



## LES MOUSTIQUES

Près de 3300 espèces décrites  
35 genres

Principaux genres vecteurs :

*Aedes* : **arbovirus**, filaires

*Culex* : arbovirus, filaires

*Anopheles* : **Plasmodium**, filaires : 60 espèces vectrices

*Culiseta*

*Coquillettidia*

*Mansonia*

*Haemagogus* : arbovirus

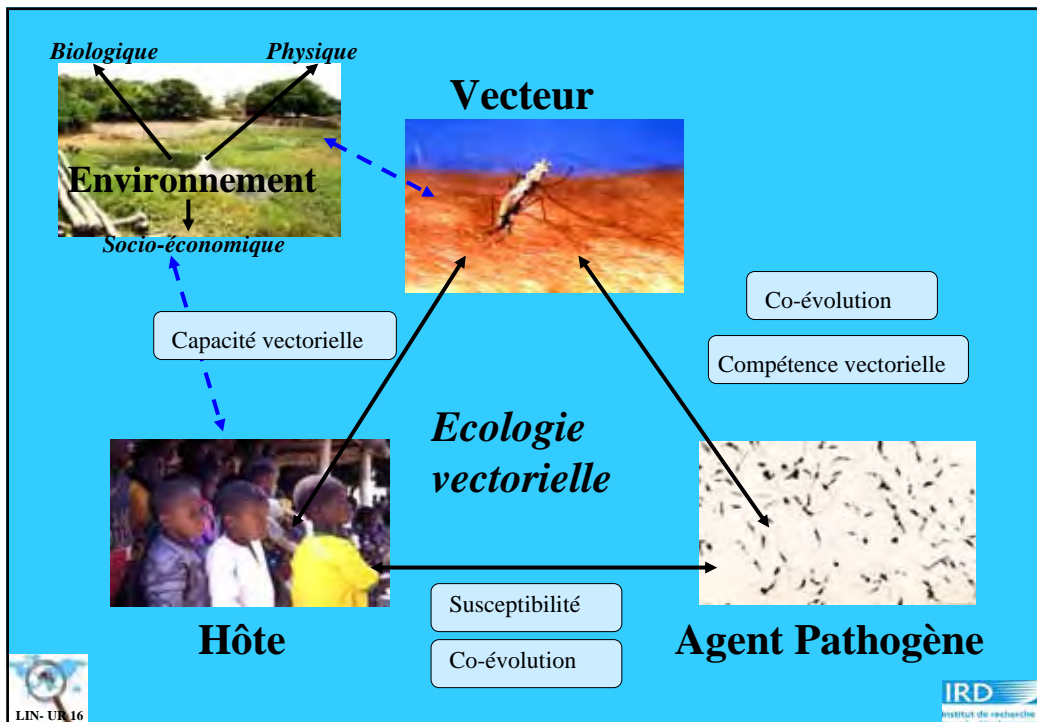
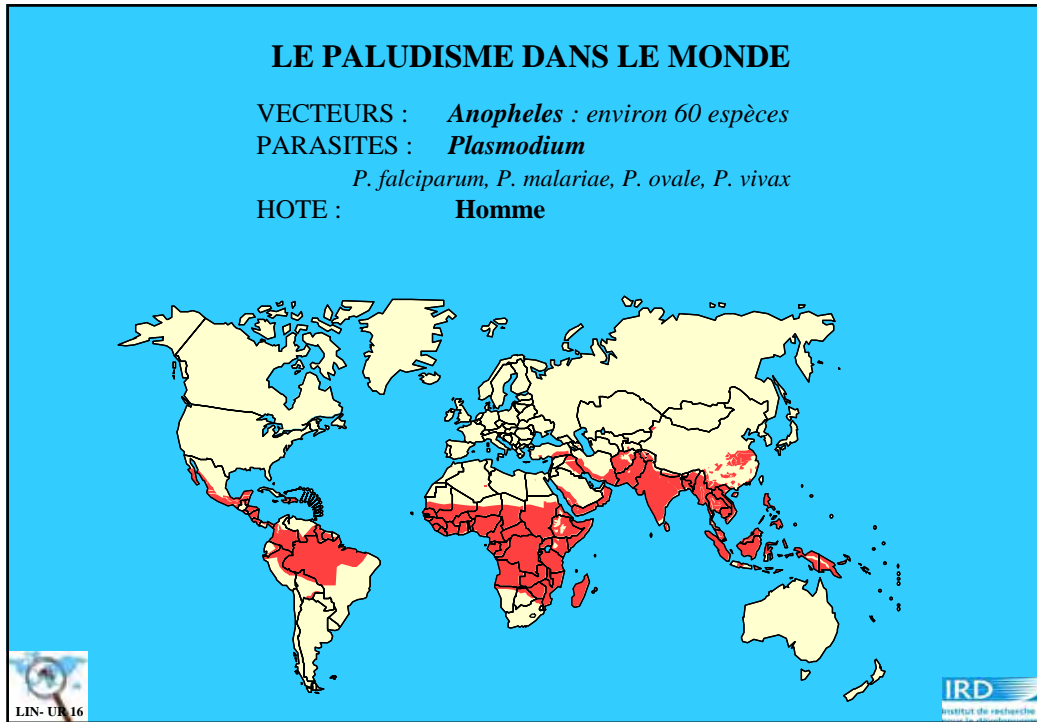
*Sabethes* : arbovirus

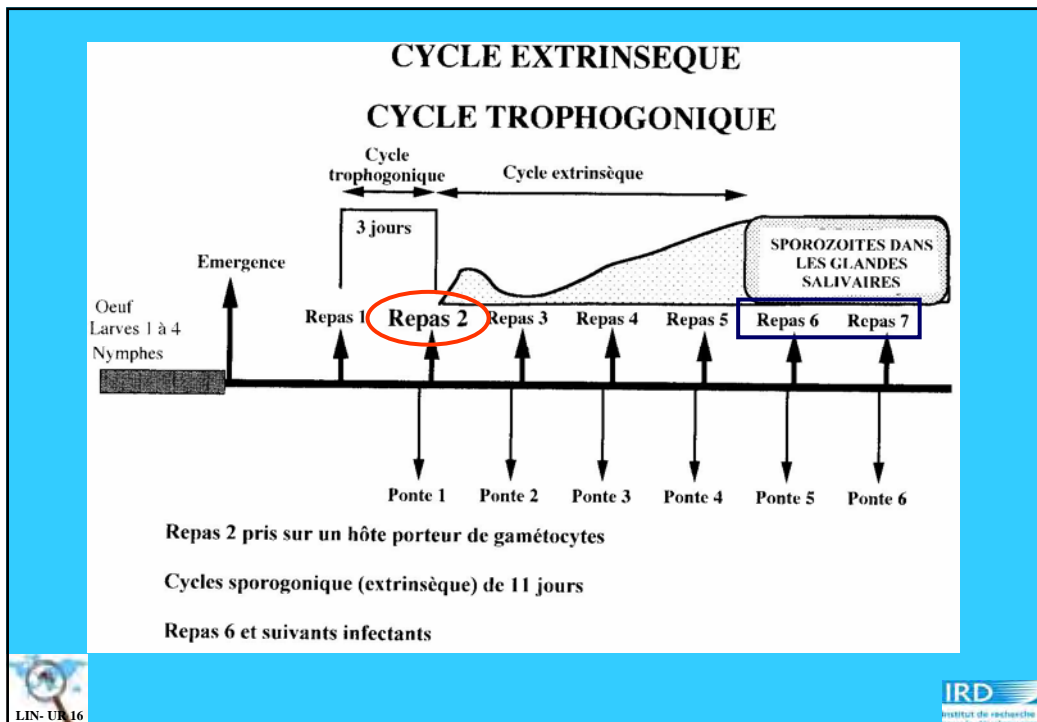
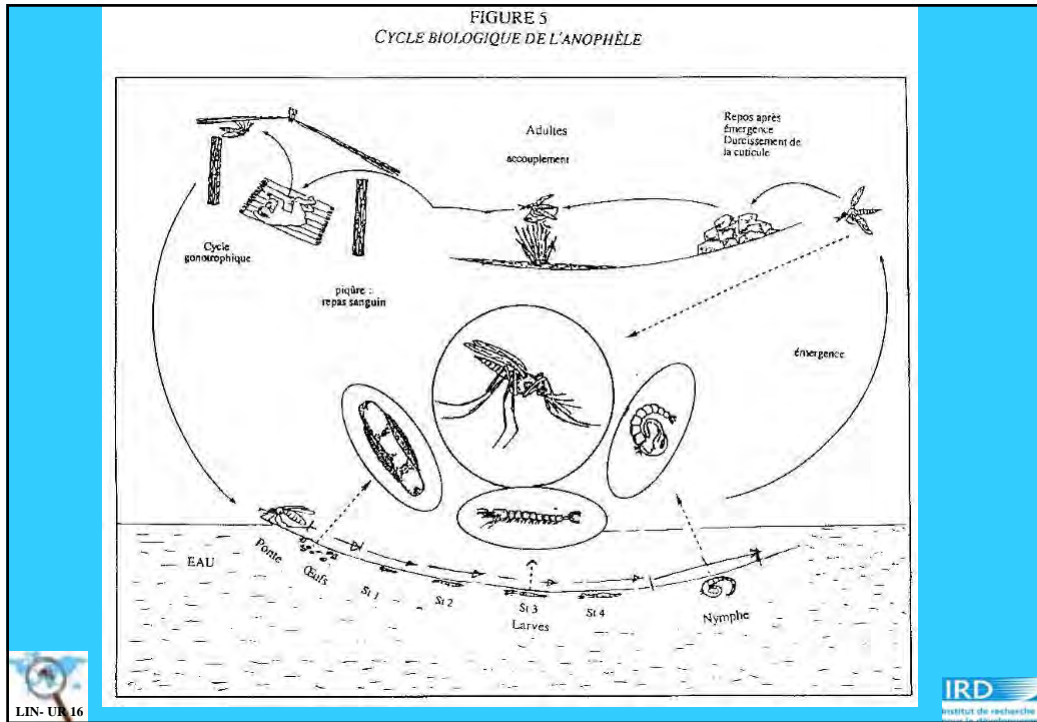
*Eretmapodites*



