

Introduction de *Toxorhynchites (Toxorhynchites) amboinensis* (Doleschall, 1857) (Diptera, Culicidae) en Polynésie Française ⁽¹⁾

François RIVIÈRE (*)
Gaston PICHON (*)
Jacques DUVAL (*)
Rémi THIREL (**)
Alain TOUDIC (*)

RÉSUMÉ

Le moustique prédateur *Toxorhynchites amboinensis* (Doleschall) est introduit de Tutuila (Samoas américaines) à Tahiti (Polynésie Française) dans le but de contrôler biologiquement les populations d'*Aedes* (*Stegomyia*) *polynesiensis* vecteur de la filariose de Bancroft et *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* vecteur de la dengue. En 1975, un millier de formes préimaginales de *T. amboinensis* sont récoltées dans 49 des 59 agglomérations de l'île de Tutuila. Des observations sur la biologie dans la nature du moustique prédateur sont notées. Du fait de conditions écologiques très comparables, *T. amboinensis* est ensuite élevé de façon extensive à l'insectarium de Paëa à Tahiti. Depuis, environ 50 000 adultes ont été lâchés régulièrement à Tahiti, un lâcher de 100 adultes est réalisé dans l'île de Moorea, 300 à Maïao ; 4 000 œufs sont transportés à Mangareva, île principale de l'archipel des Gambier.

Les études entomologiques actuelles montrent que l'espèce s'est parfaitement adaptée aux biotopes des îles hautes de Polynésie Française. Un équilibre proie prédateur s instaure rapidement. Les populations des *Aedes* proies restent encore suffisamment importantes pour que la transmission de la filariose et des épidémies de dengue se perpétuent. Seuls des lâchers « inondatifs » de *T. amboinensis* élevés en masse de façon industrielle permettront de contrôler efficacement les espèces vectrices visées.

MOTS-CLÉS : *Culicidae* - Prédateurs - Biologie - Élevage - Lutte biologique - Polynésie.

ABSTRACT

INTRODUCTION OF *TOXORHYNCHITES (TOXORHYNCHITES) AMBOINENSIS* (DOLESCHALL, 1857) (DIPTERA, CULICIDAE) IN FRENCH POLYNESIA.

The giant predatory mosquito *Toxorhynchites amboinensis* (Doleschall) is introduced from Tutuila (American Samoa) to Tahiti (French Polynesia) for biological control of *Aedes* (*Stegomyia*) *polynesiensis*, vector of human filariasis and *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti*, vector of dengue fever. Predatory mosquitoes are collected in 1975 in villages of the Island of Tutuila. Some bionomic characteristics are observed. Then *T. amboinensis* is reared in laboratory in Tahiti. Till now 50 000 adults have been released in Tahiti, and in neighbouring islands. Entomological studies show that it is now well established in Tahiti and Moorea and perhaps, in Maïao and Mangareva.

KEY WORDS : *Culicidae* - Predatory - Biology - Breeding - Biological control - Polynesia.

* Entomologistes médicaux ORSTOM - Adresse : IRMLM, B. P. 30, Papeete (Tahiti).

** Agent d'entomologie de l'IRMLM, B. P. 30, Papeete (Tahiti).

(1) Travail effectué à l'Institut de Recherches Médicales « Louis Malarde », B. P. N° 30, Papeete (Tahiti). Directeur : Docteur J. Laigret.

1. INTRODUCTION

Les larves des moustiques du genre *Toxorhynchites* Theobald, sont prédatrices des larves de *Culicidae* qui vivent dans les mêmes gîtes larvaires qu'elles, en particulier des larves des *Aedes* sous-genre *Stegomyia* Theobald. Aussi dès la découverte de leur comportement (1901), leur introduction est préconisée dans les archipels du Pacifique Sud pour lutter contre les *Aedes* (*Stegomyia*) du complexe d'espèces *scutellaris*, vecteurs de filarioses et d'arboviroses, et contre *Aedes* (*S.*) *aegypti* Lin.

En 1929, Pemberton introduit *T. inornatus* (Walker) aux îles Hawaii. Paine (1931) réussit à implanter *T. splendens* (Wiedemann) aux îles Fidji. Bonnet et Hu (1953) tentent l'introduction encore aux îles Hawaii de *T. brevipalpis* (Theobald), puis de *T. theobaldi* (Dyar et Knab) sous le nom de *T. hypoptes* (Knab) et de *T. amboinensis* (Doleschall) sous le nom de *T. splendens*.

Batchard (*in* Peterson, 1956) procède en 1952 à des lâchers de *T. brevipalpis* aux Samoa américaines. Puis Peterson (1956) élève et introduit à Tutuila des *T. amboinensis*, sous le nom de *T. splendens*, et *T. brevipalpis*. En Polynésie Française, en 1954, Bonnet et Chapman tentent une première introduction de *T. brevipalpis* (non publié).

Les enquêtes entomologiques ultérieures montrent qu'à ce jour seul *T. amboinensis* s'est parfaitement adapté aux conditions écologiques polynésiennes, à Hawaii et aux Samoa. *T. splendens* se maintiendrait aux îles Fidji. *T. brevipalpis* survit en faible nombre dans des endroits précis aux îles Hawaii (Nagakawa, 1962) mais il a disparu de Tahiti et des Samoa américaines (Ramalingam et Belkin, 1976). *T. inornatus* et *T. theobaldi* n'ont pas pu être acclimatés (Nagakawa, 1962).

Dans le cadre du développement de nouvelles méthodes de lutte contre *Aedes* (*St.*) *polynesiensis* Marks, vecteur de la filariose à *Wuchereria bancrofti* (Cobbold) et contre *Ae.* (*St.*) *aegypti* L., vecteur de la dengue en Polynésie Française, l'un de nous (G. Pichon) décida d'introduire *T. amboinensis* de Tutuila à Tahiti.

Une mission effectuée dans l'île de Tutuila (Samoa américaines) nous permit en janvier et février 1975 de capturer plus de 1 000 formes pré-imaginales de *T. amboinensis*.

