peut aussi être transmise par d'autres espèces tropicales d'*Aedes*



*Aedes aegypti*

**Poussées de fièvre, nausées, hypotension grave, hémorragies touchant plusieurs organes dont le foi. Peut être mortelle.**



La fièvre jaune dans le monde

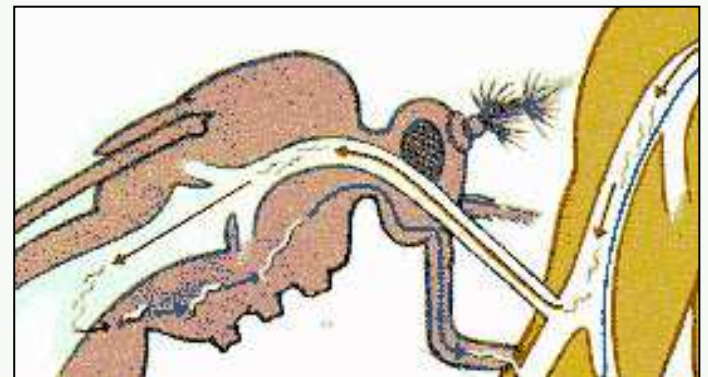
## La filariose

Causée par un **filaire**, un **ver nématode** microscopique.

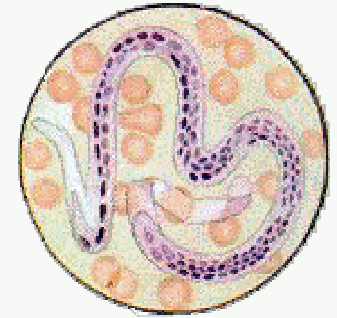
Les filaires peuvent obstruer les petits vaisseaux sanguins et lymphatiques.

Plus de 700 millions de personnes seraient touchées à des degrés divers dans le monde.

Transmise par certaines espèces tropicales d'**Anopheles** et de **Culex**.



**Éléphantiasis** : une forme de filariose responsable d'œdème (enflure des tissus) suite à l'obstruction de vaisseaux lymphatiques.



Transmise par *Culex quinquefasciatus* (espèce tropicale). Touche près de 120 millions de personnes dans le monde.

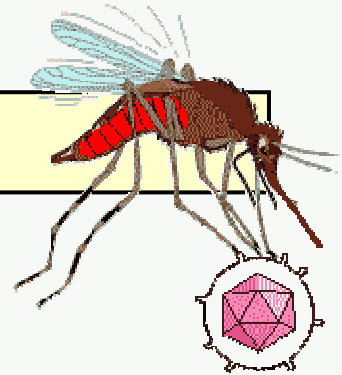


Une forme particulière, le **ver du cœur**, touche les chiens et autres canidés de nos régions. Cette forme est surtout transmise par *Culex pipiens* un moustique abondant au Québec. Les vers se développent surtout dans le cœur (ventricule droit en particulier).

**La femelle du ver se développe dans le cœur et pond des œufs qui éclosent pour donner des filaires microscopiques qui peuvent être absorbés avec le sang par un moustique.**



## Virus du Nil occidental



**Arbovirus** apparu en Amérique du Nord en 1999

Cause une **encéphalite** chez les oiseaux (**corvidés** surtout) et les chevaux.

Transmis par les trois espèces de **Culex** présentes au Québec

### Risque pour les humains assez faible :

- Peu de chance d'être piqué par un moustique infecté (ayant piqué un oiseau infecté) puisqu'il est rare que les Culex piquent deux fois sous nos latitudes  
(une chance sur 40 à une chance sur 200 là où des cas ont été confirmés; beaucoup moins si aucun cas n'a été rapporté).
- La maladie ne cause généralement aucun symptôme chez l'humain. Si des symptômes apparaissent, ils ressemblent à ceux de la grippe. Moins d'une personne sur 150 développe une encéphalite grave (mortalité d'environ 10% dans ces cas).

## Contrôle des populations de moustiques

- **Aménagement du milieu** (élimination des sites reproducteurs comme les décharges à ciel ouvert ou les milieux humides) : entraîne trop souvent l'élimination de milieux humides riches d'un point de vue écologique.
- **Insecticides** : danger pour l'environnement (accumulation biologique, contamination des écosystèmes, destruction d'insectes utiles) et développement de résistances.
- **Introduction de prédateurs naturels** : résultats décevants jusqu'à maintenant.
- **Bactérie *Bacillus thuringiensis* (BT)** : méthode la plus efficace et la plus sûre pour l'environnement.

## ***Bacillus thuringiensis***

Contre les diptères hématophages, on utilise la variété *israelensis* (BTI).

La bactérie *Bacillus thuringiensis* sécrète des protéines cristallisées qui sont mortelles lorsqu'elles sont modifiées dans le système digestif des insectes. La protéine ne peut être soluble et donc être métabolisée que si le pH est supérieur à 9,5 ce qui est le cas dans l'intestin de certains invertébrés comme les larves des Lépidoptères, des Culicidae ou des Simuliidae. La protéine modifiée se lie à des récepteurs spécifiques des cellules épithéliales de l'intestin et en provoque la lyse.

