

La Transmission Vectorielle du Paludisme



Didier Fontenille
Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
UR016 - LIN, Montpellier, France

www.mpl.ird.fr/ur016

Un peu d'histoire

Le concept de « vecteur » :

Antiquité : relation entre maladies et milieux où pullulent des insectes, par exemple marécages et fièvres palustres.

1848 : le moustique *Aedes aegypti* est suspecté de jouer un rôle dans la transmission de la fièvre jaune.

1877 : Manson démontre le rôle du moustique *Culex quinquefasciatus* dans la transmission de la filaire de Bancroft,



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

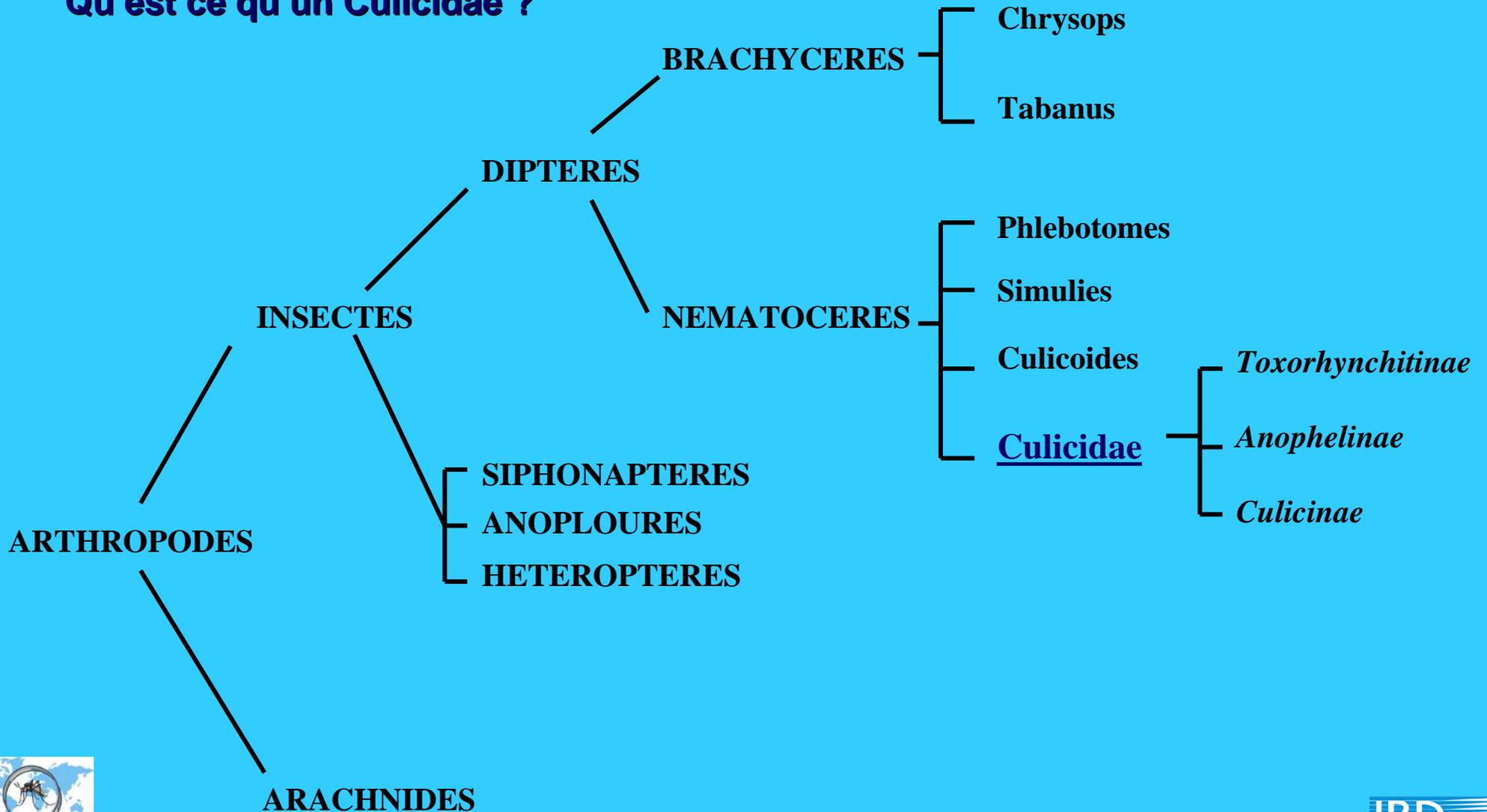
Eretmapodites

La plupart NON vecteurs de pathogènes à l'homme



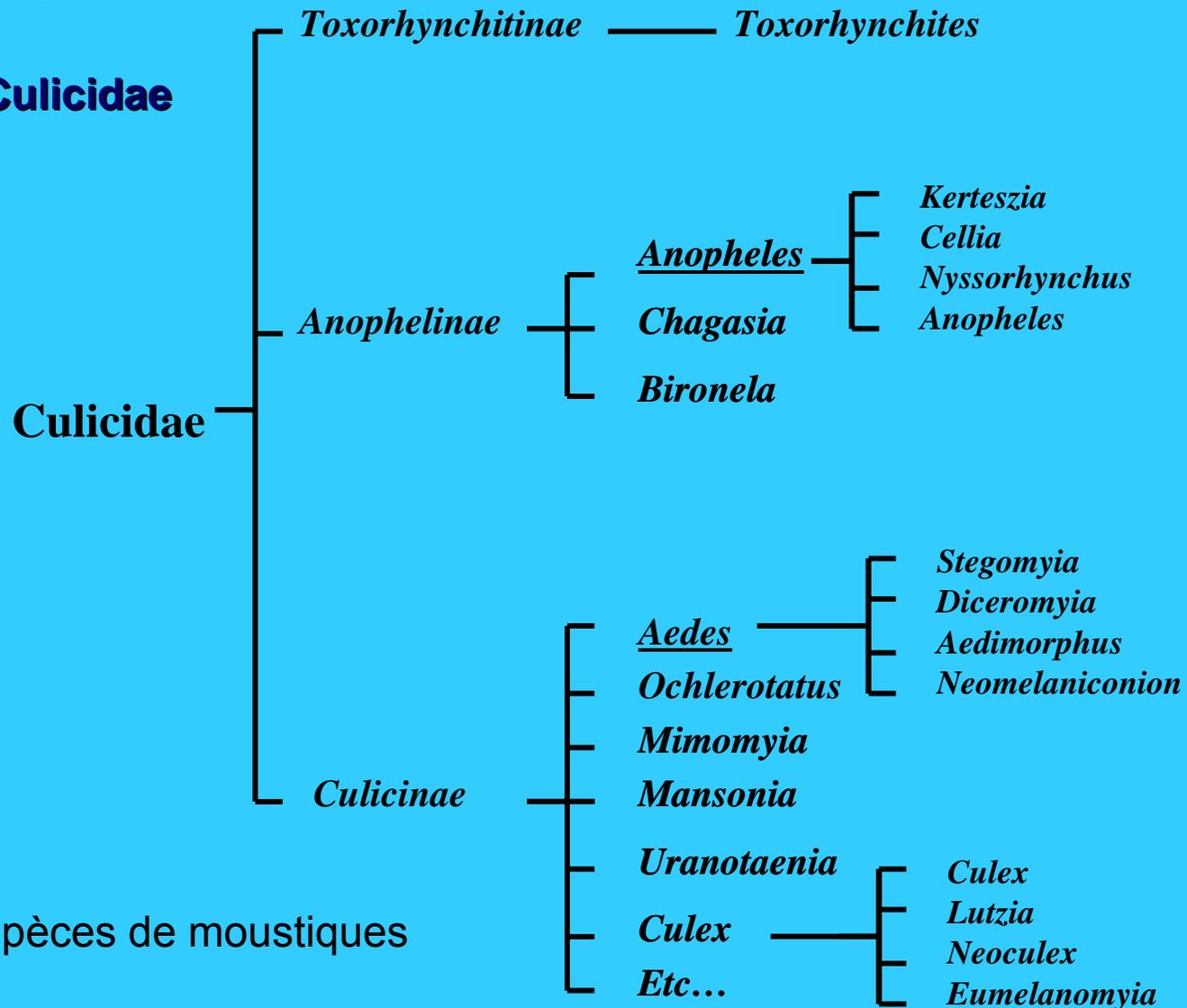
Systematique

Qu'est ce qu'un Culicidae ?



Systematique

Qu'est ce qu'un Culicidae



Près de 3300 espèces de moustiques décrites

35 genres



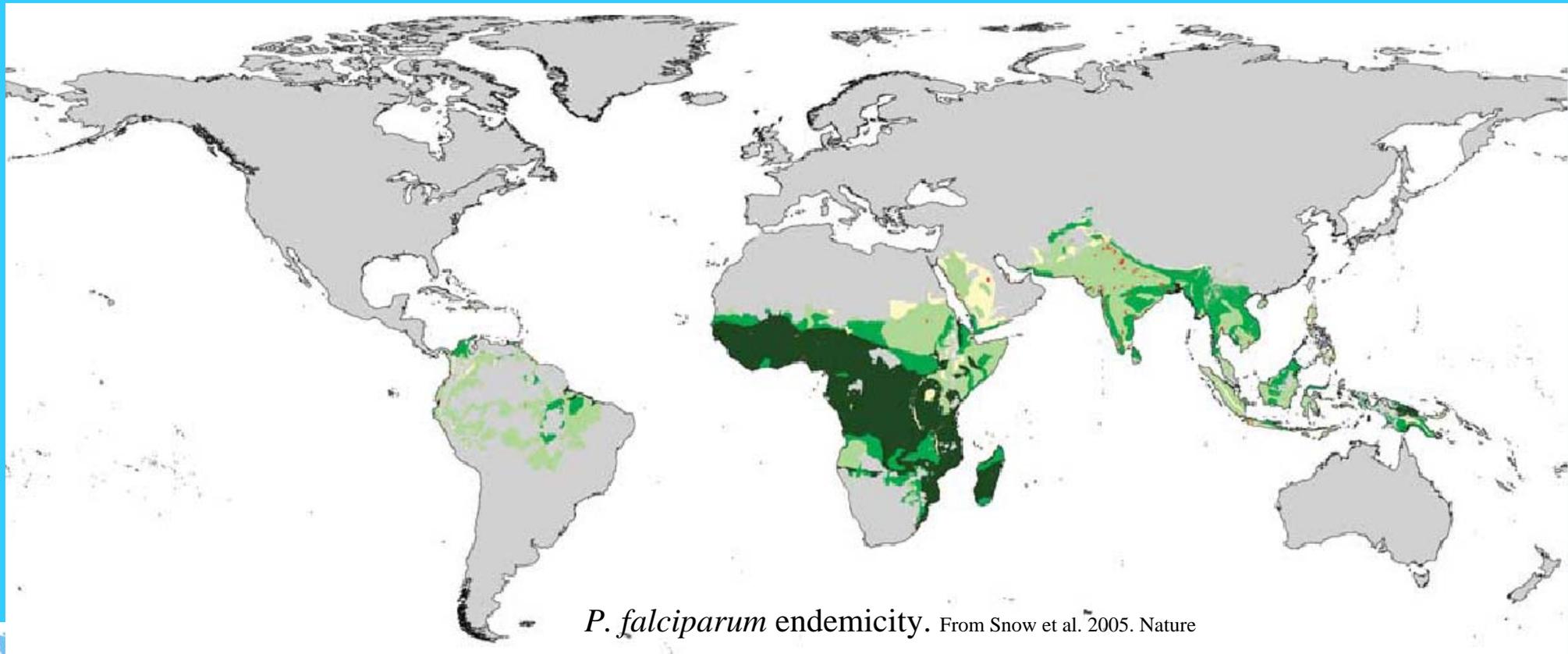
LE PALUDISME DANS LE MONDE

VECTEURS : *Anopheles* : environ 60 espèces

PARASITES : *Plasmodium*

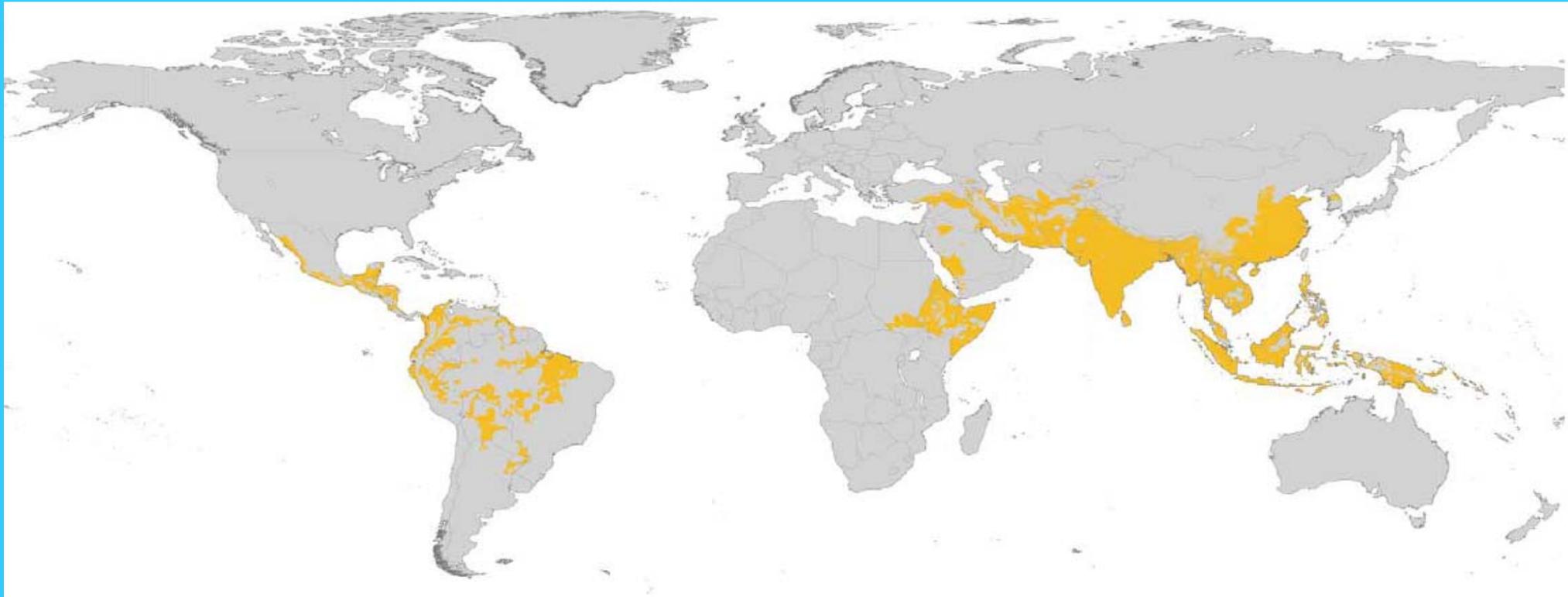
P. falciparum, *P. malariae*, *P. ovale*, *P. vivax*

HOTE : **Homme**



LE PALUDISME DANS LE MONDE

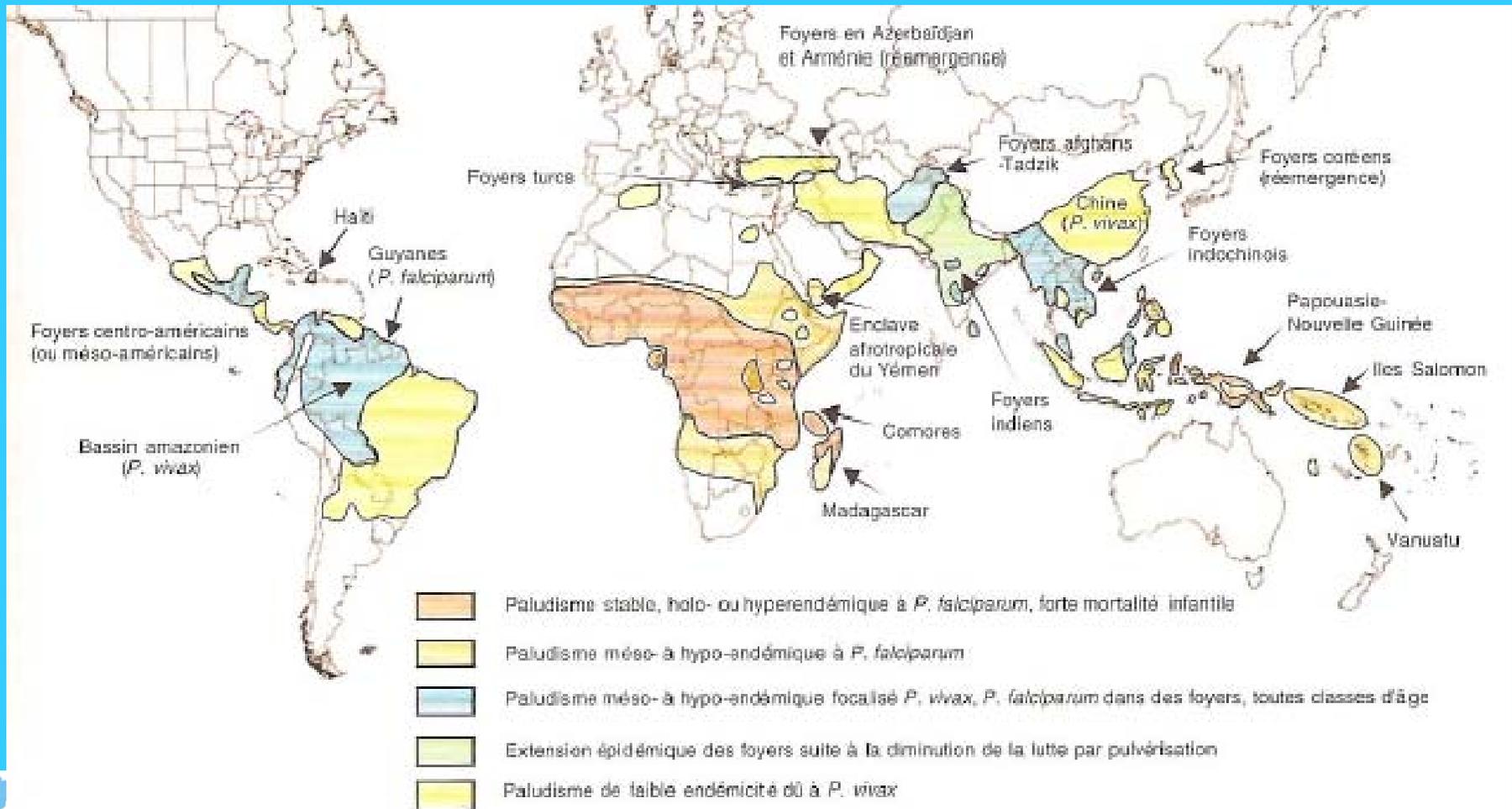
Plasmodium vivax



Guerra et al 2006 *Trends in Parasitology*

LE PALUDISME DANS LE MONDE

VECTEURS : *Anopheles* : environ 60 / 500 espèces: en fait beaucoup plus)
 PARASITES : *Plasmodium* *P. falciparum*, *P. malariae*, *P. ovale*, *P. vivax*
 HOTE : Homme



LE PALUDISME DANS LE MONDE

Annual statistics on malaria, estimates from 1993–1997

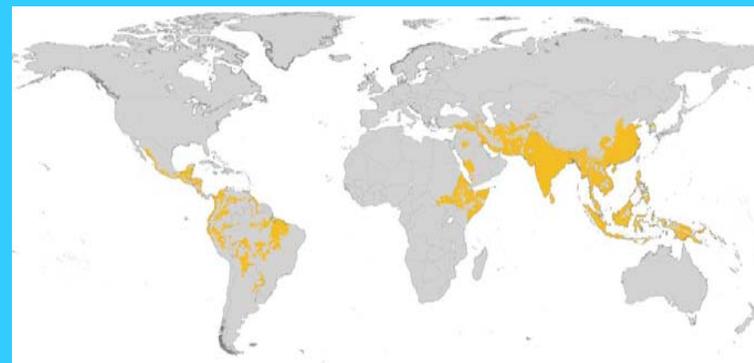
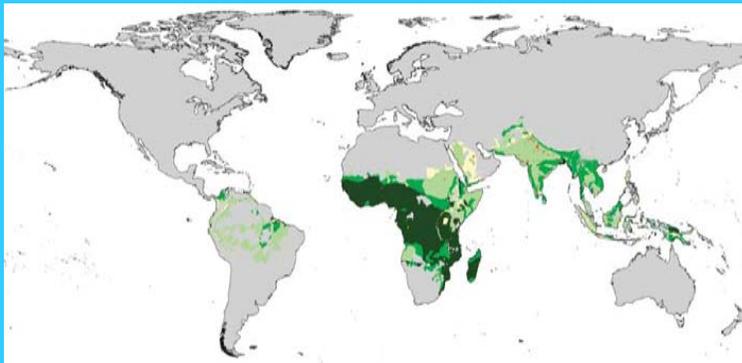
Region*	Population at risk for malaria	Total malaria cases	Total cases of malaria due to <i>Plasmodium falciparum</i> or other species†	Total cases of malaria due to <i>Plasmodium vivax</i>
South and East Asia and Western pacific	1,284,000,000	86,461,294	44,400,333	42,060,961
Eastern Mediterranean	64,600,000	14,539,081	2,883,333	11,655,748
Central America and Caribbean	64,200,000	3,676,288	579,867	3,096,421
South America	23,500,000	11,324,643	3,347,010	7,977,633
Central Asia and Caucasus	8,480,000	166,506	0	166,506
World total of malaria-endemic countries outside Africa	1,444,780,000	116,334,318	51,210,543	65,123,775
Imported malaria (nonendemic countries)	1,590,000,000	33,036	11,043	21,993
Africa	550,000,000	200–300,000,000	Most of total	6–15,000,000

* Countries included in the regions designated here as South and East Asia and Western Pacific, Eastern Mediterranean, and Central Asia and Caucasus are as given in the legend of Figure 1. Malaria-endemic countries in Latin America listed in Figure 1 have been further classified here as being in South America, and Central America and the Caribbean, with Mexico being included in the latter. Africa refers to sub-Saharan Africa, Sudan, Ethiopia, and the countries of the Horn of Africa.

† In sub-Saharan Africa and in Papua New Guinea, a variable proportion of cases, usually <20%, can be due to *Plasmodium malariae*, *Plasmodium ovale*, or both. In other parts of the world, these species are much less frequent or are absent altogether.

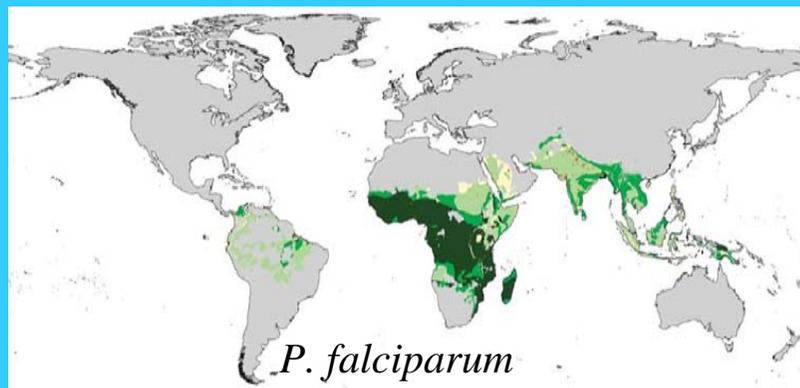
Mendis *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 64(1, 2)S, 2001, pp. 97–106

QUESTION : POURQUOI CETTE DISTRIBUTION DIFFERENTIELLE ?

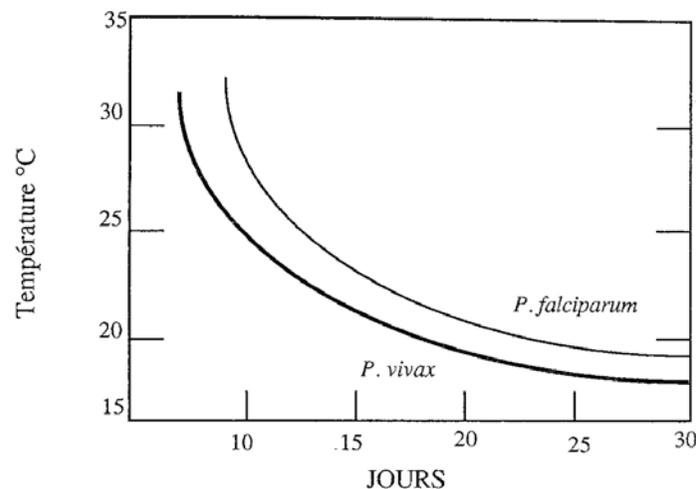


LE PALUDISME DANS LE MONDE

QUESTION : POURQUOI CETTE DISTRIBUTION DIFFERENTIELLE ?



DURÉE DU CYCLE EXTRINSÈQUE DE *P. FALCIPARUM* ET DE *P. VIVAX*



Climat
Espèces vectrices
Facteurs humains

LA VECTION N'EST PAS LA REGLE, C'EST PLUTOT L'EXCEPTION : POURQUOI ??

