

I.T.R.M.L.M.
B.P. 30
Papeete - Tahiti

O.R.S.T.O.M.
G.P. 529
Papeete - Tahiti

LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE AEDES POLYNESEIENSIS
AVEC LE COPEPODE MESOCYCLOPS ASPERICORNIS

EXPERIMENTATION A RANGIROA

1 - ETUDE AVANT TRAITEMENT - TRAITEMENT

(Rapport des missions : mai 1987 et novembre 1987)

F. LARDEUX

Décembre 1987

Référence ITRMLM : 13 / 87 / ITRM / Doc-Enl.

PLAN

INTRODUCTION

1 - CONTEXTE

- 1.1 - Motivations.
- 1.2 - Données antérieures.
- 1.3 - Buts des missions.
- 1.4 - Calendrier des missions - participants.

2 - LE MILIEU

- 2.1 - L'îlot Tereia.
 - 21.1 - Situation géographique - Morphologie.
 - 21.2 - Flore et faune.
 - 21.3 - Activités humaines.
- 2.2 - Données climatiques.
 - 22.1 - Précipitations
 - 22.2 - Evaporation
 - 22.3 - Insolation - nébulosité
 - 22.4 - Vent
 - 22.5 - Conséquences sur les échantillonnages

3 - ECHANTILLONNAGES

- 3.1 - Buts des expériences - Problèmes d'échantillonnage.
- 3.2 - Choix des variables à échantillonner.
- 3.3 - Méthodes d'échantillonnage.
 - 33.1 - Terriers de crabe terrestre
 - 331.1 - Choix des zones à échantillonner
 - 331.2 - Prélèvements d'échantillons
 - 33.2 - Moustiques adultes

- 332.1 - Description
- 332.2 - Sources de biais
- 332.3 - Indices d'agressivité
- 332.4 - Etude des migrations - marquages

4 - RESULTATS

- 4.1 - Les terriers du crabe terrestre.
 - 41.1 - Cartographie de l'îlot.
 - 41.2 - Productivité des gîtes.
 - 41.3 - Données d'écologie.
 - 413.1 - Morphologie des terriers
 - 413.2 - Physico-chimie de l'eau des terriers
 - 41.4 - Conclusion : validité des échantillonnages.

- 4.2 - La population des moustiques adultes
 - 42.1 - Migrations intra-îlot
 - 42.2 - Migrations inter-îlots : isolement de la zone d'étude.
 - 42.3 - Estimation des densités des femelles agressives
 - 423.1 - Indices d'abondance
 - 423.2 - Estimation de l'abondance totale
 - 42.4 - Poids-piège.
 - 42.5 - Conclusion : validité des échantillonnages.

- 4.3 - Les opérations de traitement.
 - 43.1 - Transport des copépodes sur le site expérimental
 - 43.2 - Protocole.
 - 43.3 - Paramètres de succès

CONCLUSION

ANNEXE 1 : Calendrier et coût des missions

ANNEXE 2 : Données brutes de capture et coloration

INTRODUCTION

Dans le cadre des recherches menées en Polynésie française sur les potentialités du copépode Mesocyclops aspericornis comme agent de lutte biologique contre Aedes polynesiensis, vecteur de la dengue et de la filariose à Wuchereria bancrofti, une action de lutte expérimentale a été entreprise sur un îlot de l'atoll de Rangiroa (Archipel des Tuamotu). Le présent rapport fait état de deux missions qui ont eu lieu sur cet îlot, la première en mai 1987, la seconde en octobre-novembre 1987, afin :

- d'établir un point de référence de la "situation culicidienne" avant traitement,
- et d'effectuer le traitement de lutte.

Après avoir exposé le contexte dans lequel se sont déroulées ces études, on présente brièvement le milieu (géographie, climatologie). On expose ensuite les modalités des échantillonnages et les résultats qui concernent aussi bien les données de la dynamique culicidienne et leur validité, que le traitement de lutte.

1 - CONTEXTE

1.1 - Motivations.

Depuis les travaux de RIVIERE et THIREL (1981) et surtout de RIVIERE et al. (1987), il semblerait que le copépode Mesocyclops aspericornis puisse être utilisé en Polynésie française comme agent de lutte biologique contre Aedes polynesiensis. En effet, ces travaux ont montré l'efficacité et la pérennité d'action de ce prédateur sur les jeunes stades larvaires du moustique, réduisant de plus de 90 % leurs densités dans les gîtes de ponte (trous d'arbre, petits réservoirs d'eau, terriers du crabe terrestre Cardisoma carnifex), vieux pneus abandonnés ...). Ces expériences, concluantes à petite échelle, n'ont jamais pu être réalisées totalement et suivies sur des zones géographiques plus étendues, malgré certaines tentatives (RIVIERE et al., 1983; SECHAN et LARDEUX, 1987)

La présente étude, menée à Rangiroa, a pour but de combler cette lacune en simulant une action de lutte biologique à grande échelle. Elle devrait ainsi pouvoir déterminer de l'adéquation de Mesocyclops aspericornis comme agent prédateur anti-culicidien dans des opérations de grande envergure.

La lutte anti-vectorielle est capitale en Polynésie puisque depuis l'arrêt des traitements prophylactiques de masse, on assiste à une remontée du nombre de porteurs de microfilaires de W. bancrofti (LARDEUX et al., 1987 a).

Pour l'étude actuelle, seul A. polynesiensis, moustique inféodé aux zones rurales, est pris comme cible. C'est l'espèce

dominante dans les atolls et particulièrement sur les îlots de culture du coprah qui sont peu habités et de manière saisonnière.

La technique de lutte testée ici est l'introduction du copépode dans les gîtes de ponte du moustique. A Rangiroa, comme dans tous les atolls et îles basses de Polynésie française, la quasi totalité de ces gîtes est constituée par les terriers du crabe terrestre Cardisoma carnifex (RIVIERE et al., 1985). Aussi, l'étude entreprise à Rangiroa concerne essentiellement les relations tripartites moustique-terrier-copépode.

LARDEUX et al. (1987 a, b) ont exposé les critères de choix d'un site expérimental pour ce type d'étude et ont justifié la nécessité de travailler sur une zone isolée de toute réinvasion intempestive de moustiques adultes (notamment pour ne pas biaiser les indices de densité des femelles agressives). C'est pourquoi, ils ont axé leurs prospections de sites d'étude sur la découverte d'îlots, dont les caractéristiques (géographiques, écologiques et logistiques) sont relativement restrictives (LARDEUX et al., op. cit.).

L'îlot Tereia à Rangiroa avait déjà été utilisé comme site d'étude et de lutte expérimentale par RIVIERE (SECHAN et LARDEUX, 1987). Cet îlot n'est donc plus indemne de tout traitement puisque dès 1985, RIVIERE y avait introduit M. aspericornis. Malheureusement, les traitements entrepris alors n'ont jamais été terminés, et, depuis le départ de RIVIERE de Tahiti en 1986, il n'est plus possible d'avoir accès aux données récoltées par cet auteur (zones traitées et non traitées, indices de densité des populations des larves de moustiques et d'adultes avant traitement etc...). Il paraît donc peu raisonnable de vouloir essayer de terminer un travail dont on ne connaît pas exactement les bases de départ. Toutefois, le choix de l'îlot Tereia comme zone d'étude est né d'une double contrainte :

- le manque de crédit pour continuer des prospections de sites comme celles effectuées à Huahine (LARDEUX et al., 1987 a) ou Tikehau (LARDEUX et al., 1987 b).
- l'échec, dans la découverte de sites propices, des deux missions précédentes. (LARDEUX et al., 1987 op. cit.).

De plus, mis à part certains problèmes logistiques (accessibilité de la zone par mauvais temps), Tereia s'est montré une zone expérimentale "correcte", qui remplit la majeure partie des contraintes liées au choix d'un tel site d'étude : entre autres :

- Accessibilité de la zone (à partir de Tahiti et à partir du village principal de Rangiroa par beau temps).
- Présence de terriers de crabe et de moustiques en nombre important.
- Superficie raisonnable pour un traitement expérimental à grande échelle.

- Présence d'un point d'eau douce, nécessaire pour effectuer les traitements.
- Relative propreté de l'îlot (pas de débroussaillage préalable nécessaire).

Le seul point d'interrogation reste la méconnaissance des travaux antérieurs, effectués sur l'îlot, dans le cadre de la lutte biologique avec M. aspericornis.

L'îlot n'ayant pas été traité en entier auparavant, il a été décidé de considérer son état actuel comme point de référence. Le traitement sera repris sur tout l'îlot et l'évolution de ses effets suivie, par rapport à ce point de référence, dont on se doute qu'il se situe "en deçà" de ce qu'il aurait du être si la zone avait été "vierge".

1.2 - Données antérieures.

Quelques données fragmentaires et résultats globaux obtenus antérieurement ont été exposés dans SECHAN et LARDEUX (1987). Ces résultats, fournis pour la plupart par RIVIERE, ne peuvent malheureusement pas être utilisés comme base pour un nouveau travail expérimental, compte tenu du manque d'informations sur leurs modalités d'obtention.

Ces résultats peuvent être résumés ainsi :

- avant traitement, m.aspericornis est naturellement absent des terriers de crabe et 76 % des terriers sont occupés par A. polynesiensis.
- seulement un peu moins des 2/3 (estimation) de la superficie occupée par les terriers de crabe a été traitée, entre 1985 et 1986.
- La méthode d'inoculation des copépodes a donné un taux de réussite d'environ 50 % (50 % des terriers traités ont effectivement reçu une quantité "viable" de copépodes)
- les deux points précédents permettent donc de dire que 1/3 environ de la surface à traiter a réellement été traitée (avec succès).
- la réduction des densités des femelles agressives a été d'environ 1/3 quelques temps après le traitement, ce qui est en accord avec le fait que le copépode a eu une action prédatrice de 100% sur le 1/3 de la superficie de l'îlot correctement traitée.
- 8 mois après traitement, une étude de contrôle a donné 49 % de terriers occupés par M. aspericornis et 71 % par A. polynesiensis. Les deux espèces peuvent donc cohabiter.

- En septembre 1985 et en juin 1986, deux expériences de coloration de moustiques adultes ont permis de constater qu'il existait un certain taux (faible) de colonisation en provenance d'un îlot voisin de Tereia. Ce taux n'a malheureusement pas pu être calculé de façon correcte pour permettre d'affirmer que Tereia est une zone "quasi-isolée" (c'est à dire, au moins en apparence isolée à l'échelle temporelle de l'expérimentation).

Ces données restent très insuffisantes. D'une part, on ne sait pas exactement comment elles ont été obtenues, d'autre part, un certain "flou" existe sur les dates d'obtention de ces résultats, et enfin aucun intervalle de confiance n'est donné. De plus il n'y a aucune indication sur la manière dont ont été faits les calculs : par exemple, on ne sait pas si les pourcentages de terriers hébergeant A. polynesiensis ou M. aspericornis ont été calculés sur l'ensemble des terriers examinés ou simplement sur les seuls terriers contenant de l'eau ...

De même, les surfaces traitées n'ont jamais été reportées sur une carte et n'ont jamais été exactement estimées. On ne sait donc pas exactement quels endroits de l'îlot ont été étudiés.

Comme on l'a souligné précédemment, l'étude a donc été totalement reprise, en considérant l'état actuel de l'îlot comme point de référence. Une étude préliminaire, donnant une idée de cet état, est donc nécessaire. C'est ce qui est exposé dans ce rapport.

1.3 - Buts de l'étude

Ainsi, le but de cette étude est simple : il s'agit de décrire un état de référence, aussi bien au niveau des populations préimaginales d'Aedes polynesiensis que des populations des adultes de ce moustique, ainsi qu'une "cartographie" de base, indiquant quelles sont, dans chaque zone, les proportions de terriers colonisés par M. aspericornis ou A. polynesiensis.

A la suite de ceci, une mission peut être envisagée pour passer à la phase de traitement.

Les deux missions dont fait état ce rapport sont orientées dans ce sens.

1.4 - Calendrier des missions - Participants

Les détails concernant le calendrier, les participants et le coût de chaque mission sont donnés en annexe 1.

Première mission : elle a eu lieu du 6 au 13 mai 1987. Les participants ont été : F. LARDEUX (ORSTOM), A. TETUANUI (ITRMLM) et L. TERIITEPO (ITRMLM).

Vu le manque de temps et le personnel réduit qui a participé à cette mission, seule une "cartographie" de l'îlot et des terriers de crabe a pu être dressée.

Deuxième mission : elle a eu lieu du 18 octobre au 18 novembre 1987. Les participants ont été : F. LARDEUX (ORSTOM), M. FAARUIA (ITRMLM), H. FROGIER (ITRMLM), L. TERIITEPO (ITRMLM) et 9 personnes habitant à Rangiroa, qui ont aidé au traitement de l'îlot.

Durant cette mission, des expériences de marquage-recapture de moustiques adultes ont pu être menées, afin d'avoir une idée des densités de populations et des estimations des migrations inter-îlots. Des indices d'agressivité des femelles ont aussi été récoltés (captures de 10 mn sur appâts humains). Enfin, une grande partie de la mission a été consacrée à l'expérimentation de la méthode de lutte biologique (traitement de l'îlot).

L'étude préliminaire des terriers de crabe (1^{ère} mission) n'a pu débuter qu'en mai puisque auparavant d'autres zones d'études (plus favorables au niveau scientifique) ont été recherchées (à Huahine au mois de mars et à Tikehau au mois d'avril (LARDEUX et al., 1987 a,b))

La phase de traitement de l'îlot (2^{ème} mission) n'a pas été envisagée plus tôt dans le courant de l'année, en raison des conditions météorologiques défavorables qui règnent entre juin et et septembre. En effet, durant cette période, les risques de vents forts sont grands. La conséquence de tels vents est l'impossibilité de naviguer sur le lagon de Rangiroa (mer très agitée) et donc l'impossibilité d'atteindre Tereia.

2 - LE MILIEU

2.1 - L'îlot Tereia

21.1 - Situation géographique - Morphologie

Rangiroa est un atoll caractéristique, formé par une suite d'îlots disposés en couronne autour d'un lagon central. Les terres sont le résultat de l'accumulation de matières sédimentaires coralliennes ou coquillières disposées sur la partie interne du récif barrière qui s'est formé sur le sommet d'un volcan submergé.