Le pH de l'intestin des vertébrés est trop faible pour solubiliser la protéine. Elle ne peut donc pas être modifiée en une substance toxique. Et même si c'était le cas, elle a peu d'affinité pour les récepteurs de leurs cellules intestinales.

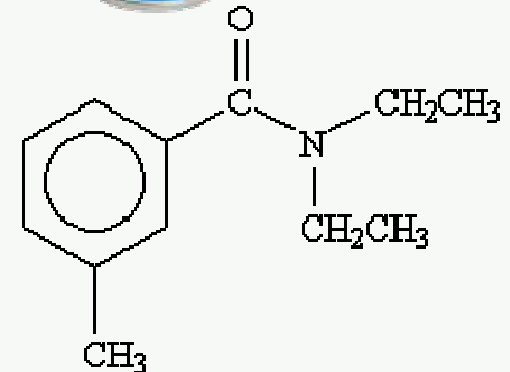
Les protéines peuvent être produites en laboratoire.

Utilisées surtout dans les endroits où se développent les larves (on utilise un mélange de protéines et de spores de la bactérie).

## Protection personnelle

### DEET (*N,N*-Diethyl-3-Methylbenzamide)

- Breveté en 1946 et mis en marché en 1957.
- Efficacité et durée d'action proportionnelles à la concentration jusqu'à une certaine limite (la durée et l'efficacité n'augmentent plus tellement au-delà d'une concentration de 35%).
- Une concentration de 30% assure une protection de près de 6 heures.
- Agirait en bloquant les récepteurs qui permettent aux insectes de déceler certaines odeurs attractives.
- Ne semble pas avoir d'effets néfastes sur la santé, même si une petite partie du produit appliqué est absorbée à travers la peau.



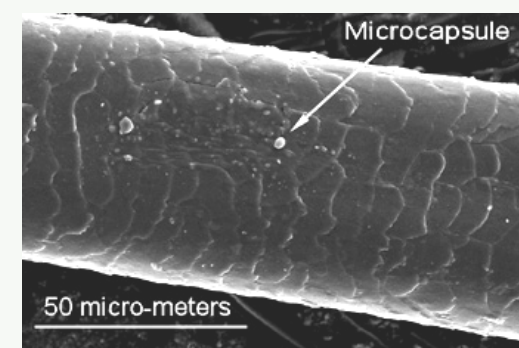
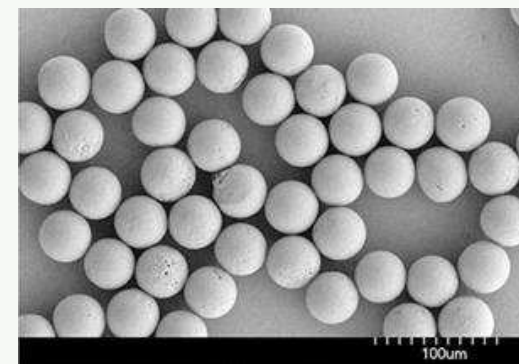
## DEET microencapsulé

= DEET (20% à 30%) contenu dans des capsules microscopiques faites de polymère.

Développé d'abord par la compagnie **3M** pour l'armée américaine (marque de commerce **Ultrathon**).

Durée d'action beaucoup plus longue (moins d'évaporation); plus de 12 heures d'efficacité.

Absorption du DEET par la peau diminuée de près de 90%



Le DEET des produits de marque Sawyer est contenu dans des microcapsules faites de protéines (en suspension dans de l'eau).



## Huile de citronnelle

- Moins efficace que le DEET et d'une durée d'action plus courte (moins d'une heure, il faut donc l'appliquer fréquemment).
- On peut aussi utiliser des bougies à la citronnelle. Efficaces si on reste à proximité. Peu efficaces s'il y a du vent ou beaucoup de moustiques. Une bougie ordinaire est aussi efficace, mais moins qu'une avec citronnelle.
- Les bracelets imprégnés de citronnelle n'ont à peu près aucun effet.
- Les produits à base **d'huile de soya** sont environ deux fois plus efficaces que ceux à base de citronnelle ( mais beaucoup moins que ceux à base de DEET ).



## Skin-So-Soft

- Huile pour le bain de la compagnie Avon.
- Puisque certaines personnes rapportaient que c'était efficace contre les moustiques, la compagnie en a fait aussi un produit anti-moustiques.
- Testée en laboratoire avec *Aedes Aegypti*, la durée d'action a été d'environ 5 à 30 minutes soit environ 10 fois moins que du DEET à 10%





## Protection des vêtements

On peut vaporiser de la **perméthrine** (*Repel Permanone*) sur les vêtements (**mais pas sur la peau**).

Peut aussi s'utiliser sur les moustiquaires et les toiles de tente.

Très peu toxique pour les vertébrés. N'est pas absorbé s'il n'est pas appliqué sur la peau.