La plupart NON vecteurs de pathogènes à l'homme









### Transmission du paludisme

**R<sub>0</sub> = TAUX DE REPRODUCTION DE BASE**  
Nombre de nouveaux cas attendus à partir d'un cas

$$R_0 : \frac{\overbrace{ma \cdot a \cdot p^n}^{\text{CAPACITE VECTORIELLE}} \times \overbrace{b}^{\text{Fct GENETIQUES / Compétence vectorielle}} \times \overbrace{\frac{1}{r}}^{\text{HOMME}}}{-\ln \cdot p}$$

**ma :** taux d'agressivité (Nb piqûres / 24h)  
**a :** Nb repas pris sur homme / 24h par un moustique  
**p :** taux quotidien de survie d'une population  
**n :** durée du cycle extrinsèque du parasite ou virus  
**b :** "compétence vectorielle" (proportion de piqûres infectées réellement infectantes)  
**r :** taux de négativation de l'hôte  
 (1/r = durée de la période infectieuse pour les moustique)

### LA MESURE DE LA TRANSMISSION

⇓

## h = ma x s

**h :** Nombre de piqûres contaminées que reçoit un homme par 24 heures (taux entomologique d'inoculation : **EIR**)

**ma :** taux quotidien de piqûres (HBR) (nombre moyen de vecteur piquant un homme en 24 h.)

COMMENT ? : pièges lumineux, "Captureurs volontaires", pulvérisation intradomiciliaire








## LA MESURE DE LA TRANSMISSION

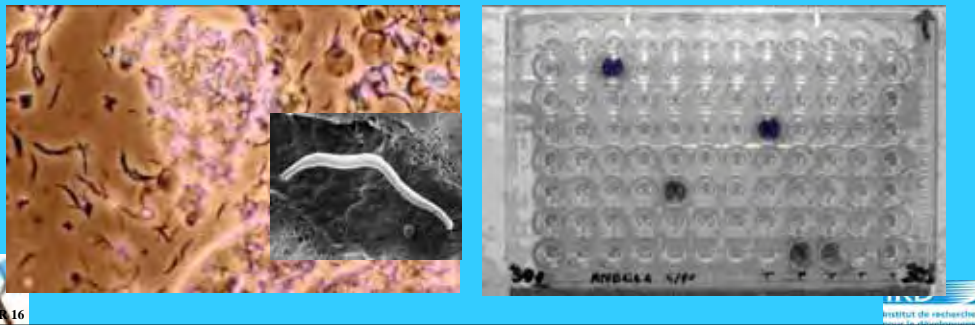


$$h = ma \times s$$

**h** : Nombre de piqûres contaminées que reçoit un homme par 24 heures (taux entomologique d'inoculation : **EIR**)

**S** : **indice sporozoïtique (SI)** (pourcentage de vecteurs présentant des sporozoïtes dans leur glandes salivaires)

COMMENT ? : Dissection des glandes salivaires, Elisa, PCR



LIN-UR16

IRD Institut de recherche pour le développement

**Variations du paludisme à l'échelle intercontinentale**


Région biogéographique	Afrique tropicale	Asie du Sud-Est	Nouvelle-Guinée Australasie	Europe méditerranéenne	Amériques
Nombre annuel de cas	90 à 110 millions	5 à 10 millions	Inconnu	< 500 000 Turquie	1 à 2 millions Haïti, Brésil, Amérique centrale
<i>P. vivax</i>	Très rare et localisé sauf à Madagascar	Dominant géographiquement	Présent	Dominant	Présent
<i>P. falciparum</i>	Ubiquiste	En foyers	Ubiquiste	Rare	En foyers (Haïti, Amazonie, etc.) Tendance à l'extension
Stabilité	Très stable sauf marges déserts et montagnes	Instable sauf foyers à <i>P. falciparum</i>	Stable	Instable	Instable sauf foyers
Vecteurs principaux	<i>An. funestus</i> <i>An. gambiae</i> <i>An. arabiensis</i> <i>An. moucheti</i> <i>An. nili</i>	<i>An. minimus</i> <i>An. dirus</i> <i>An. maculatus</i> <i>An. fluviatilis</i> <i>An. stephensi</i> <i>An. culicifacies</i> <i>An. sudaicus</i> <i>An. aconitus</i>	<i>An. farauti</i> <i>An. punctulatus</i>	<i>An. labranchiae</i> <i>An. sacharovi</i> <i>An. sergenti</i>	<i>An. albimanus</i> <i>An. darlingi</i> <i>An. pseudopunctipennis</i>

LIN-UR16


IRD Institut de recherche pour le développement

### Les vecteurs en Asie



Complexe *Anopheles dirus*




D'après Mouchet *et al.*, 2004




*An. dirus*



### Les vecteurs en Asie





*An. minimus*



Complexe *Anopheles minimus*

D'après Mouchet *et al.*, 2004



### Le paludisme en Amérique du Sud

En Amérique du Sud (et centrale) le paludisme est en augmentation depuis les grandes campagnes d'«éradication»:

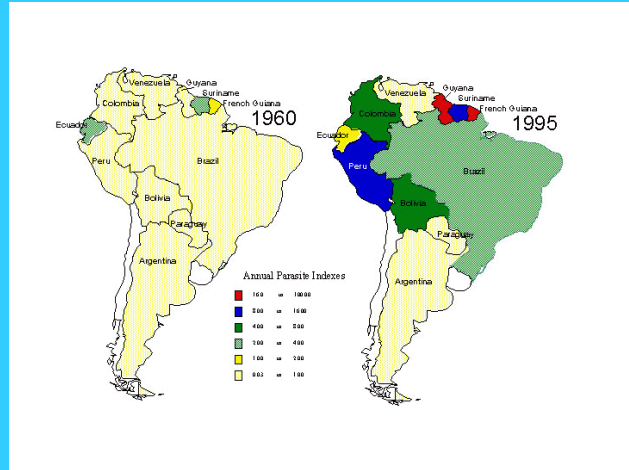
Les vecteurs sont différents selon les écosystèmes :