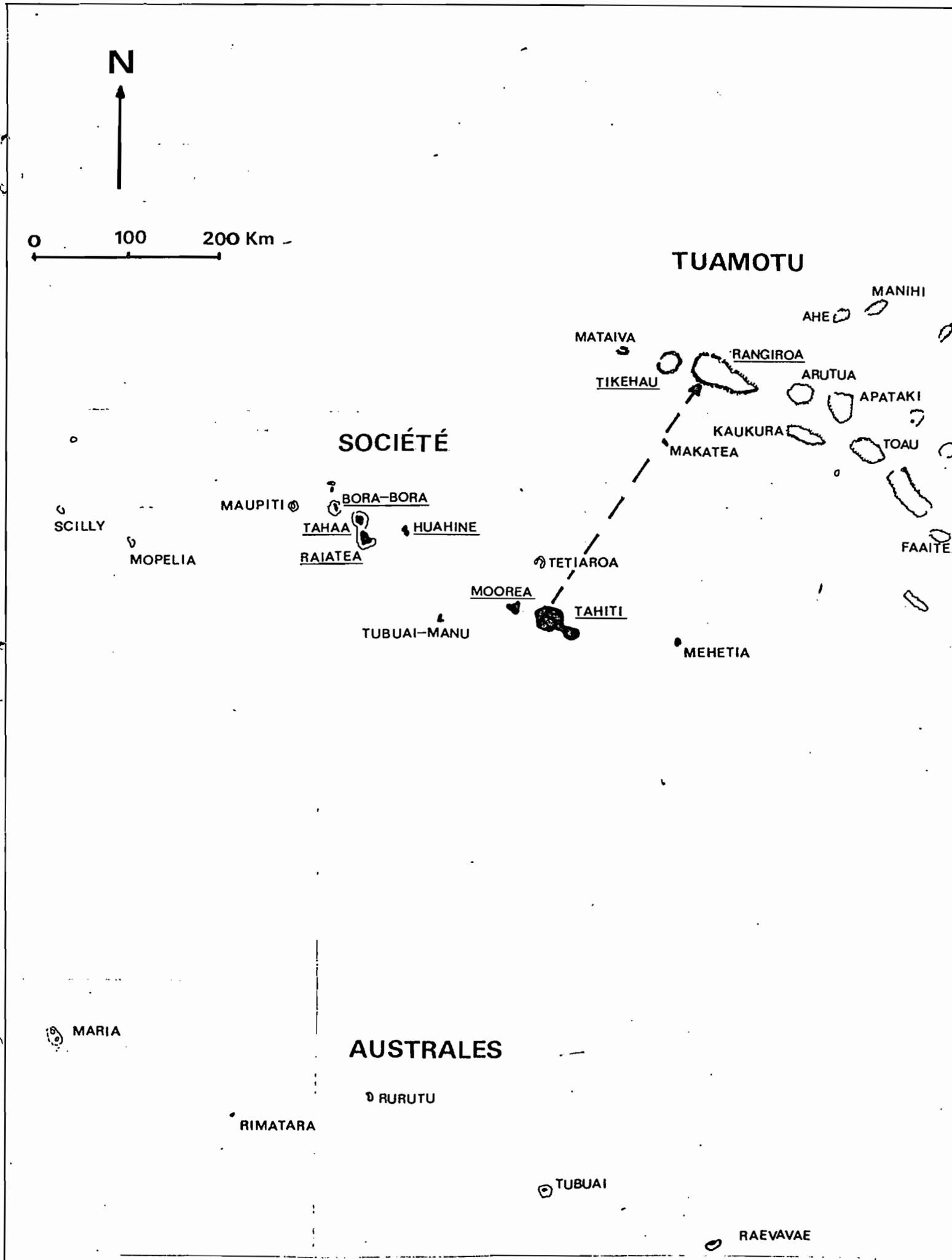
Rangiroa est situé à environ 300 km au nord-ouest de Tahiti (carte 1).

L'atoll de Rangiroa est le deuxième atoll du monde de par ses dimensions (plus de 80 km de long sur 40 de large) : L'île de Tahiti pourrait tenir toute entière à l'intérieur du lagon.

L'infrastructure aéro-portuaire de l'atoll est située sur un îlot où se trouve le village d'Avatoru. L'îlot adjacent abrite le village de Tiputa (carte 2). Ces deux localités hébergent la quasi totalité des habitants de Rangiroa. Les autres îlots (dont Tereia), exploités pour le coprah, ne sont que saisonnièrement visités.

Tereia est situé au sud-ouest d'Avatoru, à environ 25 km en ligne droite (carte 2).

Tereia est en fait un lieu-dit, correspondant à un ancien village (une dizaine d'habitations), disposées : "côté lagon" sur deux grands îlots, séparés par un "hoa" (bras de mer faisant une



Carte 1 : Situation géographique de Rangiroa par rapport à Tahiti

Longitude Ouest

147° 50'

147° 40'

147° 30'

147° 20'

147° 10'

14° 50'



0 5 10 15 20km

15°

RANGIROA
(TUAMOTU)

TEREIA

L A G O N

15° 10'

Latitude Sud

15° 20'

Carte 2 : L'atoll de Rangiroa. Situation des villages principaux (port et aéroport) et de la zone d'étude Tereia

communication lagon-océan lors de fortes marées) d'une largeur de 10 à 50 m. L'îlot le plus septentrional constitue la zone expérimentale d'étude (carte 3). Dans la suite du texte, cet îlot sera appelé Tereia, par simplification et pour continuer la dénomination de RIVIERE.

L'îlot méridional, de superficie beaucoup plus grande, peut être considéré, d'un point de vue faunistique, comme identique à Tereia. Cet îlot peut donc être une zone témoin pouvant servir à la comparaison des données récoltées avant et après traitement. Les fluctuations du niveau des populations culicidiennes observées sur Tereia pourront donc être imputées au traitement, si elles ne se retrouvent pas sur cet îlot témoin.

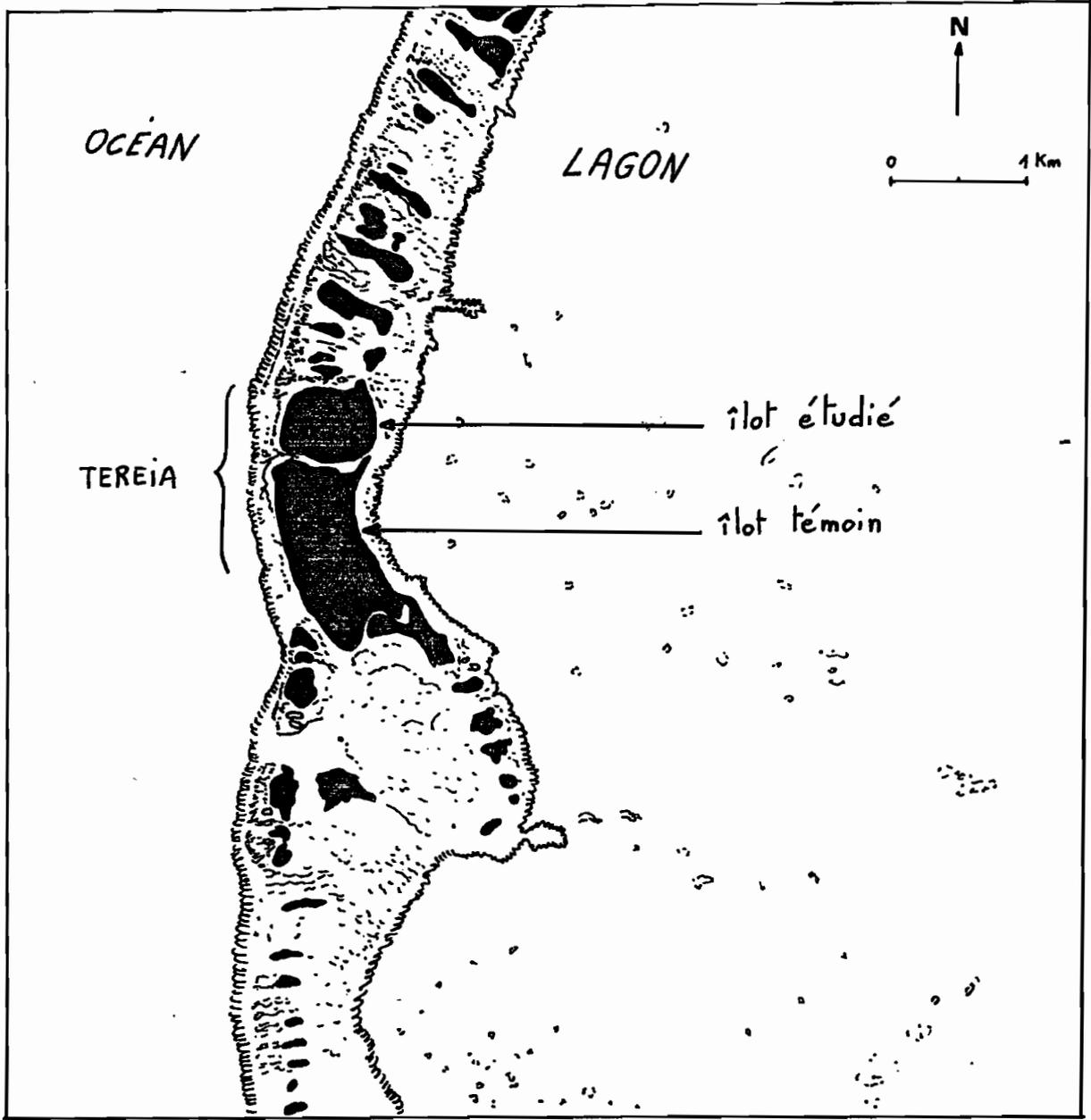
Tereia est donc un îlot de forme approximativement rectangulaire, de 500 m (façade lagon ou océan) sur 650 m. Sa superficie est d'environ 32 à 33 hectares. Sa géomorphologie correspond classiquement à un îlot d'atoll : la terre est peu surélevée par rapport au niveau de la mer (quelques mètres), légèrement inclinée dans le sens océan-lagon.

21.2 - Flore et faune

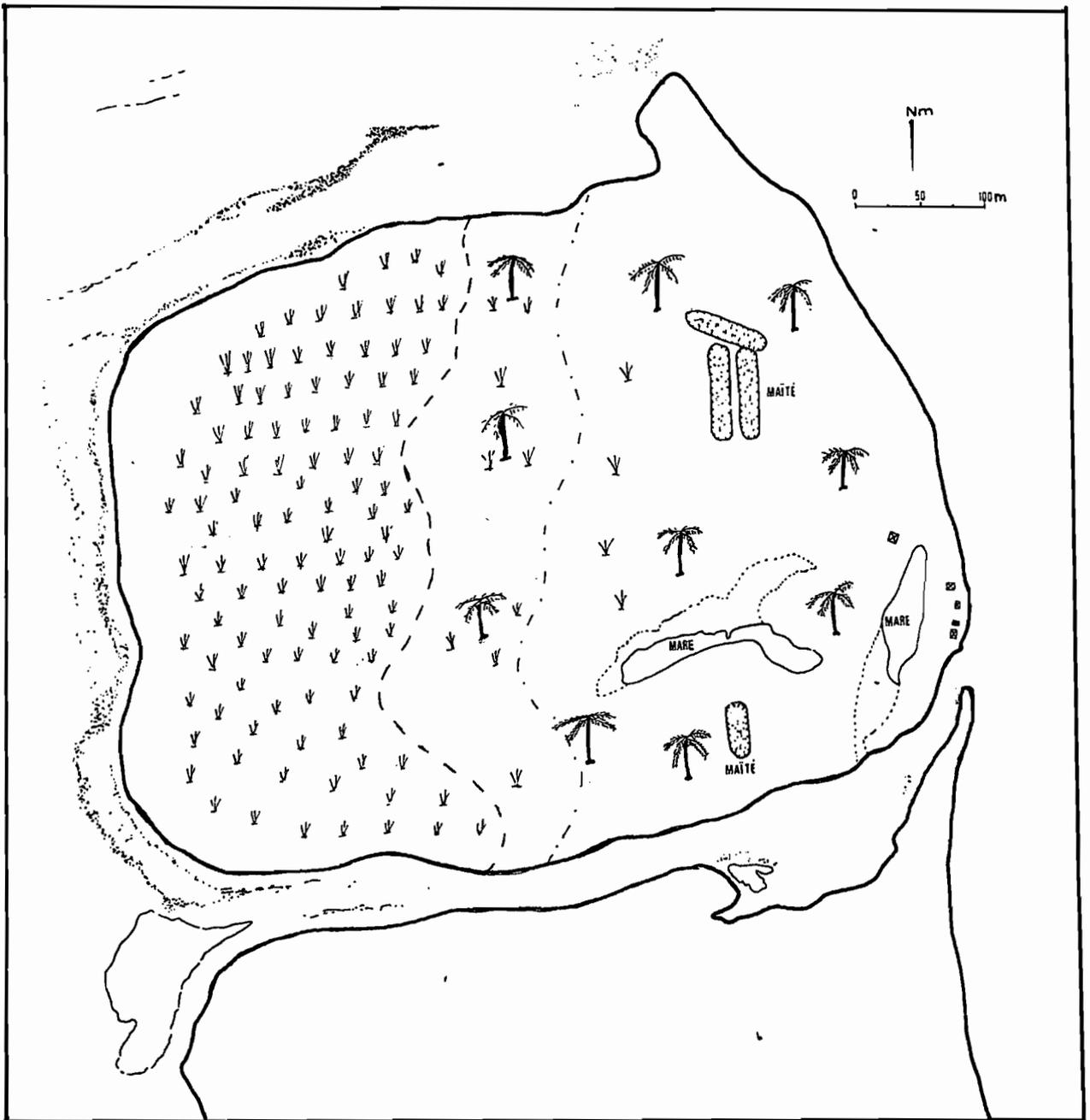
La flore et la faune de l'îlot sont les mêmes que celles que l'on découvre dans les autres atolls des Tuamotu. On pourra consulter RIVIERE (1979) par exemple, pour une analyse détaillée.

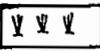
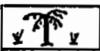
Plus simplement, et en liaison avec l'étude présentée ici, l'îlot peut être divisé en plusieurs zones (carte 4).