TRANSMISSION



RENCONTRE ET COMPTABILITE

(Euzet et Combes)

Pour le vecteur la transmission se passe à 3 niveaux

**DIMENSION
ECOLOGIQUE**

(cohabiter)

Vivre au même endroit

**DIMENSION
ETHOLOGIQUE**

(se rencontrer)

être en contact

**DIMENSION
"METABOLIQUE" et
"IMMUNOLOGIQUE"**
(s'accepter mutuellement)

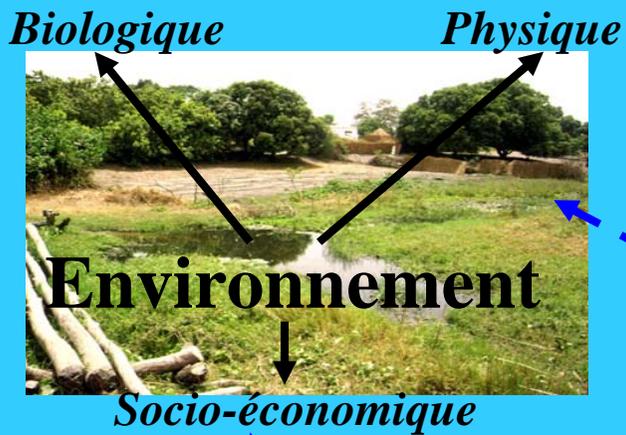
CAPACITE

recherche d'un hôte
Vivre longtemps

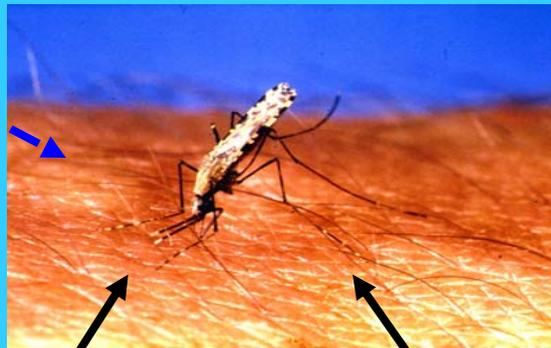
COMPETENCE

Barrière physique (membrane péritrophique)
immunité

BASES GENETIQUES



Vecteur



Capacité vectorielle

Co-évolution

Compétence vectorielle

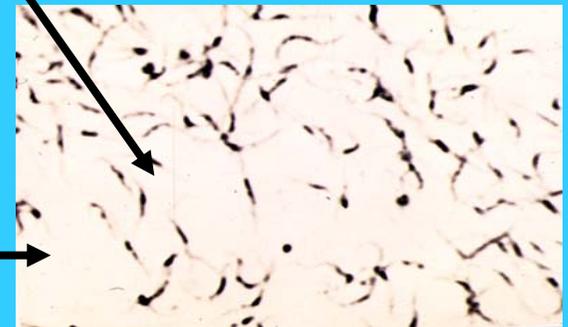
Ecologie vectorielle



Hôte

Susceptibilité

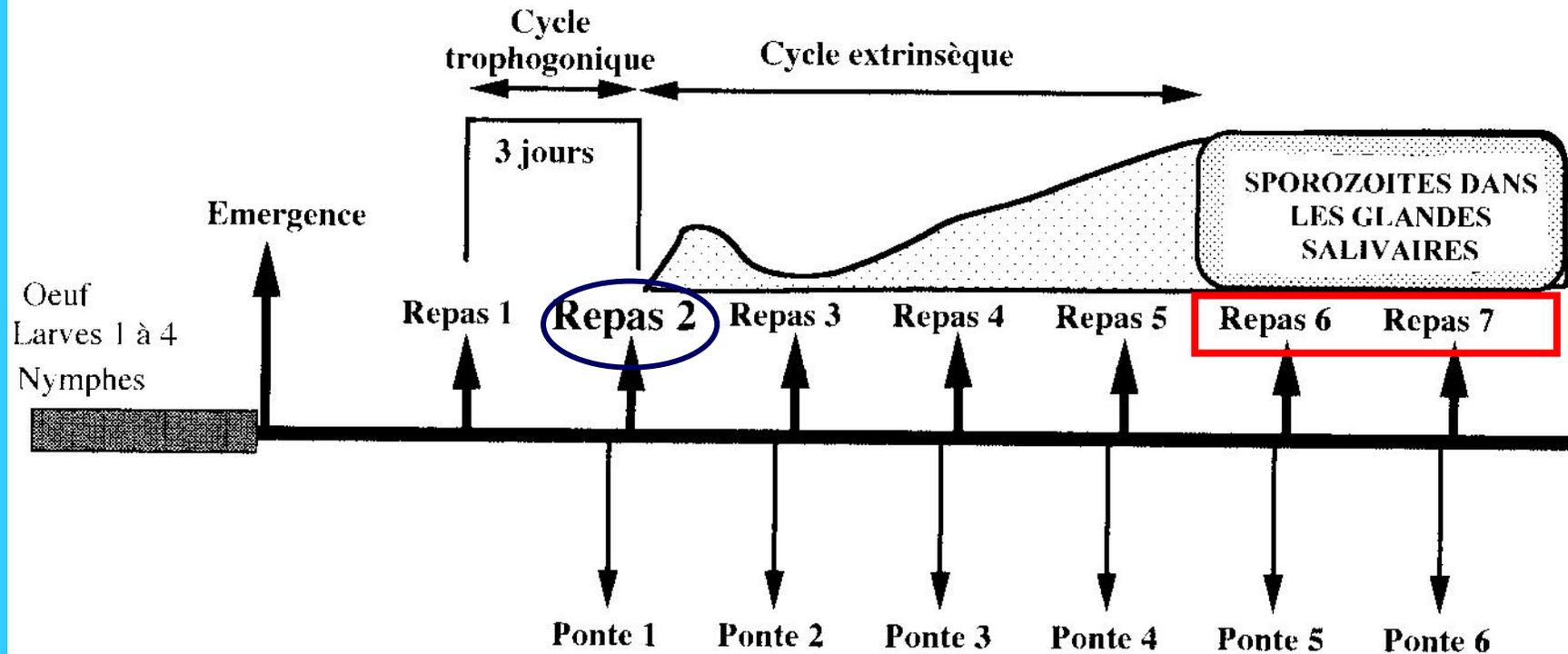
Co-évolution



Agent Pathogène

CYCLE EXTRINSEQUE

CYCLE TROPHOGONIQUE

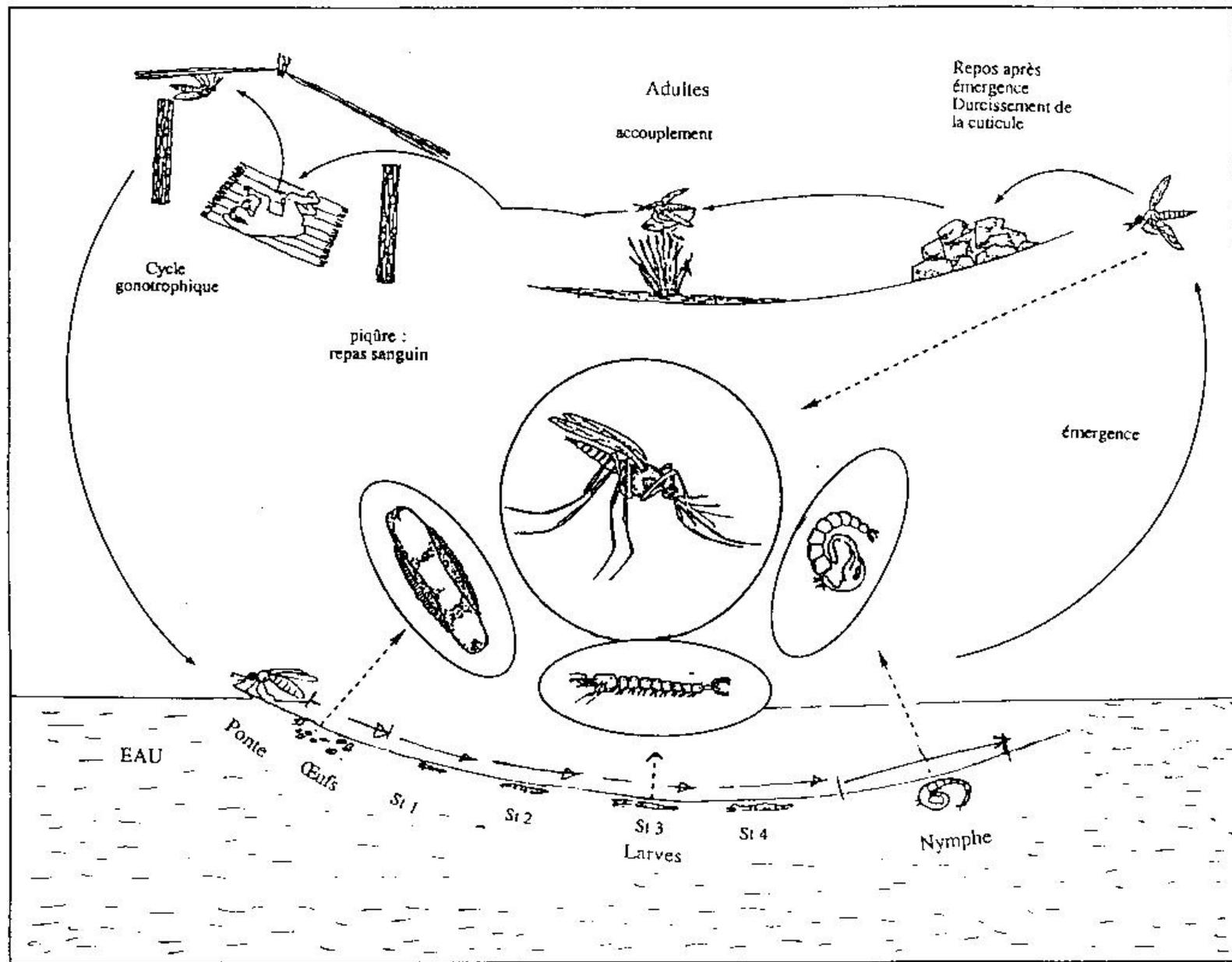


Repas 2 pris sur un hôte porteur de gamétocytes

Cycles sporogonique (extrinsèque) de 11 jours

Repas 6 et suivants infectants

FIGURE 5
CYCLE BIOLOGIQUE DE L'ANOPHÈLE



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**)

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

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

Transmission du paludisme

R0 = TAUX DE REPRODUCTION DE BASE

Nombre de nouveaux cas attendus à partir d'un cas

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

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 négatation de l'hôte

(1/r = durée de la période infectieuse pour les moustique)

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**)

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

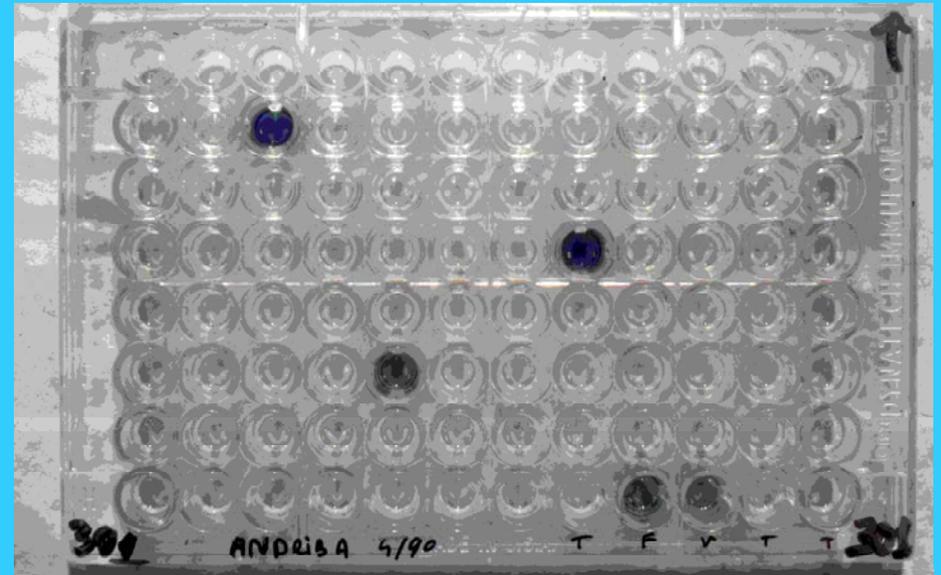
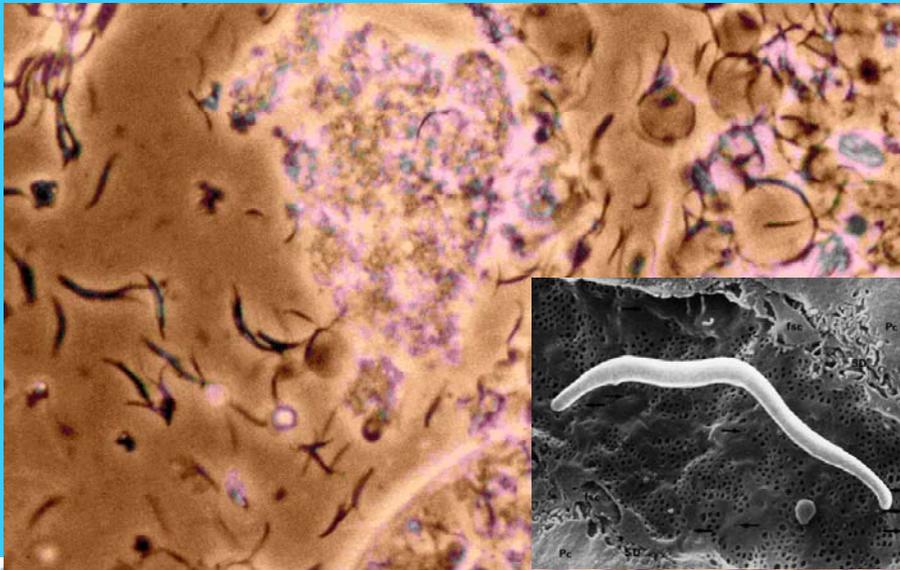


$$h = m \times s$$

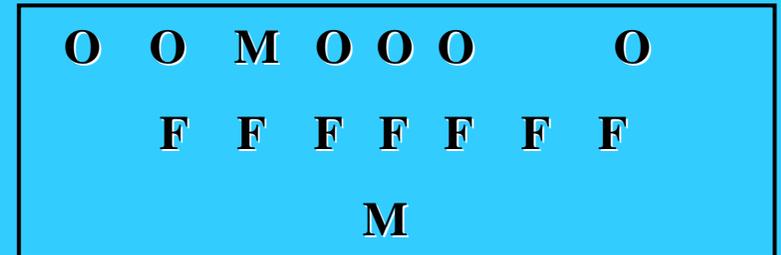
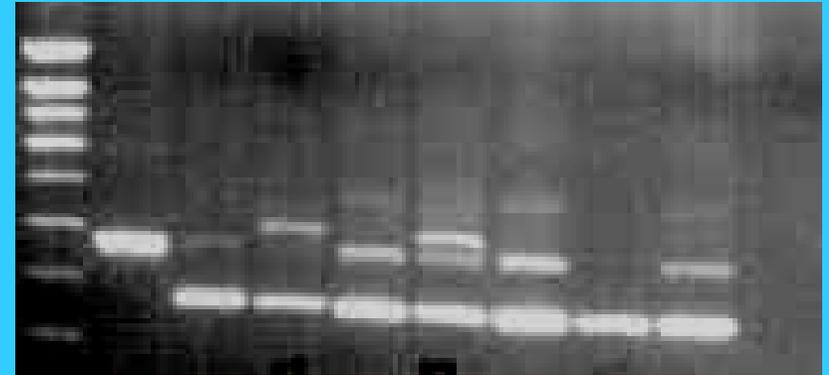
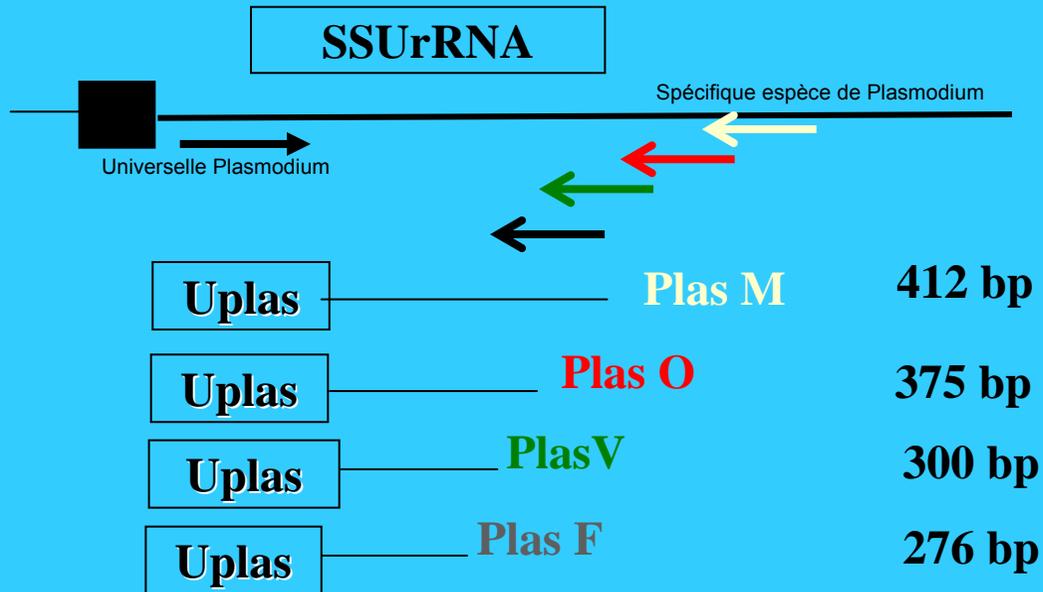
h : Nombre de piqûres contaminées que reçoit un homme par 24 heures (taux entomologique d'inoculation : **EIR**)

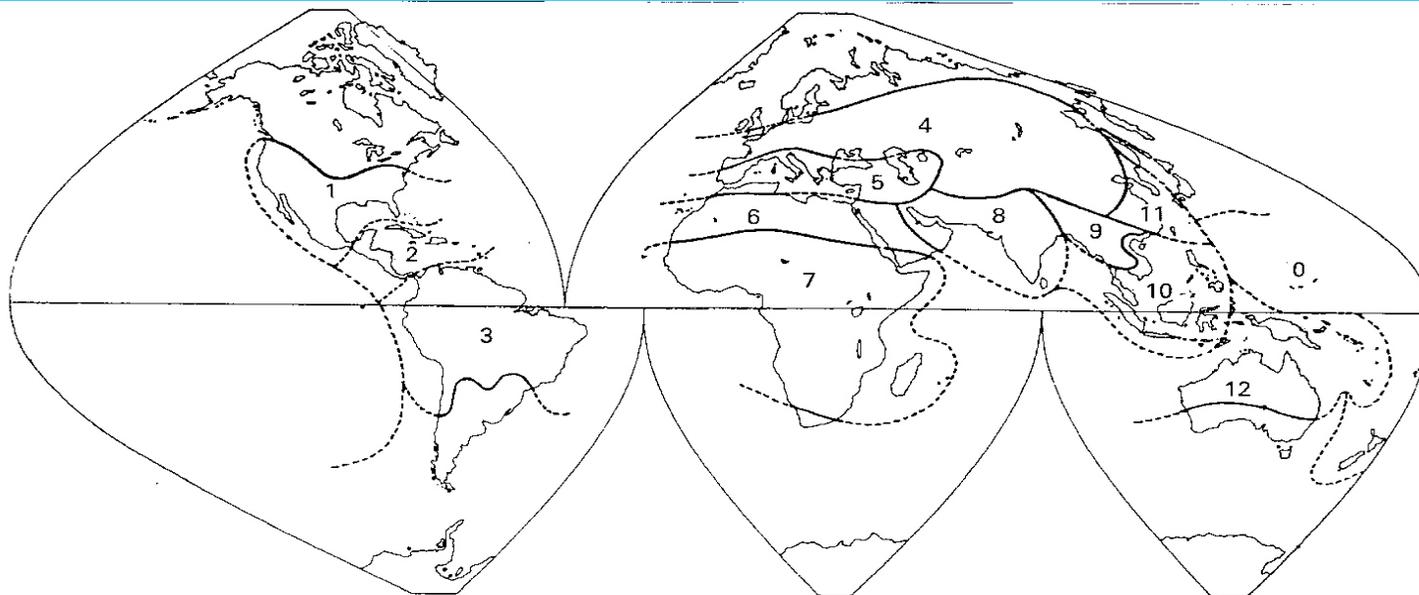
S : **indice sporozoïtique (SI)** (pourcentage de vecteurs présentant des sporozoïtes dans leur glandes salivaires)

COMMENT ? : Dissection des glandes salivaires, Elisa, PCR



Identification par PCR directe des espèces de plasmodiums





LE PALUDISME DANS LE MONDE

Les douze zones malarialogiques

(d'après L.J. Bruce-Chwatt, 1980, avec la permission de W. Heinemann, Medical Books, Ltd.).

0 : zone indemne de paludisme ; 1 : zone nord-américaine ; 2 : zone centre-américaine ; 3 : zone sud-américaine ; 4 : zone nord-eurasienne ; 5 : zone méditerranéenne ; 6 : zone afro-arabique ; 7 : zone afro-tropicale ; 8 : zone indo-iranienne ; 9 : zone des collines indochinoises ; 10 : zone malaise ; 11 : zone chinoise ; 12 : zone australienne.

La région Afrotropicale (7) : berceau de l'Humanité. Paludisme stable dans une grande partie du continent. Immunité et pression de sélection forte : 90% du paludisme mondial.

La région australasienne (12) : Paludisme stable dans une partie de la zone. Immunité et pression de sélection forte

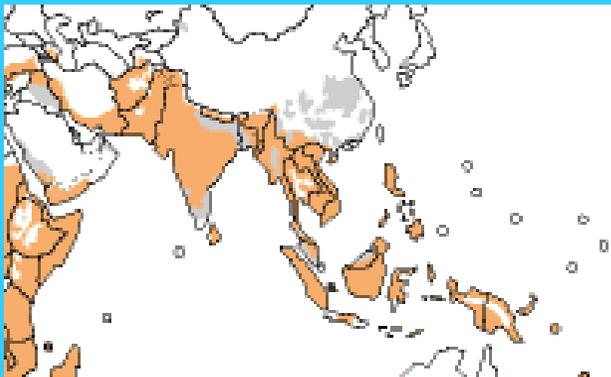
La région orientale (8,9,10) : régions forestières hyperendémiques et régions de plaine très peuplées presque sans paludisme

La région paléarctique (4,5,6,11) : baisse du paludisme au 20ième siècle

Les régions américaines (1,2,3) : très contrasté. Problème mineur dans de nombreuses

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. sundaicus</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>



Le Paludisme en Asie

En Asie le paludisme est essentiellement concentré en forêt, primaire, secondaire ou de plantation, du fait de la biologie des vecteurs

Il y a très peu de paludisme dans les plaines

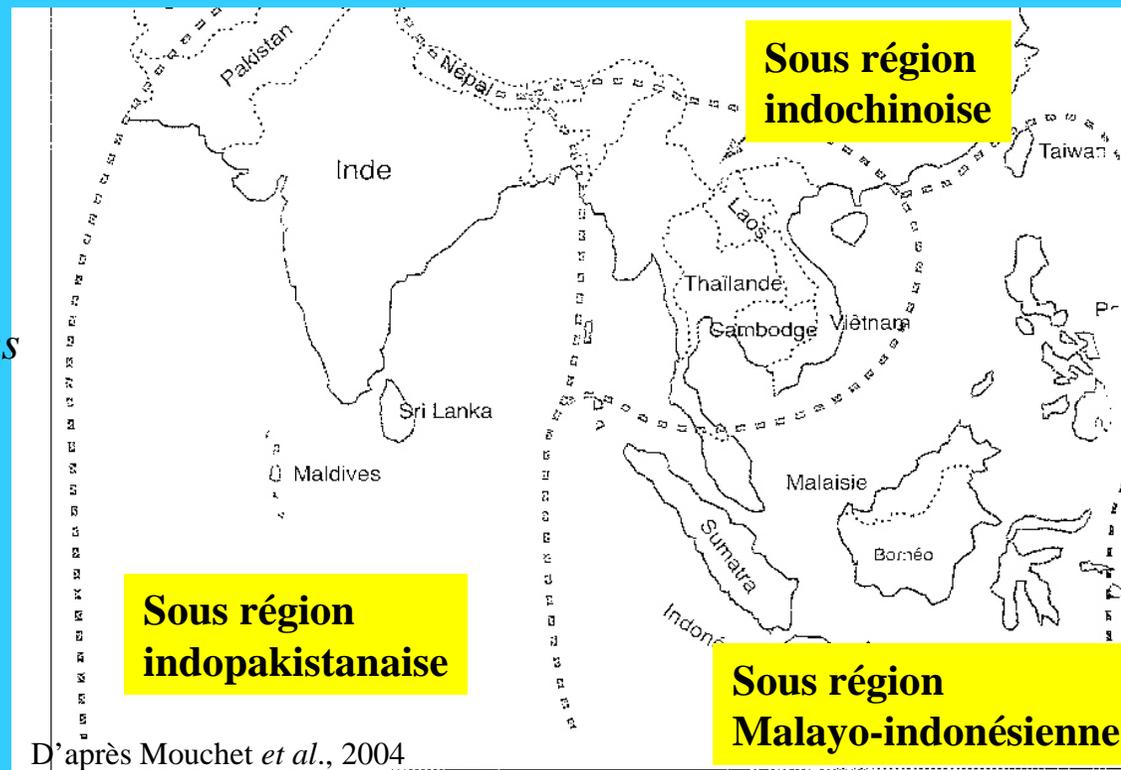
P. vivax représente 50 % des cas

On divise la région orientale en 3 sous régions :

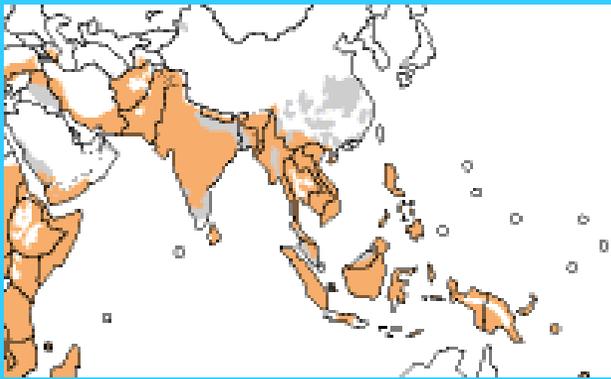
Région **indochinoise** : paludisme forestier. Transmission parfois très élevée. *An. minimus*, *An. dirus s.l.*

Région **indopakistanaise** : Transmission souvent modérée. *An. stephensi*, *An. culicifacies s.l.*, *An. fluviatilis s.l.*

Région **Malayo-indonésienne** : Nombreux faciès avec des espèces différentes. Transmission parfois très élevée



D'après Mouchet *et al.*, 2004



Les vecteurs en Asie

En Asie le paludisme est essentiellement concentré en forêt, primaire, secondaire ou de plantation, du fait de la biologie des vecteurs:

Complexe *An. minimus* +

(rizières, ruisseaux lents avec végétation)

Complexe *An. dirus* ++ (petits gîtes forestiers)

Complexe *An. fluviatilis* (eaux courantes)

Complexe *An. culicifacies* (Inde, gîtes variés)

An. sundaicus (bord de mer : eaux saumâtres)

An. stephensi

(gîtes variés dont citernes et bassins)



Tableau I. Les anophèles de la région orientale (d'après Harbach, 1994).