Forêts (savanes): *An. darlingi*

Cotes : *An. albimanus*

Savanes- piemonts: *An. nuneztovari*

Piemonts- vallées: *An. pseudopuntipennis*



D'après OMS



### Les vecteurs en Amérique du Sud



*Anopheles darlingi*

D'après Mouchet *et al.*, 2004



*An. darlingi*

Gîtes : rivières, ruisseaux lents ombragés, lacs ombragés



Gîtes à *An. darlingi* Am. du Sud



**Les vecteurs en Amérique du Sud**



**Gîtes à *An. pseudopunctipennis* Am. du Sud**

LIN- UR 16

IRD  
Institut de recherche  
pour le développement

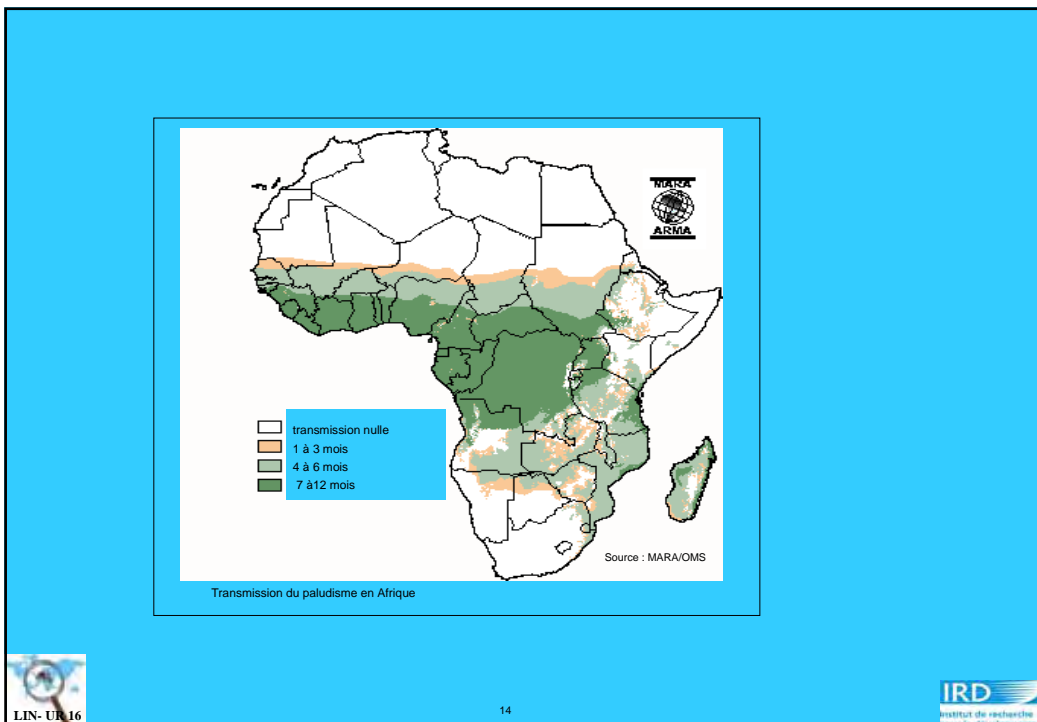
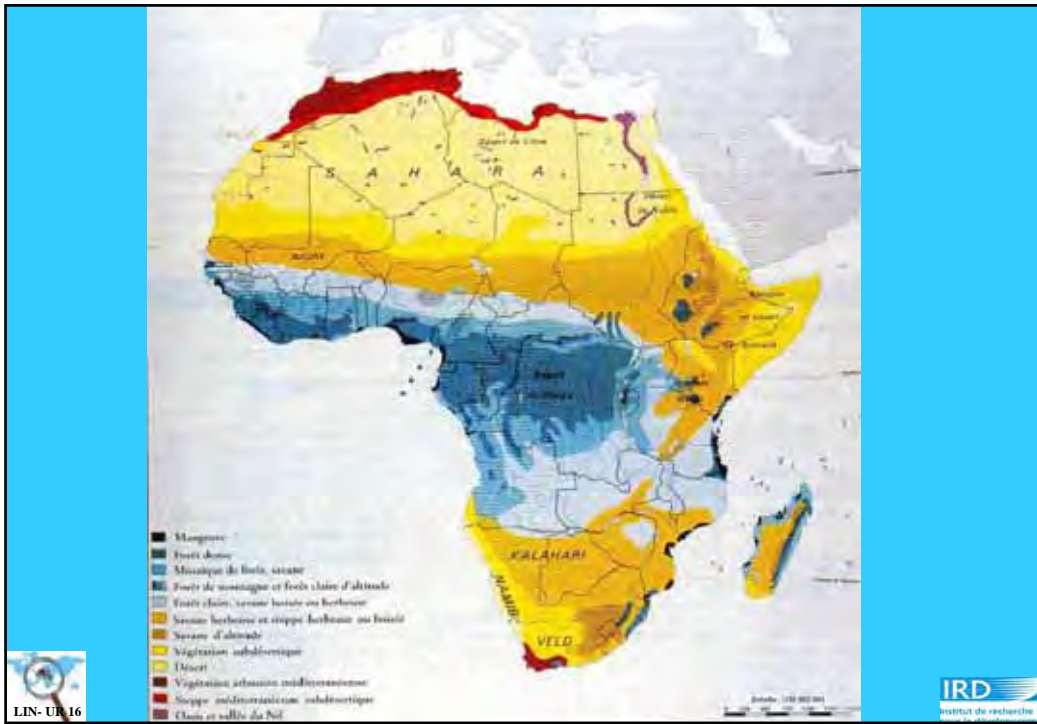
**Les vecteurs en Amérique du Sud**



**Gîtes épiphytes à *An. bellator* au Brésil**

LIN- UR 16

IRD  
Institut de recherche  
pour le développement



## FACIES EPIDEMIOLOGIQUES PRIMAIRES DU PALUDISME EN AFRIQUE

### Stable

1) *Équatorial* : forêt et savanes postforestières  
Prémunition avant 5 ans

2) *Tropical* : savanes humides

### Intermédiaire

3) *Sahélien* : savanes sèches et steppes  
Transmission saisonnière courte < 6 mois  
Prémunition plus longue à s'établir, liée à la régularité de la transmission

### Instable

4) *Désertique* : Prémunition très faible. Epidémies.

5) *Austral* : Transmission très saisonnière. Épidémies

6) *Montagnard* : Transmission limitée par la température, Peu ou pas d'immunité.  
Épidémies violentes (Burundi, Madagascar). Problème du réchauffement

**Urbain : très variable : nouvelle situation**



## Les vecteurs du paludisme en Afrique


- Complexe *An. gambiae*
    - *An. gambiae M*
    - *An. gambiae S*
    - *An. arabiensis*
    - *An. melas*
    - *An. merus*
  - Groupe *An. funestus*
    - *An. funestus*
    - ♦ *An. leesonii*
    - ♦ *An. rivulorum*
  - *An. paludis*
  - *An. hancocki*
  - *An. mascarensis*
  - Groupe *An. nili*
    - *An. nili*
    - *An. carnevalei*
    - *An. ovengensis* n.sp.
  - Groupe *An. moucheti*
    - *An. moucheti*
    - *An. moucheti* forme *bervoetsi*
    - *An. moucheti* forme *nigeriensis*
  - *An. pharoensis*
- Afrique du Nord :**
- *An. sergenti*
  - Complexe *An. maculipennis*



**CSP rate of anopheline species collected in Cameroon between 10-1998 and 03-2003**

From Nkondjio *et al.* unpublished results

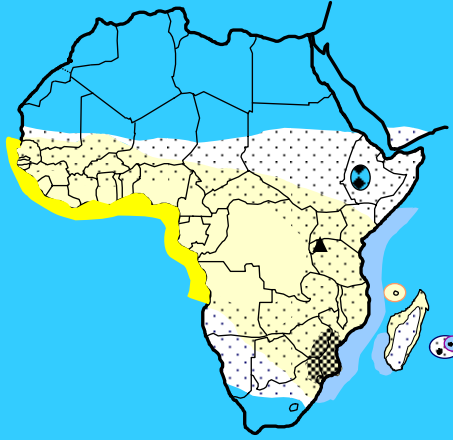

species	tested	positive	CSP rate (%) (minimal and maximal values)
<b>Major vectors</b>			
1 <i>An. funestus</i>	10461	466	4.5 (2.9 - 12.1)
2 <i>An. arabiensis</i>	353	19	5.4 (0.0 - 5.9)
3 <i>An. gambiae</i>	8935	342	3.8 (3.2 - 16.9)
4 <i>An. moucheti</i>	11190	188	1.7 (0.7 - 2.1)
5 <i>An. nili</i>	6993	154	2.2 (0.4 - 7.0)
<b>Total</b>	<b>37932</b>	<b>1169</b>	<b>3.1</b>
<b>Secondary vectors</b>			
6 <i>An. coustani</i>	31	1	3.2 (0.0 - 16.7)
7 <i>An. hancocki</i>	131	5	3.8 (0.0 - 12.5)
8 <i>An. marshallii</i>	167	3	1.8 (1.0 - 10.0)
9 <i>An. paludis</i>	448	5	1.1 (0.0 - 11.1)
10 <i>An. pharoensis</i>	1304	14	1.1 (1.0 - 1.5)
11 <i>An. wellcomei</i>	83	1	1.2 (0.00 - 1.3)
12 <i>An. ziemanni</i>	475	2	0.4 (0.0 - 2.2)
13 <i>An. carnevalei</i>	84	1	1.2 (0.0 - 6.5)
14 <i>An. ovengensis</i>	1032	19	1.8 (1.0 - 2.7)
<b>Total</b>	<b>3755</b>	<b>51</b>	<b>1.4</b>
<b>Overall</b>	<b>41687</b>	<b>1220</b>	<b>2.9</b>


LIN- UR 16  IRD Institut de recherche pour le développement [www.ird.fr](http://www.ird.fr)