Au cours de l'année 1975-1976 une méthode d'élevage extensif en insectarium est mise au point. L'espèce est en même temps introduite dans plusieurs îles de l'Archipel de la Société et de l'Archipel des Gambier.

2. LES RÉGIONS D'ÉTUDE

Comme les îles de la Société, les îles Samoa sont situées entre le 12° et le 18° degré de latitude Sud. Le climat y est tropical, modéré par l'influence océanique des vents alizés de nord-est. Les îles des deux archipels sont

d'origine volcanique. Les îles hautes sont constituées par des cratères très érodés et affaissés. L'altitude maximum des montagnes se situe autour de 2 000 mètres. La température est plutôt constante toute l'année. Le mois le plus chaud est décembre (26° et 28°C) et le plus froid est juillet (23 à 25°C). Aux Samoa, la moyenne annuelle ne varie que de 1,3°C. A Tahiti de 2°C. L'ensoleillement varie avec les saisons. Il est plus important en saison fraîche (juin à octobre), qu'en saison humide (novembre à mars).

Les pluies se répartissent de façon inverse : elles tombent en toutes saisons mais avec un maximum très net d'intensité entre novembre et avril. Suivant la situation géographique (côte au vent – côte sous le vent) la pluviométrie annuelle varie du simple au double. Ainsi la moyenne annuelle est de 5 000 mm à Pago-Pago (Tutuila) et à Papeari (Tahiti) localités situées sur la côte Sud des îles. La moyenne n'est plus que de 2 000 mm à Papeete (Tahiti) ou à Apia (Samoa occidentale), agglomérations situées au nord.

L'humidité relative de l'air est toujours importante : dans les deux archipels, elle varie en moyenne, entre 70 à 80 % mais les maxima dépassent souvent 90 % ; les minima atteignent rarement 60 %.

Les vents océaniques sont en perpétuelle action mais de mars à octobre, ils sont plus forts et orientés de secteur sud-est. Le maximum d'intensité se situe en août.

La végétation est luxuriante du fait des conditions climatiques et pédologiques. Elle couvre même les pentes abruptes des montagnes, sauf aux endroits déboisés par l'homme. De grands arbres sont mélangés à des buissons, des herbes, des épiphytes. Au-dessus de 800 mètres, les nuages sont souvent permanents : les mousses, les fougères, les épiphytes sont très nombreux.

La faune terrestre est pauvre. Les vertébrés autres que l'homme, les animaux domestiques et les oiseaux marins, sont rares.

Les facteurs écologiques qui régissent le comportement des espèces animales sont donc très semblables à Tutuila et à Tahiti. Si la faune en arthropodes est un peu plus riche aux Samoa, les moustiques vecteurs des endémies filariennes et des épidémies de dengue sont identiques : dans les deux archipels, pour la filariose, le vecteur majeur est *Ae. polynesiensis* Marks, le vecteur de la dengue est *Ae. aegypti*. Toutefois, aux Samoa des *Aedes* du sous genre *Finlaya* et du groupe d'espèces *kochi* sont considérés comme des vecteurs accessoires de filariose (Ramalingam et Belkin, 1976).

3. RÉCOLTES DE *T. AMBOINENSIS* A TUTUILA

3.1. Méthodes de travail

Du 26 janvier au 22 février 1975, nous avons cherché systématiquement des gîtes larvaires à *Ae. polynesiensis*

sis et à *Ae. aegypti* dans toute l'île de Tutuila. 49 des 59 agglomérations de l'île ont été visitées. Dix villages situés sur la côte nord n'ont pas été explorés, car ils ne sont accessibles qu'en bateau. Dans un rayon de 30 à 50 m autour de 10 à 100 maisons, dans chaque village, les gîtes potentiels à *Aedes (Stegomyia)* sont recherchés. L'eau de chaque gîte découvert est siphonnée. Les formes préimaginales de *Toxorhynchites* sont récoltées et ramenées à l'hôpital Lindon B. Johnson de Pago-Pago où est monté notre élevage de campagne. Lorsque nous trouvons des larves d'autres *Culicidae*, leur nombre est estimé et dix d'entre elles sont prélevées pour être déterminées.

Les larves de *Toxorhynchites sp.* sont élevées individuellement dans des moules à gâteaux en aluminium de 70 millilitres. Elles sont nourries quotidiennement de larves d'*Ae. aegypti* de même stade de développement, élevées en parallèle. Les nymphes émergent dans une cage d'élevage cubique de 30 cm de côté. Pour nourrir les adultes, nous disposons dans la cage des morceaux de coton imbibés de solutions de sucre, de miel et des fleurs à calice profond rempli de miel.

3.2. Résultats

Les larves récoltées autour des maisons au cours de cette enquête appartiennent aux espèces : *Aedes (Stego-*

myia) polynesiensis Marks 1951, *Aedes (Stegomyia) aegypti* L., *Aedes (Finlaya) oceanicus* Belkin 1962, *Aedes (Aedimorphus) nocturnus* Theobald, 1903), *Culex (Culex) pipiens fatigans* (Wiedemann), 1828, *Culex (Culex) annulirostris* Skuse 1889, et *Toxorhynchites (Toxorhynchites) amboinensis* (Doleschall, 1857).

La recherche des *Toxorhynchites* est réalisée autour d'environ 600 maisons. Plus de 1 000 gîtes larvaires sont explorés. Pour 275 gîtes potentiels à *Aedes (Stegomyia)*, l'étude des peuplements culicidiens est faite (tabl. I).

En pleine saison pluvieuse, 41,1 % des gîtes favorables au développement larvaire des *Aedes (Stegomyia)* vecteurs de maladies sont colonisés par au moins une larve de *T. amboinensis*. Dans 113 des 275 gîtes étudiés, 669 *T. amboinensis* sont récoltés. C'est-à-dire une moyenne de 5,92 larves par gîte.

T. amboinensis à Tutuila colonise les pneus abandonnés, les fûts de 200 litres servant de réserves d'eau (« drum »), les trous d'arbre, les trous de rocher, les boîtes de conserve de toutes tailles, les noix de coco coupées ou rongées par les rats, les débris métalliques les plus divers (frigidaire, automobiles) ou en matière plastique (bac en polystyrène), les trous dans le béton.