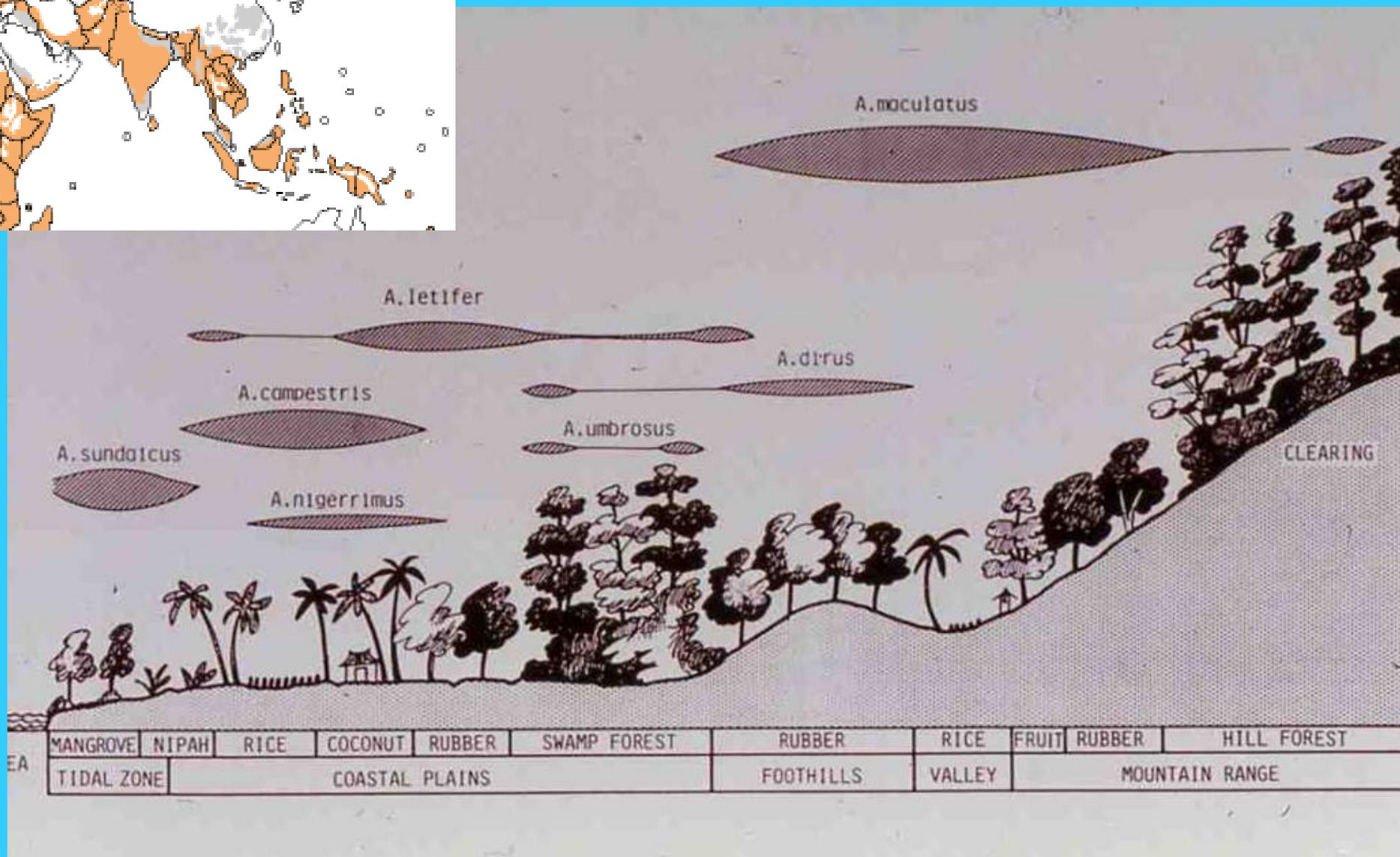
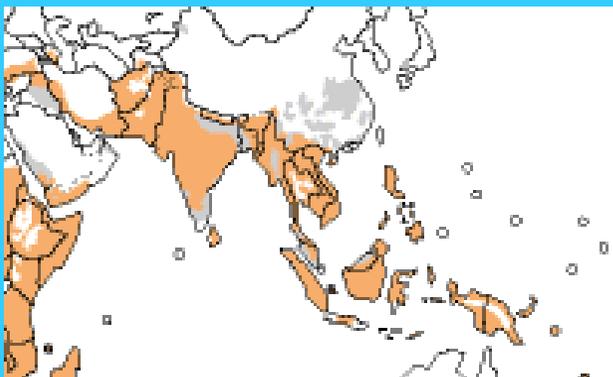
Sous-genre <i>Anopheles</i>		Sous-genre <i>Cellia</i>	
<i>An. antropophagus</i>	***	<i>An. aconitus</i>	***
<i>An. barbirostris</i>	*	<i>An. annularis</i>	*
<i>An. campestris</i>	*	<i>An. balabacensis</i>	***
<i>An. donaldi</i>	*	<i>An. culicifacies</i> ABCDE	***
<i>An. kunmigenis</i>	**	<i>An. dirus</i> ABCDE	***
<i>An. letifer</i>	*	<i>An. flavirostris</i>	***
<i>An. nimpe</i>	*	<i>An. fluviatilis</i> STU	***
<i>An. sinensis</i>	***	<i>An. jeyporiensis</i>	**
		<i>An. leucosphyrus</i> A et B	***
		<i>An. litoralis</i>	*
		<i>An. maculatus</i>	***
		<i>An. mangyanus</i>	*
		<i>An. minimus</i> A et C	***
		<i>An. nivipes</i>	**
		<i>An. philippinensis</i>	**
		<i>An. pseudowillmori</i>	**
		<i>An. pulcherrimus</i>	*
		<i>An. sawadwongporni</i>	**
		<i>An. stephensi</i>	***
		<i>An. subpictus</i>	**
		<i>An. sundaicus</i>	***
		<i>An. superpictus</i>	***
		<i>An. tessellatus</i>	*
		<i>An. vagus</i>	*
		<i>An. varuna</i>	*
		<i>An. willmori</i>	**

*** Vecteur majeur

** Vecteur confirmé d'importance locale

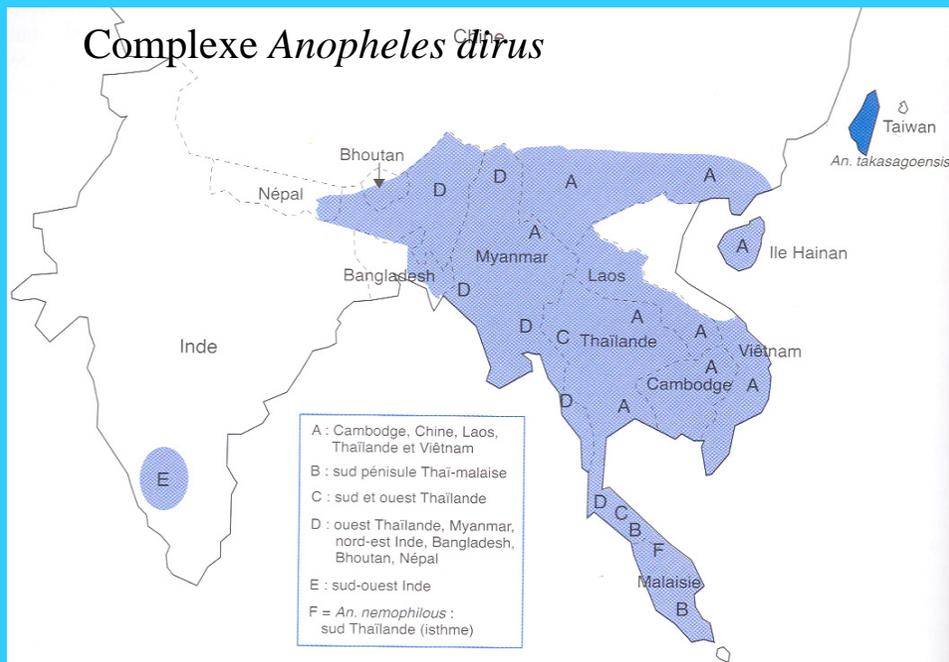
* Vecteur secondaire ou soupçonné

Les vecteurs en Asie

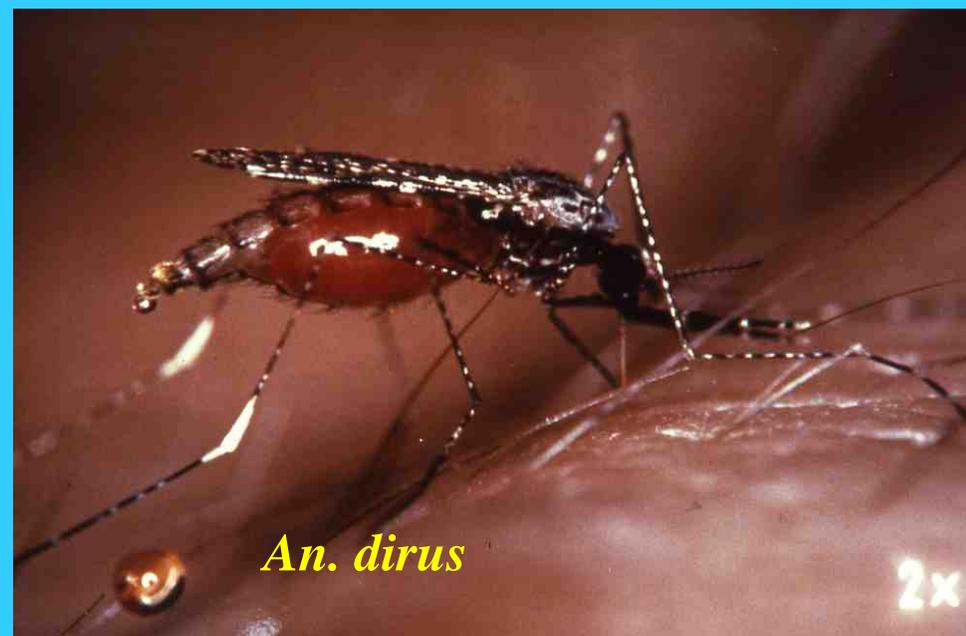


D'après Sandersham, 1970. Malaisie péninsulaire

Les vecteurs en Asie



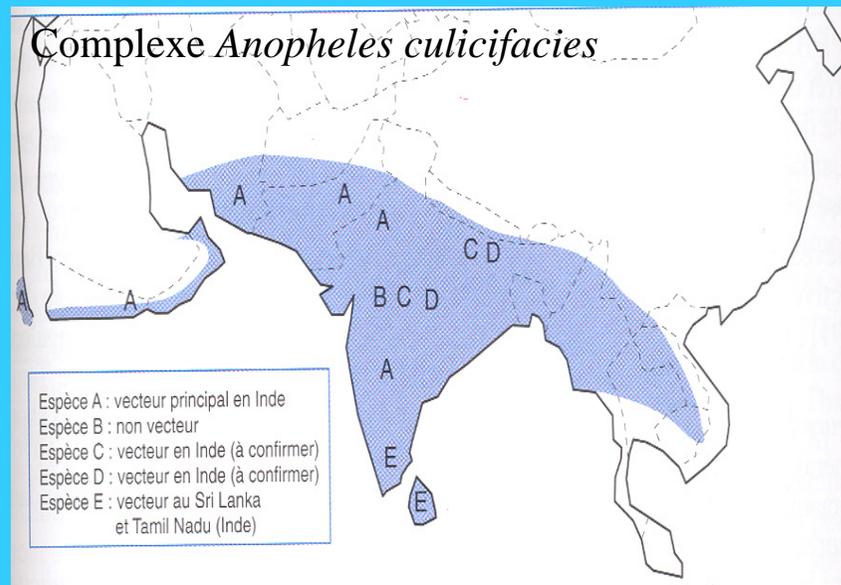
D'après Mouchet *et al.*, 2004



Les vecteurs en Asie



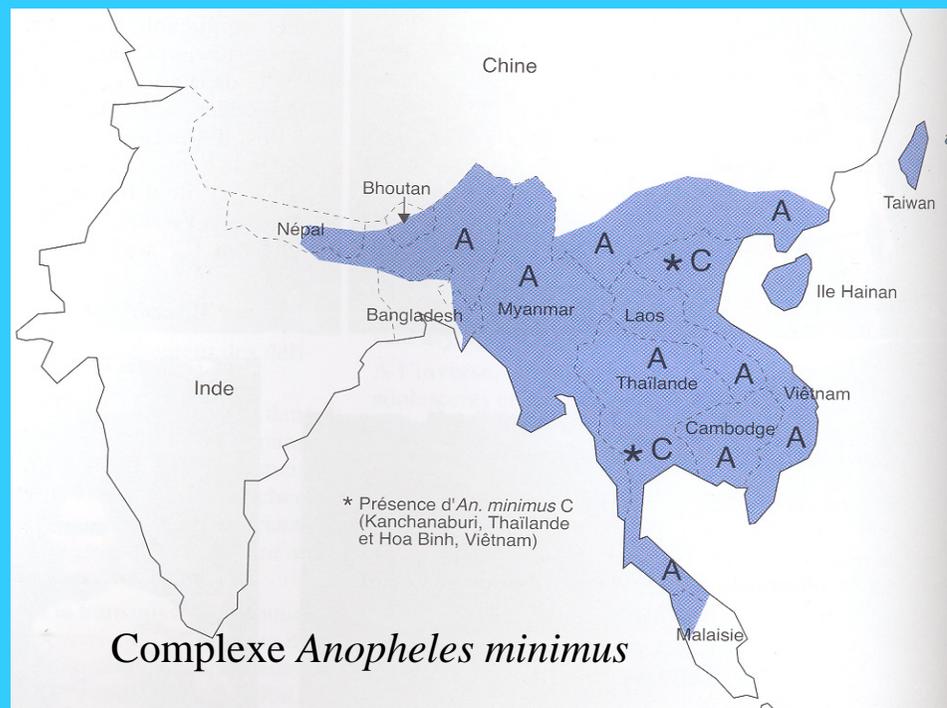
Gites à *An. culicifacies* au Sri Lanka



D'après Mouchet *et al.*, 2004



Les vecteurs en Asie



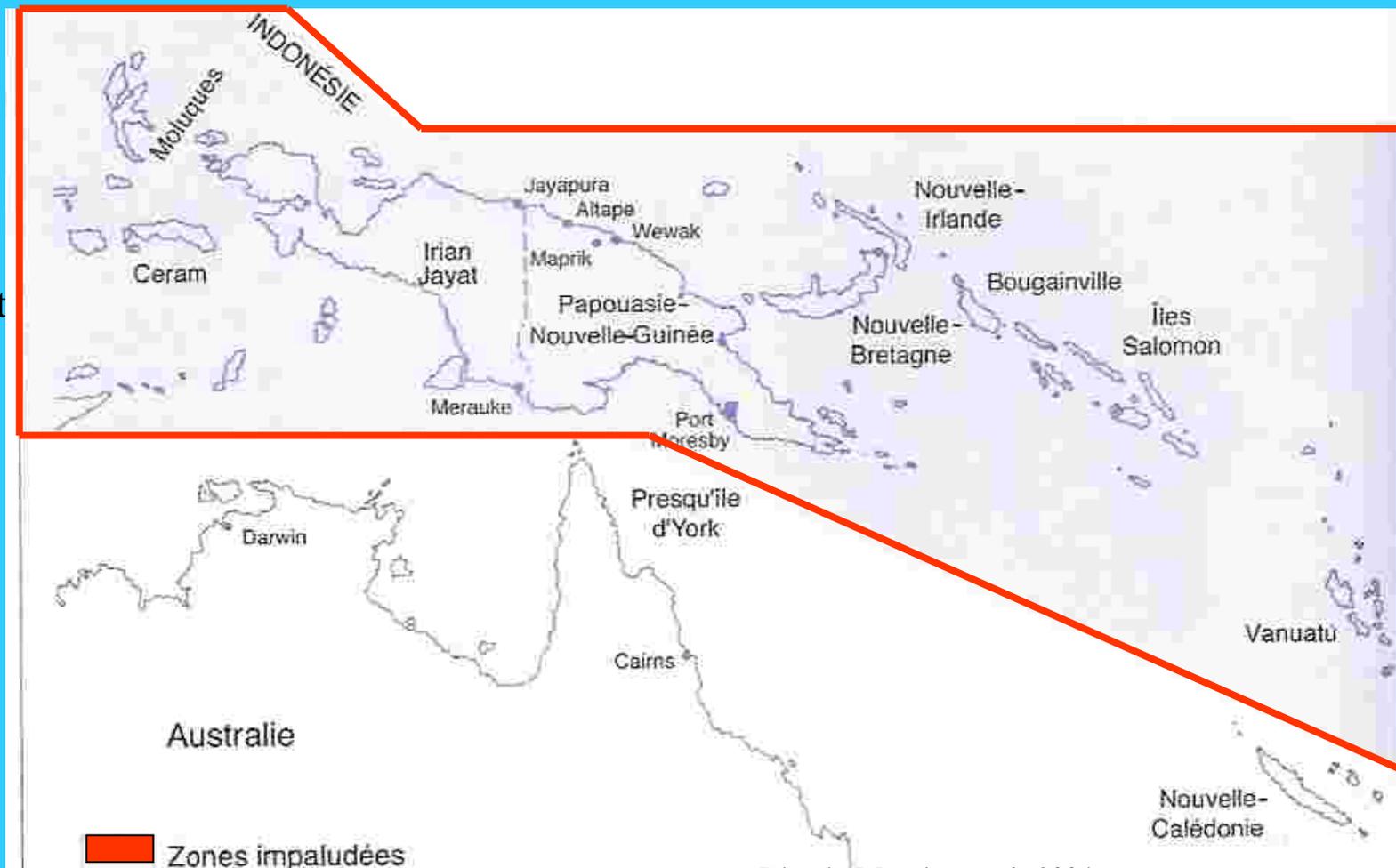
D'après Mouchet *et al.*, 2004

Le Paludisme en région Australasienne

En Papouasie, en 1993, *P. falciparum* représentait 75 % des cas et *P. vivax* 22 % des cas (alors que *P. vivax* était plus abondant avant 1970)

Cause : ?? Résistance Chloroquine, augmentation longévité vecteurs (LAV)

Le paludisme varie de hypo à holo-endémique selon les îles, selon l'altitude et la pluviométrie



D'après Mouchet *et al.*, 2004

INSTITUT DE RECHERCHE
POUR LE DÉVELOPPEMENT

Le Paludisme en région Australasienne

Les principaux vecteurs : LE GROUPE PUNCTULATUS

Anopheles koliensis : Indonésie, Papouasie Nouvelle Guinée (PNG), Salomon
(gîtes temporaires avec végétation)

Anopheles punctulatus : Indonésie, PNG, Salomon.
(Eau douce, ensoleillée. Gîtes liés à homme)

Anopheles farauti : complexe d'au moins 7 espèces , dont une bon vecteur (N°1)
Anopheles farauti N°1: Indonésie, PNG, Salomon, Vanuatu, Australie
(adapté à de nombreux gîtes : eau saumâtre, eau douce)

Les autres espèces

Anopheles farauti N°2 à N°7

Anopheles rennelensis

Anopheles annulipes

Anopheles subpictus

Anopheles clowi

Anopheles bancrofti

Anopheles barbumbrosus

Anopheles karwari





Le Paludisme dans les Amériques

En Amérique le paludisme sévit essentiellement en Amérique centrale et du Sud

P. vivax représente entre 60 et 90 % des cas



On divise la région américaine en 3 sous régions :

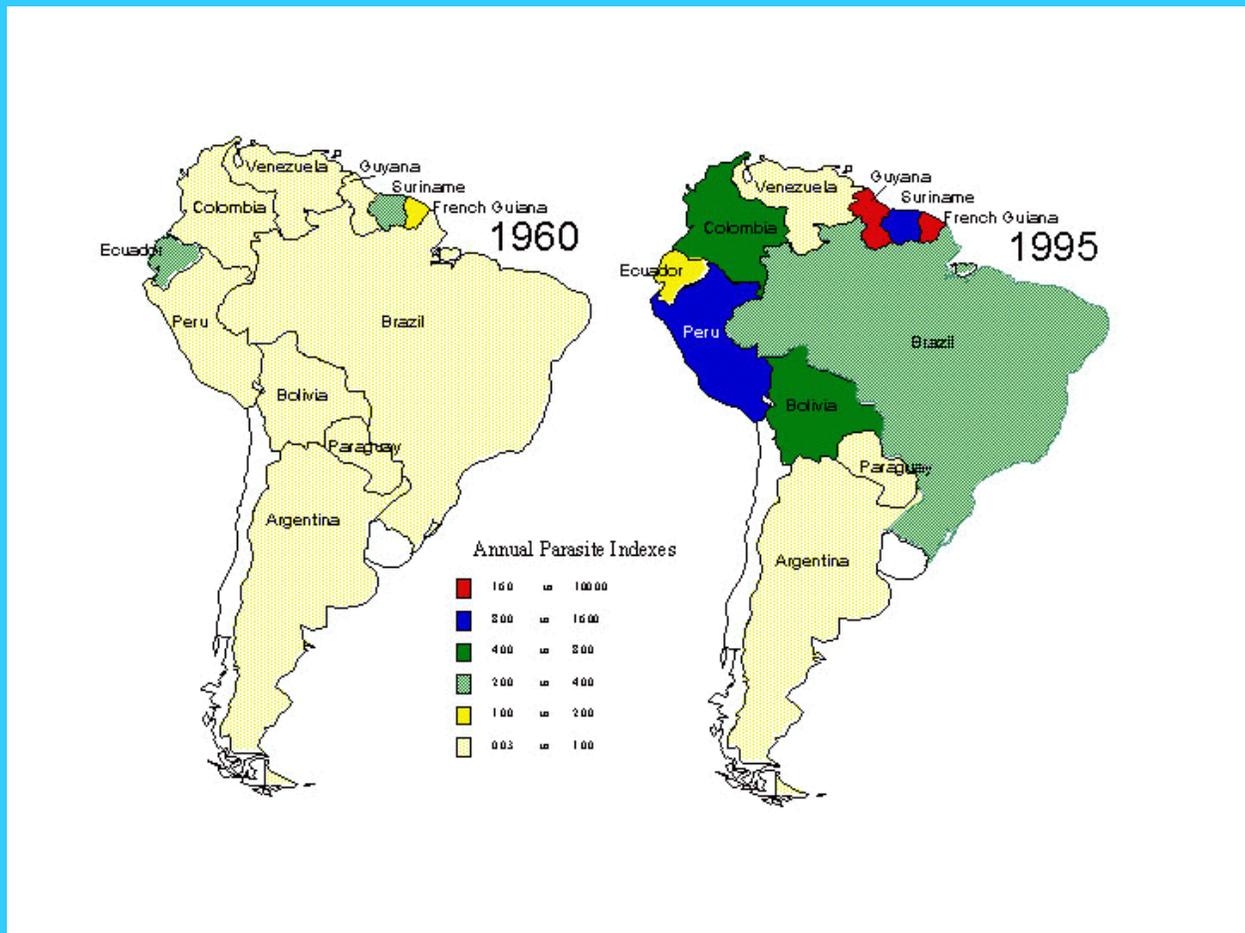
Région Nord Américaine : Très peu de transmission An. du complexe maculipennis (ex *An. quadrimaculatus*, *An. freeborni*, *An. hermsi*)