## Le complexe *Anopheles gambiae*

(8 ?) species:

- *An. gambiae* M et S
- *An. arabiensis*
- *An. melas*
- *An. merus*
- *An. bwambae*
- *An. quadriannulatus*
- *An. quadriannulatus* B

LIN- UR 16  IRD Institut de recherche pour le développement [www.ird.fr](http://www.ird.fr)

Gîtes larvaires  
*d'Anopheles gambiae*




LIN- UR 16

IRD  
Institut de recherche  
pour le développement

Gîtes larvaires

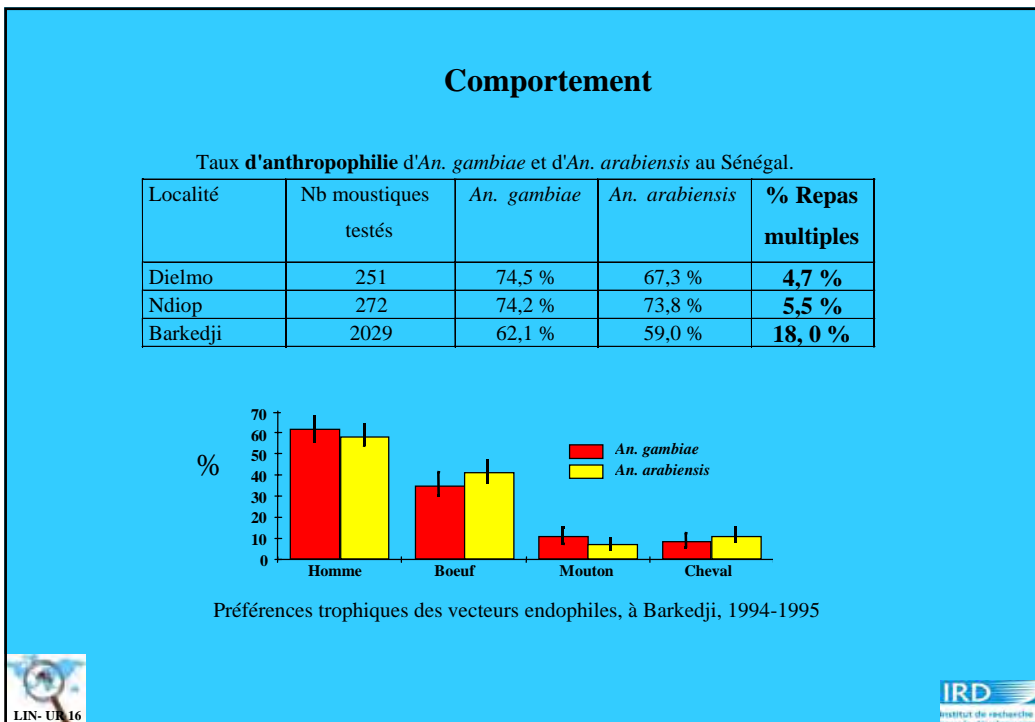
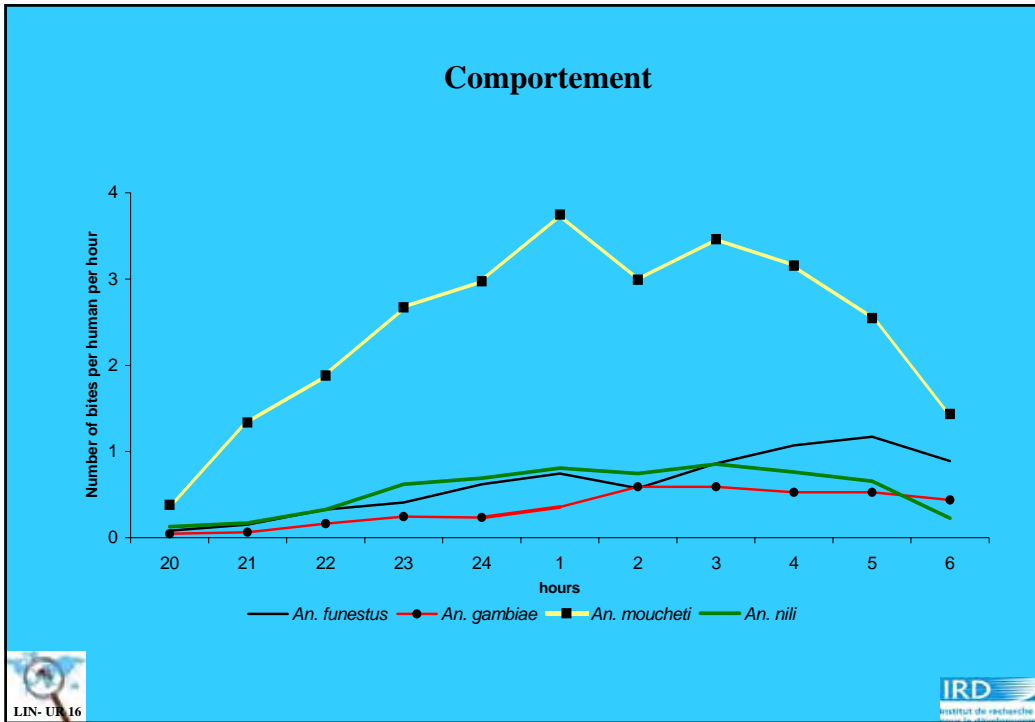
*Anopheles funestus*