Dans les gîtes larvaires où le volume d'eau est faible (pneus, boîtes de conserves, trous d'arbre...), les larves de

TABLEAU I
Nombre et fréquence des espèces de culicidés seuls ou associés
dans les différents types de gîtes prospectés en zone habitée à Tutuila (Samoa américaines).
(B.C. : boîte de conserve).

Association d'espèces culicidiennes	Nombre de gîtes larvaires dans chaque type :									Total	
	Pneus	« Drums »	B.C. petites	B.C. grandes	Trou d'arbre	Noix de cocos	Poubelle	Débris divers	Fosse septique	Nombre	%
<i>Toxorhynchites</i> seuls	72	1	3	0	—	—	—	—	—	76	27,6
<i>Toxorhynchites</i> <i>Aedes (Stegomyia)</i>	12	11	—	5	—	2	1	1	—	32	11,6
<i>Toxorhynchites</i> + <i>Culex sp.</i>	4	1	—	—	—	—	—	—	1	6	2,2
<i>Aedes</i> seuls	44	82	10	1	10	3	5	8	0	153	55,6
<i>Culex</i> seuls	1	1	2	—	—	—	2	—	1	7	2,5
Total toxo. seuls ou associés	88	12	3	5	0	2	1	1	1	113	41,1
Total culicidae sans toxo.	45	83	12	1	10	3	7	1	1	162	58,9
Total gîtes prospectés	133	95	15	6	10	5	8	2	2	275	100

T. amboinensis contrôlent bien les larves des *Culicidae* vecteurs. Mais dans les grands volumes d'eau, notamment les fûts où est stockée l'eau de pluie, nous trouvons peu de larves du prédateur et beaucoup de formes préimaginales des autres *Culicidae* : les probabilités de rencontre entre le prédateur et des proies très dispersées dans une grande masse d'eau sont faibles. Il faut noter que dans les villages des petites îles du Pacifique, les fûts et les grands réservoirs d'eau sont responsables des indices stégomyiens élevés. Toutefois nous trouvons à Pago-Pago un fût de 200 litres à l'ombre d'un manguier : il contient 96 larves de *T. amboinensis* au quatrième stade de leur développement ou à l'état de nymphes. L'eau est laiteuse et troublée par des oxydes de fer, le fond contient de nombreuses feuilles et des graviers. Il n'y a aucune larve d'autres *Culicidae*. Ceci montre que l'élevage en commun de nombreuses larves est possible et que le contrôle efficace de grands réservoirs d'eau, est réalisable.

Enfin, notons que les aisselles de feuilles d'*Aroidae* sont des gîtes larvaires à *Aedes (Finlaya) oceanicus*, systématiquement cultivés auprès de chaque habitation. Sur 700 aisselles prospectées contenant de l'eau, 293 contenaient *Ae. (F) oceanicus* mais jamais *T. amboinensis*. Cette observation infirme celle de Ramalingam et Belkin (1976).

4. COMPARAISON DES BIOTOPES FAVORABLES AUX PROIES ET AUX PRÉDATEURS À TUTUILA ET À TAHITI

Au tableau II, sont portées la nature et la fréquence relative des gîtes larvaires à *Aedes* observés en février à avril 1974 dans une commune typique de Tahiti (Paea) et en février 1975 à Tutuila. Le tableau III montre la fréquence de l'association *Aedes T. amboinensis* en fonction de la nature des gîtes larvaires à Tutuila.

TABLEAU II

Fréquence relative des différents types de gîtes favorables au développement larvaire d'*Aedes aegypti* et d'*Aedes polynesiensis* à Tutuila (1975) et à Tahiti (1974).

Gîtes larvaires à <i>Aedes</i>			
Tutuila	%	Tahiti	%
1. Pneus	48,5	1. Boîtes conserves	34,6
2. Fûts	34,5	2. Pneus	16,1
3. Boîtes conserves	7,6	3. Fûts	15,7
4. Gîtes naturels	4,3	4. Poubelles	9,0
5. Poubelles	2,9	5. Gîtes naturels	6,0
6. Divers	2,2	6. Divers	18,6
<i>Total</i>	100,0	<i>Total</i>	100,0

TABLEAU III

Fréquence de l'association *Aedes - T. amboinensis* dans différents types de gîtes larvaires (Tutuila, 1975).

Gîtes larvaires d' <i>Aedes (Stegomyia)</i> contenant au moins une larve de <i>Toxorhynchites amboinensis</i>	
1. Pneus	61,2 %
2. Boîtes de conserves	38,1 %
3. Fûts	12,6 %
4. Gîtes naturels	13,3 %
5. Poubelles en plastique	12,4 %
6. Gîtes divers	0,1 %

Ces tableaux appellent quelques remarques : les fûts, gîtes importants à Tutuila où ils servent encore à récolter et à conserver l'eau de pluie pour usage domestique, jouent un rôle secondaire à Tahiti où l'eau courante est utilisée dans toute l'île. Par contre les boîtes de conserves, éliminées à Tutuila par un service territorial de voirie efficace, ont continué à être les gîtes les plus nombreux à Tahiti jusqu'en 1976, date de l'instauration de services de voirie municipaux.

Nous avons mal exploré les trous d'arbre et trouvé peu de noix de coco. Mais en zone urbanisée en Polynésie Française comme aux Samoa, les grands arbres et les cocotiers tendent à disparaître et ces types de gîtes ont moins d'importance qu'autrefois (Bonnet et Chapman, 1958).

Comme Ramalingam et Belkin (1976) nous constatons qu'à Tutuila, *T. brevipalpis* introduit en même temps que *T. amboinensis* par Peterson *et al.* (1956) a disparu.

En résumé, nos observations montrent qu'en l'absence de conséquence décelable ou regrettable sur l'équilibre de la faune qui aurait pu découler de l'introduction en 1955 de *T. amboinensis* à Tutuila, on peut envisager l'importation de cette espèce en Polynésie Française, où les conditions écologiques sont tout à fait comparables.