Région Amérique centrale et Caraïbe : Transmission parfois élevée. *An. albimanus*

Région Amérique du Sud : Nombreux faciès avec des espèces différentes

Le paludisme en Amérique du Sud

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



Le paludisme en Amérique du Sud

La distribution des vecteurs majeurs dépend de l'environnement

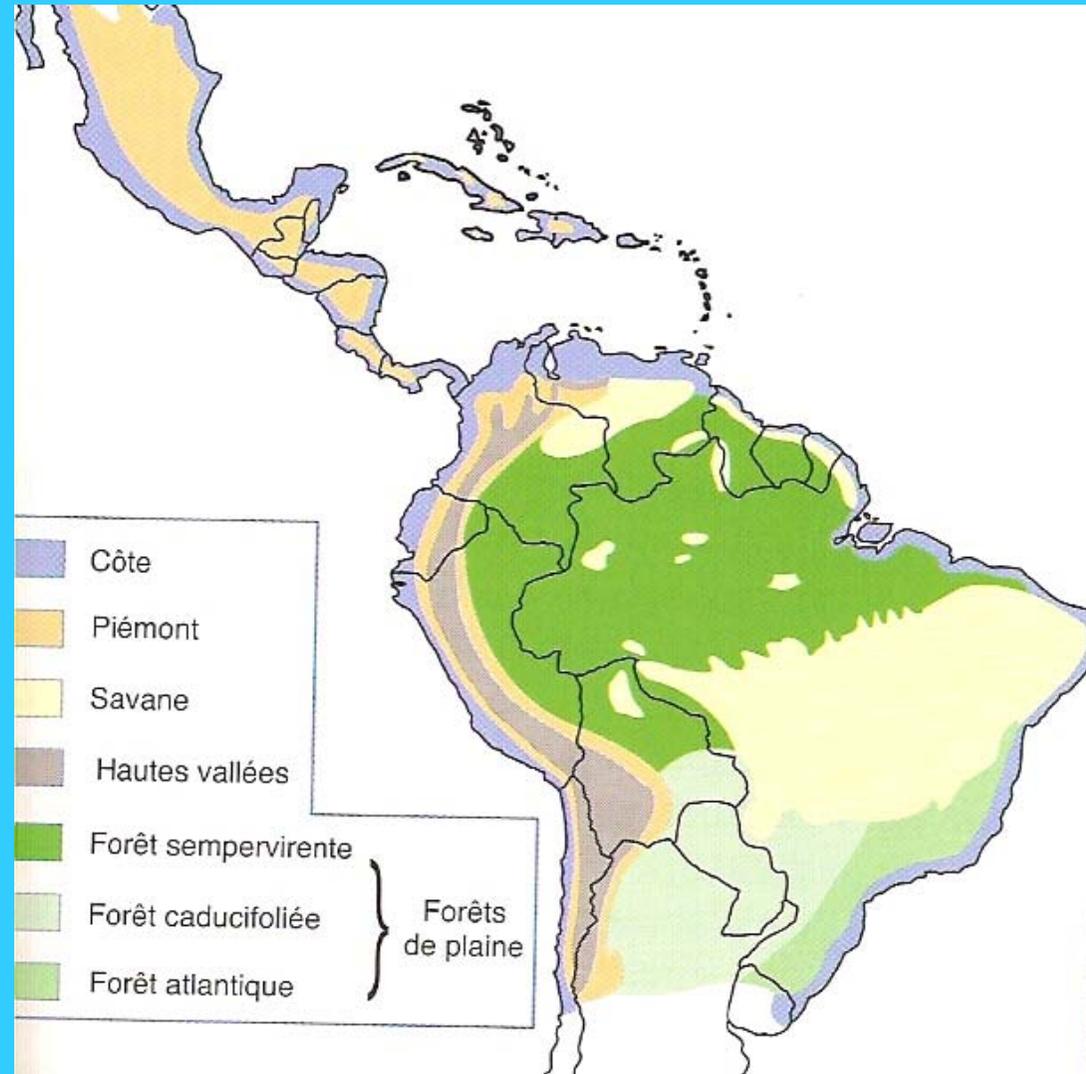
Les vecteurs sont différents selon les écosystèmes :

Cotes : *An. albimanus* (*An. aquasalis*)

Savanes : *An. darlingi*

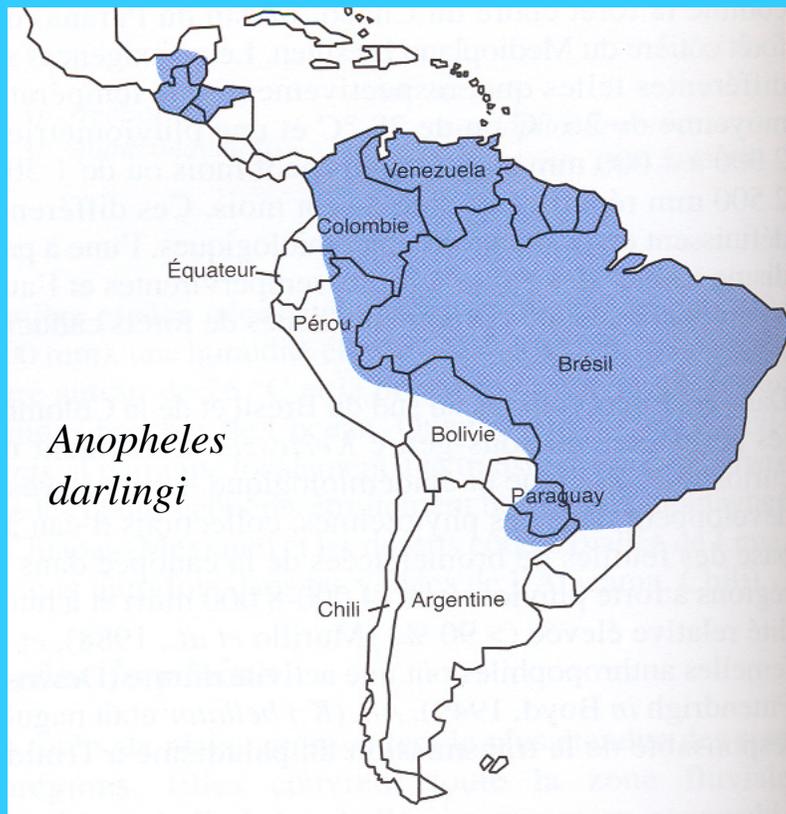
Piemont- vallées: *An. pseudopuntipennis* (*An. darlingi* , *An. albimanus*)

Forêts (savanes): *An. darlingi* (*An. nuneztovari*)

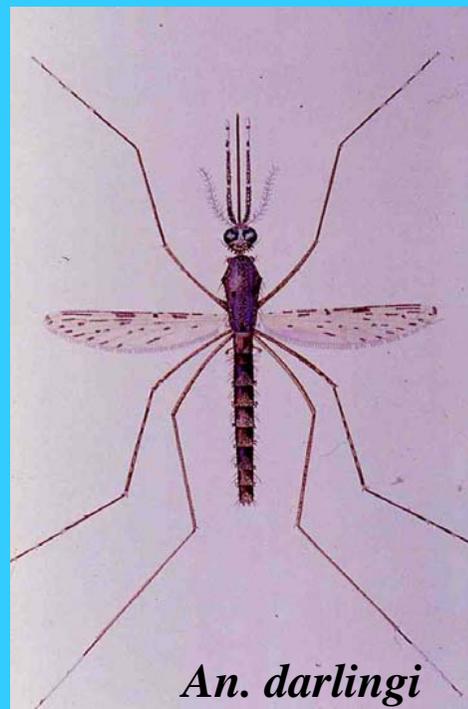


Rubio Palis & Zimmerman, 1997, Ecoregional classification of malaria vectors in the neotropics. *J. Med. Entomol.* 34(5):499-510

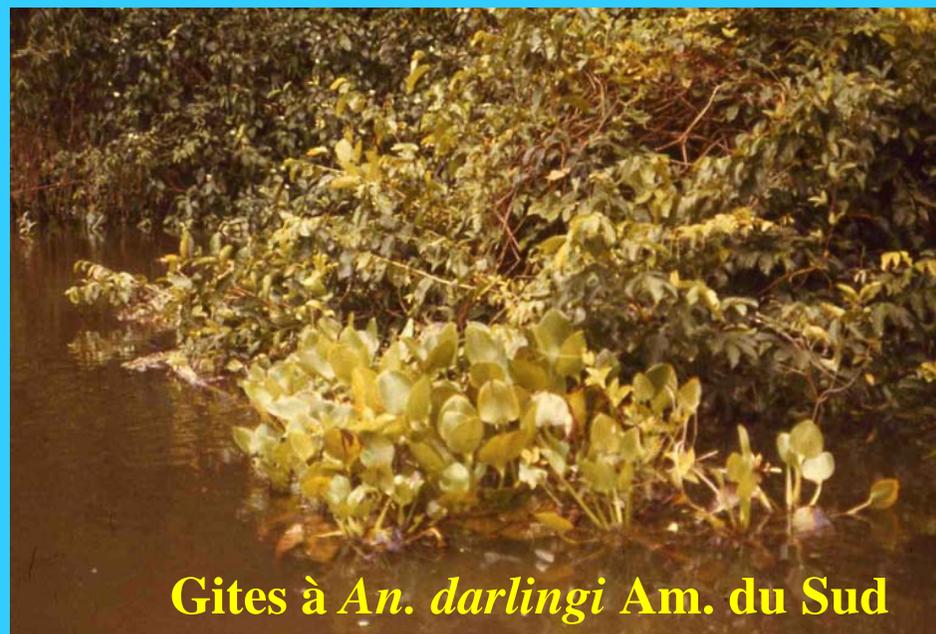
Les vecteurs en Amérique du Sud



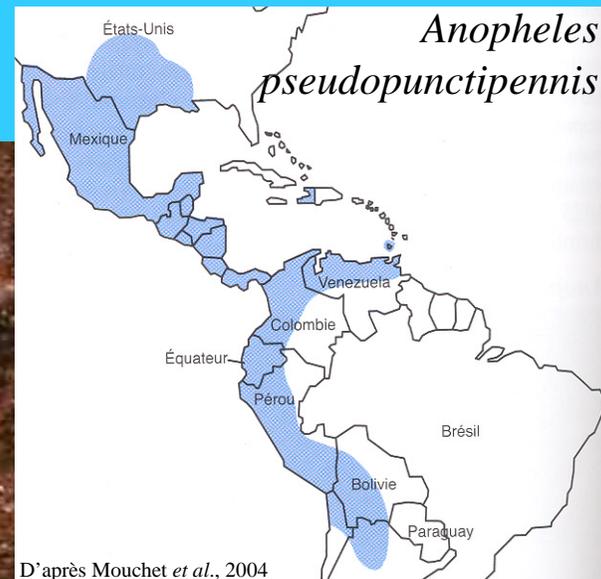
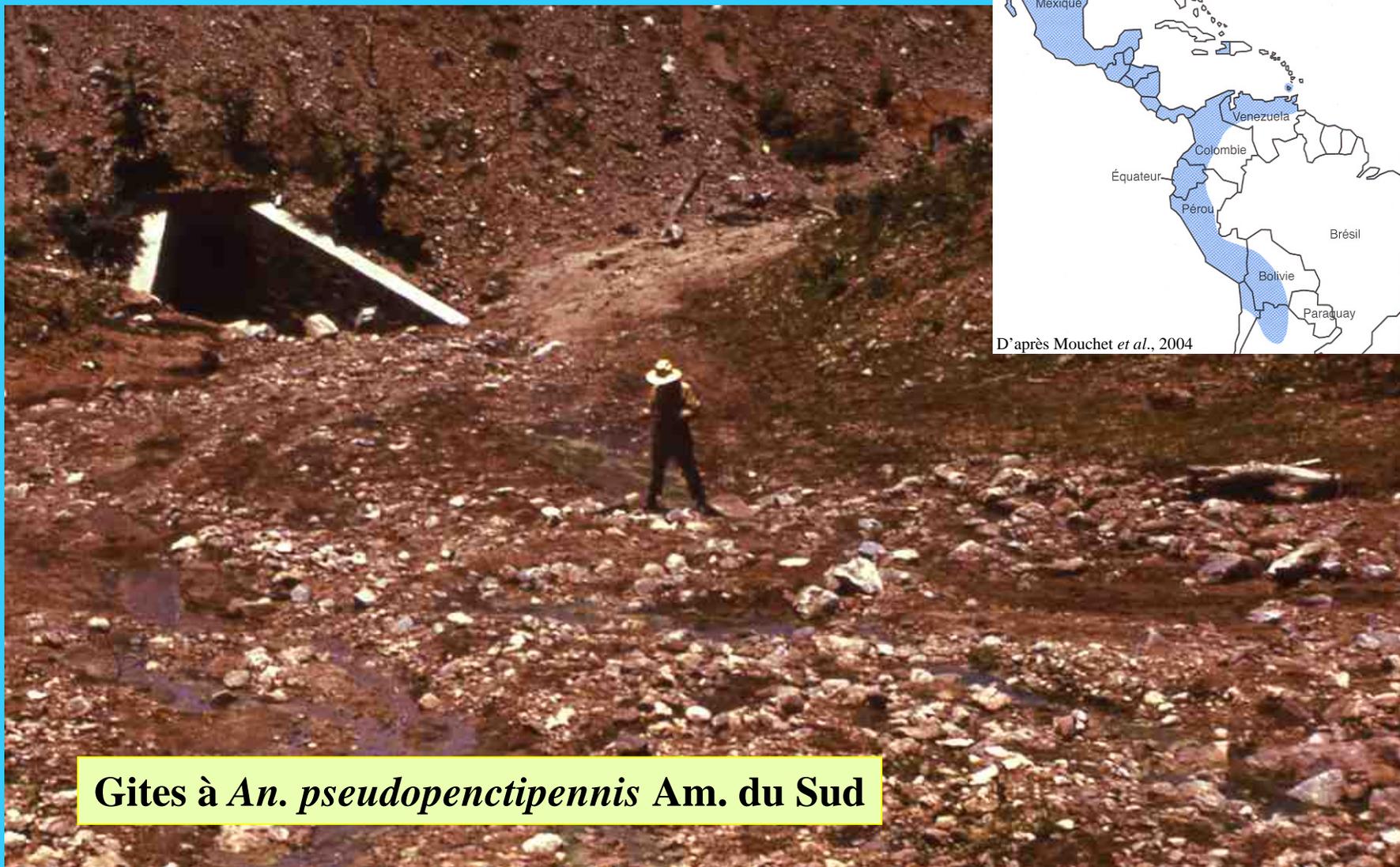
D'après Mouchet *et al.*, 2004



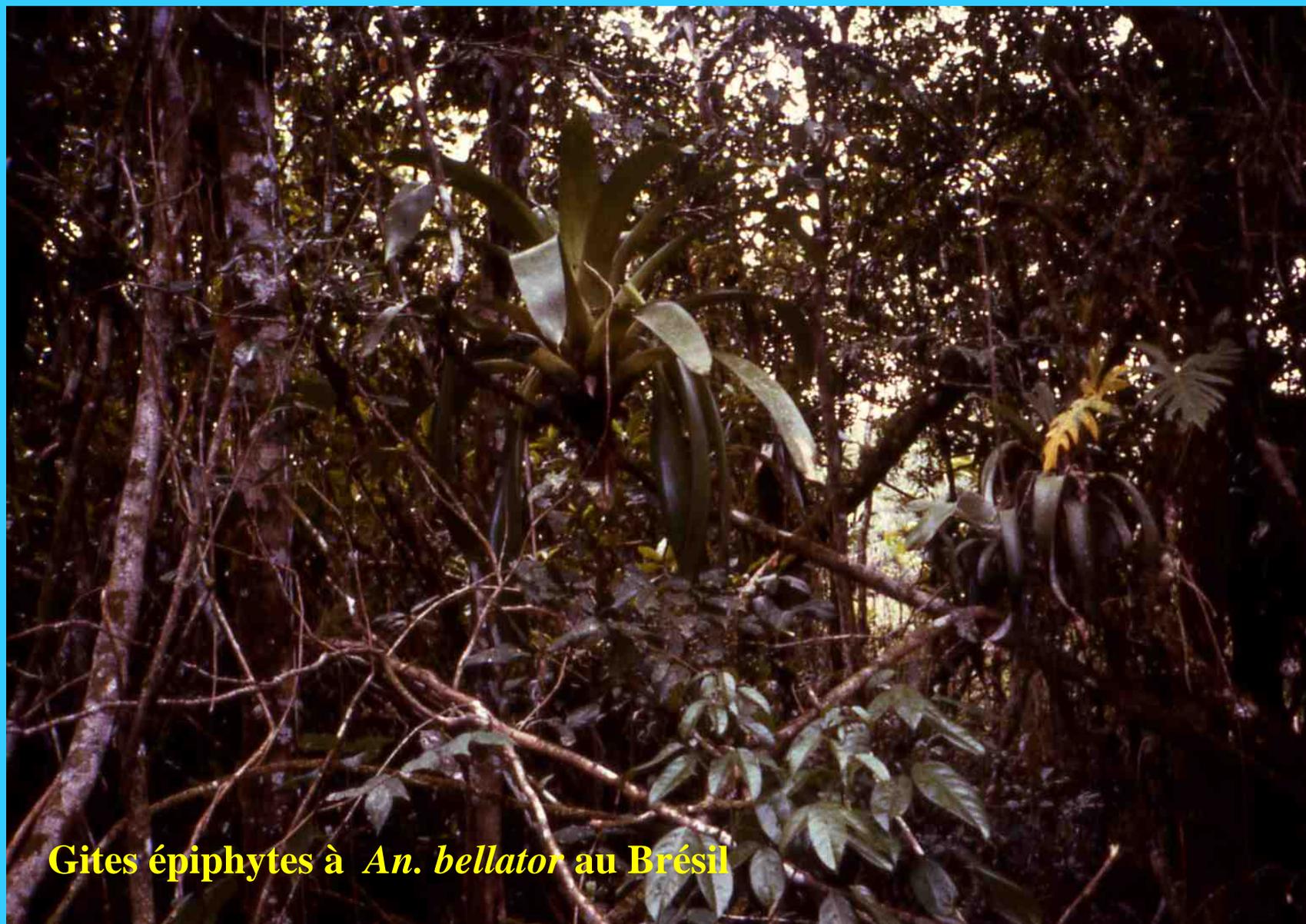
Gîtes : rivières, ruisseaux lents ombragés, lacs ombragés