- une cocoteraie, encore exploitée, qui s'étend du bord du lagon jusqu'au milieu de l'îlot. Sous cette cocoteraie, la végétation est très clairsemée et est essentiellement constituée d'une "pelouse" ou par endroit d'un maquis, d'autant plus important que l'on se dirige du lagon vers l'océan. Le sol, meuble, est occupé par de nombreux terriers de crabe terrestre.
- une zone de maquis arbustif, qui forme une zone "muraille" impénétrable. Cette zone s'étend approximativement de l'océan jusqu'au milieu de l'îlot. Le sol de cette zone, fait de débris coralliens grossiers (et plus haut par rapport à la nappe phréatique que le sol de la cocoteraie), est peu favorable à l'implantation des crabes terrestres, donc à la création de gîtes de ponte productifs pour A. polynesiensis.
- des zones basses (dépressionnaires), appelées "maïté". Ce sont des anciennes zones de culture, utilisées par les Polynésiens qui séjournèrent sur l'îlot pour la récolte du coprah. Actuellement, ces zones ne sont plus fonctionnelles mais constituent des aires favorables à l'implantation des crabes terrestres (proximité de la nappe phréatique) et au développement des moustiques (terriers toujours en eau).



Carte 3 : Tereia. La zone d'étude et les îlots proches.



-  Maquis arbustif (zone haute)
-  Cocoteraie + maquis
-  Cocoteraie
-  Zones dépressionnaires (maïté)

Carte 4 : Strates morphologiques et phytosociologiques

21.3 - Activités humaines

Tercia est un îlot traditionnellement cultivé pour la récolte du coprah. Actuellement, l'exploitation a toujours cours et l'îlot est régulièrement visité à cette fin : Quelques familles (2 ou 3) y séjournent pendant environ 1 mois, et ceci tous les 4 à 6 mois. L'îlot n'est donc pas à proprement parler habité. Les habitations sont sommaires et les gîtes péri-domestiques réduits, voire inexistants en dehors des périodes de culture. Seul un grand réservoir d'eau de pluie pourrait abriter des populations préimaginales de moustiques. Les observations in situ n'ont pas révélé une telle présence.

~~2.2~~ - Données climatiques

On ne présente ici que les données climatiques directement liées à la période d'étude (mai et octobre-novembre 1987), en relation avec l'activité des moustiques et pouvant affecter les échantillonnages.

22.1 - Précipitations

- Première mission :

La figure 1 (a) représente la pluviométrie enregistrée en avril et mai 1987. On constate qu'à cette période de l'année, les pluies sont faibles (moins de 50 mm par jour au maximum, 276 mm au total en avril et 90 mm en mai). La saison est considérée comme sèche. La conséquence directe de cet état de fait est une plus grande profondeur de la nappe phréatique. Les terriers de crabe risquent donc d'être en grande majorité asséchés. Seuls ceux creusés le plus profondément ou ceux que l'on trouve dans les zones dépressionnaires (maïtés) sont susceptibles d'être en eau.

La figure 1 (b) correspond à la pluviométrie enregistrée un peu avant et pendant la période d'étude (du 25 avril au 15 mai). Les précipitations ont été insignifiantes, confirmant bien la période de sécheresse.

- Deuxième mission :

La figure 2 (a) représente les quantités de pluies tombées en octobre et novembre 1987. Les quantités sont plus importantes que précédemment : cette période de l'année correspond au début d'une saison pluvieuse. La conséquence directe est une remontée du niveau de la nappe phréatique. Ceci implique un plus grand nombre de terriers de crabe susceptibles d'être en eau et donc un plus grand nombre de gîtes de ponte potentiels pour les moustiques. De même, les zones dépressionnaires sont susceptibles d'être inondées. Un corollaire, pour le traitement expérimental, est une meilleure accessibilité des chambres inondées des terriers de crabe, donc une