5. INTRODUCTION DE *T. AMBOINENSIS* EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

5.1. Méthodes de transport de Tutuila à Tahiti

Les larves et les nymphes de l'élevage, deux heures avant le départ des avions qui rallient directement Pago-Pago à Papeete, sont mises individuellement dans des tubes plastiques transparents de 15 ml contenant 6 ml d'eau du robinet. Les flacons sont hermétiquement fermés pour pouvoir être placés dans n'importe quelle position. La pressurisation de l'avion en vol, nécessite l'emploi de

bouchons à visser. Le mode de transport décrit par Muspratt (1951) sur papier filtre saturé d'eau a été essayé. Cette méthode entraîne une légère mortalité alors qu'elle est nulle avec la nôtre.

Les adultes issus de l'élevage sont introduits dans des cages cylindriques en toile et tulle moustiquaire de 9 cm de diamètre et 18 cm de hauteur, avec une armature de métal. Cent adultes au maximum sont introduits dans une cage. Larves et adultes sont transportés dans la cabine passagers.

5.2. L'élevage de *T. amboinensis*

5.2.1. MÉTHODES

L'élevage de *T. brevipalpis* a été décrit par Peterson (1956) et par Trpis et Gerberg en 1970. Celui de *T. rutilus septentrionalis* (Dyar et Knab) par Trimble et Corbett en 1975, de *T. rutilus rutilus* (Coquillett) par Focks *et al.* (1977) et de *T. splendens* par Furumizo *et al.* (1977).

(a) L'élevage des larves

Les larves de *Toxorhynchites* sont prédatrices des larves d'insectes qui vivent dans leurs gîtes, y compris des larves de leur propre espèce (Muspratt, 1951). L'élevage de masse de cet insecte cherche donc à éviter le cannibalisme étant donné que l'élevage individuel des larves n'est pas rentable.

Au laboratoire nous utilisons des bacs en aluminium de 40 cm × 32 cm × 7 cm contenant 3 litres d'eau. Dans ce volume d'eau, tous les jours, il est nécessaire de fournir dix proies par larve de *Toxorhynchites*. Il est mieux également de créer des lieux de refuge pour les prédateurs. A cet effet, nous utilisons soit un tapis épais de feuilles naturelles ou en plastique, soit un lit de graviers. L'idéal serait de confectionner un moulage en plastique sombre formant des alvéoles creuses, nombreuses et régulièrement réparties se plaquant au fond du bac.

Pour un élevage de masse plus économique, nous utilisons de plus grands volumes d'eau pour le même nombre de larves de *Toxorhynchites* : soit des bacs en fer galvanisé de 1,00 × 0,50 × 0,16 m, soit des demi-fûts métalliques de 200 litres destinés au transport de l'essence (drums). Ces bacs et ces fûts sont disposés à l'extérieur du laboratoire, à l'ombre de grands arbres. Une moitié de palme de cocotier est immergée; elle crée des gîtes de refuge pour les prédateurs et donne la nourriture des proies. Leurs folioles sont attachées à un long stipe et ainsi sont faciles à manipuler. Le plus grand volume d'eau d'élevage (60 à 80 litres) permet d'économiser la nourriture. Dix larves d'*Aedes* pour une larve de *Toxorhynchites* sont suffisantes pour 48 heures. En extérieur, des moustiques sauvages apportent naturellement des proies supplémentaires. Dans ces récipients enfin nous récoltons tous les matins, les pontes de *C.p. fatigans* utiles aux larves néonates de *T. amboinensis*. La récolte des *Toxorhynchites* se fait dès que la première nymphe appa-

rait en siphonnant larves et eau à l'aide d'un tuyau dans un tamis à grosse maille.

Au premier jour de l'élevage nous introduisons ensemble dans l'eau les jeunes larves de *T. amboinensis*, des jeunes larves et de la nourriture (biscuit à souris + levure de boulanger) pour les larves de *Culicidae*-proie.

(b) L'élevage des moustiques adultes

Dans notre insectarium, à Tahiti, aucun système de climatisation n'est nécessaire pour élever les moustiques tropicaux. La température oscille entre 20° et 23° en saison froide et 24° et 26° en saison chaude. L'humidité relative entre 70 et 90 %. La photopériode est naturelle. Soixante quinze femelles et soixante quinze mâles de *T. amboinensis* sont introduits dans les cages cubiques de 30 centimètres de côté (tabl. IV). Pour leur alimentation, deux morceaux de coton hydrophile, l'un imbibé d'une solution à 10 % de miel local, l'autre d'une solution à 10 % de sucre de canne, sont offerts aux insectes dans deux cupules. Le coton et la cupule sont recouverts d'un grillage moustiquaire plastifié, sinon les moustiques maculent leurs tarses de sucre qui alors collent aux parois de la cage. Ceci est cause d'une importante mortalité.

TABLEAU IV
Productivité en œufs de *T. amboinensis*
en fonction de la densité des adultes par cage.

Cage n°	Durée jours	Nombre mâles	Nombre femelles	Nombre total d'œufs récoltés	Moyenne œuf/ femelle/j
1	27	58	57	734	0,48
2	32	70	73	6 962	2,98
3	30	196	162	2 643	0,54
4	39	12	21	972	1,19
5	68	76	72	9 841	2,01
6	51	87	139	5 313	0,75
7	41	79	75	7 872	2,56
8	40	105	82	2 563	0,78
9	48	79	56	3 779	1,41
10	53	82	98	6 067	1,17
11	19	33	55	355	0,34
12	18	32	36	517	0,80
13	25	43	66	1 174	0,71

Le développement des moisissures sur les solutions est létal pour les adultes de *T. amboinensis*. C'est pourquoi les cotons sont changés deux fois par semaine.

L'accouplement se fait naturellement dans les cages d'élevage.

Comme site d'oviposition, un ou deux pondoirs pièges de type O.M.S. sont placés dans la cage. La forme et la couleur noire de ces pondoirs sont plus attractifs que les bambous et les bols émaillés.