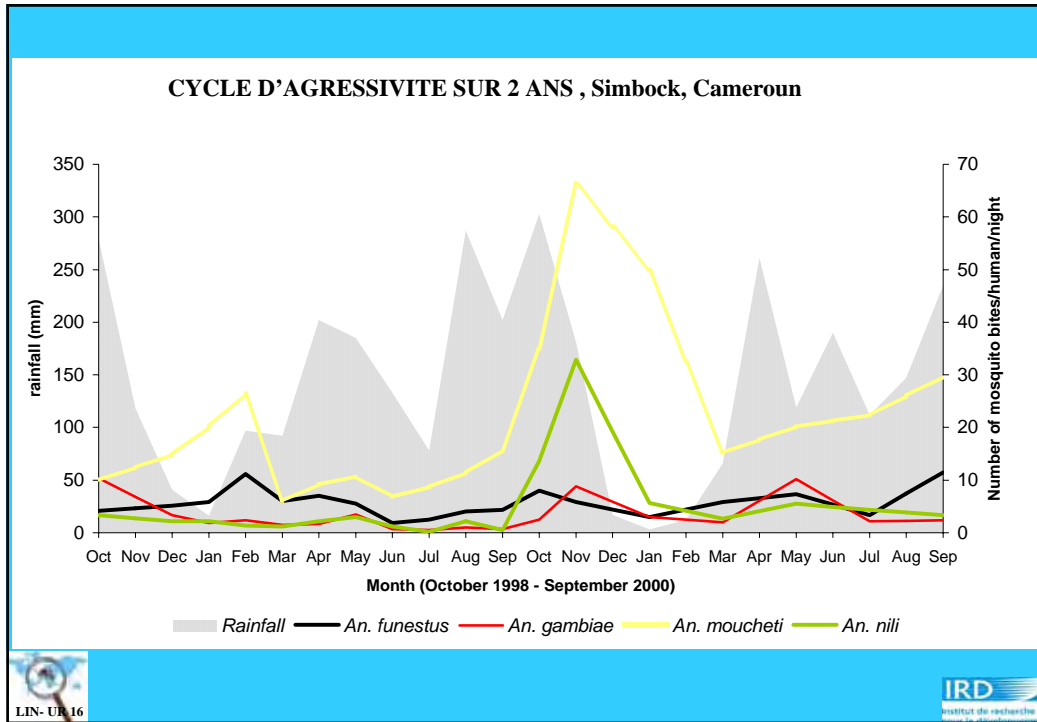
*Anopheles mouchei*



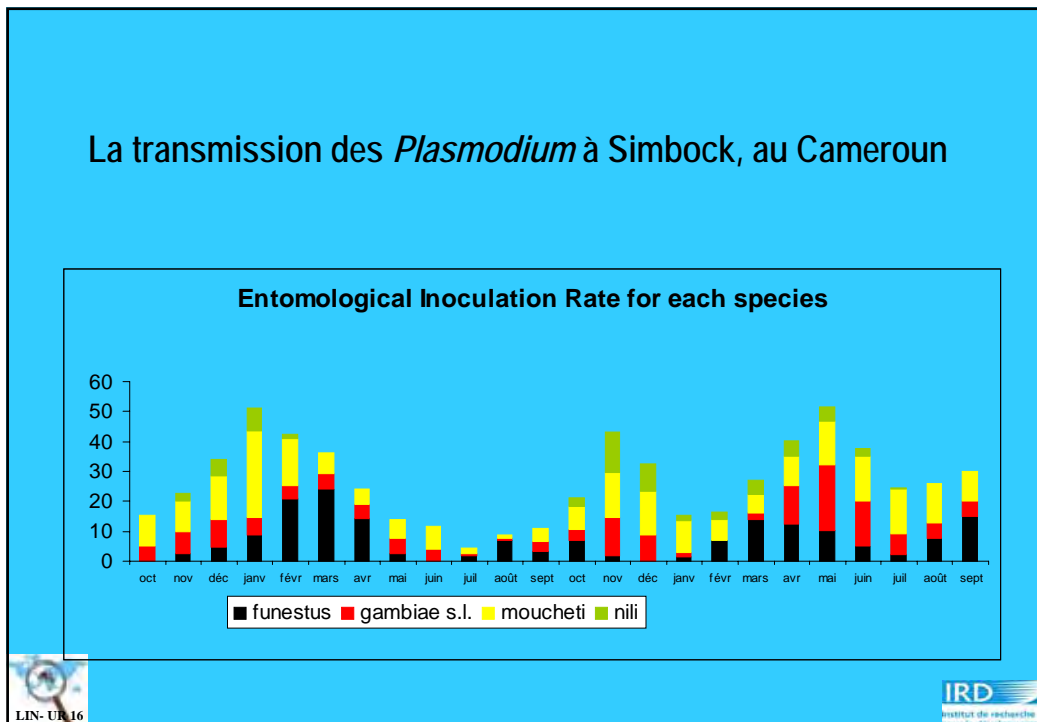
LIN- UR 16

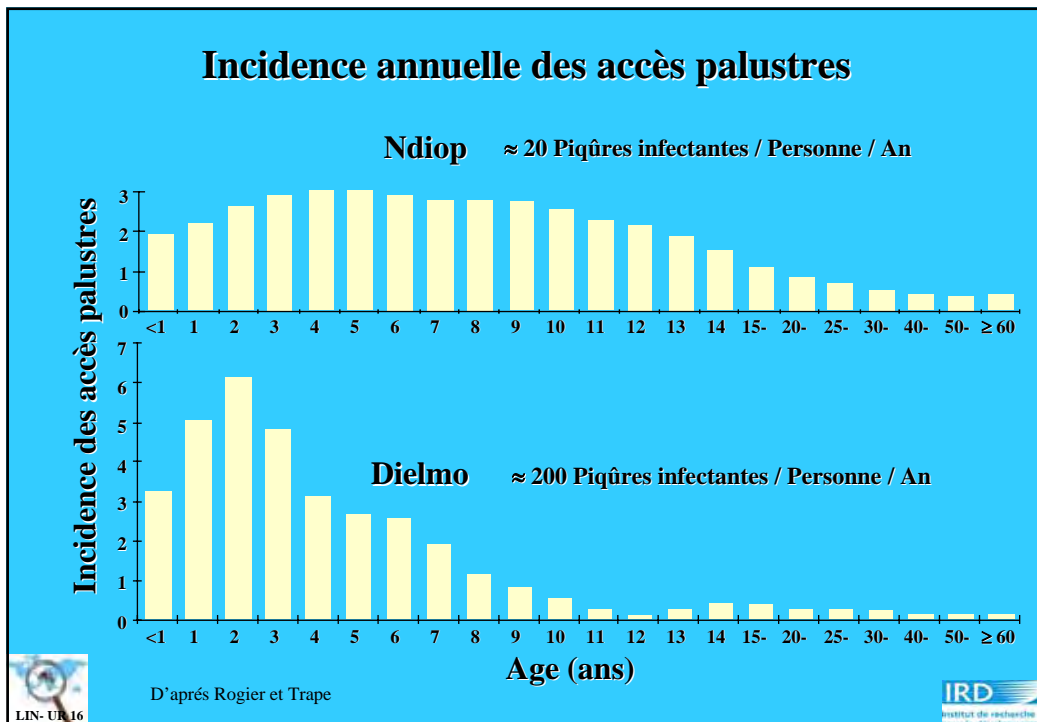
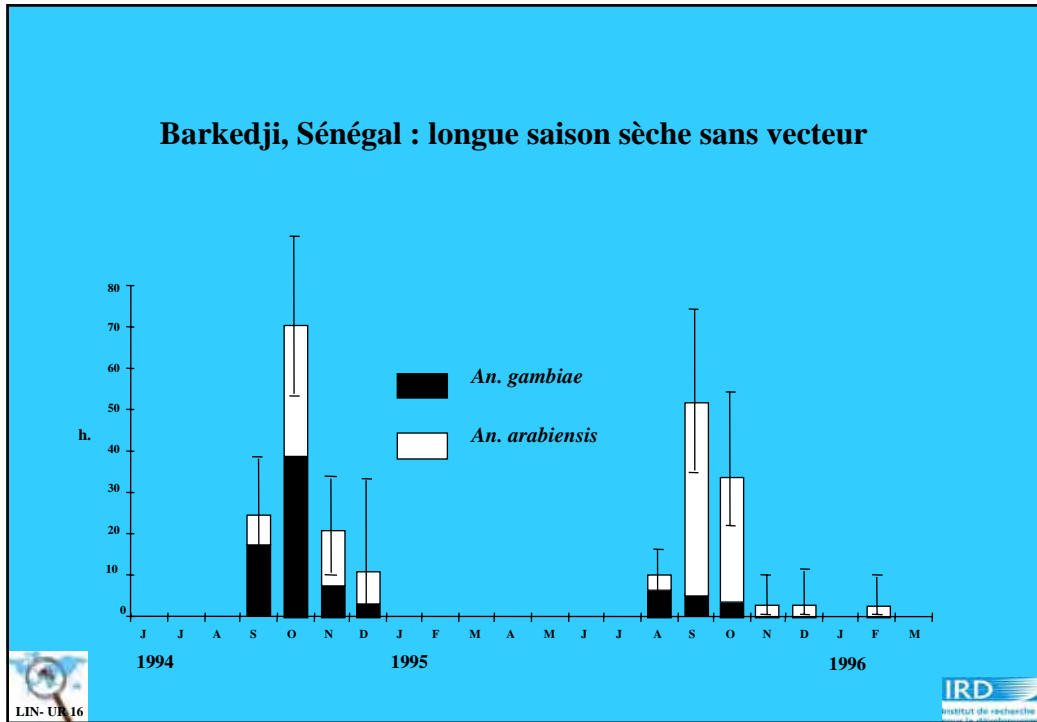
IRD  
Institut de recherche  
pour le développement





**La transmission des *Plasmodium* à Simbock, au Cameroun**



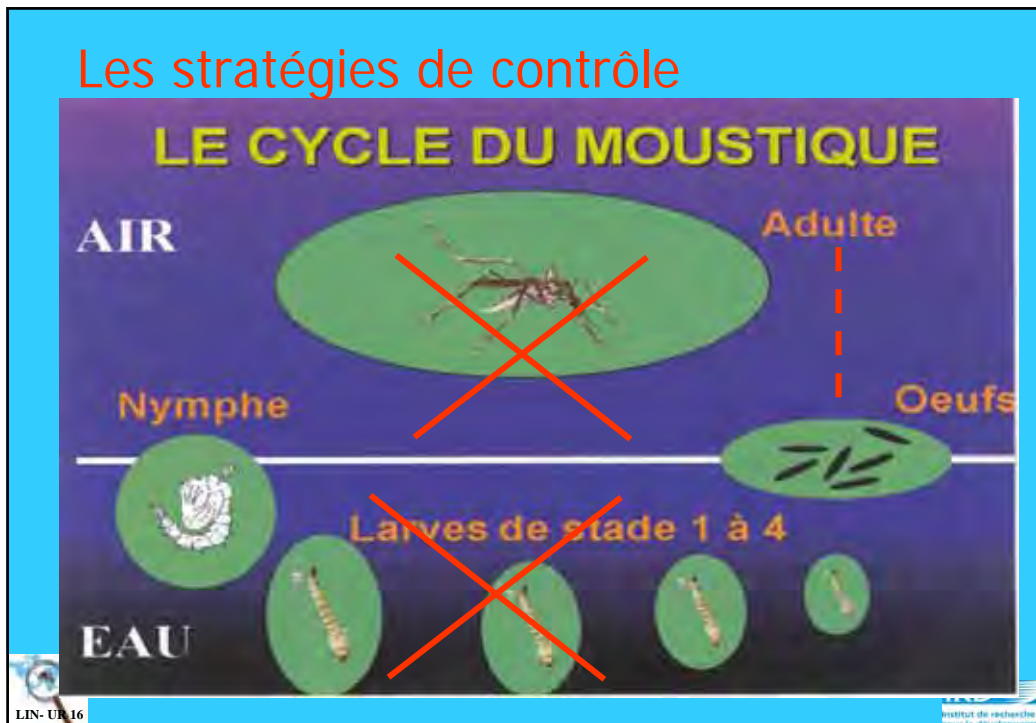




## Quel est l'objectif de la L.A.V. ?

- Exceptionnellement : éradiquer localement la maladie en éliminant le vecteur ;
- Le plus souvent : interrompre durablement la transmission ou réduire la population de vecteurs dans des proportions telles que la maladie n'est plus un problème de santé publique, ni un obstacle au développement socio-économique.