PLUVIOMETRIE EN AVRIL - MAI

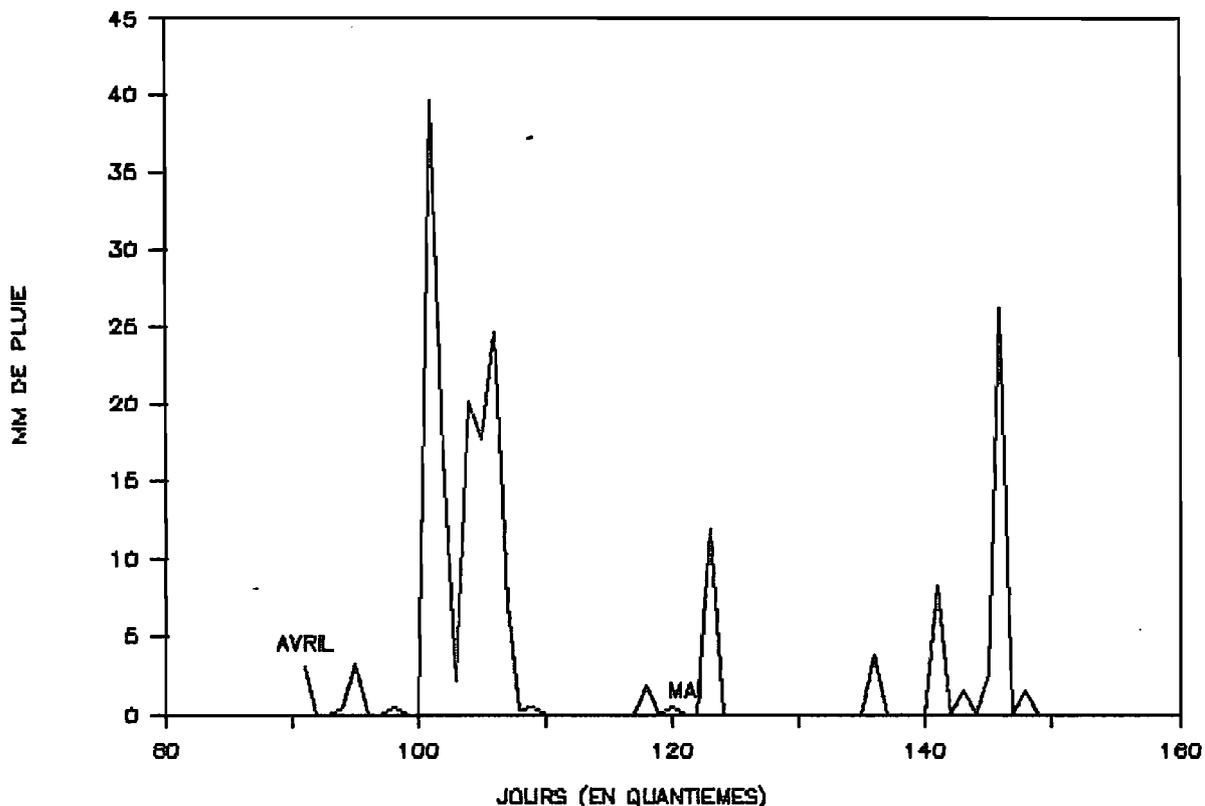


Figure 1 a : Pluviométrie enregistrée a Rangiroa en avril-mai 1987

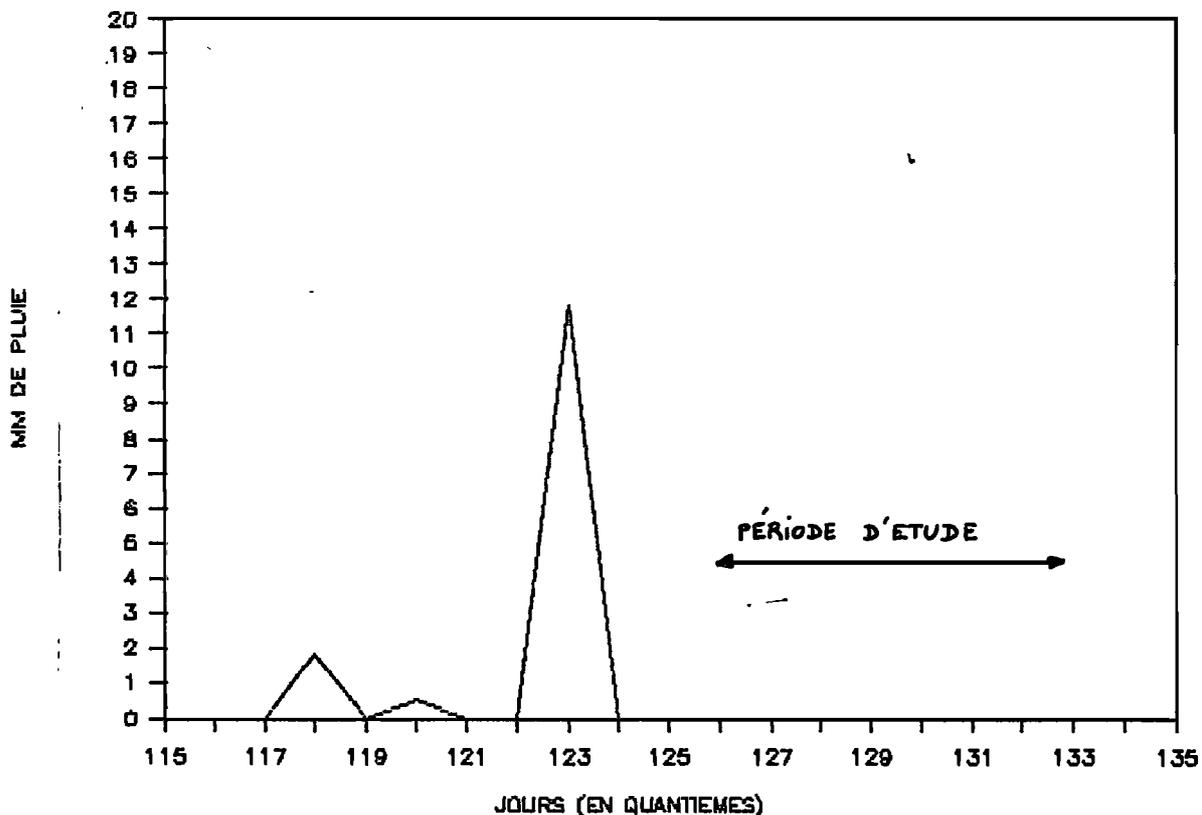


Figure 1 b : Pluviométrie enregistrée du 25 avril au 15 mai

PLUVIOMETRIE EN OCTOBRE - NOVEMBRE

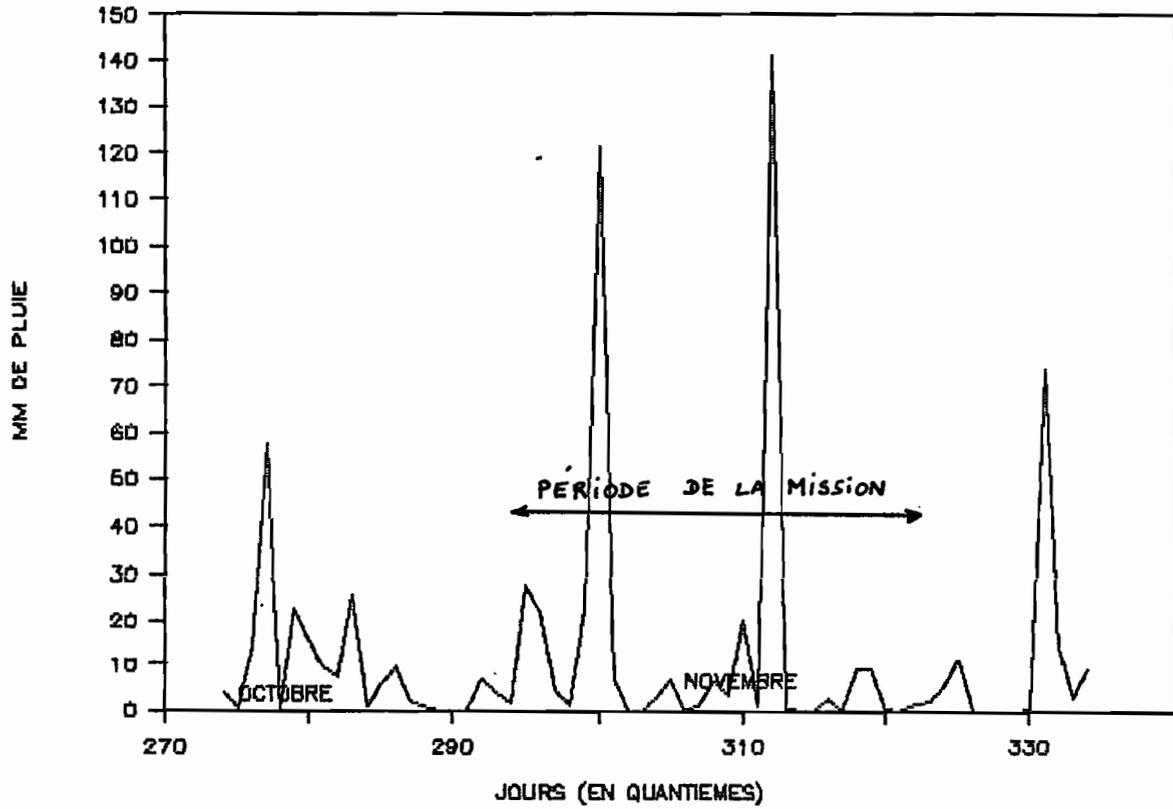


Figure 2 a : Pluviométrie enregistrée à Rangiroa en octobre-novembre 1987

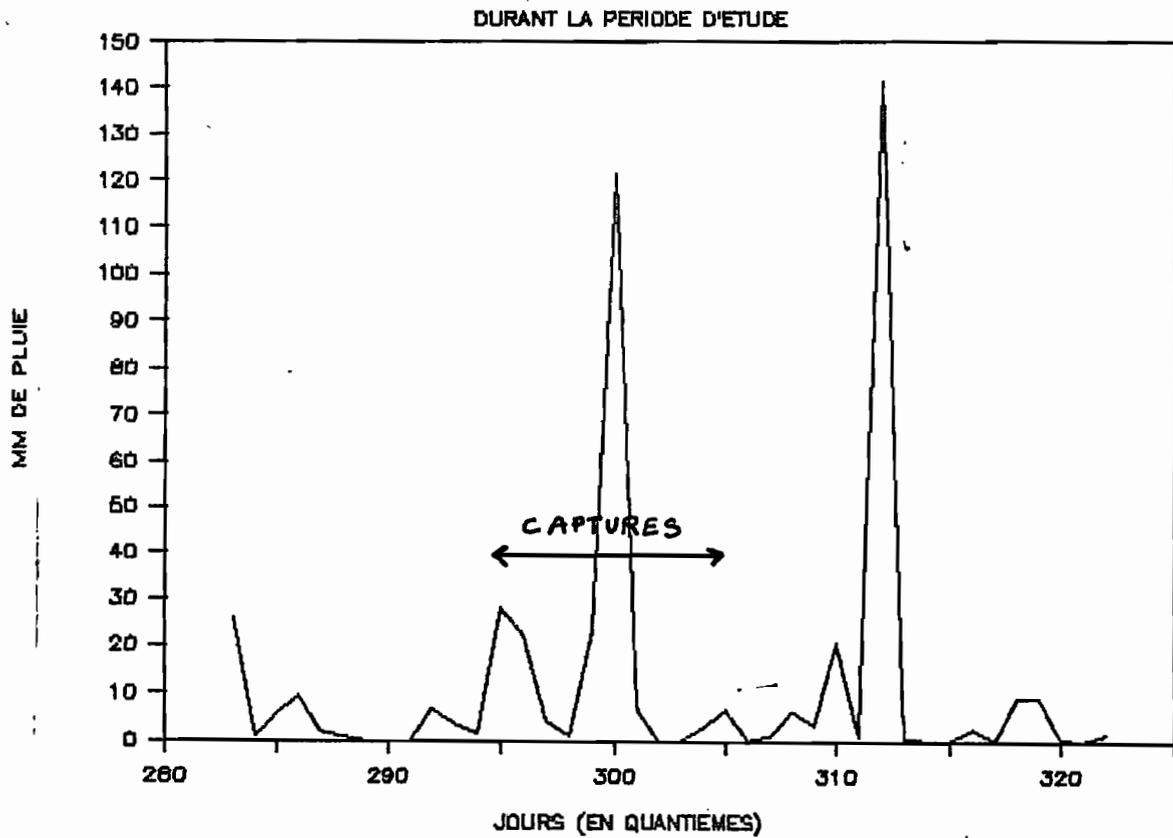


Figure 2 b : Pluviométrie enregistrée du 10 octobre au 18 novembre 1987

plus grande facilité dans l'inoculation des gîtes avec M. aspericornis.

La figure 2 (b) indique les précipitations observées uniquement sur une période encadrant la durée de la mission (10 octobre - 18 novembre), où deux pics importants apparaissent.

On a aussi noté sur ce graphique, la période pendant laquelle ont été effectuées des expériences de capture de moustiques adultes (ainsi que des marquages). La présence de fortes pluies a gêné certaines manipulations. Ces conditions s'éloignant parfois de valeurs moyennes, on peut craindre un comportement inhabituel temporaire des moustiques, par exemple, en cas de fortes fluctuations de la pluviométrie d'un jour à l'autre.

22.2 - Evaporation

- Première mission

La figure 3 (a) indique le niveau d'évaporation sur une période encadrant celle de la première mission (25 avril - 10 mai). On constate qu'il est élevé. Ceci, joint au faible niveau des pluies, caractérise bien une période de sécheresse. On en a vu précédemment les conséquences sur l'échantillonnage des populations préimaginales de moustiques dans les terriers de crabe (nappe phréatique profonde, donc nombreux terriers asséchés etc..)

- Deuxième mission

La figure 3 (b) donne la courbe d'évaporation uniquement durant la période consacrée aux expériences de capture de moustiques adultes. On constate que l'évaporation est faible, indiquant, en raison de la forte pluviométrie, un niveau élevé d'humidité. Ces conditions sont bien sûr, favorables à une bonne survie des populations de moustiques et peuvent éventuellement favoriser leurs déplacements.

22.3 - Insolation - nébulosité

La figure 4 (a) représente l'insolation enregistrée au cours de la deuxième mission, durant la période consacrée aux captures de moustiques adultes (18 octobre - 1 novembre).

Symétriquement, la figure 4 (b) donne la nébulosité (mesurée en octas à 8 heures et à 14 heures), durant la même période.

On constate que l'insolation a été relativement faible, liée à une nébulosité élevée. Ces conditions sont favorables à la survie et aux déplacements d'A. polynesiensis, dans tous les milieux où la couverture végétale n'est pas suffisamment dense en conditions plus ensoleillées. Par exemple, des milieux ouverts, comme la cocoteraie du bord du lagon, seront susceptibles d'être plus facilement colonisés par les moustiques.

EVAPORATION (EN MM)

DU 25 AVRIL AU 10 MAI

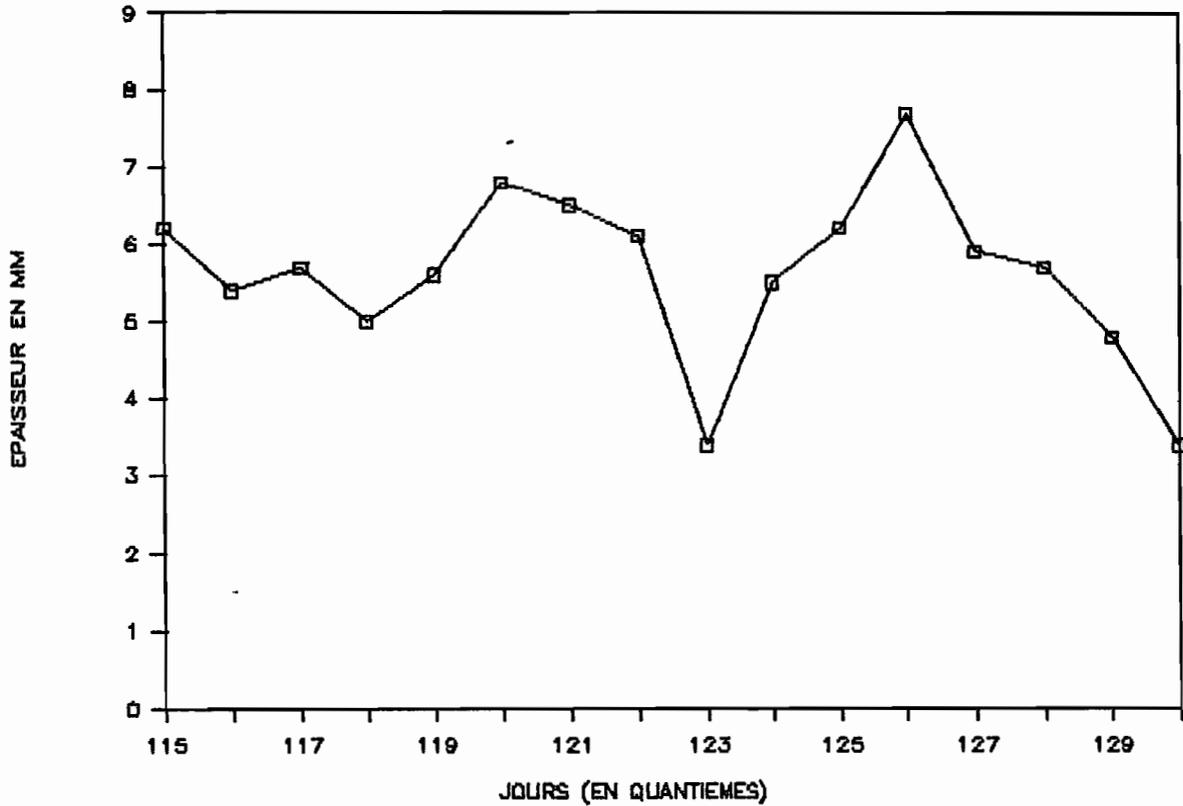


Figure 3 a : Evaporation du 25 avril au 10 mai (étude des terriers)

DU 18 OCTOBRE AU 1 NOVEMBRE

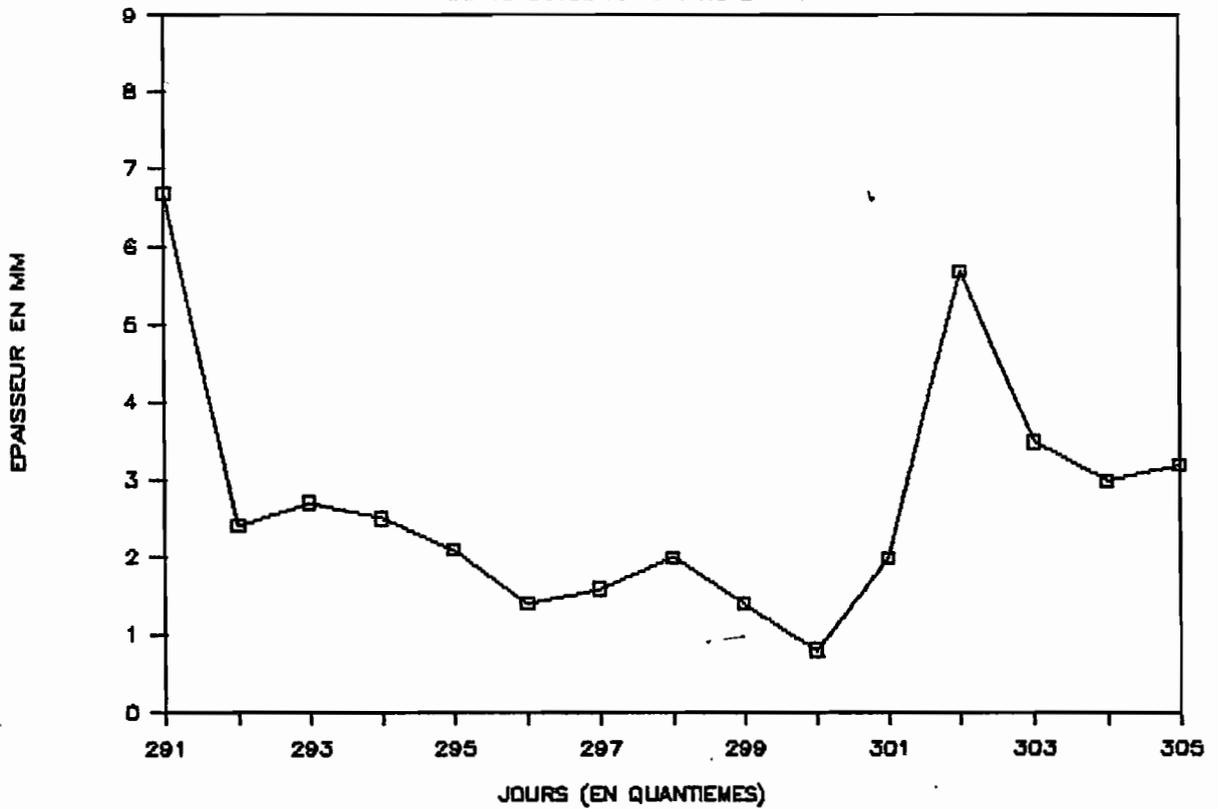


Figure 3 b : Evaporation durant la période de capture de moustiques adultes (2^{ème} mission)

CAPTURES DE MOUSTIQUES – INSOLATION DU 18 OCTOBRE AU 1 NOVEMBRE

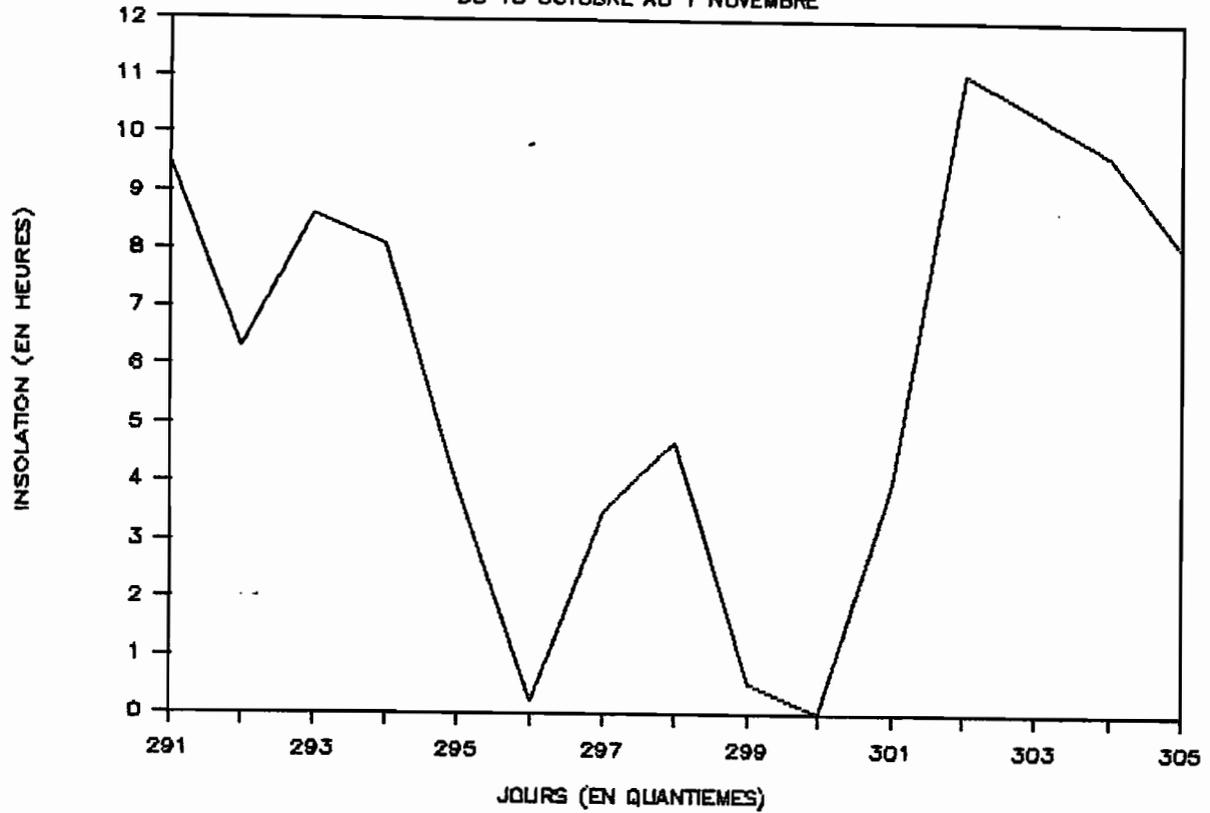


Figure 4 a : Insolation du 18 octobre au 1 novembre (captures de moustiques adultes)