Le pondoir doit être pratiquement rempli d'eau. En effet, les femelles pour pondre effectuent à 2 cm au-dessus de la surface de l'eau un vol puissant, balancé d'avant en arrière, évoquant le mouvement d'un pendule, au cours duquel elles lâchent un à un leurs œufs; si le pondoir n'est pas bien plein, lorsque plusieurs femelles effectuent ensemble ce mouvement, elles se gênent et se télescopent, autour de l'ouverture du pondoir. Beaucoup sont ainsi précipitées dans l'eau et s'y noient.

5.2.2. RÉSULTATS

(a) *L'incubation et l'éclosion des œufs*

Les œufs de *T. amboinensis* sont ovales, volumineux et bien visibles à l'œil nu dans la nature : ils sont très blancs et se tiennent sur la surface noire de l'eau. L'exochorion est très hydrofuge. Le moindre souffle d'air fait glisser l'œuf à la surface de l'eau et rebondir sur les obstacles comme une balle de caoutchouc.

Dans notre laboratoire, le développement embryonnaire dure 45 à 48 heures. Les œufs sont donc récoltés tous les deux jours à l'aide d'une cuillère à soupe ronde. La ponte moyenne d'une cage de 150 adultes est de 100 à 250 œufs par jour.

Aussi en pratique la ponte d'une cage est ramassée tous les deux jours. Les œufs sont placés dans un bol émaillé dans 500 ml d'eau. Immédiatement six pontes en barquette de *Culex pipiens fatigans*, pondues depuis 20 à 40 heures, sont introduites dans le bol d'élevage. Comme l'incubation des œufs de *Culex pipiens fatigans* en Polynésie dure 36 à 40 heures à 26°C, les éclosions des œufs du prédateur et les *Culex*-proies sont synchrones.

(b) *L'élevage des formes préimaginales*

Pour la larve de *T. amboinensis*, seul un objet très proche animé d'un mouvement déclenche le réflexe de préhension. Refusant toute matière inerte, elles sont incapables de saisir les petits crustacés des genres *Artemia salina*, *Cyclops sp.* essayés. Dans la nature les larves de *Toxorhynchites* à Tahiti se nourrissent occasionnellement des larves de *Chironomus samoensis* Edwards qui vivent dans leurs gîtes larvaires. A ce jour, nous les nourrissons exclusivement au laboratoire avec des larves vivantes de *Culicidae*. Nous fournissons aux *T. amboinensis* néonates des jeunes de *Culex pipiens fatigans* car au cours des premières 48 heures de leur vie mobile, les deux espèces ont un comportement comparable. En effet à la différence de *Ae. aegypti* et *Ae. polynesiensis*, les larves néonates de *C.p. fatigans* restent à la surface de l'eau comme celles des *Toxorhynchites*. Le contact proie-prédateur est donc plus étroit. Le cannibalisme, habituel chez les jeunes larves de *T. amboinensis*, est réduit. Nourris avec uniquement *Aedes*, seulement 25 % des *Toxorhynchites* atteignent le deuxième stade larvaire, tandis qu'en utilisant les pontes de *C.p. fatigans*, cette proportion est de 50 %. Mais si nous utilisons uniquement des *C.p. fatigans*, la durée du développement larvaire de *T. amboinensis* est significati-

vement allongée d'une semaine. A partir de l'âge de 48 heures pour un développement rapide des individus, les prédateurs sont nourris soit d'un mélange de larves d'*Aedes* du sous-genre *Stegomyia* et de *C.p. fatigans*, soit uniquement avec des larves de *Aedes polynesiensis* ou *Aedes aegypti*.

Pour le rendement de l'élevage, il est nécessaire de coordonner grossièrement la taille des proies à celle des prédateurs (Tabl. V) : une larve de premier stade de *Toxorhynchites* ne peut attraper une larve d'*Aedes* au troisième ou quatrième stade de son développement (Corbet et Griffiths, 1963).

TABLEAU V
Correspondance entre la taille des *Culicidae* proies et celle du prédateur *T. amboinensis*.

Prédateur	Stade I	II	III	IV
Proie (Stade)	I	I-II-III	III-IV	II-III-IV Nymphes

(c) *Durée du développement larvaire*

Le tableau VI résume la durée moyenne des différents stades de développement des formes préimaginales en élevage individuel pour 35 larves de *T. amboinensis*, en insectarium. De la ponte à l'émergence, le cycle complet est de 34 jours en moyenne pour un élevage à la température ambiante.

TABLEAU VI
Durée moyenne de vie de chaque forme préimaginale de 35 *T. amboinensis* élevés individuellement en insectarium à Tahiti.

	Œufs	St. I	St. II	St. III	St. IV	Nym- phe
Durée de chaque stade	2 jours	4,4	3,9	5,7	10,6	7,1
Temps depuis la ponte	2 jours	6,4	10,3	16,0	26,6	33,7

(d) *Rapports trophiques et productivité*

Au cours des 25 jours de leur vie larvaire, chacune des 35 larves de *T. amboinensis* a consommé 127 larves (126,63) de *Aedes polynesiensis* ou *Aedes aegypti* soit en moyenne 5,15 larves par jour. L'apport journalier de 10 larves par prédateur est donc largement suffisant. Ceci implique une production massive d'*Aedes aegypti*, espèce facile à élever (Fay et al., 1963) ou *Aedes polynesiensis* produits de façon satisfaisante selon la méthode décrite par Eyraud et Quelennec (1976).

Nourris pendant leurs premières 48 heures avec des larves néonates de *C. p. fatigans* puis avec des larves d'*Aedes aegypti*, les rendements de l'élevage de *T. amboinensis*, de l'œuf à l'adulte, est de 37,5 p. cent (sur 142 expériences) au laboratoire. Le rendement est de 40,2 p. cent (397 expériences) si les larves élevées en laboratoire sur *Culex* pendant leurs premières 48 heures, sont ensuite élevées en bacs placés à l'extérieur du laboratoire. Si les larves de *T. amboinensis* sont élevées uniquement avec des larves d'*Aedes* pendant tout leur développement, la productivité des élevages en laboratoire comme à l'extérieur tombe à 15,1 p. cent (227 expériences).