#### ◆ La lutte anti-larvaire

- ✓ Elle réduit les densités de population pré-imaginales et, donc, les densités d'adultes ;
- ✓ Elle ne peut être réalisée que si les gîtes sont facilement accessibles et en nombre limité (difficile avec les vecteurs du paludisme).



◆ **La lutte anti-larvaire**

- Traitement larvicide



◆ **La lutte anti-adultes**

- ✓ réduit les densités de moutiques agressifs et, la longévité des femelles;
- ✓ Sa mise en œuvre dépend de l'écologie de l'insecte et des modalités de transmission (saisonnalité)



### ❖ Les traitements préventifs

- ✓ Ces traitements (moustiquaires, vêtements, grillages, éventuellement imprégnés d'insecticides et/ou répulsifs) protègent les populations humaines des piqûres du vecteur (protection individuelle et effet de masse possible)

### ❖ Réduire la transmission des Plasmodium à l'homme

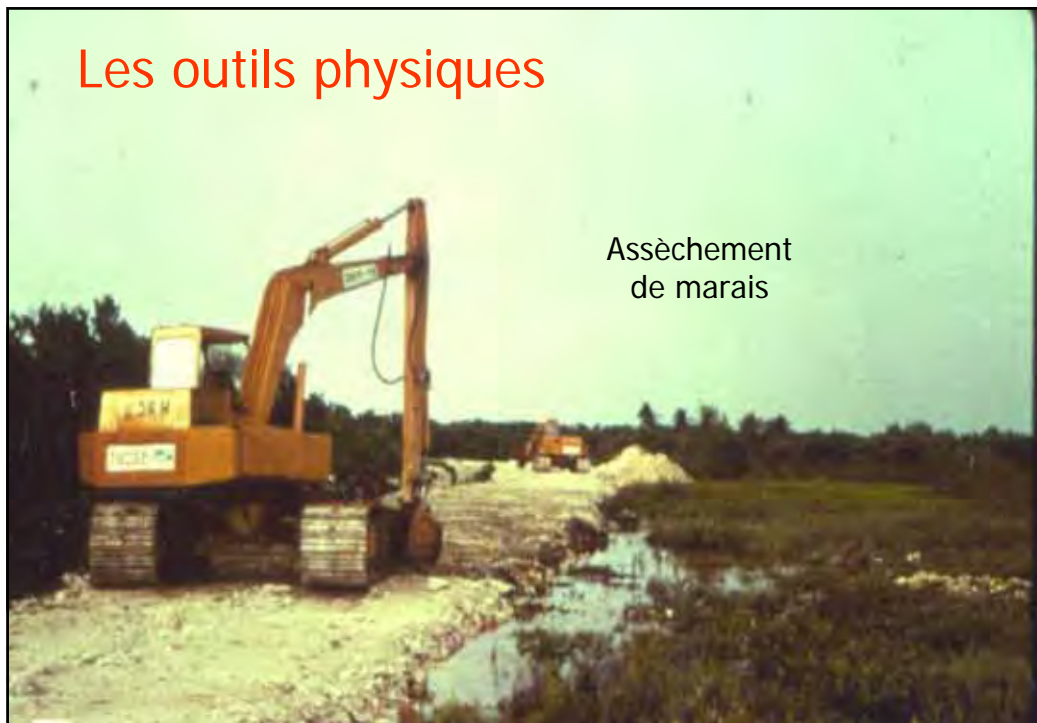
- ✓ Immunité des moustiques
- ✓ Préférences trophiques



## Quels outils pour la L.A.V. ?

- ◆ Les outils **physiques** : destruction des gîtes larvaires ou des gîtes de repos des adultes ;
- ◆ Les outils **chimiques** : insecticides chimiques et d'origine biologique ;
- ◆ Les outils **biologiques** : prédateurs, parasites ...
- ◆ Les outils **génétiques** : modification du patrimoine génétique.





## Les outils chimiques

- Principales familles d'insecticides
  - Organochlorés
  - Organophosphorés
  - Carbamates
  - Pyréthriinoïdes
  - Régulateurs de croissance
  - Les toxines bactériennes



## Les outils chimiques

Les pulvérisations  
intra-domiciliaires



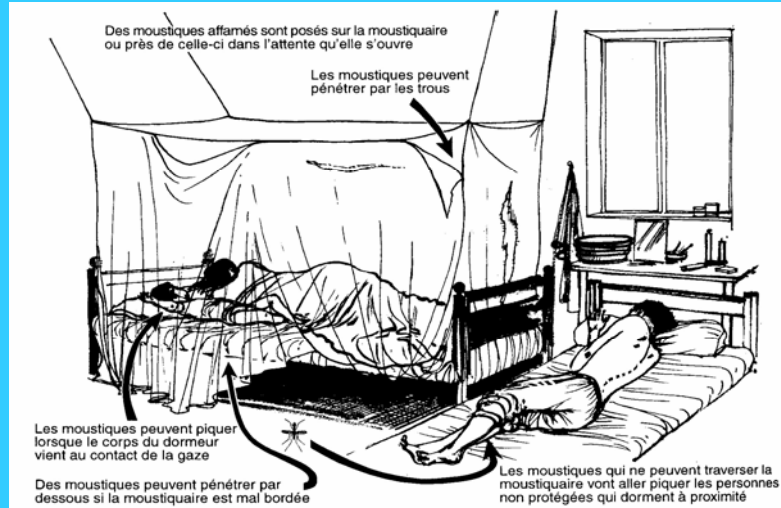
## Les outils chimiques

Les moustiquaires  
imprégnées  
d'insecticides  
À longue durée de vie

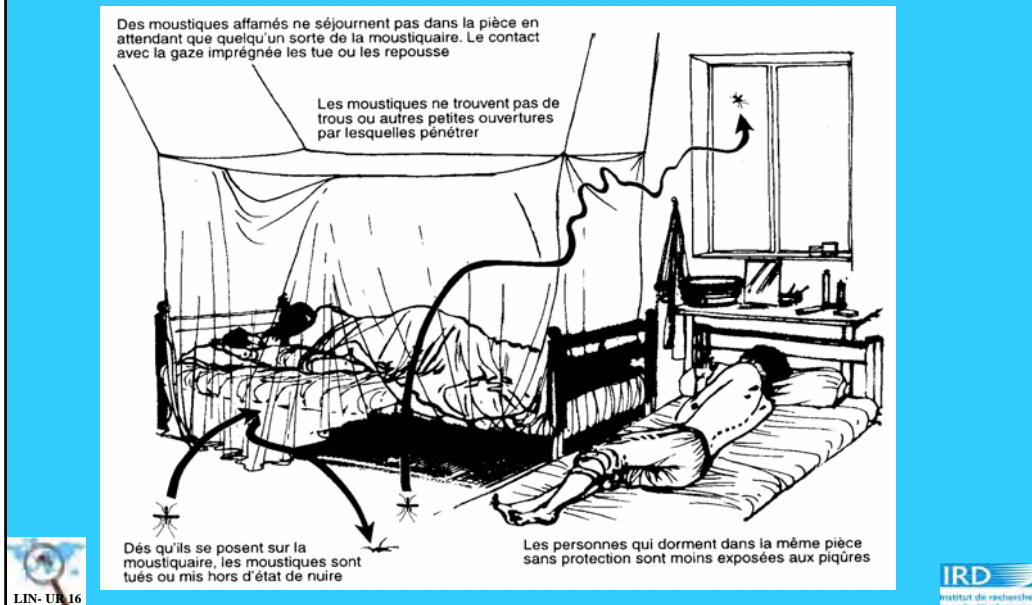
Pour le voyageur : les  
répulsifs



- Inconvénients des moustiquaires non-traitées



- Avantages des moustiquaires imprégnées d'insecticides



## Les outils chimiques



Les bâches plastiques imprégnées  
d'insecticides à longue durée de vie



## Un problème : la résistance

### **Définition:**

*Apparition dans une population d'individus possédant la faculté de "tolérer" (survivre à) des doses de substances toxiques qui exerceraient un effet létal sur la majorité des individus composant une population normale de la même espèce*



« Resistant mosquito »