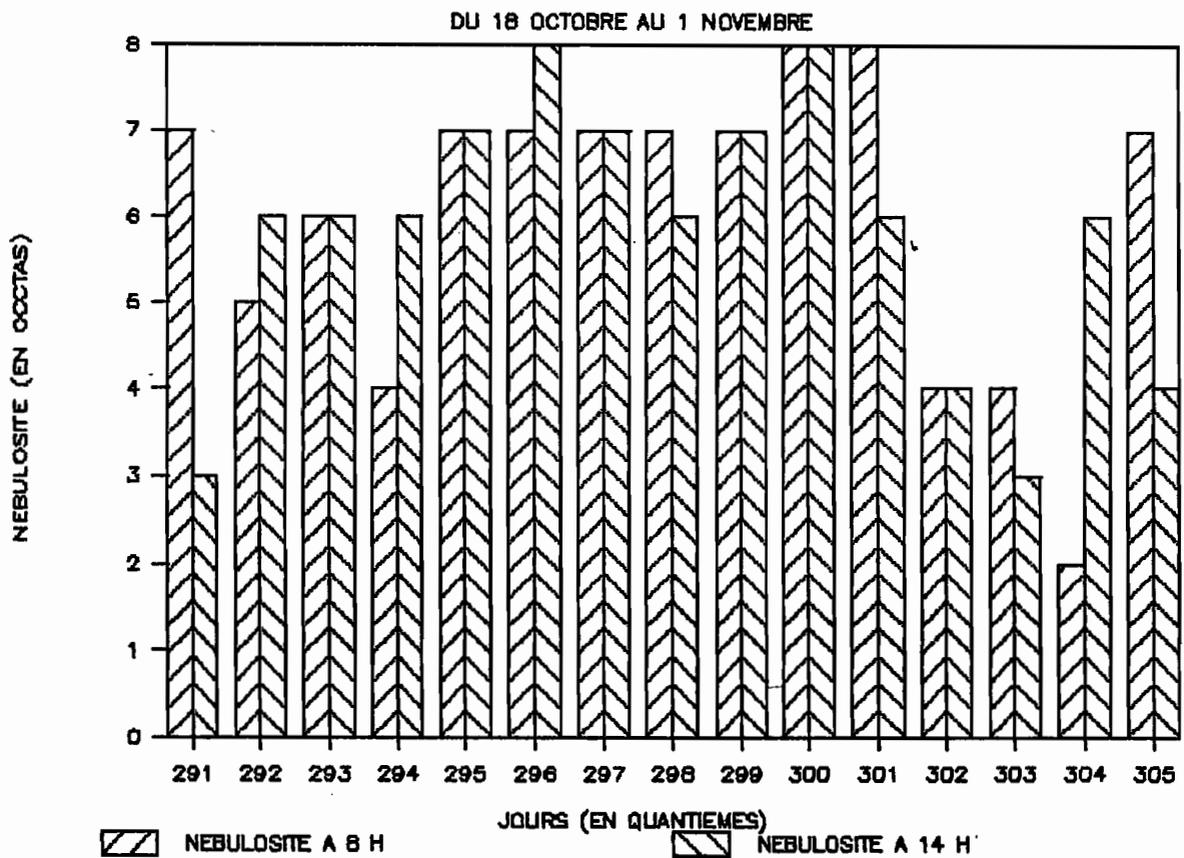


Figure 4 b : Nébulosité du 18 octobre au 1 novembre

22.4 - Vent

La figure 5 indique les vitesses du vent observées durant la même période que précédemment (18 octobre - 1 novembre). On constate que les vents ont été, en moyenne, assez forts pour la région. Malheureusement, on ne constate pas de constance d'un jour à l'autre, certains jours étant sans vent alors que le jour précédent ou suivant, le vent culminait à 6 ou 7 m/s. On conçoit aisément les conséquences fâcheuses au niveau des captures de moustiques (et de leur interprétation) effectuées dans les milieux ouverts et les implications d'un tel état de fait sur les migrations des populations des moustiques adultes.

Durant cette période de capture, le vent a cependant toujours eu la même direction approximative : est - sud-est (120°).

22.5 - Conséquences sur les échantillonnages

- Echantillonnage dans les terriers de crabe

Les populations préimaginales de moustiques n'ont été échantillonnées dans les terriers de crabe que durant la première mission (mai). Seule donc, une situation "de sécheresse" a pu être analysée. Faute de moyens, l'expérimentation n'a pas pu être reconduite en octobre - novembre (période pluvieuse). Les résultats de ces échantillonnages reflètent donc une situation particulière, que l'on peut cependant qualifier de plus défavorable pour l'implantation et la survie de M. aspericornis dont la résistance à la dessiccation est peu probable. L'expérimentation de la première mission peut donc donner l'état de la situation la plus "basse" au niveau des terriers en eau durant toute l'année. On conçoit donc déjà les limites de l'efficacité de M. aspericornis qui ne pourra peut-être pas contrôler les gîtes se remettant en eau durant la saison des pluies.

- Captures de moustiques adultes

Du fait de l'extrême variabilité, d'un jour à l'autre, des conditions météorologiques, et notamment de la pluviosité et de l'intensité du vent, les indices "d'agressivité" des femelles de moustique seront difficiles à obtenir et surtout à analyser. Il faudra donc interpréter avec prudence le niveau de ces indices. Dans le cadre d'une étude "après traitement", et en l'absence de point de comparaison, il faudra donc essayer de se replacer dans des conditions météorologiques semblables. En effet, l'analyse des tendances des indices ne se conçoit que dans le cadre de paramètres extérieurs stables (ou au moins susceptibles d'être "corrigés"). En l'absence de données antérieures sur les indices d'abondance, aucune correction ne peut actuellement être envisagée. L'analyse future des tendances sera donc à considérer avec circonspection.

Dans le cadre des expériences de migration, l'influence des conditions météorologiques n'est pas sans importance. Toutefois on peut considérer que les conditions d'octobre-novembre sont favorables aux déplacements des animaux. Les résultats qu'on en

CAPTURES DE MOUSTIQUES—VITESSE DU VENT DU 18 OCTOBRE AU 1 NOVEMBRE

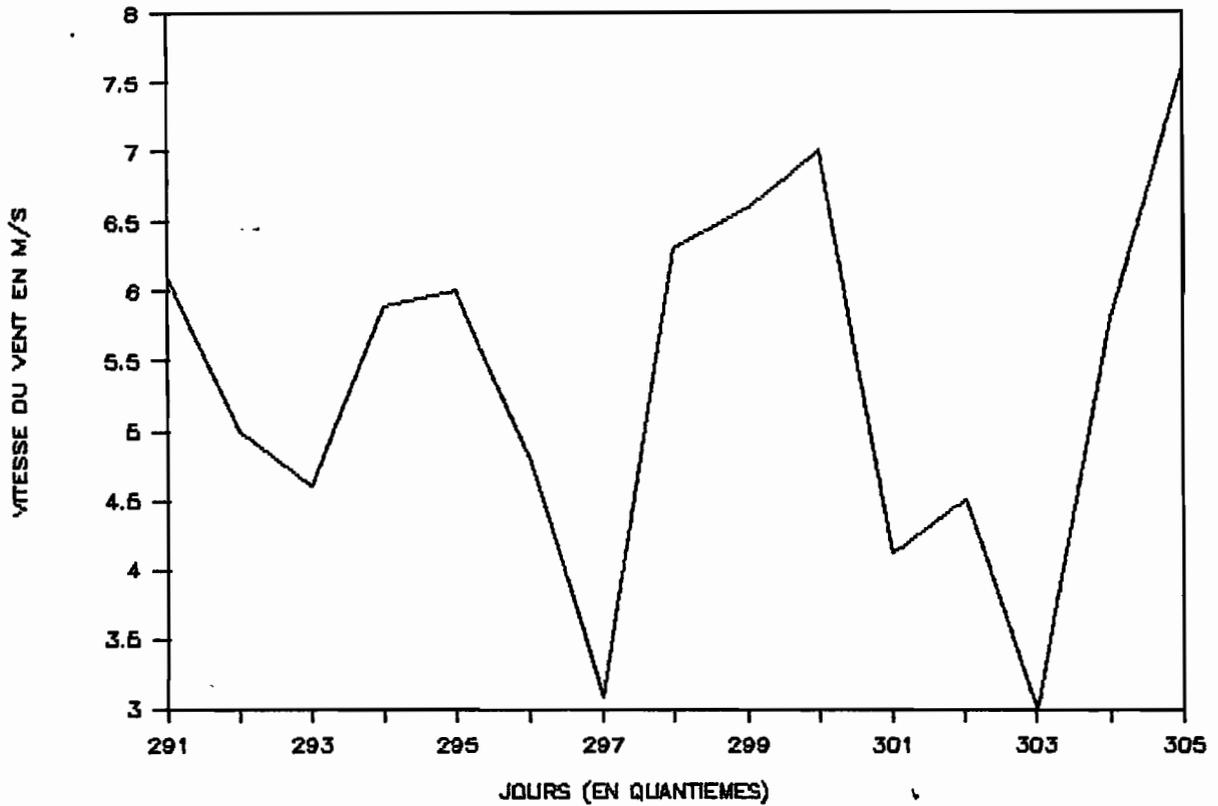


Figure 5 : Vitesse moyenne du vent mesurée entre le 18 octobre et le 1 novembre (captures de moustiques adultes)

tirera seront donc ceux de conditions favorables. Ainsi, si les migrations inter-îlot sont faibles, on pourra conclure, qu'en moyenne, l'îlot Tereia est isolé (du moins à l'échelle de l'expérience).

Les marquages des moustiques adultes ont été fait au moyen de poudres colorées fluorescentes. On peut donc craindre, en première approche, que les pluies parfois fortes qui se sont abattues à certains moments sur Tereia, n'aient effacé ces marques. Or, les observations de terrain ont montré que, même si la couleur avait tendance à s'effacer, il restait toujours suffisamment de poudre pour identifier la marque et que cette marque restait visible durant plusieurs jours.

3 - ECHANTILLONNAGES

3.1 - Buts - Problèmes d'échantillonnage

En l'absence de données préliminaires précises, les échantillonnages prévus ne devraient être qu'indicatifs et ne constituer qu'un pré-échantillonnage capable d'indiquer les principales sources de variations, les échelles spatio-temporelles à analyser et les variables à étudier pour répondre à une question donnée. Mais, en raison de contraintes financières, ce seul pré-échantillonnage a été conduit de façon plus poussée afin de répondre au mieux, à la suite d'un seul sondage, au problème posé : La description de l'état initial de l'îlot Tereia.

Cette description doit toutefois être suffisamment claire pour permettre un suivi aisé des paramètres (état du système à 3, 6, 12 mois etc... après traitement).

La connaissance de cet état passe par l'estimation de paramètres appartenant à deux populations distinctes (mais liées) : Celle des populations préimaginales des moustiques et celle des adultes.

Les problèmes d'échantillonnage seront donc doubles, car chaque population à analyser a ses propres caractéristiques, indépendantes. Ainsi, l'étude des populations des larves fait appel, en partie, à des techniques utilisées pour l'analyse de populations immobiles, alors que l'étude des adultes soulève les problèmes classiques des populations mobiles. Par ailleurs, le lien entre les densités des deux populations est difficile à estimer sur peu d'échantillons. De plus, l'activité nyctémérale cyclique d'A. polynesiensis soulève des problèmes d'échantillonnage dans une population hétérogène dans son comportement (influence de l'heure de capture).

Le temps imparti pour l'étude n'a pas été assez long et les moyens humains trop faibles pour sonder une telle population en faisant abstraction des variations temporelles (il aurait par exemple fallu échantillonner uniquement lors des pics d'agressivité, de façon simultanée sur l'ensemble de la zone d'étude ... et réitérer cette expérimentation).

Les séries de valeurs obtenues lors des captures d'adultes sont aussi trop faibles (c'est à dire, les observations trop peu nombreuses) pour pouvoir discerner des tendances et "décycliser" chaque valeur. En l'absence de telles précisions, les variations observées lors d'études à venir devront être examinées avec précautions, à moins que les effets de la lutte biologique soient spectaculaires.

Un choix possible aurait été d'échantillonner les adultes (captures de 10 mn à chaque station) toujours à la même heure pour une station donnée. Mais cela aurait biaisé les estimations des densités réelles des adultes à chaque station. L'allocation aléatoire des heures de captures à chaque station est donc une meilleure solution dans ce cas, surtout si le nombre de stations à visiter est important.

De plus, l'échantillonnage des moustiques adultes pose d'autres problèmes liés à leur comportement, et qu'il est difficile de planifier (à l'inverse, par exemple, du cycle d'agressivité). Par exemple, on a vu que les conditions météorologiques pouvaient modifier les résultats des captures. De même, l'influence du captureur (son degré d'attractivité) peut varier d'un jour à l'autre. Ceci a cependant été minimisé en conservant toujours la même équipe (deux personnes) durant les expériences de capture.

3.2 - Choix des variables à échantillonner

La planification de l'échantillonnage ne peut se faire qu'une fois connues les variables à analyser (et les contraintes liées au choix de ces variables). A la suite de quoi, il est possible d'estimer le nombre et la disposition spatio-temporelle des échantillons, la précision des mesures que l'on veut faire etc... Les problèmes rencontrés ici pour la mise en place des échantillonnages sont essentiellement liés à l'optimisation de ceux-ci par rapport aux coûts des missions sur le terrain. Pour cette raison, seules quelques données essentielles ont été récoltées :

+ Pour les populations pré-imaginales :

- Estimation du nombre de terriers de crabe sur l'îlot, et leur répartition en zones.
- Estimation du nombre de terriers productifs en A. polynesiensis.
- Estimation du nombre des terriers déjà traités.
- Analyse de la structure des populations pré-imaginales.

+ Pour la population des adultes :

- Estimation de la densité des adultes sur l'îlot.

- Estimation des taux de migrations entre deux îlots voisins
- Estimations, par zones, des indices d'agressivité des femelles.