A partir de 200 larves de *T. amboinensis* âgées de deux jours, pour chaque récipient d'élevage, nous produisons en moyenne 114 nymphes par récipient (113,99). L'écart-type de la distribution est grand (34,25) car il nous est arrivé de récolter seulement 4 nymphes et au maximum nous avons produit 195 nymphes dans un seul bac d'élevage (78 expériences). Le rendement moyen est donc de 76 p. cent.

A partir de 150 larves de *T. amboinensis* âgées de deux jours, le rendement est plus faible: 61 p. cent ($m = 60,88$, écart-type = 19,38) dans les mêmes conditions, mais l'écart-type (19,38 pour 91 expériences) est plus réduit.

Dans la pratique, avec 10 à 15 cages d'adultes, nous produisons 2 000 à 3 000 œufs par jour. Répartis dans 100 à 140 bacs d'élevage (6 par jour), nous sommes arrivés à une production journalière optimale de 600 à 1 000 nymphes de *T. amboinensis*. 140 000 larves de proies à tous les stades de développement sont nécessaires alors pour une journée. Ceci nécessite 35 à 40 plateaux de larves d'*Aedes* et la maintenance en permanence de 15 à 20 cages de 2 000 adultes d'*Aedes aegypti* ou *Aedes polynesiensis*.

(e) Fin de la vie larvaire et nymphose

Comme Muspratt (1951), Corbet (1953), Corbet et Griffiths (1963) l'indiquent pour *T. brevipalpis*, le « killing

stage » existe chez *T. amboinensis*. Deux à trois jours avant la nymphose, la larve de quatrième stade ne se nourrit plus mais détruit très activement et avec violence toute autre forme de vie présente dans le gîte où elle se développe. Un jeu subtil de phéromones libérées dans l'eau doit réguler ce phénomène : en effet lors du « killing stage » les larves de *T. amboinensis* qui sont nées et élevées ensemble depuis leur premier jour, détruisent les larves d'espèces différentes. Elles n'éliminent alors que les formes préimaginales de leur espèce qui sont d'un âge différent.

Tous les deux jours, les nymphes qui apparaissent sont recueillies et groupées par lots de 75 individus dans des bols émaillés de 500 ml. Le sexe des nymphes peut être aisément déterminé sous une loupe binoculaire. Mais comme le sex-ratio des formes préimaginales d'un même plateau est toujours très proche ou égal à 1, deux bols contenant 75 nymphes de *T. amboinensis* sont introduits directement dans la cage d'élevage.

(f) L'élevage des adultes

En élevage individuel, la durée de vie d'une femelle de *T. amboinensis* est couramment de 63 à 64 jours. Mais lorsqu'il sont élevés en groupe, la mortalité des adultes est pratiquement constante et la moyenne pour 60 cages étudiées est de 2,56 morts par jour pendant les 30 premiers jours. Le sex-ratio (nombre de femelles sur nombre de mâles) de ces insectes morts est de 2,03 : au 40^e jour de l'élevage, les quelques femelles survivantes dans la cage sont mises dans une autre cage, les mâles, deux fois plus nombreux, sont éliminés. Par ailleurs, l'élevage individuel montre que le nombre d'œufs déposés par une femelle baisse considérablement à partir du 40^e jour de leur vie (fig. 1). Chez *T. amboinensis*, contrairement aux moustiques hématophages, les œufs ne sont pas pondus en une seule fois mais plutôt au fur et à mesure de leur maturité. La première ponte commence au quatrième jour et dure jusqu'au onzième jour après l'émergence de la femelle. Au total 90 à 95 œufs sont émis au onzième jour. Le

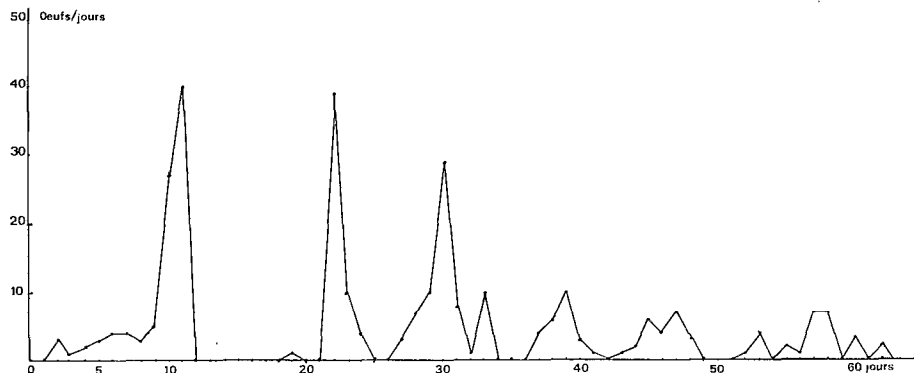


FIG. 1. — Nombre d'œufs émis par une femelle de *T. amboinensis* par jour en élevage individuel.

deuxième cycle ovarien qui produit 60 œufs en moyenne s'étend du dix-neuvième au vingt-cinquième jour. Le troisième cycle (60 œufs) du vingt-septième au trente-troisième jour, puis les intervalles de temps se télescopent, car la durée de la ponte augmente. La fécondité baisse. A partir du quarante-quatrième, la femelle pond 1 à 7 œufs tous les jours, jusqu'à sa mort.

En moyenne pour une durée de vie de 63 jours, une femelle de *T. amboinensis* pond 285 œufs (285,13).

Les adultes de *T. amboinensis* ont une activité diurne. Ils pondent particulièrement l'après-midi entre 15 h et 18 h.

5.3. Les lâchers en Polynésie Française

5.3.1. A TAHITI

Sous forme d'œufs, de larves ou de nymphes, la dissémination par l'homme est sans intérêt sauf sur des surfaces très limitées. La dissémination naturelle de l'insecte lui-même est plus intéressante. L'idéal serait que les femelles de *Toxorhynchites* se répartissent vite, de façon homogène et pondent dans tous les gîtes visés strictement au hasard.