Protection dure 24 heures et diminue dans les jours suivants. Peut même résister à quelques lavages.

Très efficace si associé à du DEET sur la peau.



La **perméthrine** est un dérivé synthétique de la **pyréthrine**, un insecticide naturel abondant dans les **chrysanthèmes**. Même si la perméthrine est très peu toxique, elle ne doit pas être appliquée directement sur la peau (peut causer de l'irritation et des démangeaisons).

Ce produit n'est pas encore homologué au Canada.

## Spirales insecticides

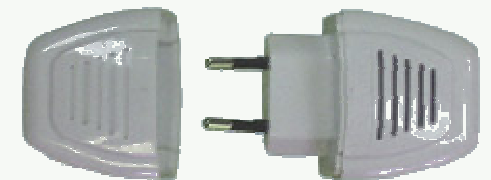
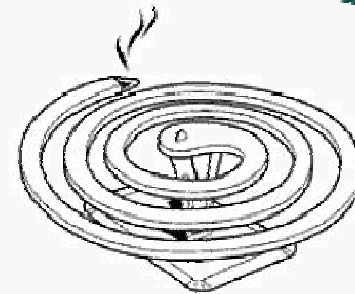
Libèrent un insecticide en brûlant (la **pyréthrine** est souvent utilisée).

Brûlent pendant près de 8 heures.

Ne devraient pas être utilisées à l'intérieur même si on le fait couramment dans les pays tropicaux.

Très efficace mais potentiellement dangereux à long terme pour les voies respiratoires à cause de la fumée dégagée. Notez que, dans certains pays, c'est tout de même un risque léger à comparer à celui de contracter une maladie transmise par les moustiques.

On peut se procurer, partout dans les pays tropicaux, des **diffuseurs électriques de pyréthrine** (ou autres insecticides semblables). C'est un petit appareil qui se branche au mur dans lequel on place une pastille ou quelques gouttes d'un liquide. Aussi efficace que la spirale, mais sans la fumée.

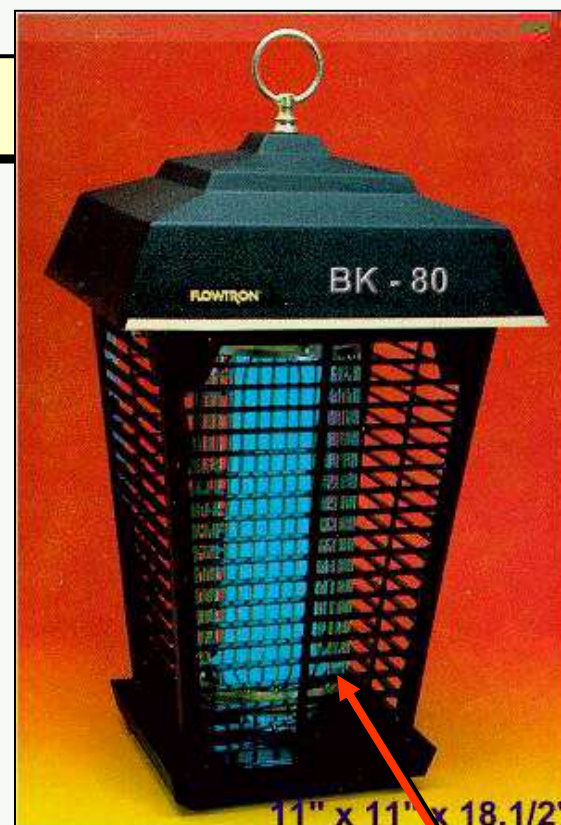


## Bidules inefficaces

### Piège lumineux à grille électrique (*Bugs zappers*)

#### Peu efficace :

- pas assez sélectif (on risque de détruire plus d'insectes bénéfiques que de nuisibles)
- pas efficace contre les moustiques et autres diptères piqueurs (ne sont pas particulièrement attirés par la lumière)



Les insectes attirés par la lumière sont « vaporisés » au contact d'une grille électrique

***Une étude de 1996 (Frick et Tallamy de l'université du Delaware) a démontré que les moustiques ne représentaient que 0,22% des captures (31 moustiques sur 13789 captures). 13,5% des captures étaient constituées d'insectes utiles (prédateurs et parasitoïdes).***

***Il y aurait, aux USA, environ 4 millions de « zappers » qui seraient utilisés en moyenne 40 jours par année. Ils détruiraient, chaque année, environ 71 milliards d'insectes autres que des insectes nuisibles.***

***Entomological News [107(2): 77-82], 1996, American Entomological Society***



## Émetteurs d'ultrasons

Des tests ont démontré que ces appareils sont parfaitement inutiles (les femelles moustiques ne les entendent même pas, elles ne sont pas sensibles aux ultrasons).



## Suppléments alimentaires

Aucune étude n'a démontré l'efficacité de suppléments alimentaires comme la vitamine B1 (thiamine), l'ail, la levure de bière ou autres produits alimentaires.



**F  
I  
N**