Ces variables devront être suivies au cours des études ultérieures, pour connaître l'évolution des effets de la lutte biologique.

3.3 - Méthodes d'échantillonnage

33.1 - Terriers de crabe terrestre

331.1 - Choix des zones d'échantillonnage

Comme aucun phénomène périodique n'affecte la répartition des terriers, et en l'absence de toute donnée préliminaire sur l'îlot Tereia, on a choisi de sonder la surface, de façon systématique, en tenant toutefois compte de la structure du sol. On a donc préalablement stratifié la zone d'étude (carte 5).

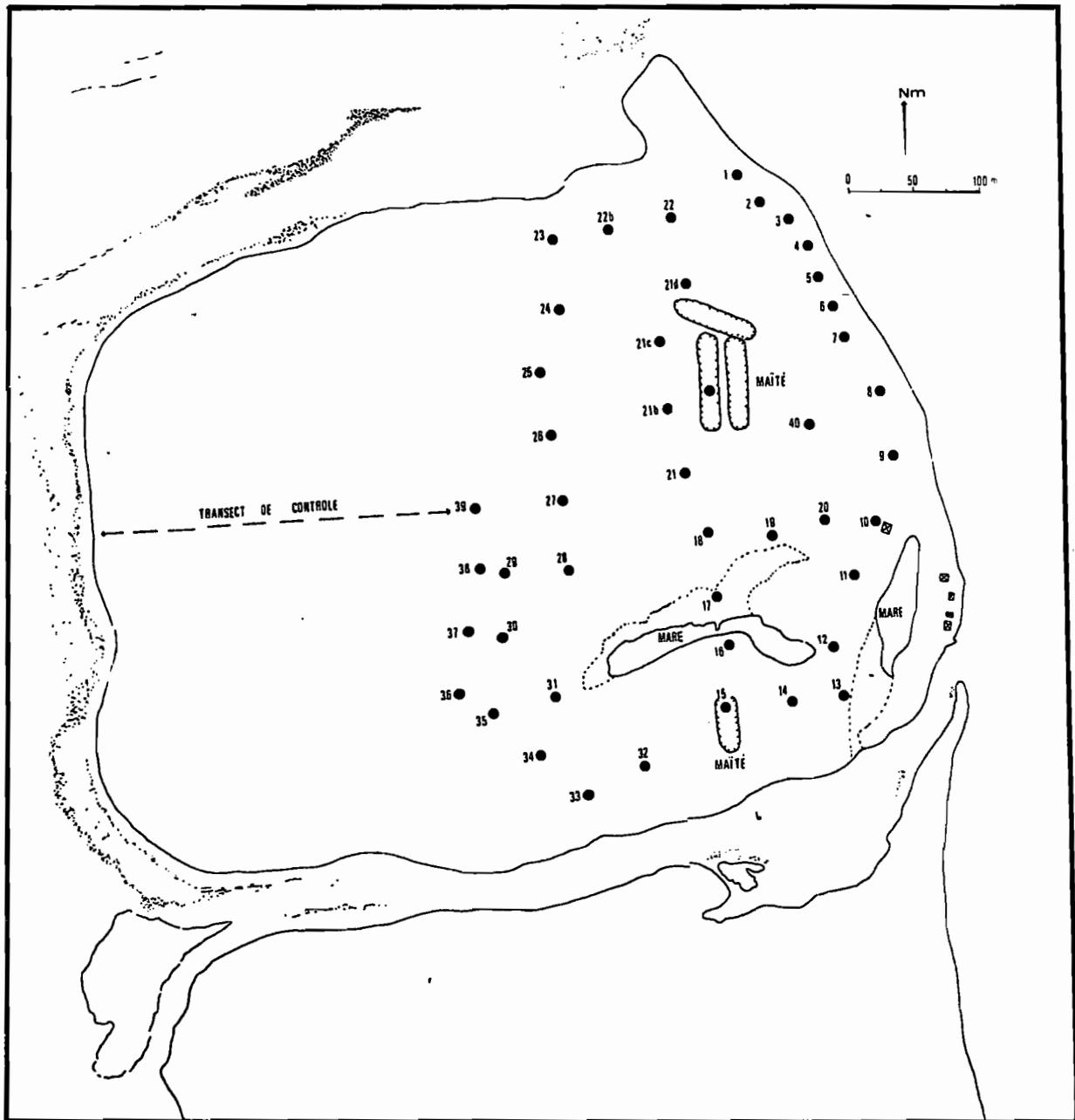
- zone de maquis : pas de terriers de crabes. Pas d'échantillonnage, si ce n'est un transect de contrôle de l'absence de terriers.
- cocoteraie : zone plus ou moins "vallonée" de faciès homogène. Aussi, puisqu'une première approche consiste à dresser une cartographie simplifiée des densités de terriers, on a choisi d'échantillonner de façon systématique (donc non aléatoire). Des quadrats de 8 m de coté ont ainsi été disposés tous les 50 ou 100 m et tous les terriers se trouvant à l'intérieur ont été analysés.
- "maîtés" : les deux zones dépressionnaires à "maîté" (une au nord, l'autre au sud) ont été échantillonnées par quadrat.

Le plan d'échantillonnage retenu est donc stratifié, avec un relevé systématique d'échantillons, au moins dans la strate "cocoteraie", dont la superficie le permettait.

Justification du plan :

Cet échantillonnage systématique doit permettre de mieux définir (voire de redéfinir) des strates au sein de la population des terriers.

De plus, sur le terrain, cet échantillonnage est facile à mettre en oeuvre, avec un décamètre et une boussole, contrairement à un échantillonnage aléatoire. Il n'est en effet pas possible de déterminer au préalable (sur une carte, au laboratoire) et au hasard, l'emplacement des stations de prélèvement puis de les



Carte 5 : position des quadrats pour l'échantillonnage des terriers de crabe.

repérer sur le terrain. L'échantillonnage aléatoire est donc difficile à mettre en œuvre. Par contre, l'échantillonnage systématique permet de définir parfaitement la répartition spatiale des stations de prélèvement. Ce plan est donc plus commode à préparer et à exécuter que l'aléatoire simple. De plus, comme le souligne SCHERRER (1983), ce plan est équivalent à l'aléatoire simple si tous les éléments de la population ne se présentent pas de manière cyclique (ce qui est le cas pour les terriers de crabe). Le plan cumule alors ses avantages à ceux de l'aléatoire. Son seul inconvénient est dans la difficulté d'estimer correctement la variance des estimateurs à partir d'un seul échantillon.

Sur le terrain, d'autres types d'échantillonnages peuvent être appliqués : échantillonnages par radiales ou transects par exemple. Les quadrats ont ici l'avantage de "couvrir" plus efficacement le terrain et d'être analysés plus rapidement qu'un transect. De plus, comme le souligne BOUCHON (1981) dans une étude du benthos marin, l'étude de la densité des organismes sur le fond (que l'on peut assimiler à celle des terriers) donne des résultats équivalents, que l'on travaille par transects ou par quadrats. Or, à Tereia, la mise en place de quadrats est plus facile à réaliser ...

Au total, 44 quadrats ont été prospectés. Trois personnes ont effectué cet échantillonnage : Deux pompaient l'eau des terriers pendant que la troisième notait les caractéristiques du prélèvement et filtrait l'eau pour recueillir la faune aquatique.

331.2 - Prélèvements d'échantillons

L'échantillonnage de la chambre en eau des terriers de crabe se fait à l'aide d'une pompe à main (du type de celles utilisées en navigation de plaisance). On introduit un tuyau souple d'environ 2 m de long et 3 cm de diamètre (tuyau d'arrosage) dans le couloir du terrier jusqu'à la chambre terminale. Ce tuyau est relié à un erlenmeyer de 2 litres, lui même relié à la pompe à main. Le pompage, en créant le vide dans l'erlenmeyer, aspire l'eau de la chambre, qui est recueillie pour être analysée (température, pH, conductivité, salinité etc...) et filtrée pour récolter les stades préimaginaux de moustiques.

Du fait des dimensions du tuyau, les terriers dont le diamètre est inférieur à 4 cm (environ) n'ont pas été échantillonnés.

Cette technique, simple, est idéale sur le terrain, du fait de l'encombrement et du poids réduits de l'appareillage.

331.2 - Sources de biais

- 1 - Biais d'échantillonnage lié à la technique de prélèvement :

Par manque de temps, un seul pompage par terrier a été effectué. Or, il est bien évident qu'un seul pompage, même si toute l'eau est retirée, ne récolte pas tous les organismes (et notamment les larves de moustiques) qui vivent dans le terrier. Des animaux

peuvent rester collés aux parois de la chambre et on n'est jamais tout à fait sûr d'avoir vraiment puisé toute l'eau. Une étude en cours (LARDEUX, 1988, à paraître), montre bien qu'une fraction seulement de la faune est prélevée par cette technique. Toutefois, "l'image" donnée par un tel échantillon est pour l'instant suffisante, surtout si les résultats sont exploités de façon qualitative (présence-absence) ou semi-quantitative (classes d'abondance)

- 2 - Biais d'échantillonnage lié au facteur humain :

Celui-ci peut apparaître par exemple lors du dénombrement des terriers à l'intérieur du quadrat. L'attention est plus facilement retenue par les gros terriers que par les petits. Toutefois, ce risque a été minimisé par le fait que les trois personnes devaient être attentives dans ce dénombrement.

Un autre type de biais peut apparaître lors de la filtration de l'eau : de nombreux déchets organiques qui colmatent parfois très rapidement le filtre, sont source d'une perte possible d'une partie du prélèvement (donc de la faune associée).

33.2 - Moustiques adultes

332.1 - Description

- Captures : Elles se font selon la méthode classique du tube à aspiration : un captureur récolte sur un appât (une deuxième personne), toutes les femelles de moustiques qui viennent se poser pour prendre leur repas de sang. La technique utilisée ici emploie les deux personnes (captureur + appât) comme captureurs. Le "captureur" s'étant préalablement enduit d'un répulsif afin que les moustiques ne viennent se poser que sur "l'appât". Les moustiques sont comptés par chaque personne à l'aide d'un compteur à main. Lorsque les moustiques deviennent trop nombreux dans les tubes de capture, les captureurs les vident dans une boîte hermétique (cf paragraphe ci-dessous). La durée de chaque capture est de 10 mn à chaque station, selon la méthode préconisée par BONNET et CHAPMAN (1956).

- Marquages : Ils se font à l'aide de poudres colorées fluorescentes (DAYGLO[®]). Les moustiques à marquer sont introduits dans une boîte (volume deux litres), fermée par un couvercle de tulle "moustiquaire". La poudre est introduite dans la boîte et est répandue à l'aide d'une petite poire à air, formant ainsi un "nuage". Lorsque les moustiques sont suffisamment colorés, ils sont simplement relâchés par ouverture du couvercle. Les animaux morts au cours de l'opération, restant dans la boîte, sont dénombrés.

Les moustiques récoltés pour les opérations de marquage-recapture ont été capturés avant la prise de leur repas sanguin, ce qui permet de faire une coloration le jour même et une recapture le lendemain. Il n'est donc pas nécessaire d'attendre la fin du cycle gonotrophique pour effectuer une recapture.

332.2 - Sources de biais

- Captures : Au niveau des captures, la source la plus importante de biais est liée au facteur humain. En effet, la capture avec le tube à aspiration est souvent délicate, surtout lorsque le nombre de moustiques agressifs est élevé et/ou que les moustiques se posent sur des parties du corps difficilement accessibles. Tous les moustiques ne sont pas forcément capturés et certains peuvent même achever leur repas de sang et s'envoler avant de pouvoir être récoltés. Pour ces raisons, et en particulier dans le cas de fortes densités de moustiques qui ne peuvent pas tous être capturés, il peut être judicieux d'analyser non pas les données brutes de capture mais des données transformées, par une fonction "écrasant" les effectifs forts (comme la fonction Log par exemple). Ceci sera débattu lors de l'analyse des résultats.

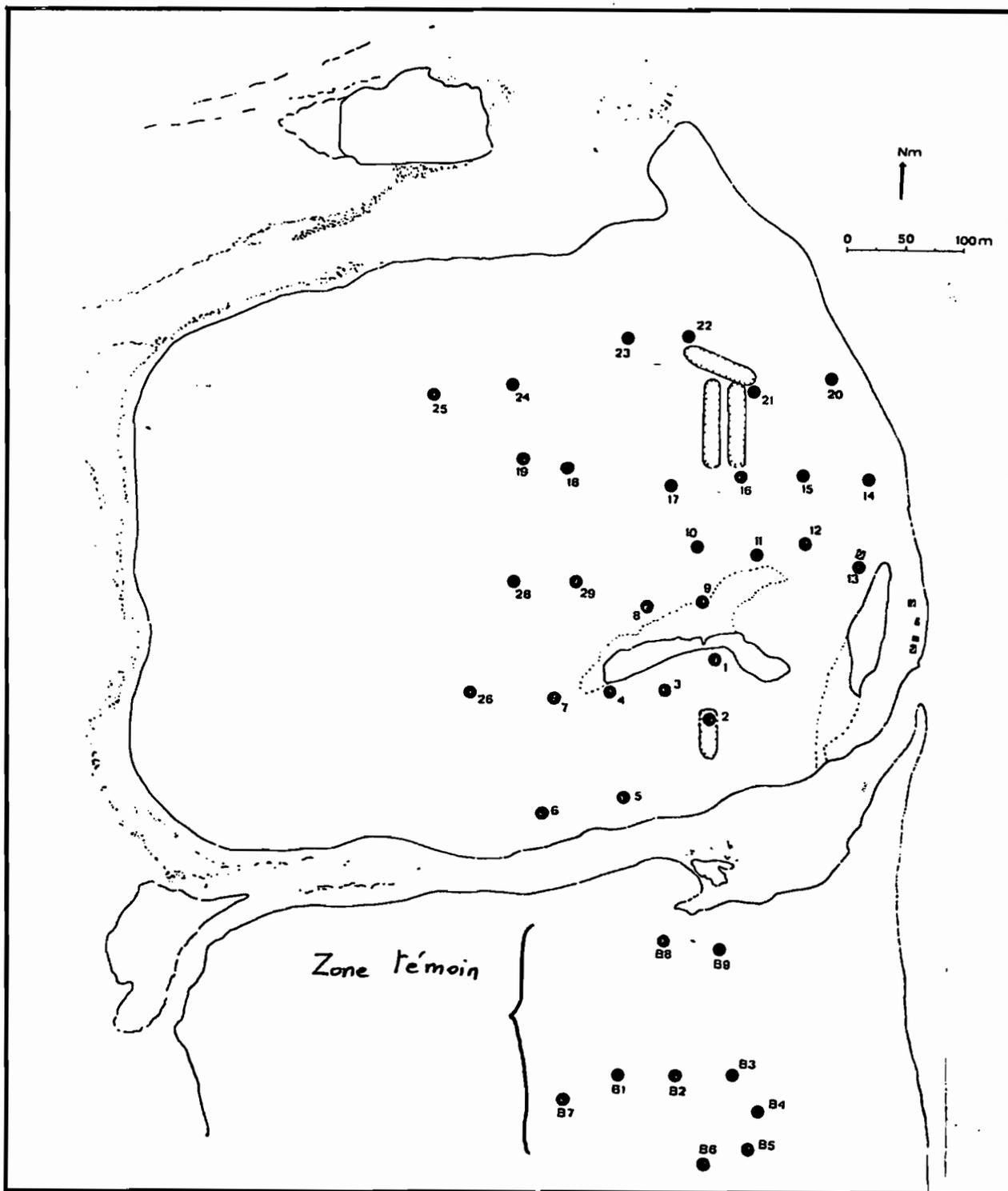
- Marquages : Malgré la plus grande vigilance, certaines colorations sont faciles à confondre, en particulier, le jaune et le vert. Pour cette raison, les recaptures faisant appel à ces couleurs ont systématiquement été identifiées par les deux personnes menant l'expérimentation.