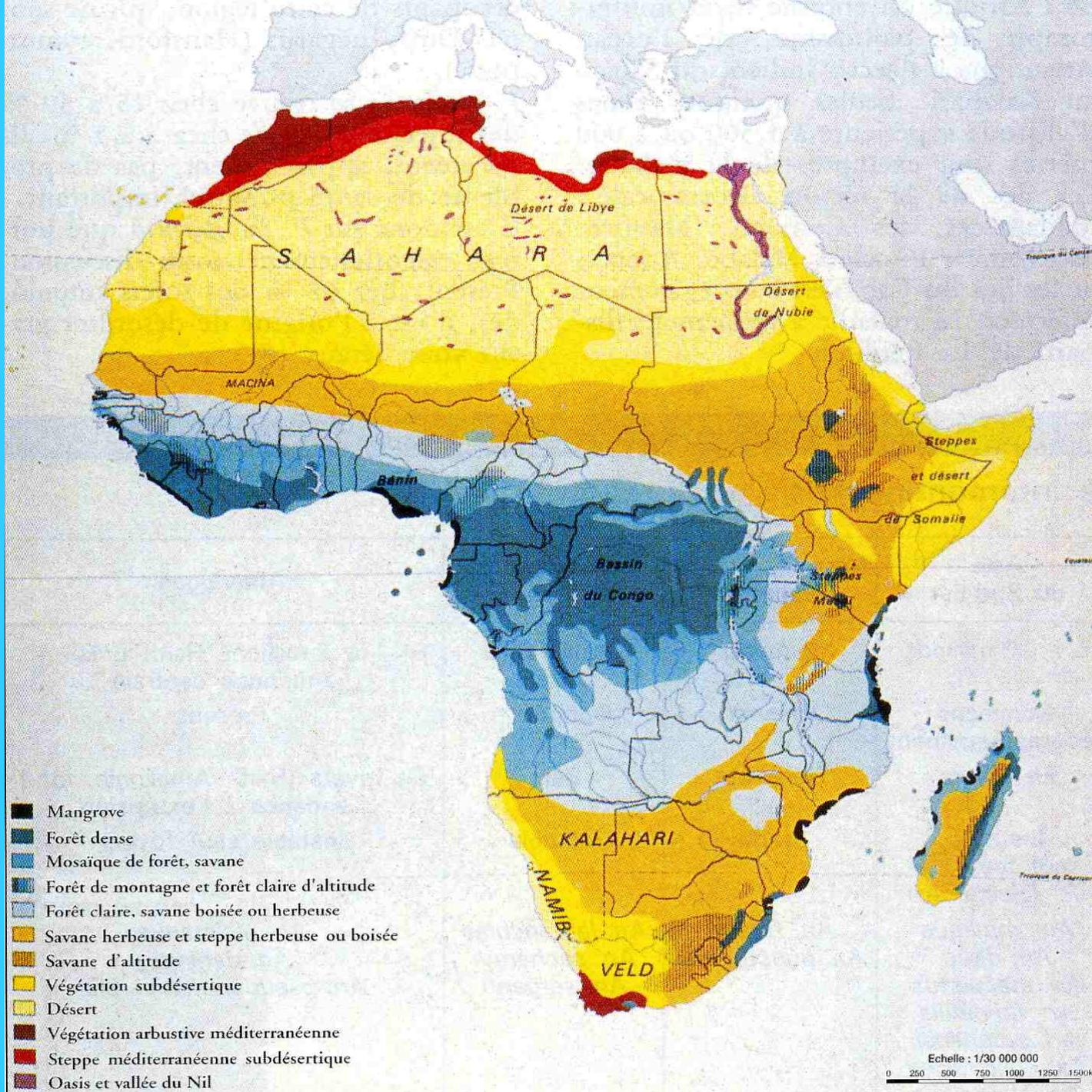
Les vecteurs en Amérique du Sud

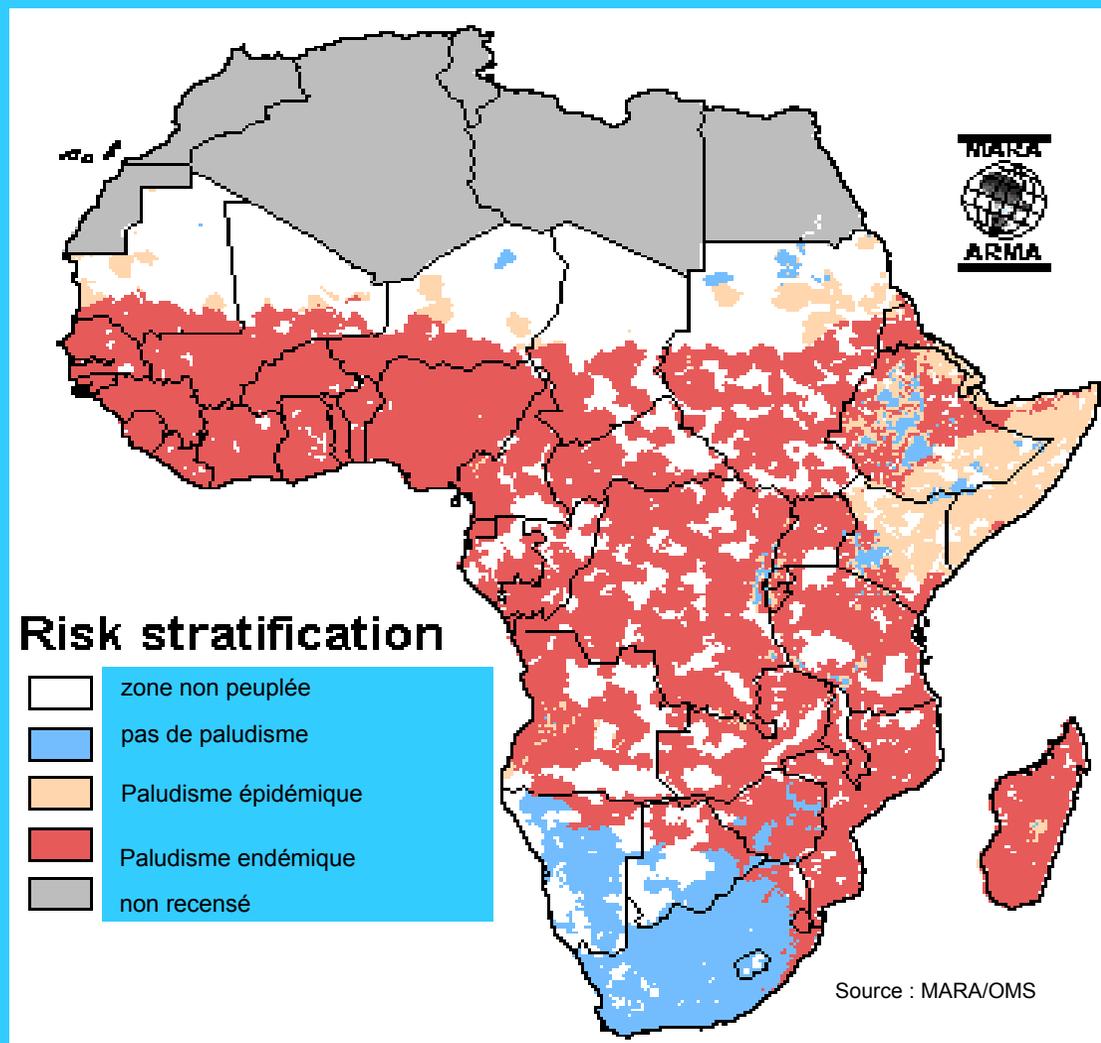


Les vecteurs en Amérique du Sud

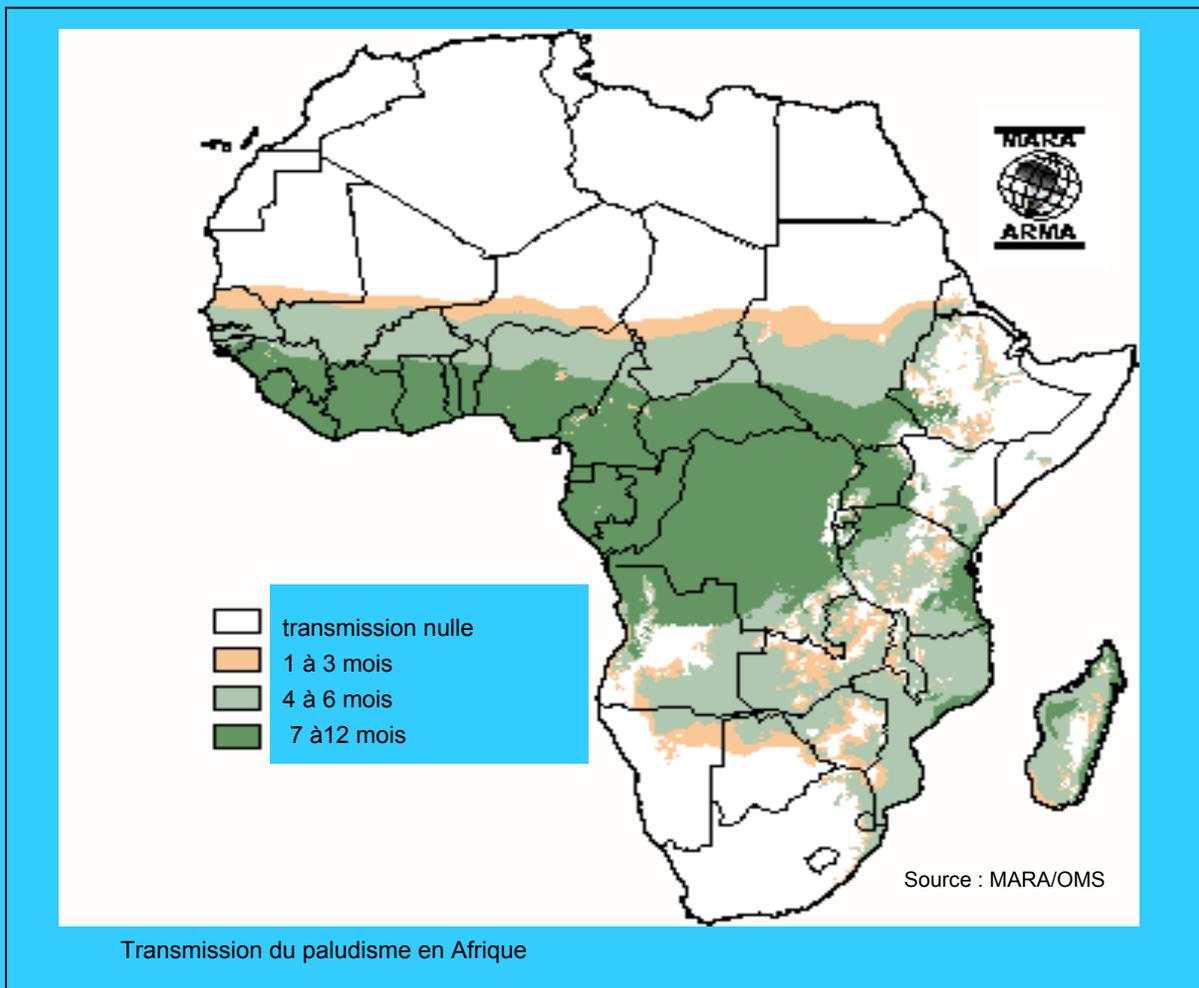


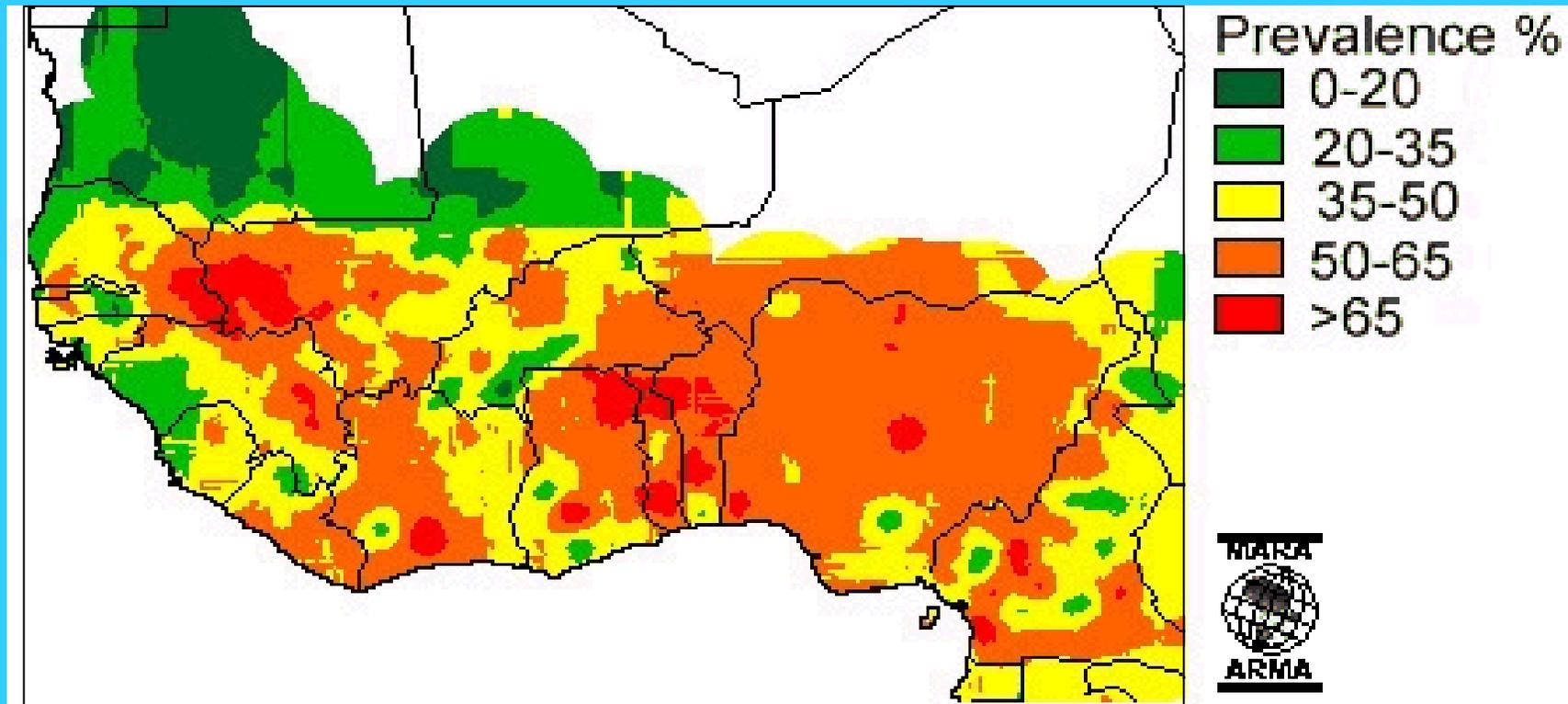
Gites épiphytes à *An. bellator* au Brésil





Endémicité du paludisme en Afrique





Prévalence parasitaire du paludisme en Afrique de l'Ouest

FACIES EPIDEMIOLOGIQUES PRIMAIRES DU PALUDISME EN AFRIQUE

Stable

- 1) *Équatorial* : forêt et savanes post-forestières
- 2) *Tropical* : savanes humides

Intermédiaire

- 3) *Sahélien* : savanes sèches et steppes

Instable

- 4) *Désertique* : steppes sahélo-sahariennes ; déserts de la Corne de l'Afrique
- 5) *Austral* : plateaux du sud de l'Afrique (Afrique du Sud, Swaziland, Botswana, Namibie, Zimbabwe, Zambie, Mozambique)
- 6) *Montagnard* : montagnes entre 1 000 et 2 000 m (suivant latitude)

Urbain



FACIES EPIDEMIOLOGIQUES PRIMAIRES DU PALUDISME EN AFRIQUE

Stable

1) *Équatorial* : forêt et savanes postforestières

Transmission pérenne : *An. gambiae*, *An. funestus*, *An. nili*, *An. moucheti*

Prémunition forte dès 5 ans. Morbidité : 30 à 50 % des cas fébriles, étalée sur toute l'année

N.B. Il n'y a pas d'anophèles vecteurs dans le sous-bois et ils n'ont pas été récoltés dans les huttes des Pygmées

2) *Tropical* : savanes humides

Transmission régulière saisonnière longue > 6 mois : *An. gambiae*, *An. arabiensis*, *An. funestus*, *An. nili*

Prémunition établie à 10 ans, Morbidité : 30 à 50 % des cas fébriles ; augmente en saison des pluies (transmission)

Intermédiaire

3) *Sahélien* : savanes sèches et steppes

Transmission saisonnière courte < 6 mois : *An. arabiensis*, *An. gambiae*, *An. funestus*
Morbidité > 70 % des cas fébriles en saison de transmission (pluies), Prémunition plus longue à s'établir, liée à la régularité de la transmission



FACIES EPIDEMIOLOGIQUES PRIMAIRES DU PALUDISME EN AFRIQUE

Instable

4) *Désertique* : steppes sahélo-sahariennes ; déserts de la Corne de l'Afrique

Transmission courte ou aléatoire, grande différence d'une année à l'autre: *An. arabiensis*, *An. gambiae*

Prémunition faible. Epidémies. Écotype mal connu

5) *Austral* : plateaux du sud de l'Afrique (Afrique du Sud, Swaziland, Botswana, Namibie, Zimbabwe, Zambie, Mozambique)

Transmission saisonnière. L'interruption de l'hiver s'ajoute à celle de la longue saison sèche : *An. arabiensis*. *An. funestus* (localement)

Immunité apparemment peu solide. Épidémies

6) *Montagnard* : montagnes entre 1 000 et 2 000 m (suivant latitude)

Transmission limitée par la température (cap des 18° C) et les pentes (gîtes) : *An. funestus*. *An. arabiensis*

Peu ou pas d'immunité. Épidémies violentes (Burundi, Madagascar) Grandes variations inter-annuelles (température et pluies). 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. lesoni*
 - ◆ *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. bervoetsi*
 - *An. 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

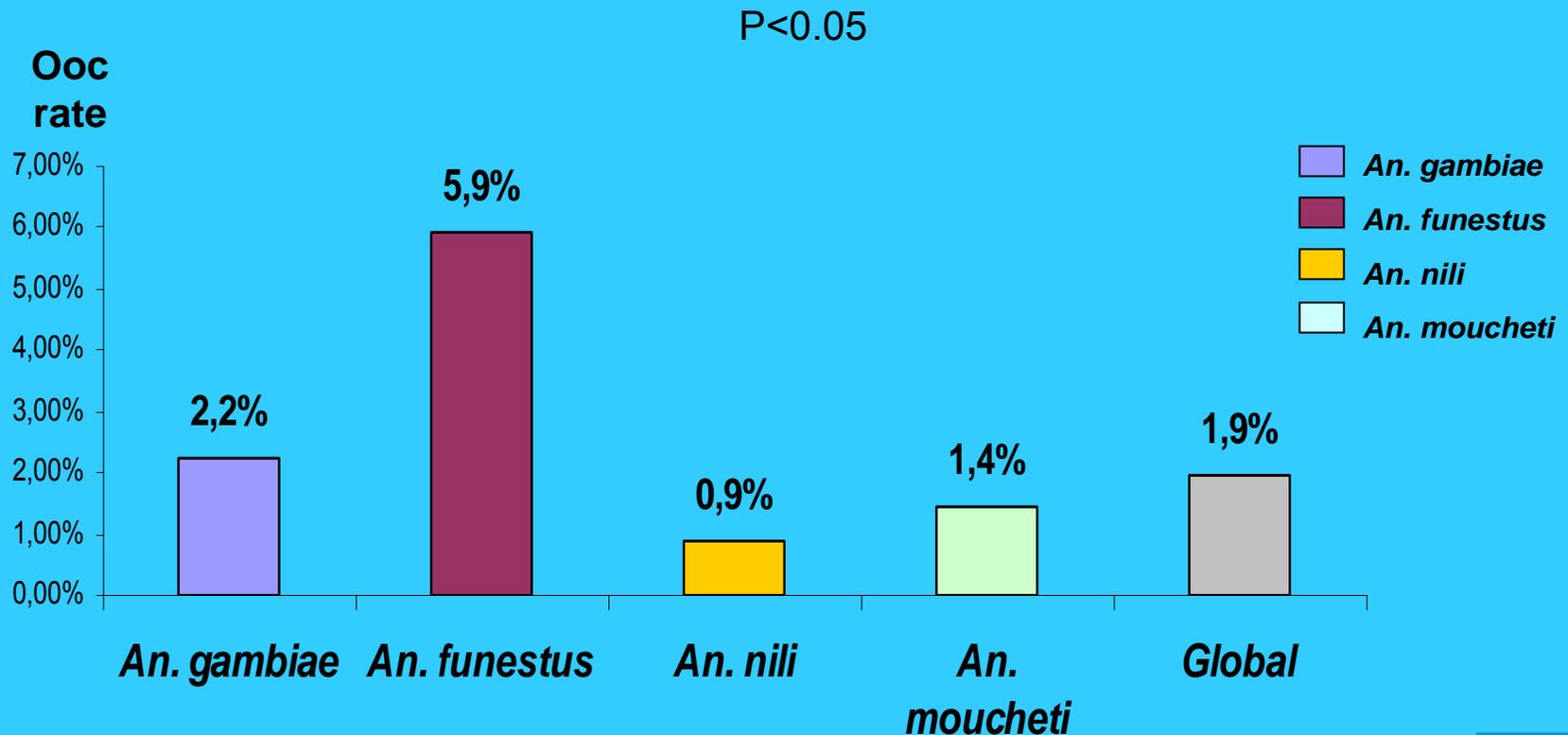
From Nkondjio *et al.*
unpublished results

	species	tested	positive	CSP rate (%) (minimal and maximal values)
Major vectors				
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)
	Total	37932	1169	3.1
Secondary vectors				
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)
	Total	3755	51	1.4
	Overall	41687	1220	2.9