### Etudes de terrain pour tester de nouveaux insecticides et vérifier la résistance



Chicanes      véranda piège      moustiquaire

Cases expérimentales



### Les produits d'origine biologique

- *Bacillus thuringiensis* H-14
- *Bacillus sphaericus*
- Les avermectines et les naturalytes : issus de champignons non encore utilisés en santé publique mais à priori prometteur

### Les prédateurs ou pathogènes

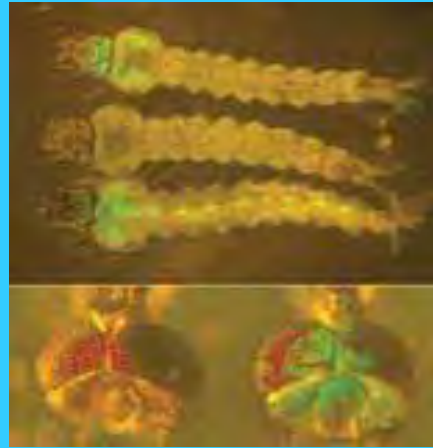
- Autres insectes : autres moustiques *Toxorhynchites*, hémiptères
- Copépodes
- Poissons larvivores

Champignons (*Lagenidium giganteum*, *Boveria bassiana*)



## Les outils génétiques

- Males stériles
- Moustiques transgéniques ??
  - ✓ Gènes de l'immunité des moustiques
  - ✓ Gènes du comportement



## LES CONTRAINTES DES Moustiques transgéniques

### ÉCOLOGIQUES :

- Nombreuses espèces vectrices, nombreuses populations adaptées
- Comportement reproducteur, adaptatif, de recherche de l'hôte, estivation, dispersion, gîtes de ponte et de repos, etc.. encore incompris

### GÉNÉTIQUES :

- Populations structurées : flux de gènes, reproduction non panmictique, taille effective des populations
- Moustiques transgéniques ont fitness réduit
- Compréhension de l'expression des gènes (expression, épigénétique)

### BIOLOGIE ÉVOLUTIVE :

- Reine rouge : les *Plasmodium* vont-ils sélectionner des mécanismes d'échappement ?



## LES CONTRAINTES DES Moustiques transgéniques

### EPIDÉMIOLOGIQUES :

- Relation transmission – maladie : il faudrait que près de 100% des mos soient réfractaires

### SOCIETALE ; Acceptabilité :

- Ce sont des OGM
- Risques ?
- Pollution génétique ?
- Eléments Transposables : 60 % de hétérochromatine = ET et 16% de euchromatine. On sait que ET responsables de cas de résistance aux insecticides chez drosophiles (mutants méthoprène résistants, métabolique resistance et Bt resistance chez drosophila et lepidoptères)
- Modification de l'expression d'autres gènes (risque d'augmentation de la transmission d'autres pathogènes ?, virus, filaires)

### Essais de terrain ?

Problèmes logistiques de mise en place de tels essais : d'abord une île ?



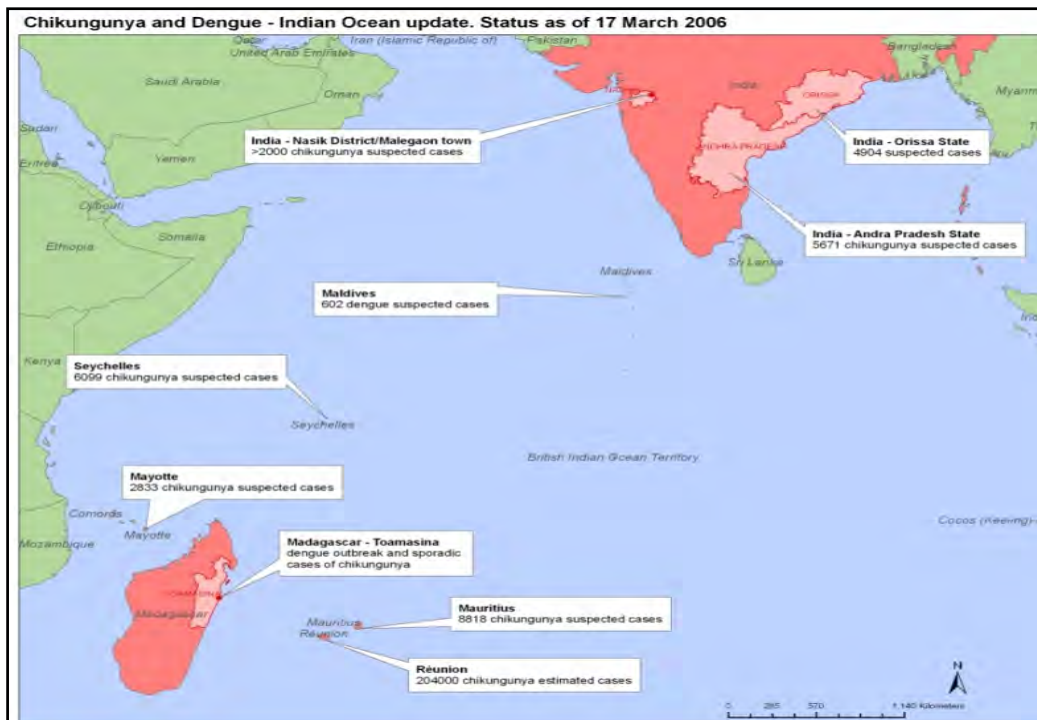
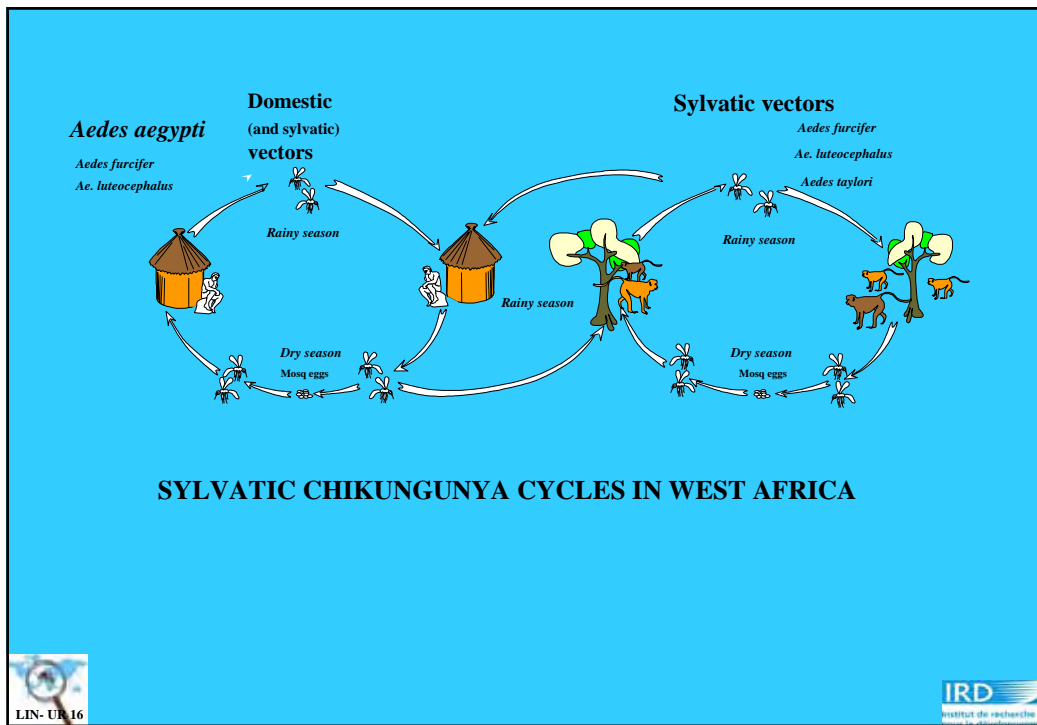
*Aedes albopictus*,  
et l'épidémie de Chikungunya à La  
Réunion