Nous lâchons donc des adultes des deux sexes par lot de 200 à 2 000 individus âgés de 5 à 7 jours car les femelles fécondées et gravides sont prêtes à pondre. Nous choisissons des lieux à canopée dense avec de nombreux gîtes naturels en eau. En certains endroits nous ajoutons pendant cinq à six semaines des gîtes artificiellement installés et inséminés de proies : drums, pneus ou rampe de bois où sont alignés 25 demi-pneus.

A Tahiti, les lâchers d'implantation sont faits systématiquement commune par commune, quartier par quartier en zone urbaine, vallée par vallée. De plus nous avons cinq stations expérimentales : la vallée des trois cascades à Tiarei, le jardin botanique du musée Gauguin à Papeari, les grottes de Paroa et de Maraa à Paea, la vallée d'Orofero à Paea, le quartier urbain Fariipiti à Papeete. Au total le 2 mars 1978, 47 590 adultes ont été lâchés dans cette île. Les résultats vont faire l'objet d'un prochain article. Toutefois dès octobre 1976, nos études montrent que *T. amboinensis* s'est implanté partout et que ses larves colonisent 40,05 p. cent des gîtes larvaires à *Aedes polynesiensis* (noix de coco, creux d'arbres) et 42,3 p. cent des gîtes larvaires à *Aedes aegypti* (poids de pièges, pneus, boîtes de conserves) à Tahiti.

5.3.2. DANS LES ÎLES DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

En 1976, trois îles ont été choisies pour y réaliser des lâchers expérimentaux ponctuels de faibles quantités d'adultes de *T. amboinensis*.

Dans l'île de Moorea le 10 juillet 1976, 100 adultes sont lâchés dans la vallée de Opunohu. Durant la semaine du 7 juin au 15 juin 1977, une équipe a effectué une

visite systématique de dix gîtes pour dix maisons dans chaque commune de l'île et inspecté dix trous d'arbres dans chaque forêt située au fond des 23 vallées de l'île. *T. amboinensis* est présent partout à Moorea, treize mois après son introduction.

Dans l'île de Maïao, le 14 octobre 1975 un lâcher de 500 adultes est effectué dans la forêt la plus proche du village. 500 œufs sont dispersés dans les drums du village. Aucune enquête ultérieure n'a encore pu être réalisée.

Enfin dans l'île de Mangareva dans l'archipel des Gambier, nous avons transporté par avion 2 000 œufs le 16 février 1975 et 2 000 le 8 août 1975. Lors de la deuxième expédition, l'étude de 50 gîtes larvaires du village de Rikitea où avaient été dispersés les œufs dans des réserves d'eau et où les *Aedes* abondent, aucune forme préimaginale de *T. amboinensis* n'est retrouvée. De plus au cours du deuxième envoi, dans l'avion, les œufs ont coulé au fond des récipients de transport. Il est préférable de transporter les *T. amboinensis* sous forme d'adultes, de larves et de nymphes.

6. DISCUSSION

A Tutuila nos études montrent que tous les imagos et les formes préimaginaires récoltées en février 1975 appartiennent à l'espèce *Toxorhynchites (Toxorhynchites) amboinensis* (Steffan, 1968; Belkin, 1962). Introduit aux Samoa américaines en 1955 en même temps que *T. brevipalpis* sous le nom de *T. splendens* (Peterson, 1956), il semble que 20 ans après, seul *T. amboinensis* ait survécu et se soit parfaitement adapté aux conditions écologiques de l'île.

Son pouvoir de dispersion est excellent (Nakagawa, 1962). Vingt ans après des lâchers d'adultes en grande quantité en un point précis et unique de l'île (Peterson, 1956), nous trouvons *T. amboinensis* dans toutes les localités que nous visitons. Il est présent en particulier aussi bien dans des villages assez peu boisés (Fotumafuti), immédiatement au bord de la mer (Poloa) ou en région humide (Anua), sur la côte Nord ('Aoa) comme au sud ou dans la région relativement la plus sèche de l'île (Tula, Aunu'u), et même en altitude importante (A'oloau Fou).

En Polynésie Française, à Tahiti et à Moorea, *T. amboinensis* s'est parfaitement adapté et est retrouvé au cours de toutes nos enquêtes sur les gîtes larvaires. Nous le trouvons régulièrement dans nos poids de pièges installés tout autour de l'île et relevés chaque semaine.

Toutefois la présence toujours notable des moustiques vecteurs montrent que rapidement un équilibre proie-prédateur s'est établi. Les populations des moustiques hématophages ne sont pas suffisamment réduites

après l'installation de *T. amboinensis*, pour que la transmission des maladies soit interrompue. Pourtant à Tutuila les *Aedes* sont totalement détruits dans 28,8 p. cent des cas, et bien contrôlés dans 41,8 p. cent.

Il ne suffit donc pas, comme le souligne Trpis (1963), d'introduire des *Toxorhynchites* dans un territoire : il faut perturber l'équilibre proie-prédateur qui toujours va s'établir, en lâchant aux moments les plus opportuns, compte tenu des conditions climatiques et de la bio-écologie des *Aedes* cibles, un grand nombre de *Toxorhynchites*.

7. CONCLUSIONS

Pour la production de 600 à 1 000 adultes de *T. amboinensis* par jour, il faut : un local couvert (insectarium) de 20 m², une mise de fond initiale de 2 000 dollars U. S., un technicien et un manoeuvre employés à temps plein. Ainsi il est possible de produire aisément assez d'adultes de *T. amboinensis* pour l'introduire massivement dans un territoire et pour tester efficacement les modalités et les effets de lâchers de ce prédateur sur l'entomofaune de stations d'études, dans la nature.

Outre leur emploi dans les essais de lutte biologique, *Toxorhynchites amboinensis* peut être utilisé comme matériel biologique en remplacement des trop petits *Aedes aegypti*, des coûteuses cultures cellulaires ou des encombrants élevages de souris blanches dans les études arbovirologiques. Ils sont maniables, résistants, sans danger.