Oocyst distribution between species in Simbock, Cameroon

Oocyst rates per *Anopheles* species



Gîtes larvaires *d'Anopheles gambiae*

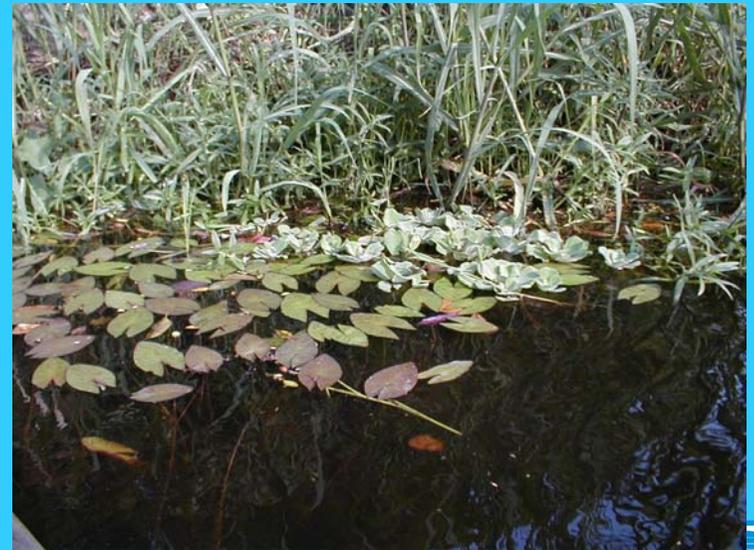


Gîtes larvaires

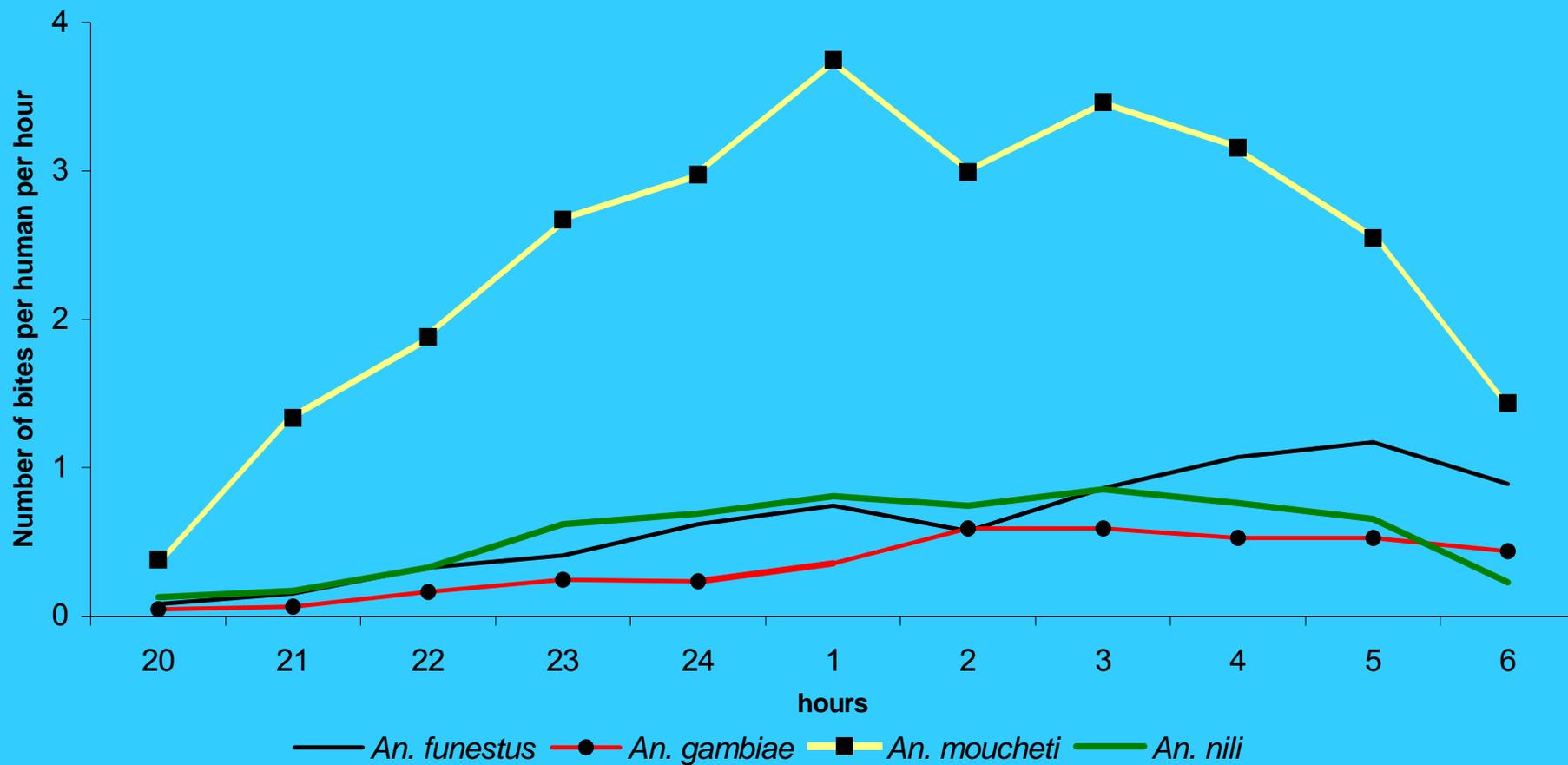
Anopheles funestus



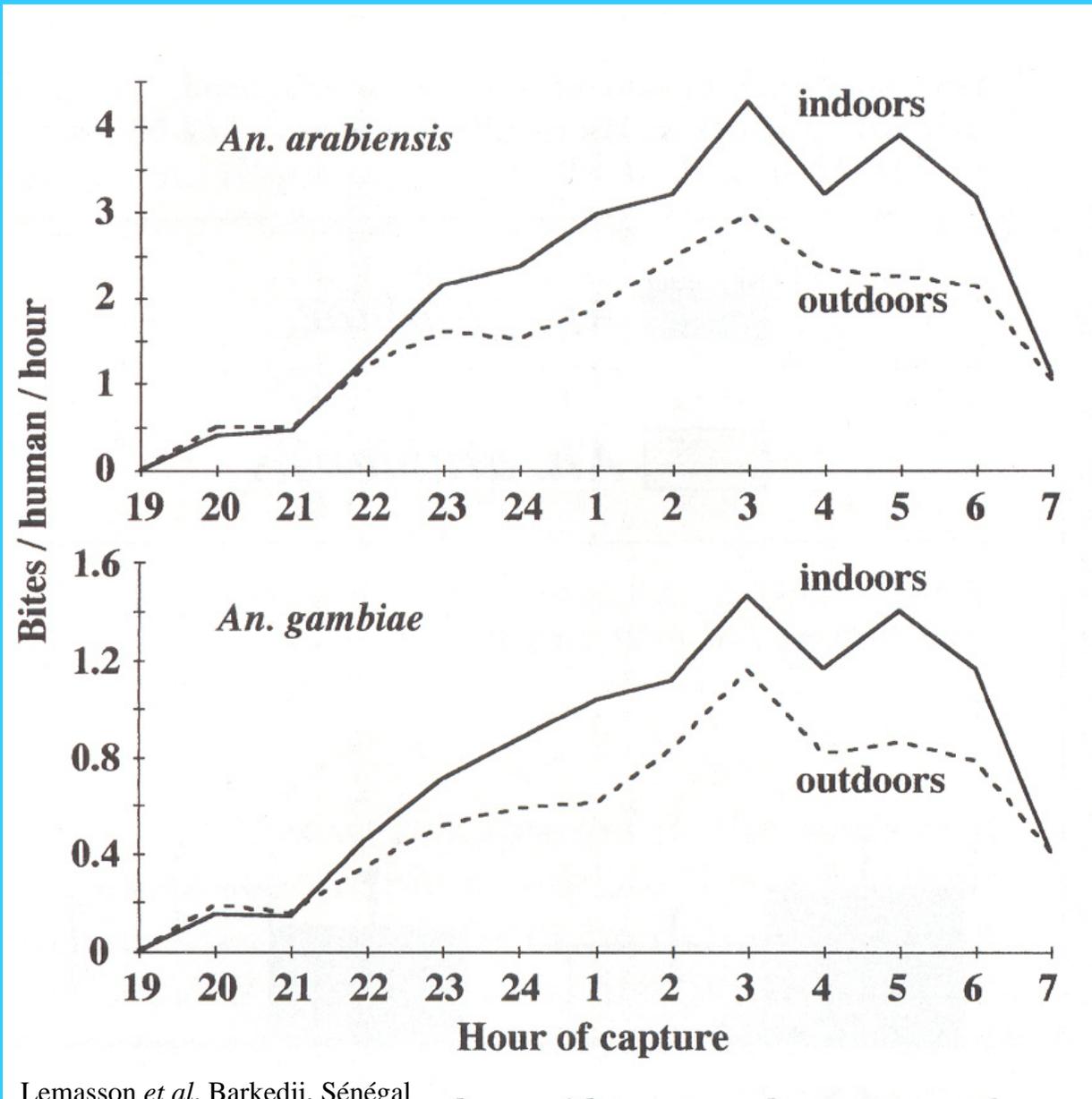
Anopheles moucheti



Comportement



Comportement

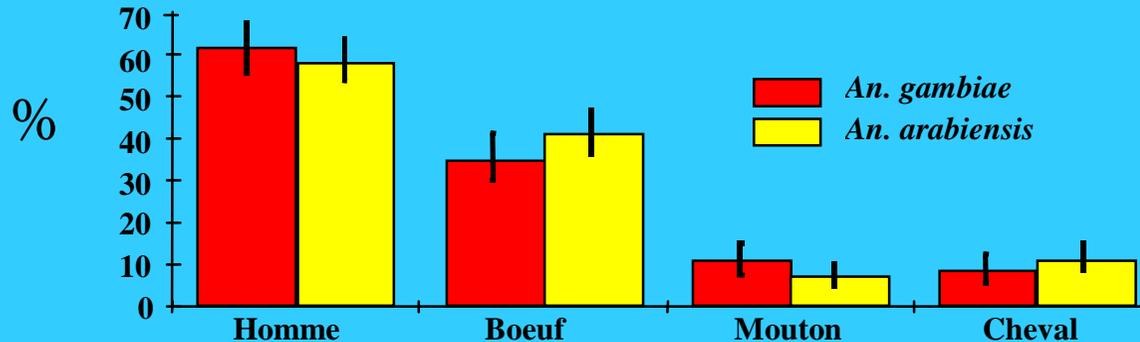


Lemasson *et al.* Barkedji, Sénégal

Comportement

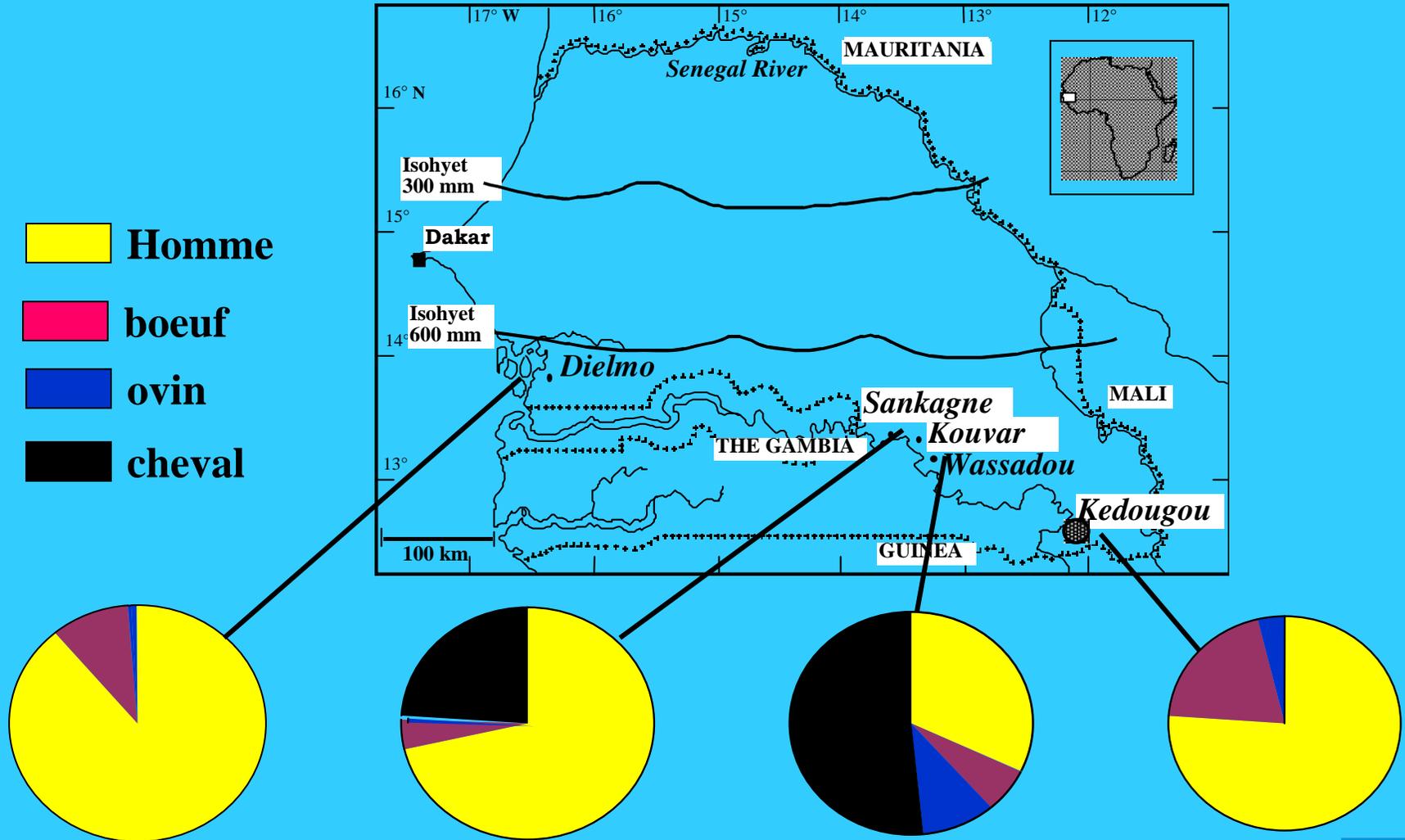
Taux d'**anthropophilie** d'*An. gambiae* et d'*An. arabiensis* au Sénégal.

Localité	Nb moustiques testés	<i>An. gambiae</i>	<i>An. arabiensis</i>	% Repas multiples
Dielmo	251	74,5 %	67,3 %	4,7 %
Ndiop	272	74,2 %	73,8 %	5,5 %
Barkedji	2029	62,1 %	59,0 %	18,0 %

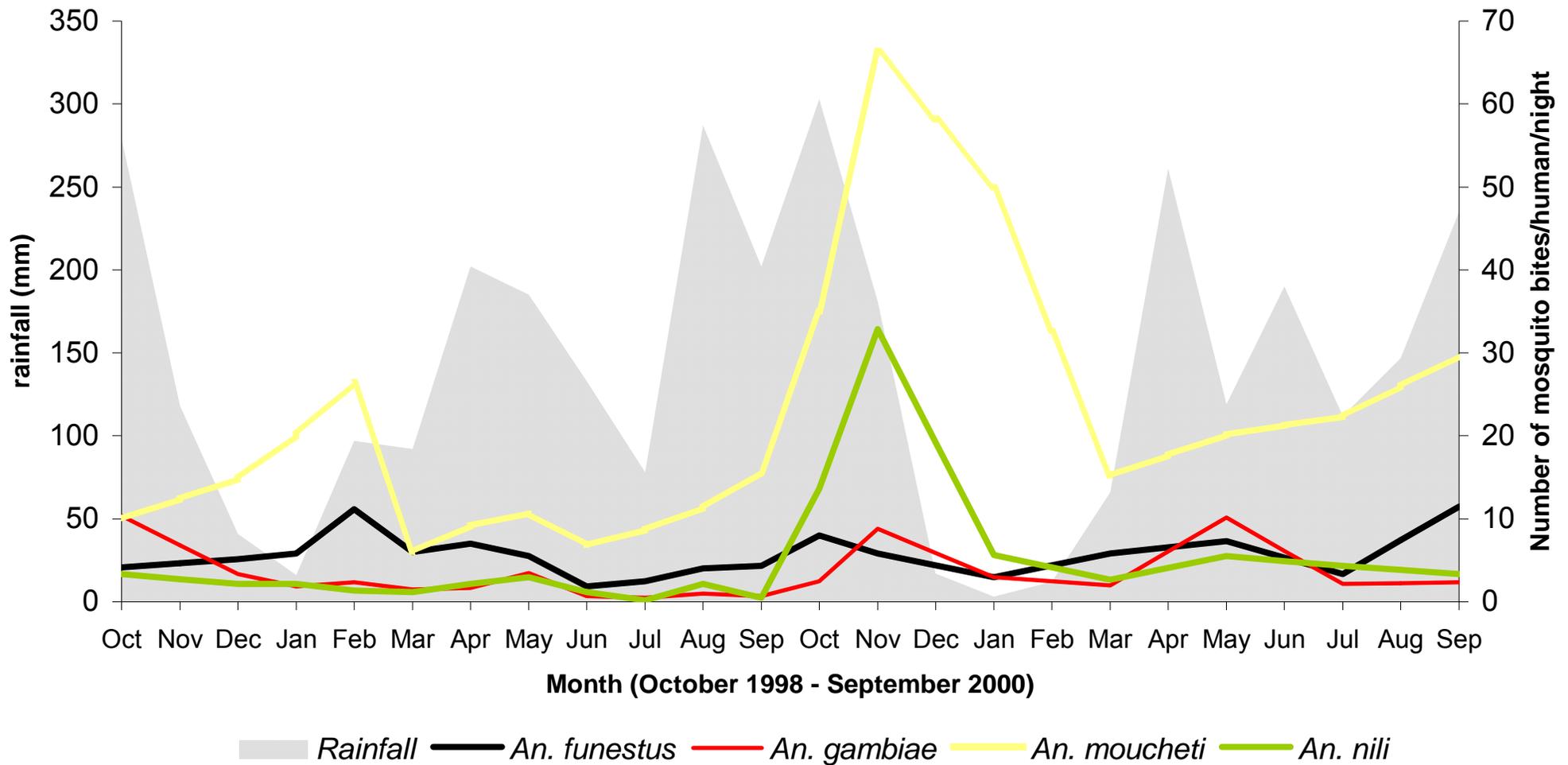


Préférences trophiques des vecteurs endophiles, à Barkedji, 1994-1995

Hétérogénéité trophique d '*An. funestus* au Sénégal

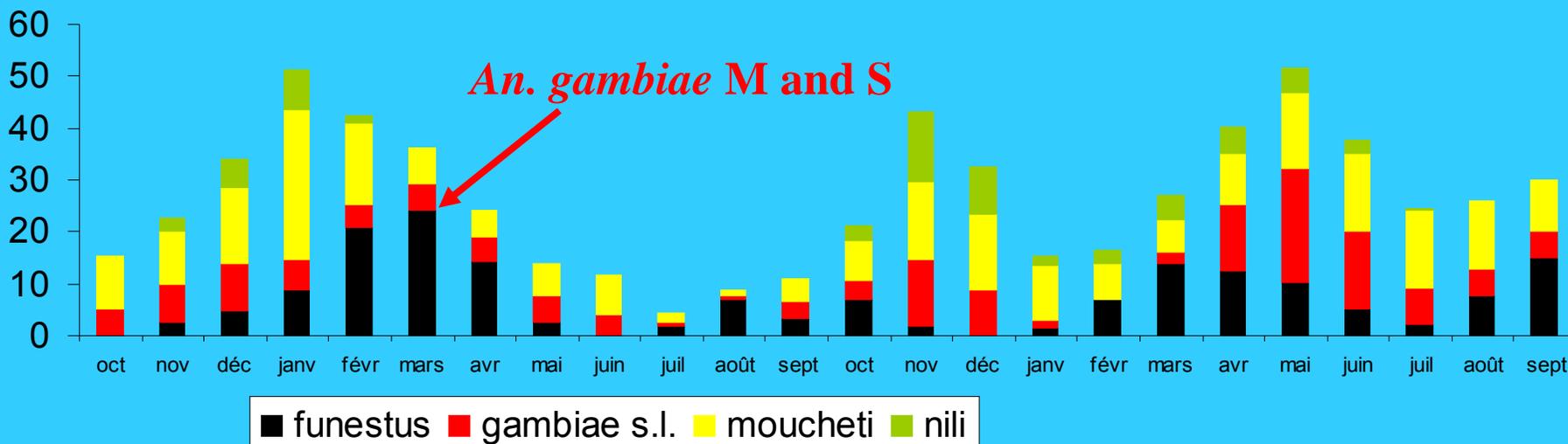


CYCLE D'AGRESSIVITE SUR 2 ANS , Simbock, Cameroun



La transmission des *Plasmodium* à Simbock, au Cameroun

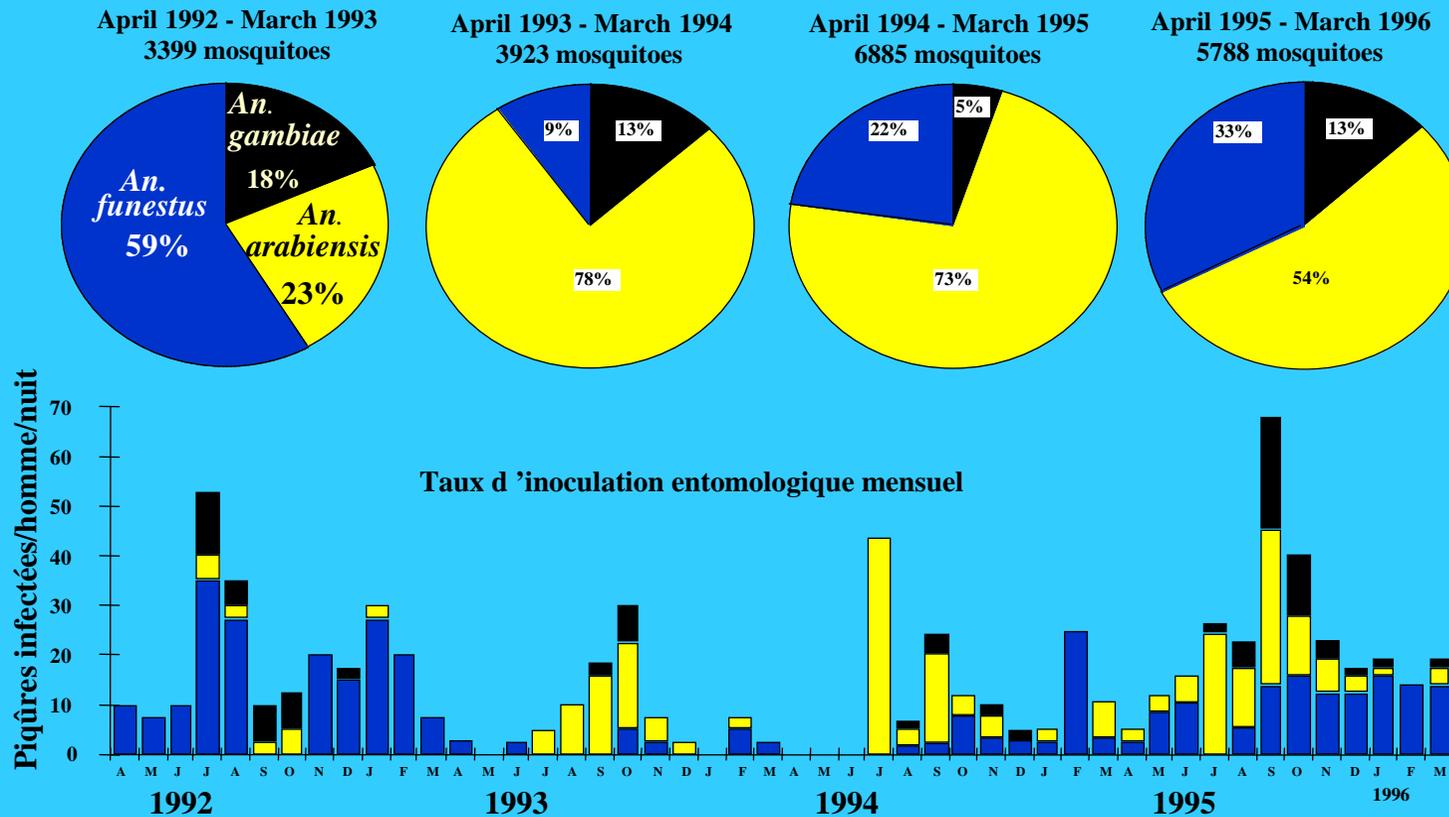
Entomological Inoculation Rate for each species



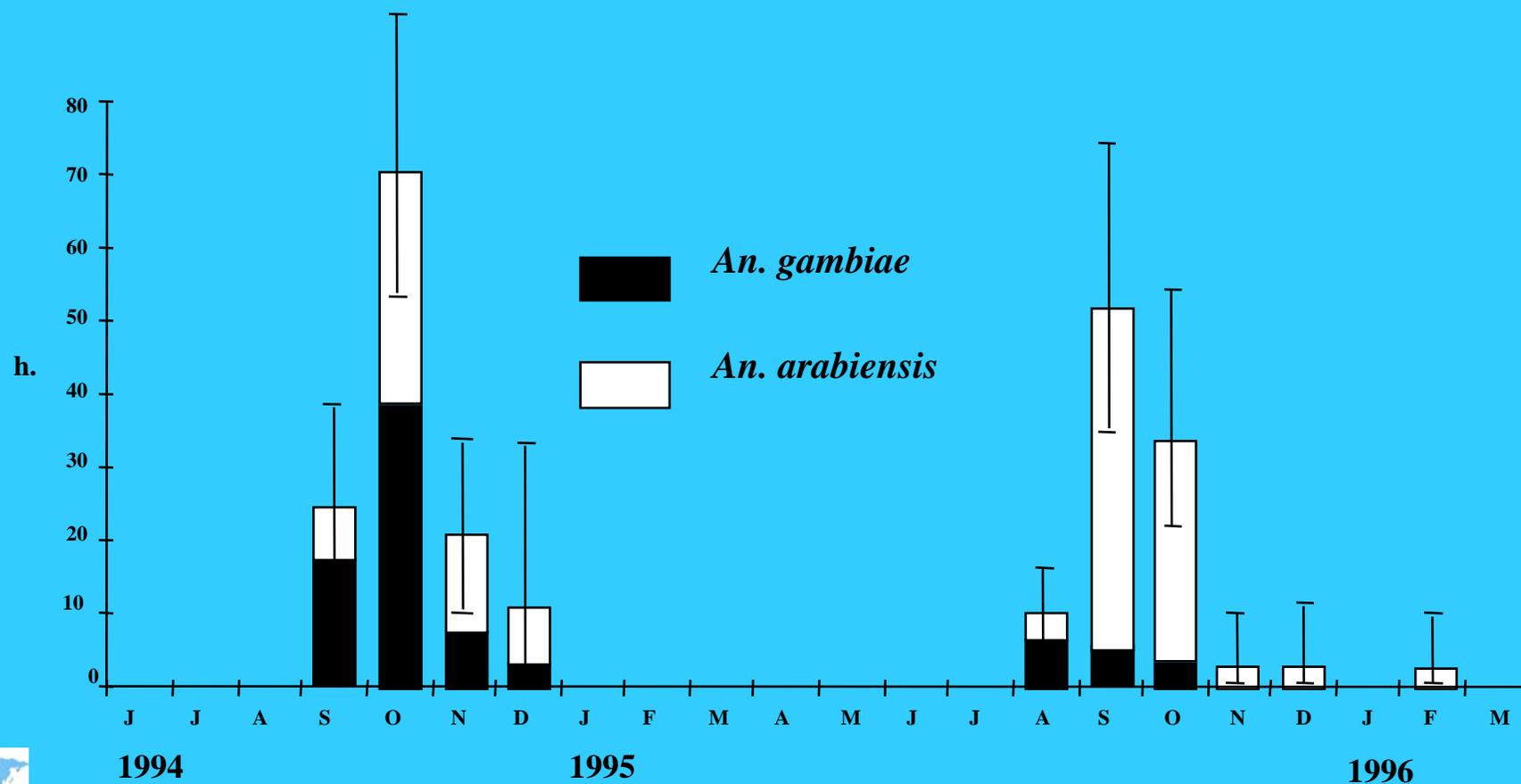
La transmission des *Plasmodium*

Paludisme stable pérenne

Pourcentage des vecteurs, et taux d'inoculation, en fonction de l'année et du mois. Dielmo, Sénégal



Barkedji, Sénégal : longue saison sèche sans vecteur



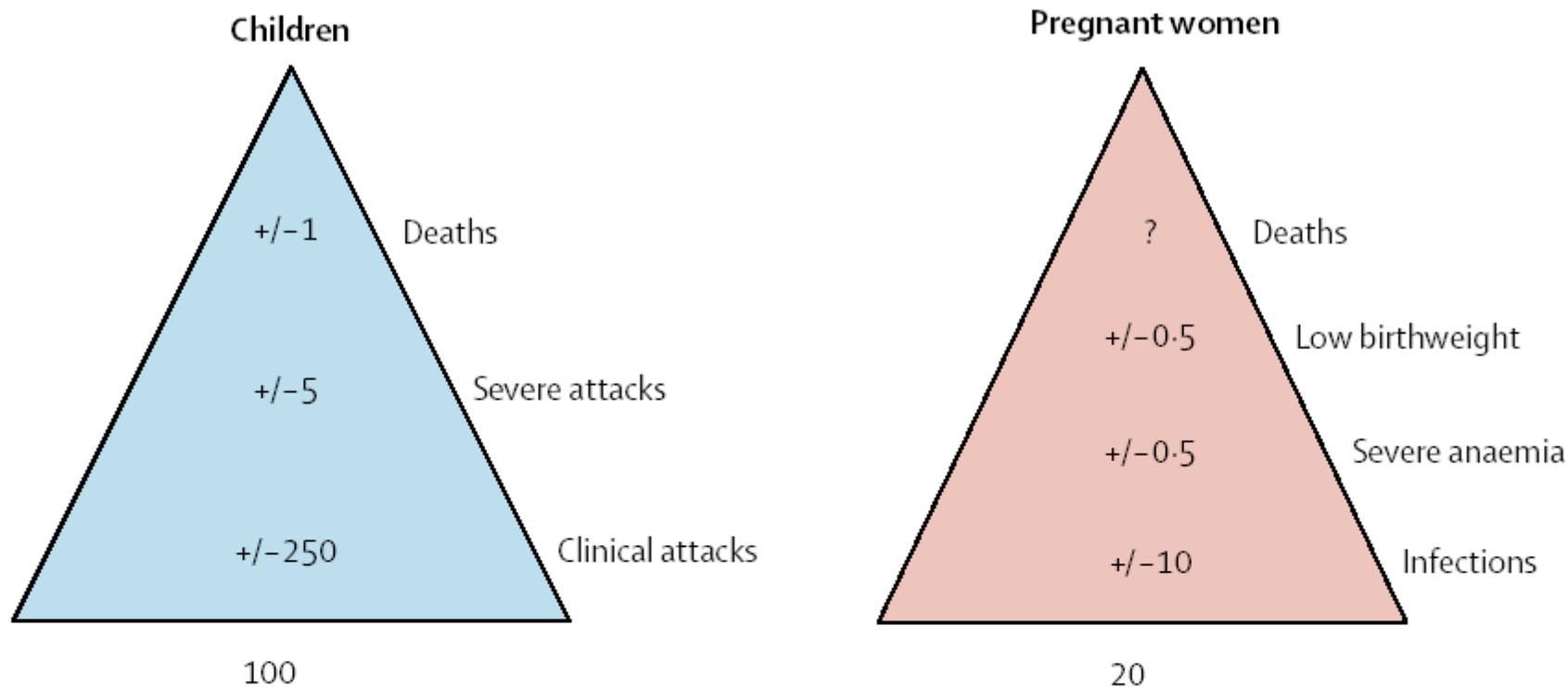
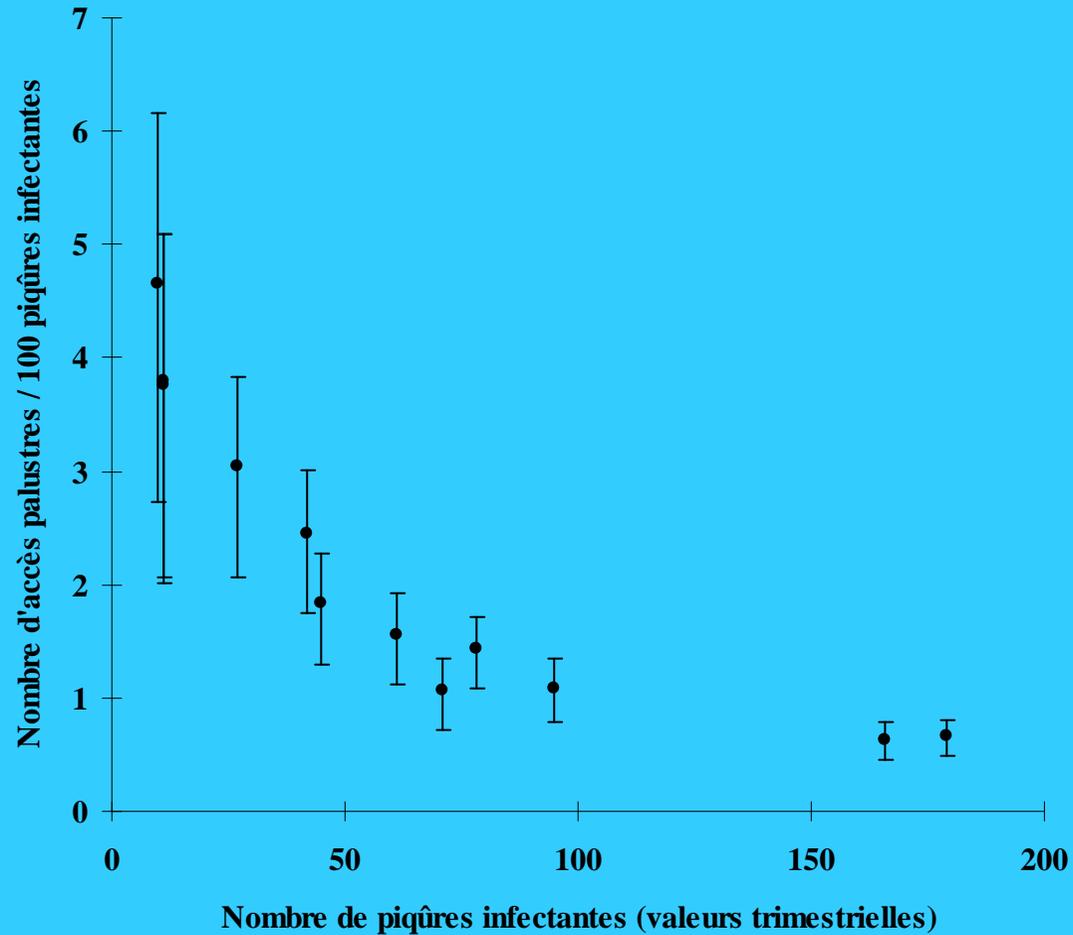


Figure 3: Number of malaria episodes and complications occurring every year in children younger than 5 years in sub-Saharan Africa and in African pregnant women

Numbers are in millions. Severe attacks in children include about 1 million cases of cerebral malaria and 4 million cases of severe anaemia. Of children with clinical attacks, several thousand have neurological damage and up to 250 000 will have developmental problems. In pregnant women, low birthweight associated with anaemia is thought to contribute to 100 000 infant deaths every year.