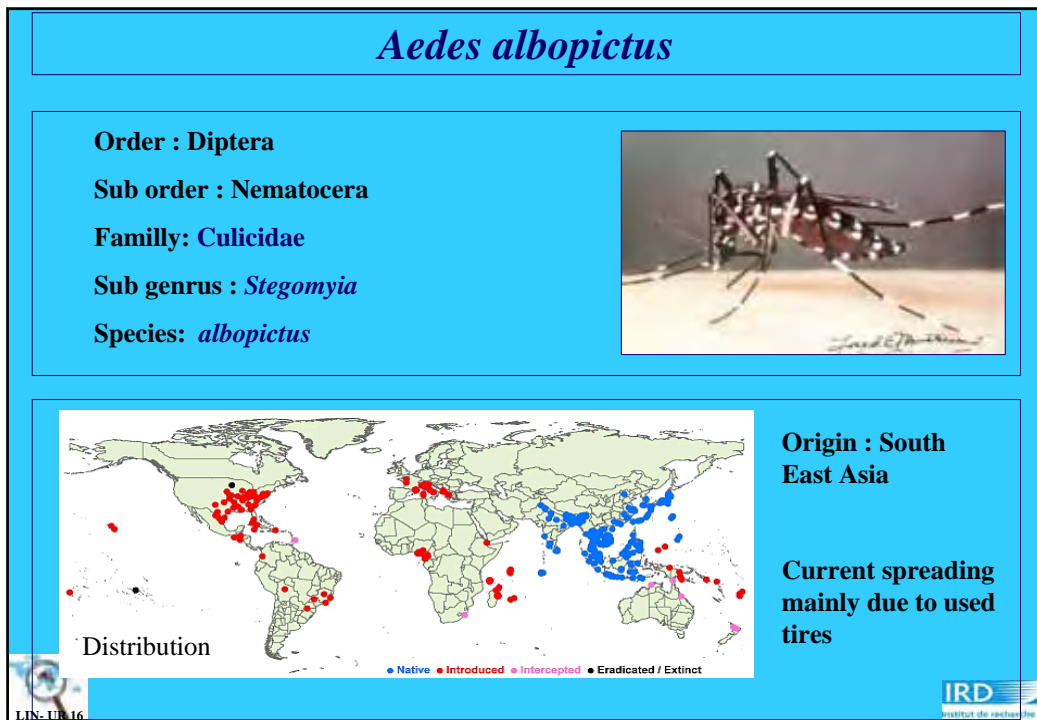
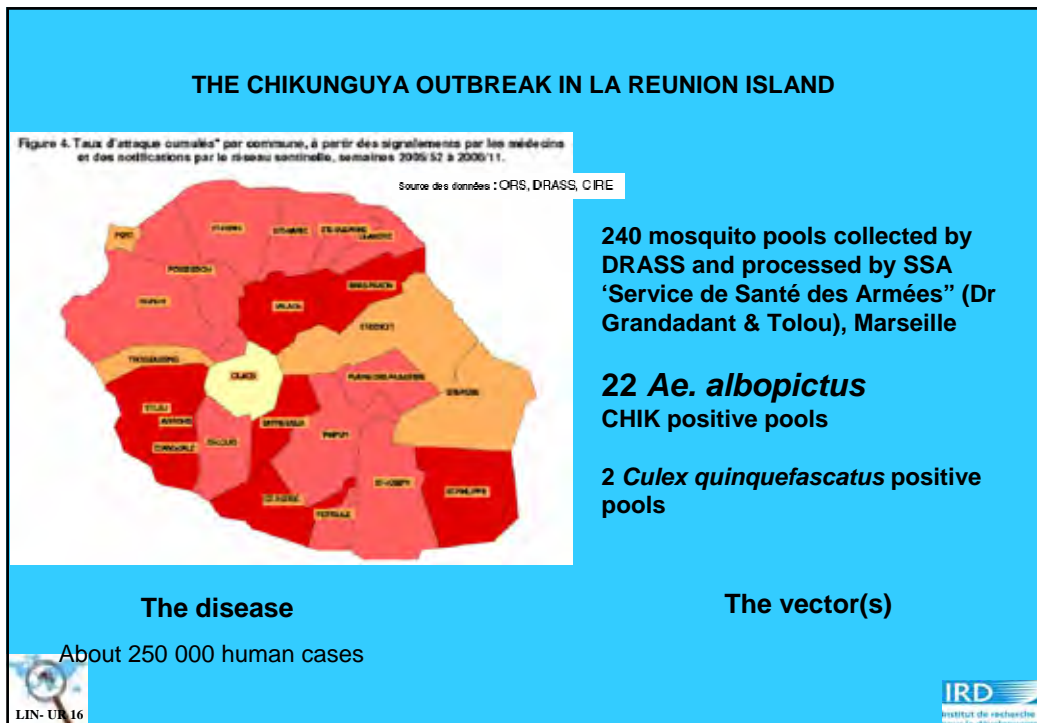
QUELLES METHODES DE LUTTE ?



de Huang, 1972







## *Aedes albopictus*


**BIOLOGIE**

**Gites larvaires naturels : petites collection d'eau**  
Récipients artificiels (vieux pneus, bouteilles cassées, canettes, cuvettes, bidons, vases de fleurs, soucoupes de pots de fleurs, ...)  
Gites naturels (trous d'arbres, trous de rochers, axile de feuilles, bambous coupés, ...)  
=> Zones urbaines, péri-urbaines et forestières

**Pic d'activité le matin et en fin d'après midi : Diurne**

**Préférences trophiques variables : homme, animaux domestiques, oiseaux,..**

**Oeufs : les oeufs peuvent survivent à la dessiccation plusieurs mois, en particulier en régions tempérées**



LIN- UR 16

**Aedes albopictus**  
**Gites larvaires**



LIN- UR 16

**C. Paupy**



## Quelle lutte contre *Aedes albopictus* ?

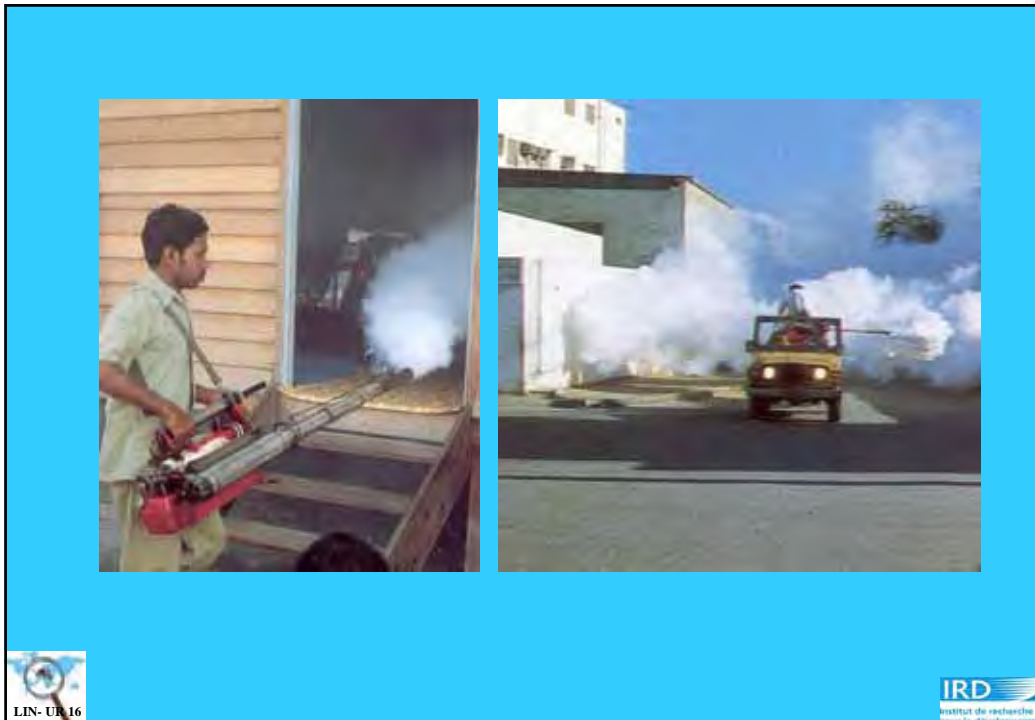
**Pas de vaccin, pas de médicaments contre dengue et chikungunya**  
**Option vecteur = seule alternative**

- Destruction des gîtes larvaires, domestiques, péri-domestiques, et sauvages
  - par collectivités
  - par chaque personne
- Insecticides contre les larves (Théméphos (abate) = OP, *Bacillus thuringiensis* –Bti)
- Insecticides contre les adultes (Fénitrothion (OP), deltaméthrine (Pyréthroïde))
  - ULV
  - Traitement intradomiciliaires
  - Rideaux imprégnés
- Limiter le contact homme - moustique : vêtements longs, moustiquaires (pour bébés), répulsifs
- Education sanitaire



Billes de polystyrène





## Quels indicateurs d'efficacité ?

### Quels objectifs pour la lutte antivectorielle ?

- moins de cas cliniques
- moins de cas graves
- étaler les cas dans le temps (donc mieux les gérer)
- moins de vecteurs

### -Indicateurs entomologiques

- nombres de moustiques qui piquent l'homme par 24 heure
- nombre de gîtes positifs larves ou Nymphes
- nombre de gîtes par habitant, par maison

### -Indicateurs épidémiologiques

- incidence par semaine
- incidence cumulée
- cas sévères
- mortalité
- absentéisme
- saturation des services médicaux
- indicateurs économiques