L'introduction simple d'un *Toxorhynchites* (méthode inoculative) conduit à sa disparition ou bien à son implantation (Steffan, 1968). Mais dans ce dernier cas, un équilibre proie-prédateur s'établit très rapidement. L'action de *T. amboinensis* à Tahiti et à Tutuila sur les populations vectrices de *Ae. aegypti* et *Ae. polynesiensis* est loin d'être négligeable : certains gîtes larvaires auparavant très productifs, ne le sont presque plus grâce à ce prédateur. Mais les populations de moustiques vecteurs restent encore assez importantes à Tahiti comme à Tutuila pour que les épidémies de dengue et l'endémie filarienne se perpétuent. Seuls des lâchers de centaines de milliers d'adultes de prédateurs sont susceptibles de détruire l'équilibre biologique. Il faudrait réduire les populations de proies à des niveaux ne permettant plus la transmission de la filariose et de la dengue.

Les modalités pour la production extensive de *T. amboinensis* sont à présent bien définies et permettent d'exporter ces agents de lutte à travers les îles et les continents.

Pour effectuer un programme de lutte biologique contre les maladies transmises par les *Aedes* du sous genre *Stegomyia* à l'aide de lâchers « inondatifs » de *Toxorhynchites*, les entomologistes devront encore améliorer les méthodes d'élevage réellement intensives, industrielles. Leur expérimentation et leur utilisation reste d'un

haut intérêt pour la plupart des territoires du Pacifique Sud où sévissent les *Aedes* vecteurs de la filariose de Bancroft et des épidémies de dengue.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Docteur Martis, directeur du L.B.J. Hospital de Tutuila et le Docteur Siliga, chef du « Public Health Service » des Samoa américaines, pour tous les moyens de travail qu'ils ont bien voulu mettre à notre disposition : voiture, local d'élevage. Nous remercions également pour l'aide précieuse et amicale que nous a apportée l'équipe du « Public Health Service » c'est-à-dire George, Salfoloi, Peni, Aulalo, Faku.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM, le 3 janvier 1980.

BIBLIOGRAPHIE

- BELKIN (J. N.), 1962. — The mosquitoes of the South Pacific. Vol. I et II. *University of California Press.* : p. 608 et p. 500.
- BONNET (D. D.) and HU (S. M. K.), 1951. — The introduction of *Toxorhynchites brevipalpis* Theobald into the Territory of Hawaii. *Proc., hawaii. entomol. Soc.*, XIV, 2 : 237-242.
- BONNET (D. D.) and CHAPMAN (H.), 1956. — The importance of mosquito breeding in tree holes with special reference to the problem in Tahiti. *Mosquito News*, 16, 4 : 301-305.
- CHAN (K. L.), 1968. — Observations on *Toxorhynchites splendens* (Wiedemann) (Diptera : Culicidae) in Singapore. *Mosquito News*, 28, 1 : 91-95.
- CORBET (P. S.), 1963. — Observations on *Toxorhynchites brevipalpis conradii* Grünb. (Diptera : Culicidae) in Uganda. *Bull. ent. Res.*, 54 : 9-17.
- CORBET (P. S.) and GRIFFITHS (A.), 1963. — Observations of the aquatic stages of two species of *Toxorhynchites* (Diptera : Culicidae) in Uganda. *Proc. Roy. Ent. A.*, 38 : 125-135.
- EYRAUD (M.) et QUELENNEC (G.), 1976. — *Aedes polynesiensis*, technique d'élevage, observations sur son comportement sexuel et sa reproduction, essai de chimio stérilisation au Theotepa. *Cahiers ORSTOM, Sér. Ent. méd. et Parasitol.*, Vol. XIV, n° 1 : 3-13.
- FAY (R. W.), 1964. — The biology and bionomics of *Aedes aegypti* in the Laboratory. *Mosquito News*, 24, 3 : 300-308.
- FOCKS (D. A.), HALL (D. W.) and SEAWRIGHT (J. A.), 1977. — Laboratory colonisation and biological observations of *Toxorhynchites rutilus rutilus*. *Mosquito News*, 37, 4 : 751-755.
- FURUMIZO (R. T.), CHEONG (W. H.) and RUDNICK (A.), 1977. — Laboratory studies of *Toxorhynchites splendens*. Part I : colonization and laboratory maintenance. *Mosquito News*, 37, 4 : 664-667.
- JACHOWSKI (L. A.), Jr., 1954. — Filariasis in American Samoa. V. Bionomics of the principal vector, *Aedes polynesiensis* Marks. *The Amer. J. of Hyg.*, 60, 2 : 186-203.

- MARKS (E. N.), 1951. — Mosquitoes from South Eastern Polynesia — *Bernice P. Bishop Mus., Occasional Papers XX*, 9 : 123-130.
- MUSPRATT (J.), 1951. — The bionomics of an African *Megarhinus* (Diptera : Culicidae) and its possible use in biological control. *Bull. ent. Res.*, 42 : 355-370.
- NAKAGAWA (P. Y.), 1962. — Status of *Toxorhynchites* in Hawaii. *Proc. Hawai. entomol. Soc.*, XVIII, 2 : 291-293.
- PAINE (R. W.), 1934. — The introduction of *Megarhinus* mosquitoes into Fidji. *Bull. ent. Res.*, XXV : 1-33.
- PETERSON (G. D.) Jr., 1956. — The introduction of mosquitoes of the Genus *Toxorhynchites* into American Samoa. *J. of econ. Ent.*, 49, 6 : 786-789.
- RAMALINGAM (S.) and BELKIN (J. N.), 1976. — The immature stages of *Aedes (F) samoanus* and the status of *Toxorhynchites* in American Samoa. *Mosquito systematics*, 8, 2 : 194-199.
- STEFFAN (W. A.), 1968. — Hawaiian *Toxorhynchites* (Diptera : Culicidae) *Proc. Hawai. entomol. Soc.*, XX, 1 : 141-155.
- THRIMBLE (R. M.) and CORBET (P. S.), 1975. — Laboratory colonization of *Toxorhynchites rutilus septentrionalis* (Diptera : Culicidae). *Ann. ent. Soc. of America*, 68, 2 : 217-219.
- TRPIS (M.) and GERBERG (E. J.), 1973. — Laboratory colonization of *Toxorhynchites brevivalpis*. *Bull. Organ. mond. Santé*, 48 : 637-638.