Greenwood *et al.* 2005. *lancet* 365 : 1487

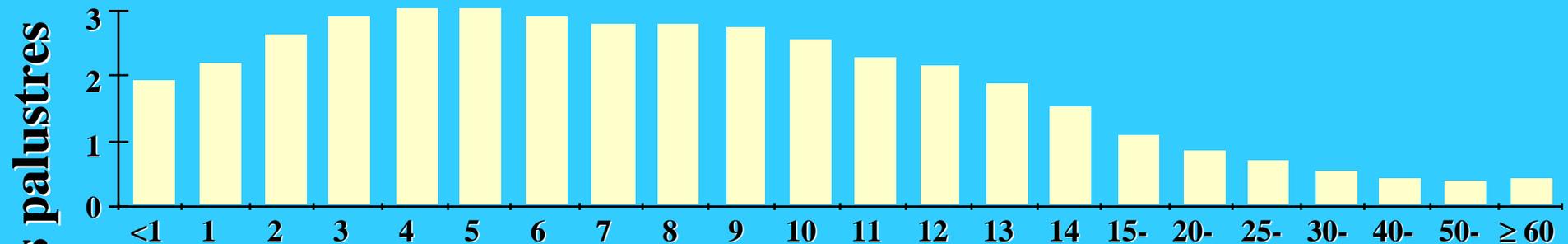
**Incidence des accès palustres pour 100 piqûres infectantes
chez les enfants de moins de 10 ans à Dielmo,
moyennes trimestrielles, juin 1990 - mai 1993**



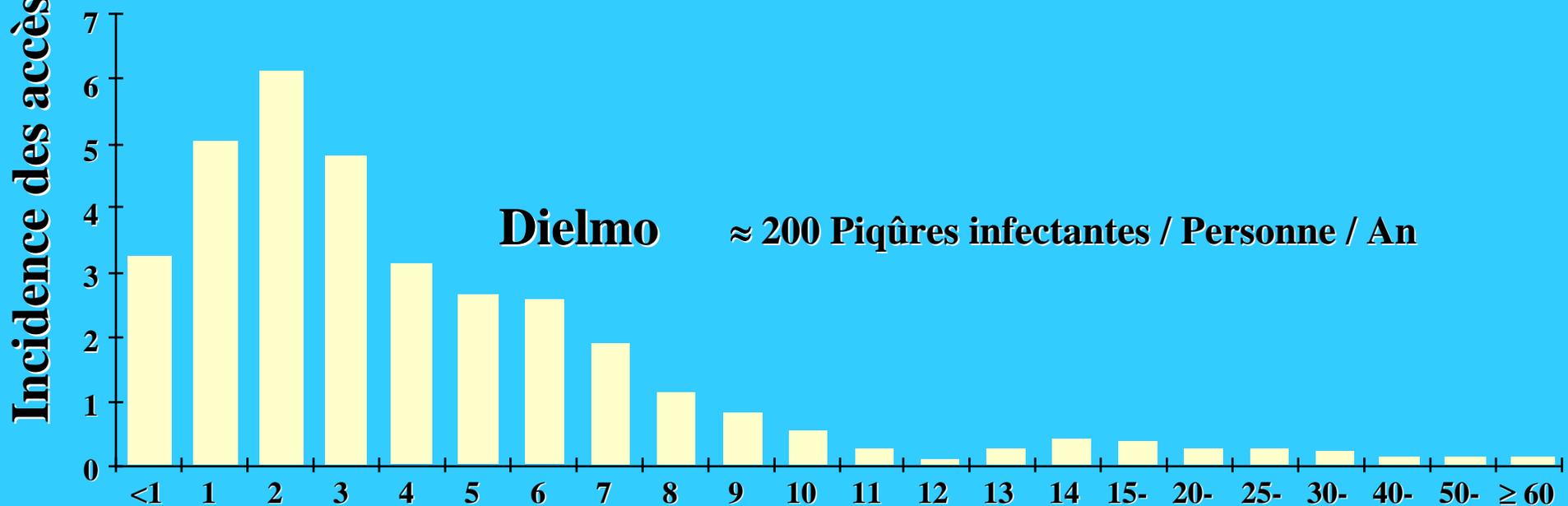
D'après Rogier et Trape

Incidence annuelle des accès palustres

Ndiop ≈ 20 Piqûres infectantes / Personne / An



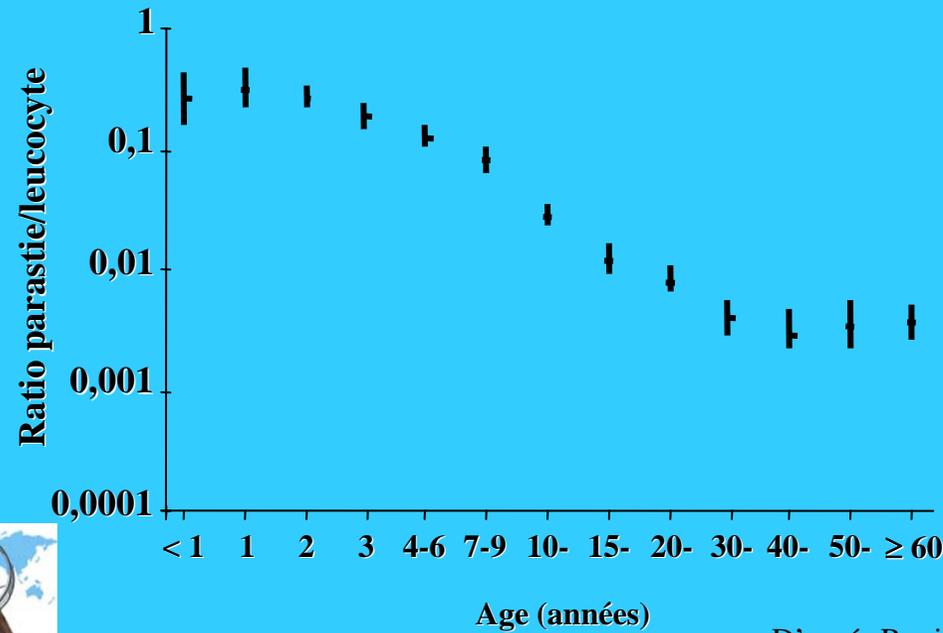
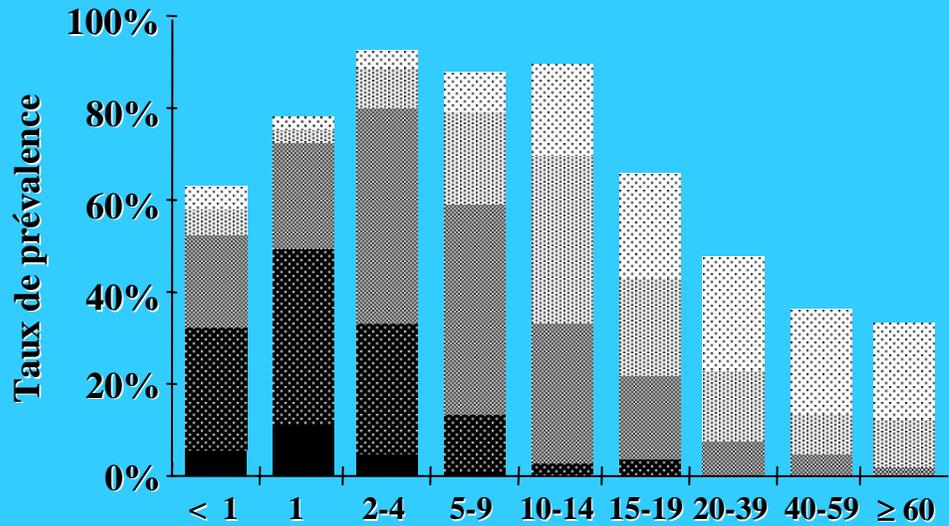
Dielmo ≈ 200 Piqûres infectantes / Personne / An



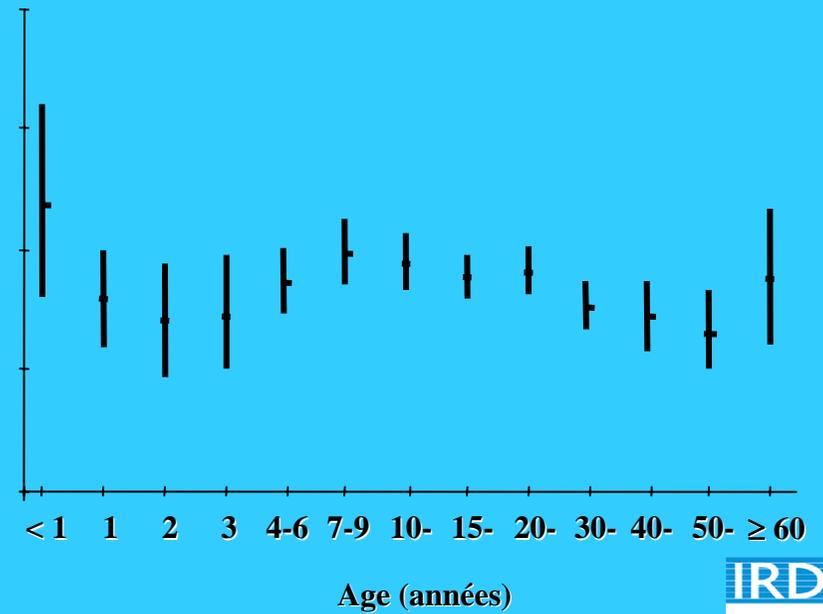
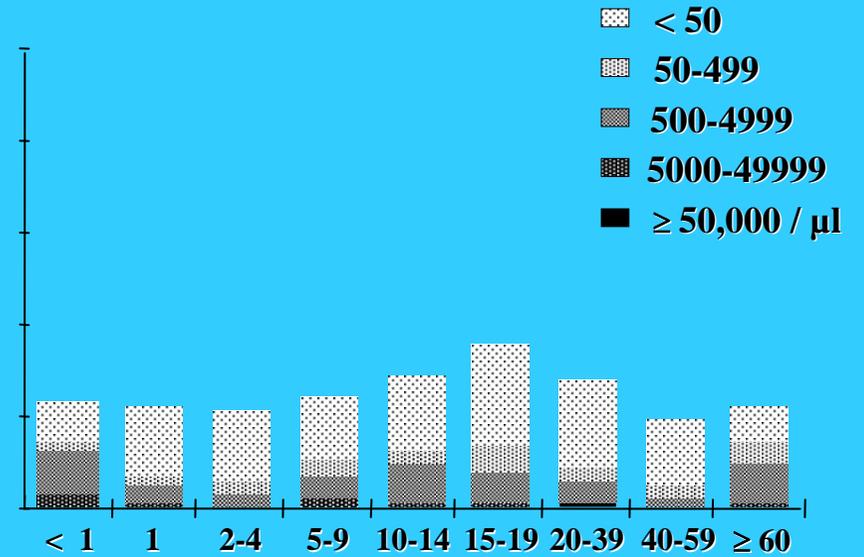
Age (ans)

D'après Rogier et Trape

Dielmo



Ndiop



Le Paludisme en région Paléarctique

Essentiellement *P. vivax*

On divise la région en 4

sous régions

**Sous région
Méditerranéenne**

**Sous région
Eurosibérienne**

**Sous région
Arabo-persique**

**Sous région
chinoise**

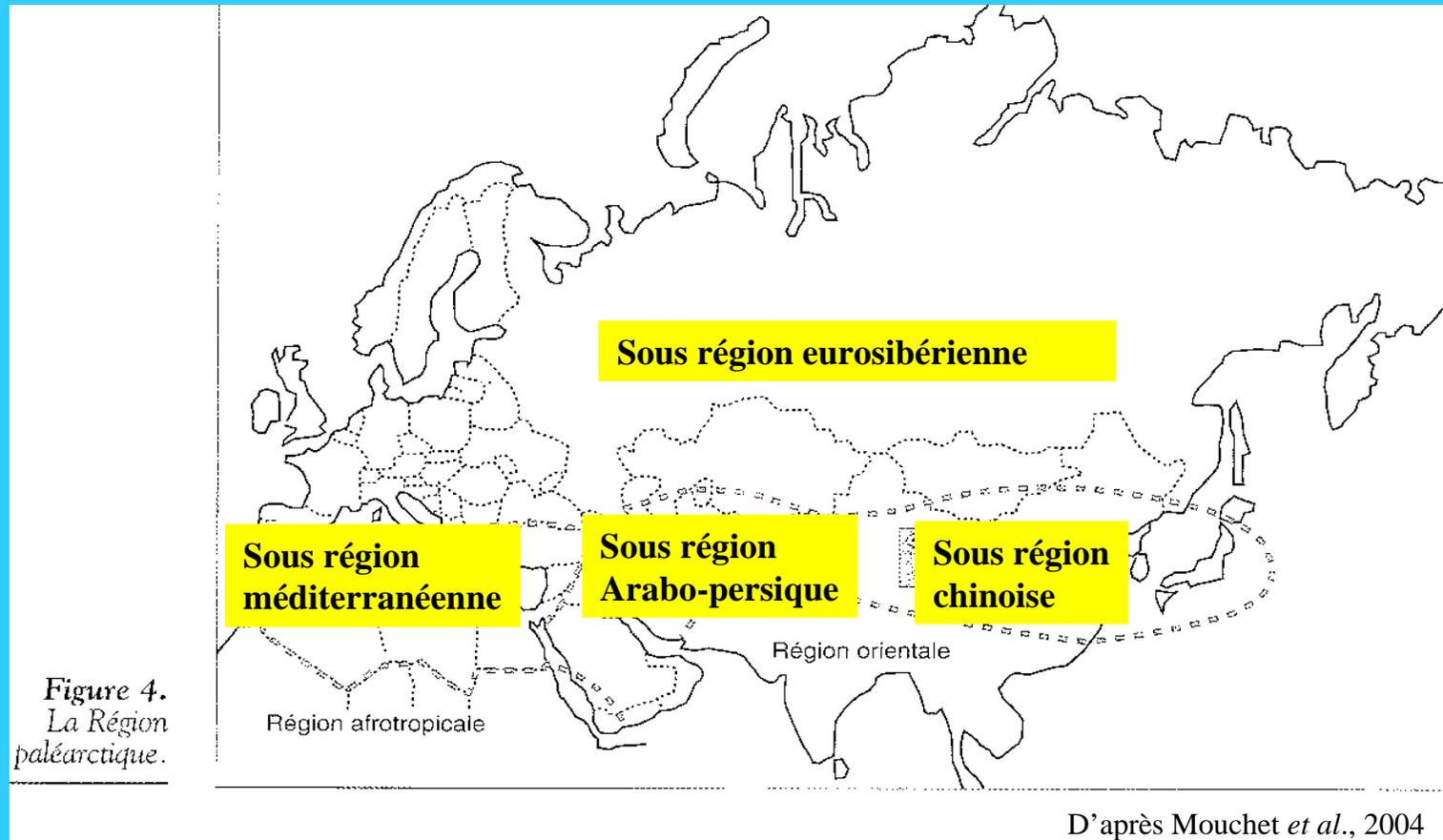


Figure 4.
La Région
paléarctique.

D'après Mouchet *et al.*, 2004

Malaria : an ancient disease of Europe eliminated by

- targeted control of parasites (quinine) and mosquitoes (breeding site modifications and insecticides)
- human habitat modification

However

- malaria remains in neighbouring european countries (Turkey, Algeria)
- increase of malaria in most tropical countries, particularly in Africa,
- increase of travels and parasite importations in Europe and neighbouring countries

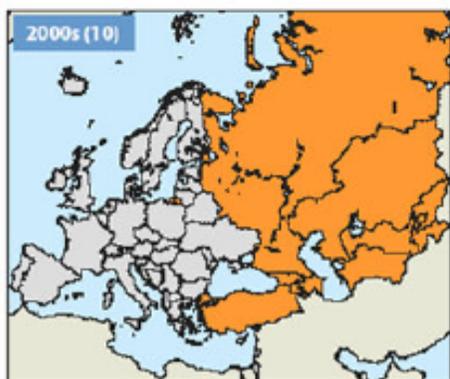
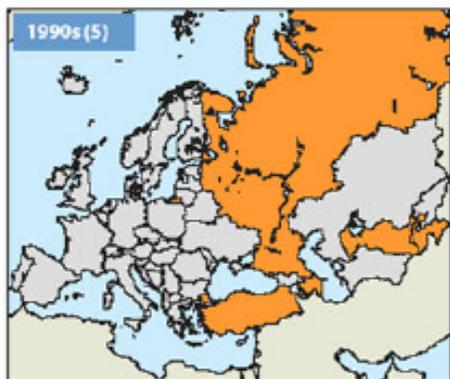
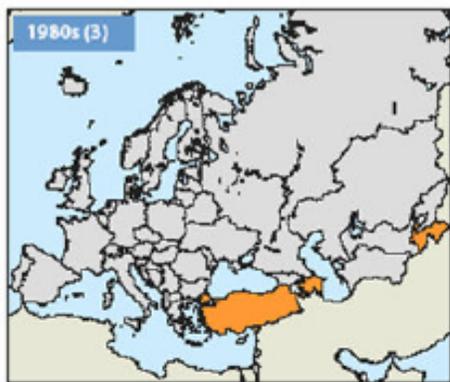
Risk of reappearance of autochthonous malaria depends on:

- presence and abundance of local malaria vectors in Europe
- introduction (or maintenance) of malaria parasites
- contact between parasites, human beings and potential vectors

Objective of Eden is, after analysis of historical and current data, to assess how climatic, environmental and socio-economic changes in Europe are likely to modify malaria risk within the coming years.



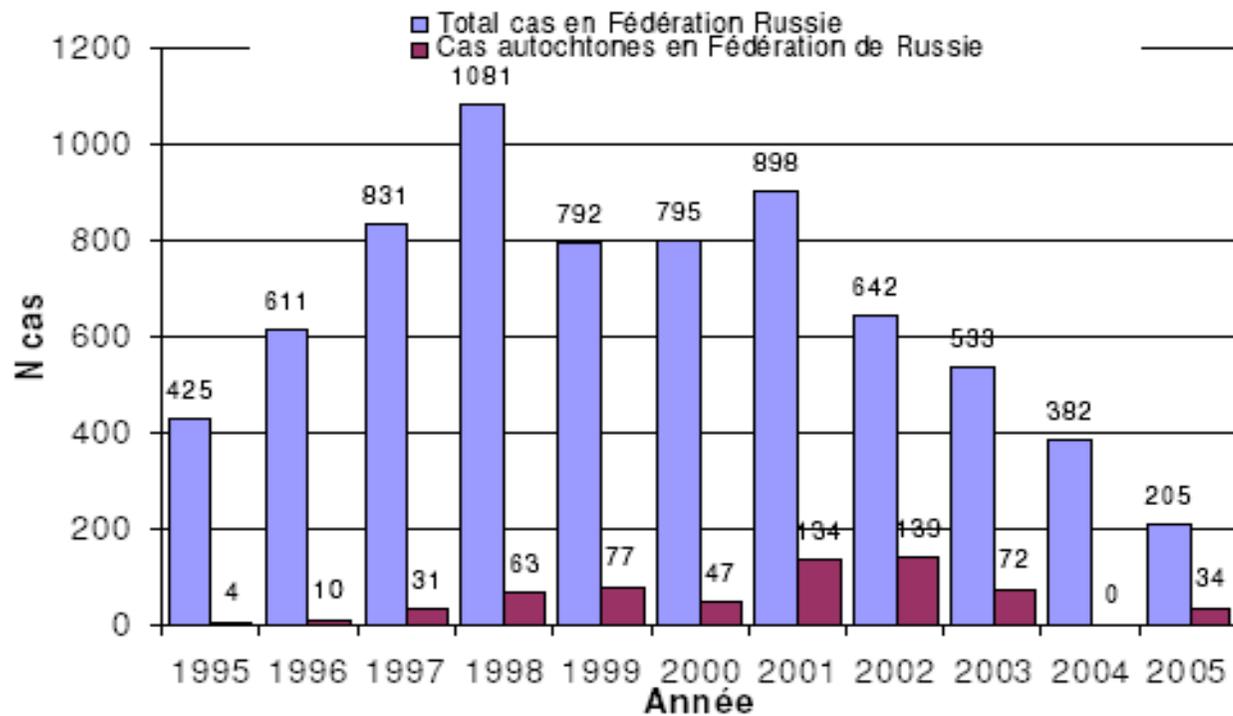
Figure 2: Nombre de pays de la zone OMS Europe affectés par le paludisme, années 1980-200 (source: OMS Europe)



■ Pays affectés par le paludisme

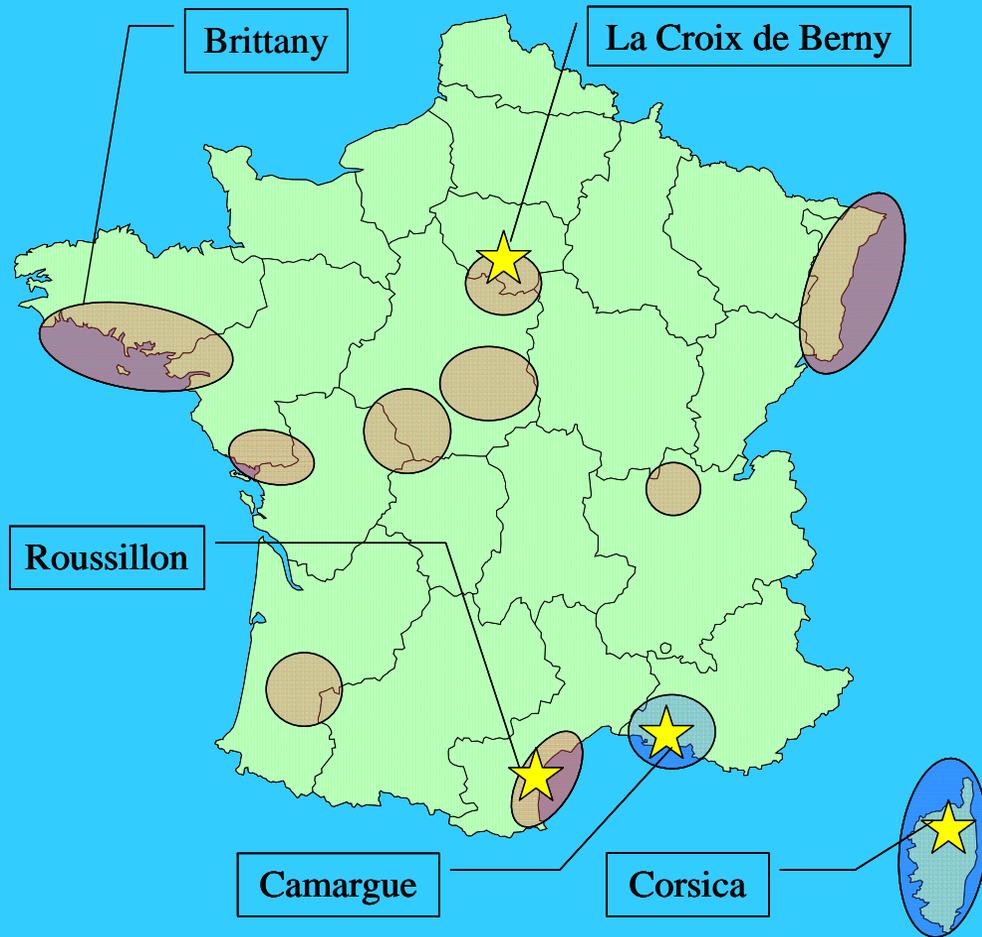
Autochthonous and imported malaria in Eastern Europe

Figure 3: Cas de paludisme (total et autochtone) déclarés par la Fédération de Russie, 1995-2005 (source: OMS).