332.3 - Indices d'agressivité

Pendant 5 jours (22, 23, 24, 26 et 27 octobre), des captures de 10 mn ont été effectuées à des emplacements déterminés, de façon à "couvrir" l'îlot. La distance entre chaque station est variable, l'effort d'échantillonnage étant plus important dans les zones où les captures étaient les plus fortes (le plus souvent les zones abritées, où la végétation est relativement dense). Dans ces zones, le maillage des stations a été plus resserré (carte 6). Au total, 29 stations de capture ont été déterminées, certaines correspondant aux mêmes emplacements que les stations d'échantillonnage des terriers de crabe. Le tableau 1 indique les date et heure d'échantillonnage de chaque station et le nombre de moustiques capturés. Les stations n'ont pas été systématiquement échantillonnées à la même heure lors de deux jours consécutifs : le cheminement des captureurs s'est voulu "aléatoire".

332.4 - Etude des migrations - marquages

Des expériences de marquage simple ont eu lieu au cours de la récolte des indices d'abondance, d'une part pour tester la méthode de coloration (reconnaissance des couleurs, rémanence de la coloration...) et d'autre part pour avoir une première idée des migrations des moustiques à l'intérieur de Tereia (vitesse de migration, distance parcourue en un jour ou même au cours d'une séance de capture ...). De plus, ces premières colorations ont permis d'avoir une approche de la densité des femelles agressives sur l'ensemble de l'îlot.



Carte 6 : position des stations de capture de moustiques adultes

Date	22 octobre		23 octobre		24 octobre	
Station	Heure	Total	Heure	Total	Heure	Total
1	8.38	70	13.31	70		
2	8.52	80	13.45	142		
3	9.05	242	13.58	323		
4	9.25	147	14.12	457		
5	9.41	27	14.28	16		
6	9.56	3	14.42	5		
7	10.11	60			9.03	317
8	10.27	37			8.49	148
9	10.45	5			8.36	195
10	10.58	50			8.21	180
11	11.11	18			8.07	215
12	11.24	19			7.53	364
13	11.38	2			7.41	146
14	12.11	4	8.26	27	11.37	23
15	12.25	4	8.39	68	11.25	76
16	12.38	93	8.53	267	11.11	485
17	12.56	264	9.07	477	10.55	357
18	13.15	679	9.41	599	10.41	592
19	13.34	293	9.58	633	10.26	440
20	13.48	23	11.56	57		
21	14.03	258	11.41	471		
22	14.52	170	11.18	449		
23	14.58	315	11.01	487		
24	15.14	247	10.41	433		
25	15.43	438	10.17	441		
26					9.21	234
27					9.39	171
28					9.55	110
29					10.08	128

Station	26 octobre		27 octobre	
	Heure	Total	Heure	Total
1	7.46	77		
2	8.01	37		
3	8.14	125		
4	8.27	193		
5	8.47	285		
6	9.09	37		
7	9.23	162	10.44	221
8	9.48	205	10.58	173
9	10.01	156		
10	10.14	309		
11	10.42	364		
12	11.33	416		
13				
14				
15			11.55	53
16	11.19	167	11.41	307
17			11.27	214
18			11.14	325
19			9.31	366
20			8.03	14
21			8.16	269
22			8.29	178
23			8.45	380
24			9.01	172
25			9.13	107
26			10.31	262
27			9.44	219
28			9.58	146
29			10.11	452

Tableau 1 : Caractéristiques des captures (10 mn) sur appât humain pour l'estimation d'indices d'abondance.

L'étude des migrations inter-ilots, pour déterminer l'état d'isolement de Tereia vis-à-vis des populations de moustiques adultes, s'est faite par ajustement du modèle d'ARNASON (1972) aux données de capture. Ces captures ont eu lieu durant trois jours (29, 30 et 31 octobre) sur deux zones : l'une correspondant à l'îlot Tereia (zone A), l'autre à l'îlot immédiatement méridional (zone B). Les moustiques ont été récoltés en des stations déterminées, comme précédemment (ce qui permet aussi d'obtenir d'autres indices d'abondance des femelles agressives), et relâchés, après coloration en des endroits précis. La carte 7 indique les lieux de capture et de lâché, tandis que le tableau 2 résume les données brutes récoltées (date et heure de capture, coloration, recapture ...).

Les données récoltées sur l'îlot voisin pourront aussi servir de témoin dans l'analyse des fluctuations du niveau des populations culicidiennes et de leurs indices d'agressivité : si ces fluctuations suivent des tendances parallèles à celles de l'îlot traité, c'est que le traitement n'aura eu aucun effet sur les densités des adultes.

Toutes les données de terrain concernant les captures, marquages, colorations et recaptures sont exposées à l'annexe 2.

4 - RESULTATS

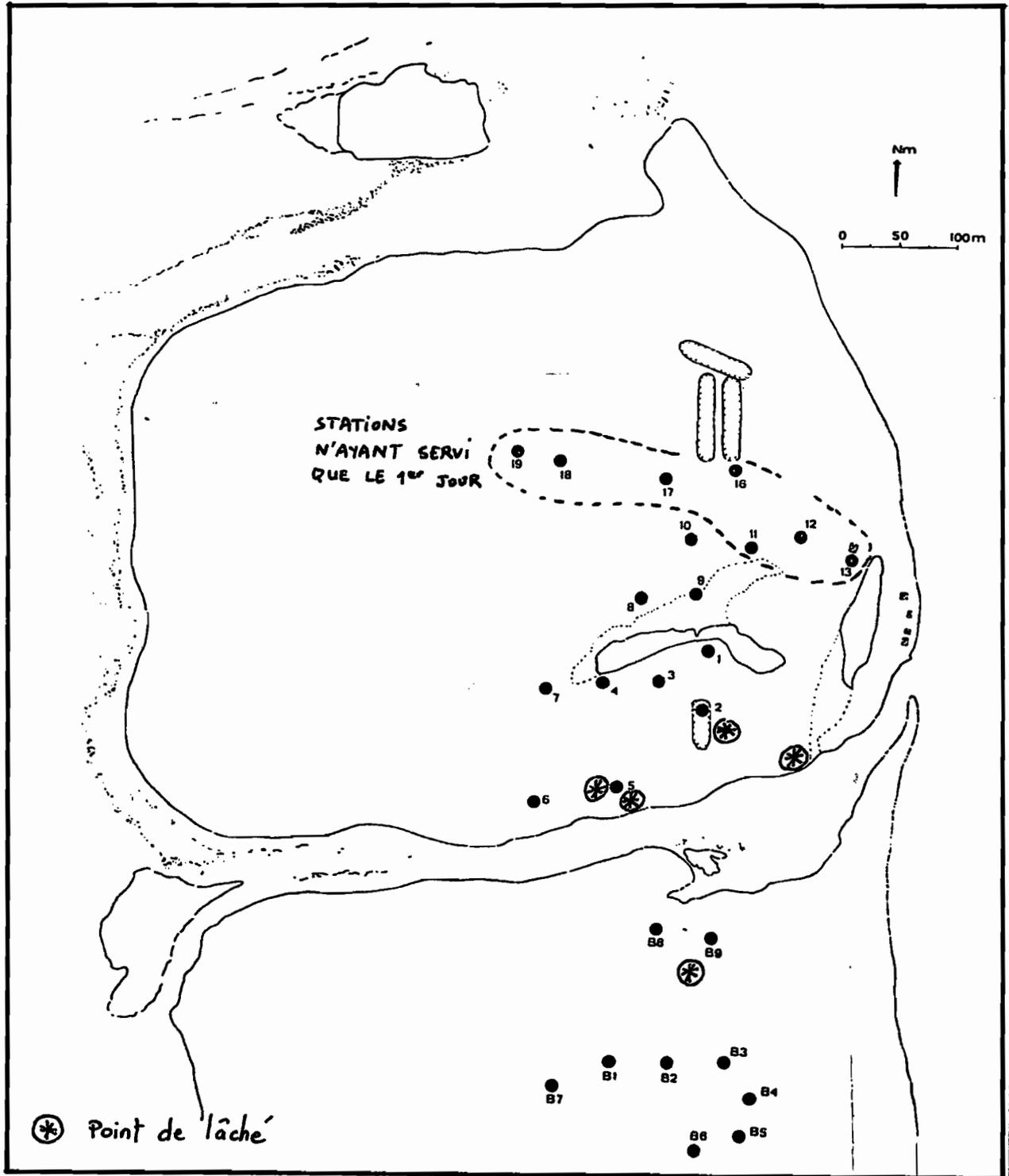
4.1 - Les terriers du crabe terrestre

4.1.1 - Cartographie de l'îlot

La carte 8 indique, au niveau des prélèvements (cf carte 5), le nombre total de terriers de crabe terrestre dénombrés dans les quadrats de 8m de côté.

On constate une grande disparité dans la répartition des terriers de crabes, certains prélèvements étant assez denses par rapport aux prélèvements voisins. La répartition des terriers est en fait liée à de nombreux facteurs qui déterminent leur micro-distribution. Parmi ces facteurs, on peut signaler :

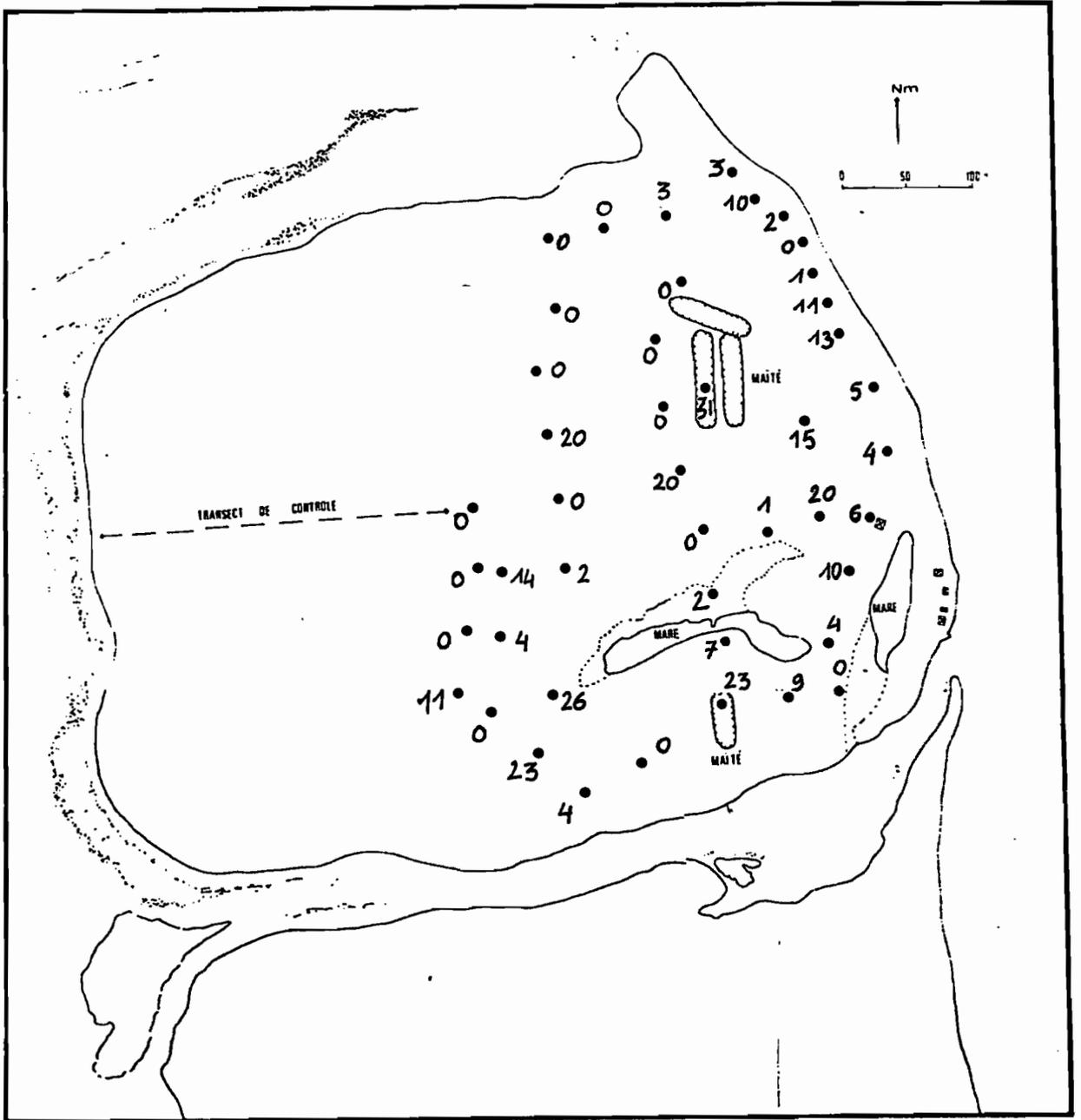
- La granulométrie et la texture du sol, les sols à sable coralliens fins et meubles étant les plus peuplés.
- La faible altitude du sol, en liaison avec la présence de la nappe phréatique immédiatement en dessous. Aussi, toutes les micro-dépressions (de quelques m²), c'est-à-dire toutes les imperfections du sol, seront plus facilement colonisées.
- Disponibilités alimentaires (et dans une moindre mesure, présence d'ombre). Les crabes, végétariens et détritiphages, auront tendance à s'installer sous les arbres, pour récolter les feuilles et manger les jeunes pousses issues des graines.