*Pas de données disponibles pour 2004

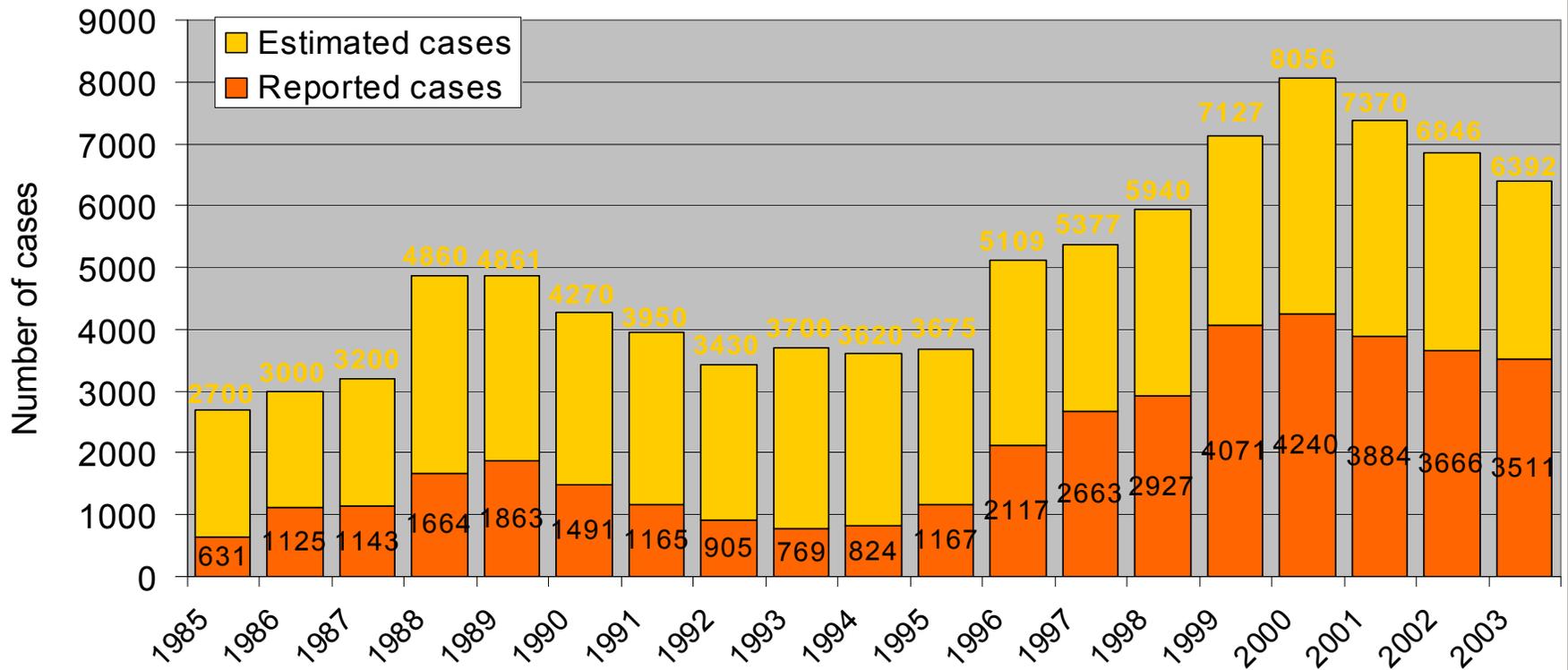
FRANCE



Potential malaria vectors :
Anopheles maculipennis
An. atroparvus
An. melanoon
An. algeriensis
An. hyrcanus
An. plumbeus

- Malaria endemic region in 19th century
- Malaria region before 2nd world war
- ★ Last malaria outbreaks in France

Number of malaria cases imported in France, 1985-2003



MALARIA IN TURKEY

	2001	2002	2003	2004	2005
Indigenous	7,762	7,337	6,379	3,824	1,522
Resurgence	44	14	22	38	31
Imported	1,771	2,851	2,620	1,351	522
Foreigner	1,234	19	197	86	6
Unknown	1	3	4	3	3
Total cases	10,812	10,224	9,222	5,302	2,084

Annual number of malaria cases in Turkey

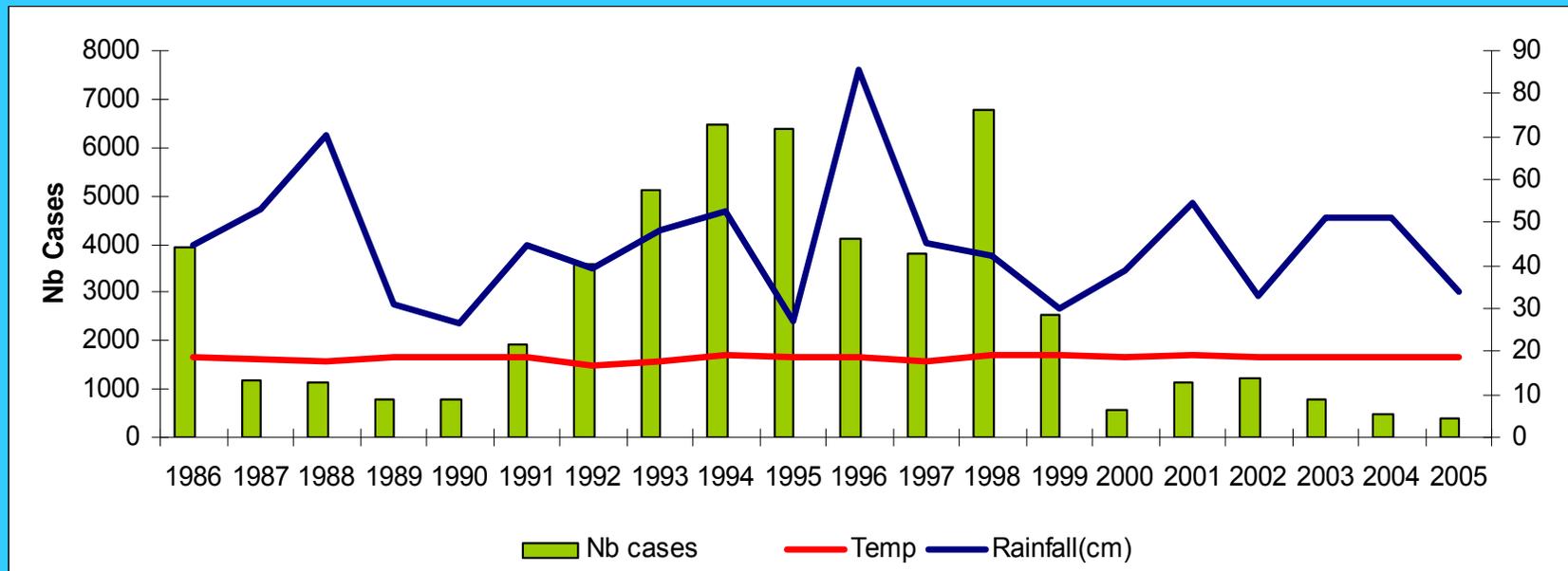


Annual total malaria case numbers and their distribution through towns in Sanliurfa (the data of Sanliurfa Malaria Control Department)

Years	Centre	Akcakale	Birecik	Bozova	Ceylanpinar	Halfeti	Harran	Hilvan	Suruc	Viransehir	Siverek	Total
1981	1849	158	388	290				384	532	493	1991	6085
1982	2724	198	642	381				286	684	953	2013	7881
1983	1715	194	276	1105				579	610	183	100	4762
1984	889	121	272	819	22	103		273	174	142	106	2921
1985	1283	88	302	202	30	146		162	792	263	213	3481
1986	1594	204	186	262	31	201		143	765	243	290	3919
1987	319	118	153	32	4	34		34	68	82	327	1171
1988	233	50	270	8	7	26		36	40	89	357	1116
1989	171	42	147	4	12	9		16	26	73	268	768
1990	132	5	344	4	19	5		3	20	81	173	786
1991	223	7	971	10	8	10		11	23	90	587	1940
1992	252	9	911	6	11	22	0	31	25	359	1952	3578
1993	418	5	411	7	9	24	8	41	40	1012	3151	5126
1994	768	12	330	12	22	26	11	33	51	1371	3847	6483
1995	998	11	299	13	18	36	12	63	74	1643	3210	6377
1996	674	13	136	6	20	29	13	38	158	1224	1792	4103
1997	492	5	55	6	15	2	5	30	103	1266	1819	3798
1998	419	4	13	3	81	0	10	99	83	1409	4656	6777
1999	219	1	3	2	80	0	1	66	48	480	1642	2542
2000	37	0	2	0	5	0	0	6	7	115	403	575
2001	41	0	30	0	346	0	1	7	4	159	529	1117
2002	35	0	36	0	121	0	0	3	5	54	959	1213
2003	36	3	21	0	50	0	0	4	6	29	634	783
2004	23	0	19	0	17	0	0	2	4	18	397	480
2005	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	78	390
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85

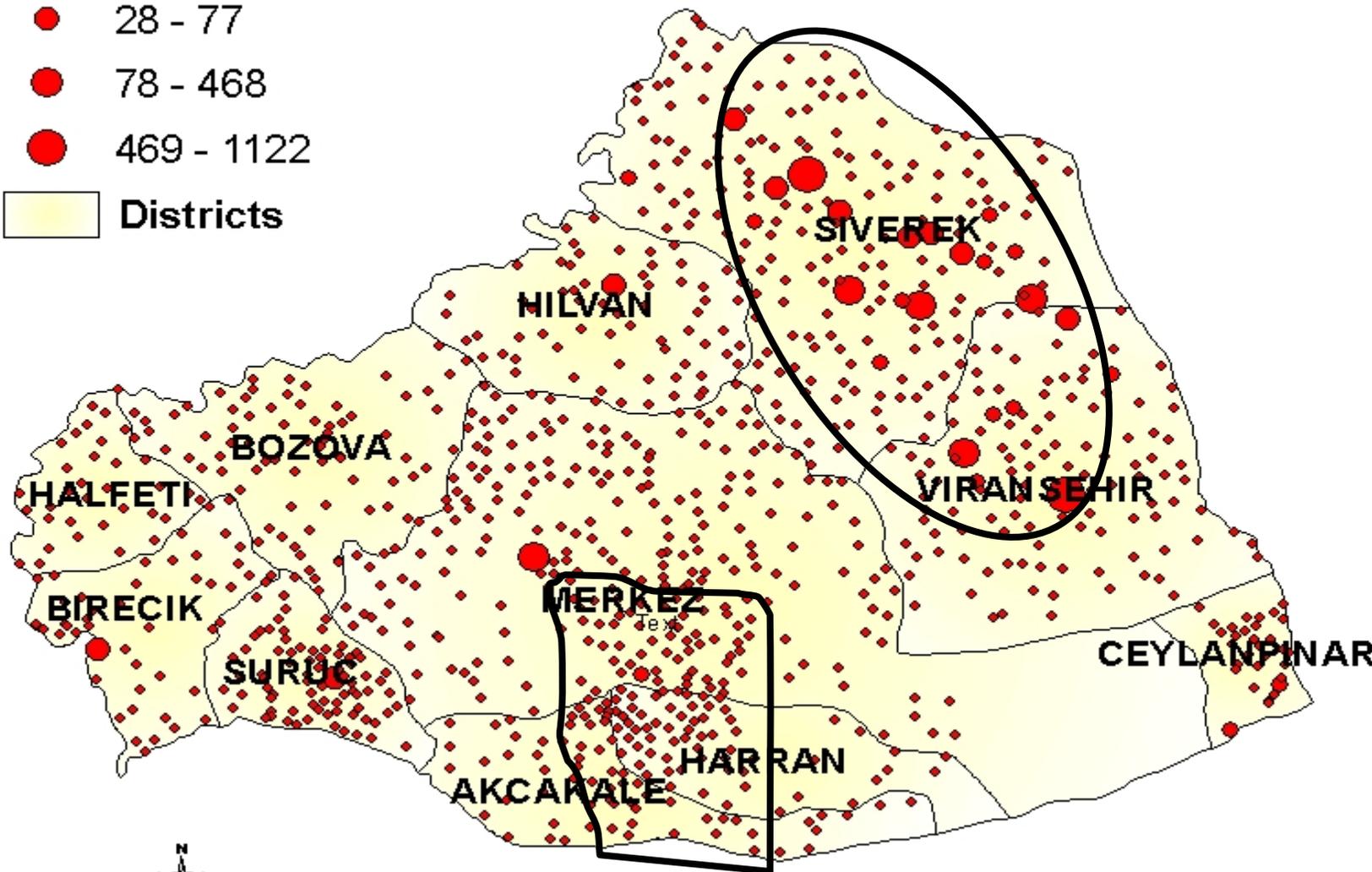
(to September)

Malaria in Sanliurfa region (1.3 million inhabitants)

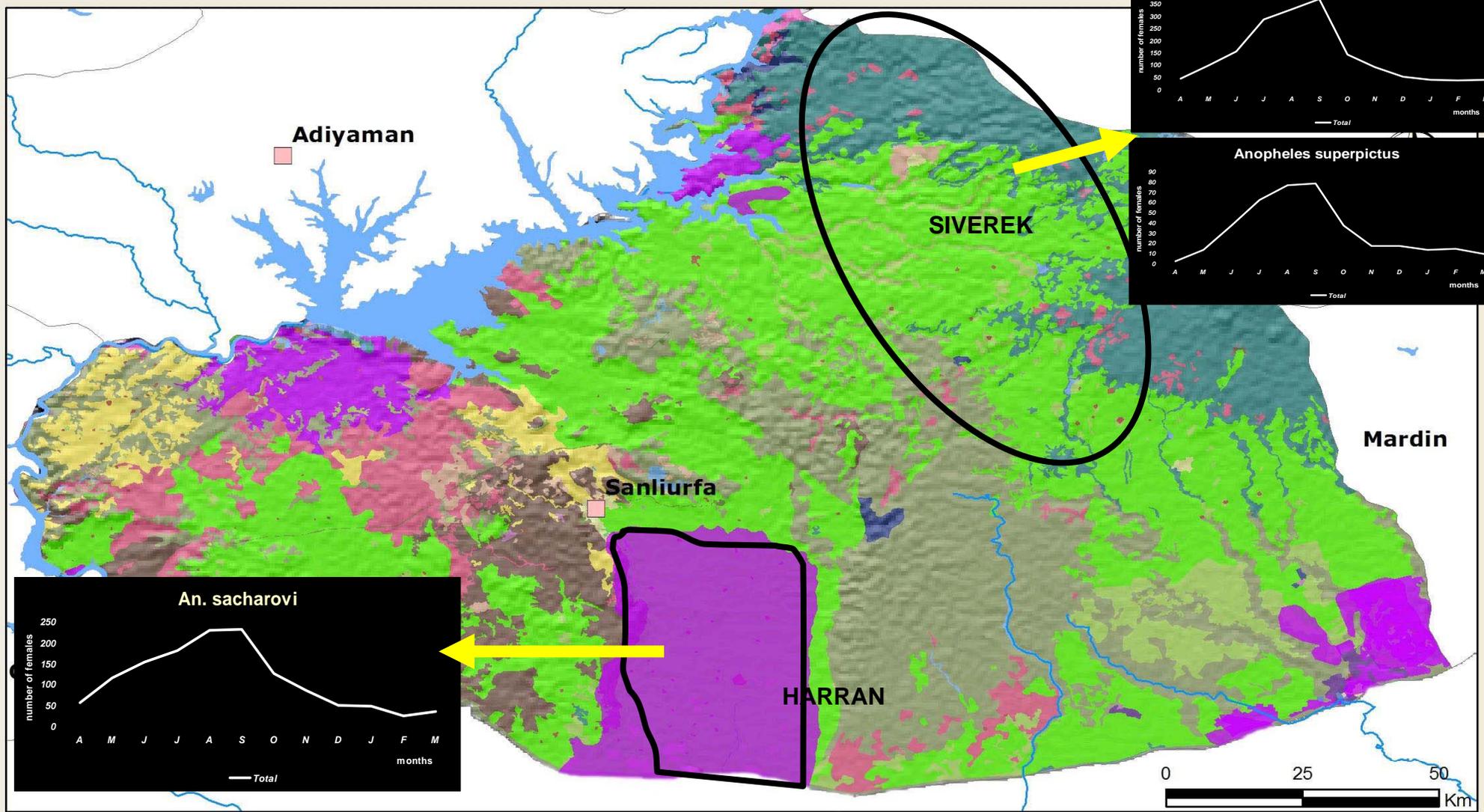


Average annual number of malaria cases between 1995 and 2000

- 0 - 8
- 9 - 27
- 28 - 77
- 78 - 468
- 469 - 1122
- Districts



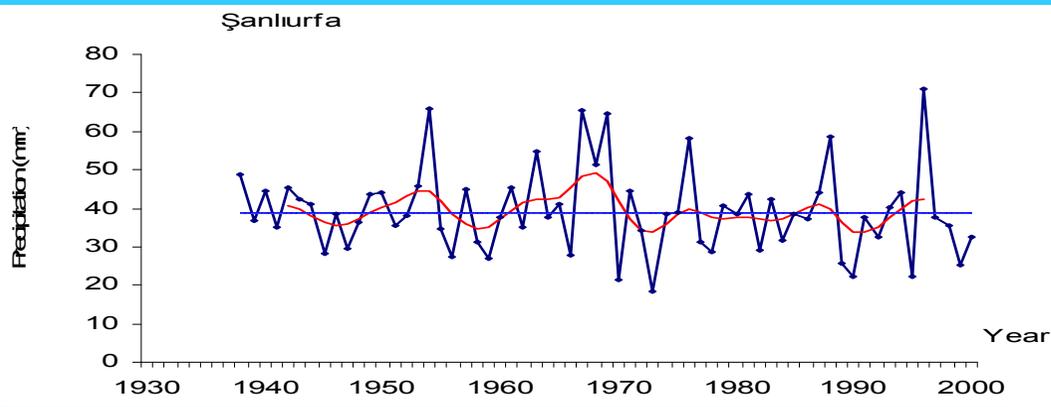
Total : 24 000 cases



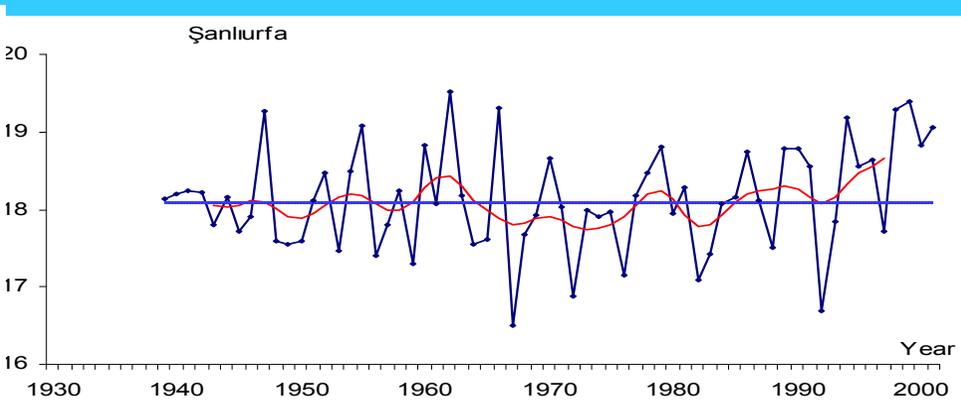
Landuse Classes

Swampy Land	Scrubby	Mixed Agricultural Areas	Sandy Areas	Continious Urban Areas
Rocks	Wide Leafed Forests	Discontinious Urban Areas	Infrequent Plant Areas	Watered Agricultural Areas
Natural Vegetation	Airport	Mining Areas	Water Bodies	Vineyard
Pasture Grass	Needle Leafed Forests	Grassland	Water Ways	Green Urban Ares
Industrial Places	Construction Sites	Fruit Garden	Nonwatered Agriculture Areas	Olive Gardens

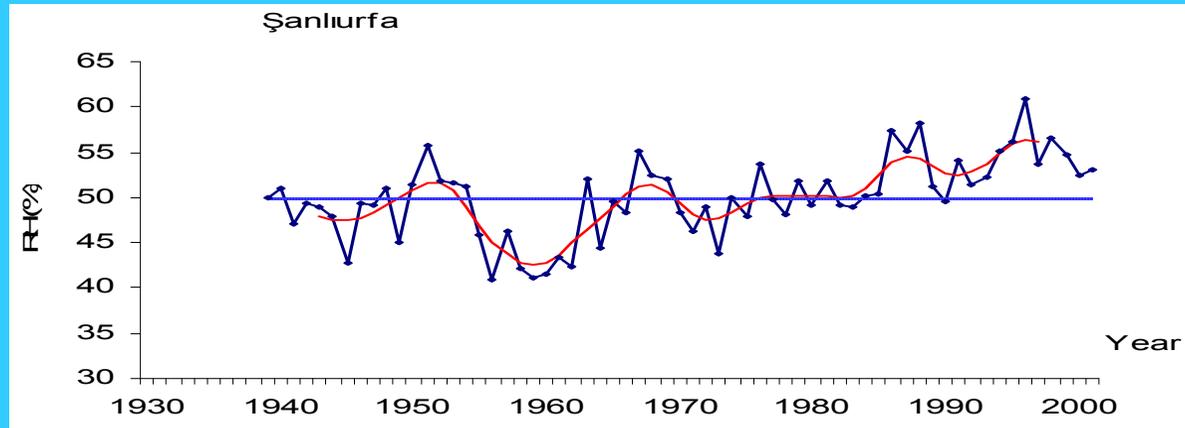




Variation of yearly precipitation



Variation of yearly mean temperature



Variation of yearly relative humidity

Climatic variations

Why such an increase of malaria since 1991 in these 2 Turkish areas ?

2 different patterns :

(1) **Siverek** region in the mountains (*An. superpictus* and *An. sacharovi*).

In this area malaria is mainly related to **low access to health centers**, and treatments, probably not to environment or climate changes.

Vector capacity may increase if temperature increases (more mosquitoes, shorter sporogonic cycle of *Plasmodium*).

Suspected climate changes must be carefully documented.

(2) **South region** is a new irrigated area 300 m asl (*An. sacharovi*).

In this area malaria risk is mainly related to **environmental modifications and new irrigated sites**.

Future expected changes include expansion of irrigated area (more breeding sites and hygrometry increase) and importation of *Plasmodium* parasite including *P. falciparum* from Syria.

However in this area recording and treatment of malaria cases are more efficient.



Malaria risk depends on many factors.

Relative importance of climate, environment and human factors (including health care and economy) in malaria risk variation depends on locations and must be locally documented

Quelles relations entre climat et vecteurs du paludisme ?

Capacité vectorielle des populations

R0 = TAUX DE REPRODUCTION DE BASE

Nombre de nouveaux cas attendus à partir d'un cas

CAPACITE VECTORIELLE

Fct GENETIQUES
Compétence vectorielle

HOMME

$$R_0 : \frac{ma \cdot a \cdot p^n}{-\ln \cdot p} \times b \times \frac{1}{r}$$

- 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)

CAPACITE VECTORIELLE

$$CV : \frac{ma \cdot a \cdot p^n}{-\ln. p}$$

- ma :** taux d 'agressivité (Nb piqûres / 24h)
a : Nb repas pris sur homme / 24h par un anophèle
p : taux quotidien de survie d 'une population
n : durée du cycle extrinsèque du parasite

TOUTES CES VARIABLES DEPENDENT DU CLIMAT (et de l'environnement) :

- ma :** densité : température, pluies, vent
a : présence des hommes vs bétail (si pâturage bétail en dehors du village)
p : température, hygrométrie
n : température

LE FUTUR : quelques pistes

Connaissance de l'épidémiologie :

Complexes d'espèces et structuration génétique des populations

Phylogénie des vecteurs

Interaction Parasites (virus) – hôtes – vecteurs :

génomique, post génomique, protéomique, co-évolution

Niveau et saisonnalité de la transmission

La lutte anti vectorielle contre la prémunition ????

Amélioration des méthodes de lutte anti vectorielle existantes

facteurs sociologiques

Nouvelles méthodes de lutte anti vectorielle :

lutte biologique

lutte chimique non agressive

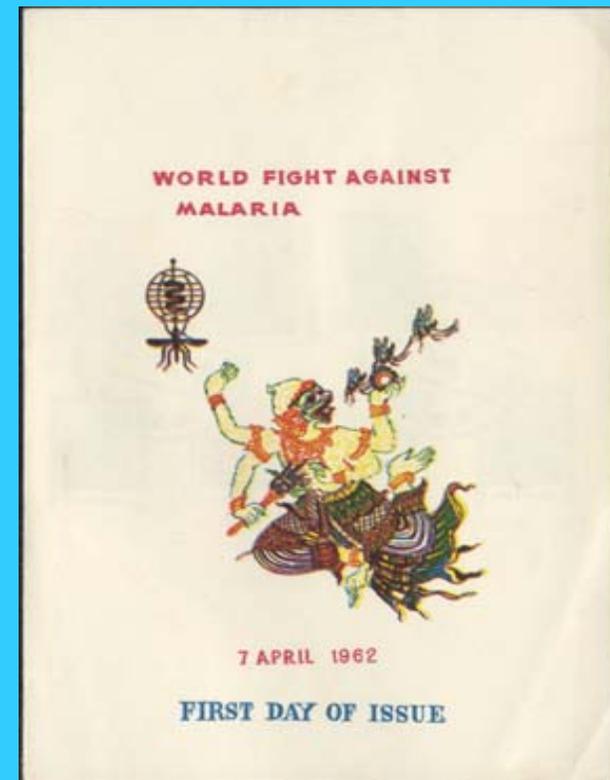
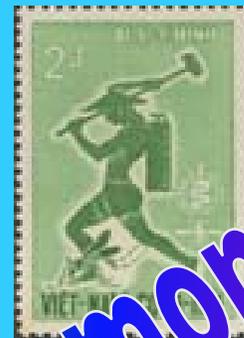
génétique ... les moustiques transgéniques

Quels gènes ? compétence, comportement,

Comment introduire les gènes ?

Comment faire diffuser ces gènes dans les populations naturelles ?

Quels risques ?



Le paludisme : un problème mondial