Carte 7 : Position des stations de capture-marquage et de lâché pour l'étude des migrations inter-îlot

Date	29 octobre		30 octobre				31 octobre					
Coloration	A : Vert B : Rose		A : Jaune B : Bleue									
Station	Heure	Total	Heure	Total	Roses	Verts	Heure	Total	Roses	Verts	Bleus	Jaunes
Zone A												
1	8.14	11	11.43	2	0	1	10.57	7	0	1	0	0
2	8.27	81	11.31	61	0	12	11.08	73	0	11	1	0
3	8.41	98	11.18	121	0	16	11.22	59	0	8	0	0
4	8.53	148	11.04	141	0	24	11.35	30	0	1	0	0
5	9.07	228	10.51	94	0	19	11.47	75	2	2	1	0
6	9.28	73	10.38	27	1	3	12.01	10	1	0	1	1
7			12.01	310	3	25	12.14	77	0	1	0	0
8	9.43	72	12.12	63	0	1	12.27	110	1	5	0	0
9	10.11	80	12.25	134	0	2	13.17	214	1	2	1	0
10	9.57	154	12.38	30	0	0	12.55	240	1	1	0	0
11	10.22	90										
12	10.35	154										
13	10.48	7										
16	11.15	162										
17	12.06	339										
18	12.19	301										
19	12.32	187										
Zone B												
1	13.09	83	8.34	233	29	0	14.17	192	16	1	1	0
2	13.23	119	8.48	74	8	0	14.31	56	6	0	1	0
3	13.37	94	9.44	103	1	0	15.23	30	4	0	0	0
4	13.52	416	9.3	219	3	0	15.09	201	10	1	5	0
5	14.1	276	9.16	343	4	2	14.56	330	6	0	9	0
6	14.24	256	9.02	178	3	1	14.43	441	11	2	4	1
7	14.47	122	8.17	155	46	3	14.03	179	18	2	8	0
8			9.58	7	3	0	15.38	105	12	0	5	1
9			10.11	22	1	0	15.53	122	9	0	16	0
2	15.05	315										
3	15.19	274										
4	15.33	89										
5	15.46	116										

Tableau 2 : Caractéristiques des captures (10 mn) pour l'estimation des échanges inter-ilots



Carte 8 : Densités des terriers du crabe terrestre.

Les deux premiers points expliquent l'absence de terriers de crabe dans la moitié ouest de l'îlot (coté Océan). Quelques terriers épars, souvent très grands par leur diamètre d'ouverture (jusqu'à 40 cm) peuvent cependant y être rencontrés. Toutefois, comme le soulignent RIVIERE et al. (1985), ces terriers sont rarement inondés lors des débordements de la nappe phréatique. Ils ne constituent donc pas des gîtes potentiels à *Aedes*.

La figure 6 montre la corrélation entre la position des points de prélèvement (zone "haute" ou "basse") et le nombre de terriers de crabe dans une bande de terre proche du lagon, sur pratiquement toute la longueur de l'îlot.

Les zones de maîté, qui sont les plus basses de l'îlot, et où la granulométrie est la plus fine, sont aussi les plus denses : 23 et 31 terriers pour les deux prélèvements effectués dans ces zones.

En résumé, on peut dire qu'il est difficile de faire des strates géographiques d'étude des terriers. Une de ces strates pourrait être les zones de maîté, l'autre, les zones "basses" de l'îlot, bien que la délimitation à vue de ces zones soit parfois délicate. La micro-répartition de terriers obligerait plutôt à faire des strates fines, ou des prélèvements plus nombreux, ce qui n'est matériellement pas réalisable actuellement (coût et durée de l'opération élevés).

Toutefois, l'étude entreprise permet d'avoir une bonne approche de la situation de terrain, et d'estimer le nombre total de terriers. Ceci est important, dans l'optique d'un futur traitement de ces gîtes.

Dans l'ensemble de la zone occupée par les terriers de crabe (soit environ les 2/3 de la superficie de l'îlot), on considère le peuplement en terriers comme homogène, c'est à dire, à l'échelle des prélèvements, sans variation importante. Ceci est une approximation, comme on le verra par la suite.

Le nombre moyen de terriers par quadrat (64 m^2), sans tenir compte des zones de maîté où les densités sont plus fortes, est de : $250 / 42 = 5.95$ terriers (variance : 7.38), soit 0.093 terriers au m^2 .

Pour la superficie totale occupée par les terriers (2/3 de 32 hectares), le nombre total de terriers est donc estimé à environ 19 841. A ce chiffre, il faut rajouter le nombre de terriers des zones de maîté, pour lesquelles, le nombre moyen par quadrat s'élève à $(23+31)/2$ (2 prélèvements de 23 et 31 terriers), soit environ 27 (variance : 5.65). Pour un m^2 , la densité moyenne est donc de 0.4. La superficie totale des maîté étant de 500 m^2 , le nombre total de terriers dans ces zones est de 200.

Aussi, le total général s'élève à $19\ 841 + 200 = 20\ 041$ (soit environ 20 000) terriers de crabe sur l'îlot. Dans le cadre d'un traitement, il faut donc prévoir le matériel biologique (copépodes) nécessaire pour l'inoculation de l'ensemble de ces gîtes potentiels.

La variance du nombre moyen de terriers par quadrat (dans la cocoteraie) est supérieure à la moyenne (respectivement 7.38 et 5.95). Ceci indique une disposition agrégative des terriers sur le terrain. L'approximation faite précédemment (homogénéité de la

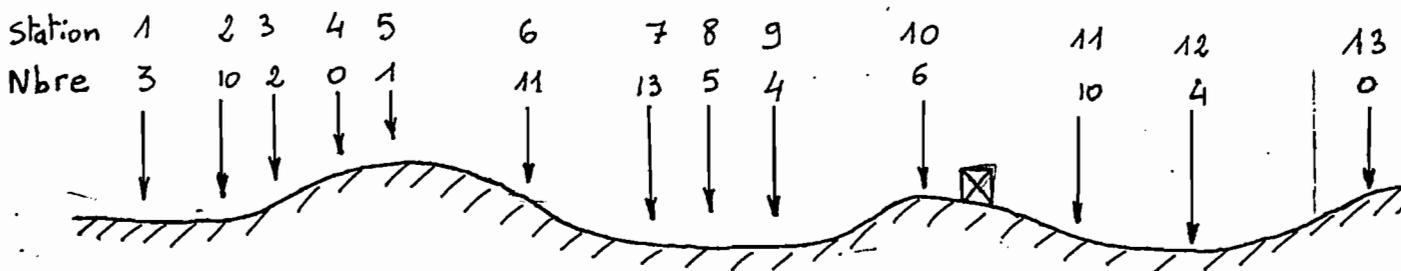
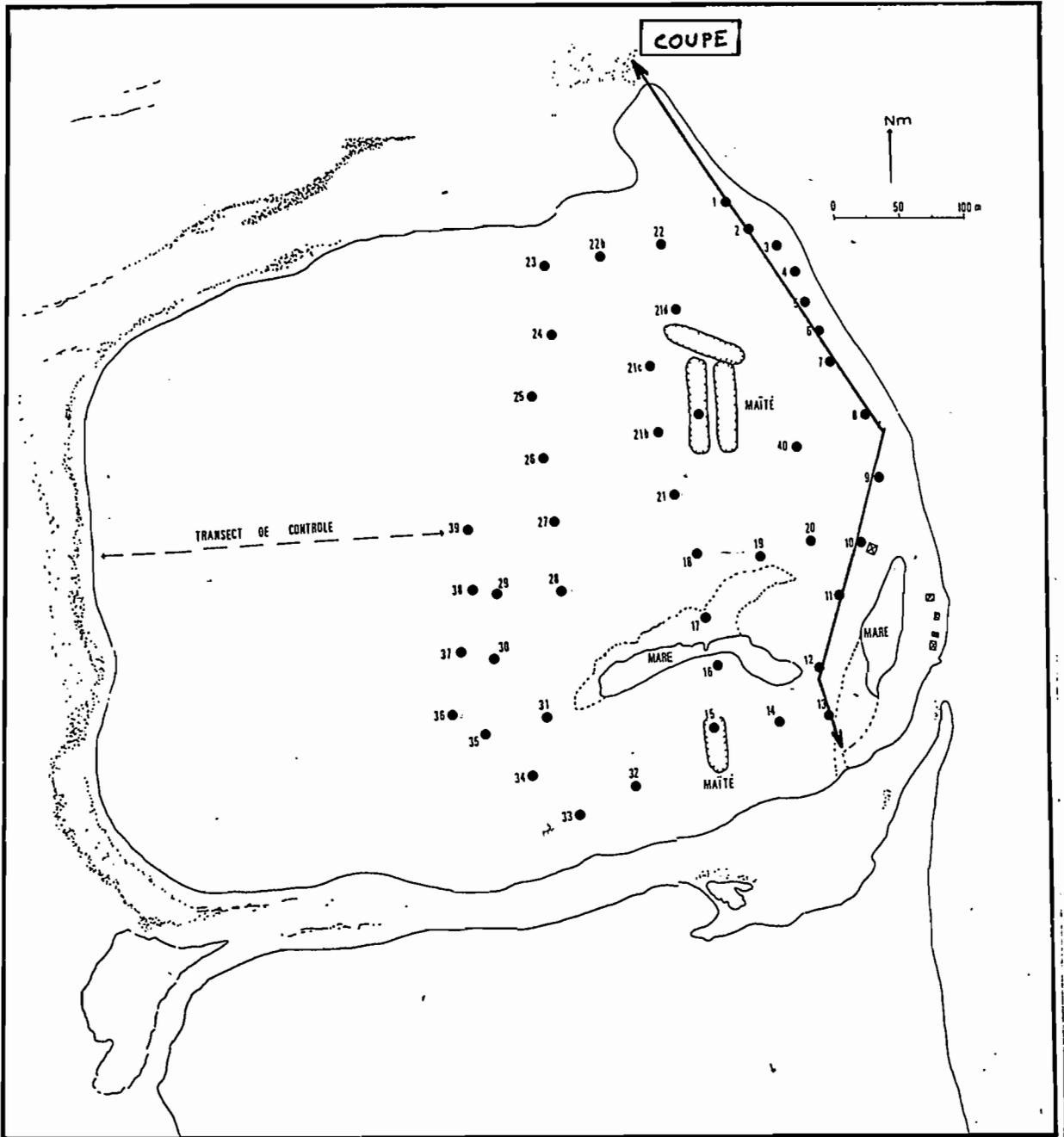


Figure 6 : Position des quadrats et nombre de terriers par quadrat

répartition des terriers), est peut être trop forte. La variance calculée sur le nombre total moyen de terriers est en effet très élevée. Pour diminuer la variance (donc avoir une estimation plus précise du nombre moyen de terriers par unité de surface et donc pour l'ensemble de l'îlot), il faudrait, comme on l'a déjà souligné, redéfinir des strates à l'intérieur desquelles les densités sont plus homogènes, ou faire un nombre plus élevé de prélèvements pour augmenter la précision.

La distribution du nombre de terriers par quadrats est donnée à la figure 7. Elle illustre bien la façon agrégative dont sont disposés les terriers, à l'échelle des quadrats. L'estimation du nombre de terriers à Tereia, d'un point de vue statistique, devrait se faire par une transformation des données brutes. Cette transformation doit, entre autres choses, "normaliser" les données de façon à pouvoir leur appliquer les théories statistiques classiques. Elle peut amener à définir le degré de précision atteint pour un effort d'échantillonnage fixé. Le choix de la transformation dépend de la relation moyenne-variance (loi de TAYLOR 1961). En général, une transformation "normalisante" et stabilisant la variance est la transformation logarithmique. Comme des quadrats ont un effectif nul, la transformation retenue est $\text{Log}(x+1)$. La figure 8 donne la représentation d'une telle distribution, avec l'adéquation à une loi normale. On constate qu'on est loin d'une approximation gaussienne. La figure 9 représente l'histogramme de fréquence des données transformées par $\text{Log}(x)$, sans tenir compte des valeurs nulles. On constate ici, que l'adéquation à une loi gaussienne est possible. La distribution générale du nombre (transformé en Log) des terriers par quadrat suit donc une loi delta (c'est à dire que la population du nombre de terriers est composée d'une certaine proportion q de zéros et que les valeurs non nulles suivent une loi normale). La génération d'intervalles de confiances plus réalistes peut donc se faire selon la méthode décrite par PENNINGTON et GROSSLEIN (1978). Ceci dépasse cependant le cadre descriptif de ce rapport.

4.1.2 - Productivité des gîtes

On rappelle que la situation décrite ici correspond à une situation de "sécheresse". La nappe phréatique étant à un niveau bas, le nombre de terriers en eau est faible par rapport à ce qu'il serait en saison des pluies.

De façon globale, sur 284 terriers sondés, 80 (soit 28 %) sont "en eau". La figure 10 (a) rappelle ce résultat.

Sur ces 80 terriers en eau, 42 hébergent M. aspericornis, 11 A. polynesiensis, 1 les deux espèces et 26 ne sont occupés ni par l'une, ni par l'autre. La figure 10 (b) résume ces résultats.

La carte 9 présente la cartographie de ces gîtes, indiquant les zones apparemment traitées (présence de M. aspericornis) et les zones "vierges", où A. polynesiensis peut être présent. On remarque qu'une zone (sud ouest) n'a vraisemblablement pas été traitée puisqu'on n'y trouve pas M. aspericornis mais que, par contre, A.

DISTRIBUTION DU NOMBRE DE TERRIERS PAR QUADRAT DE 8 M DE COTE

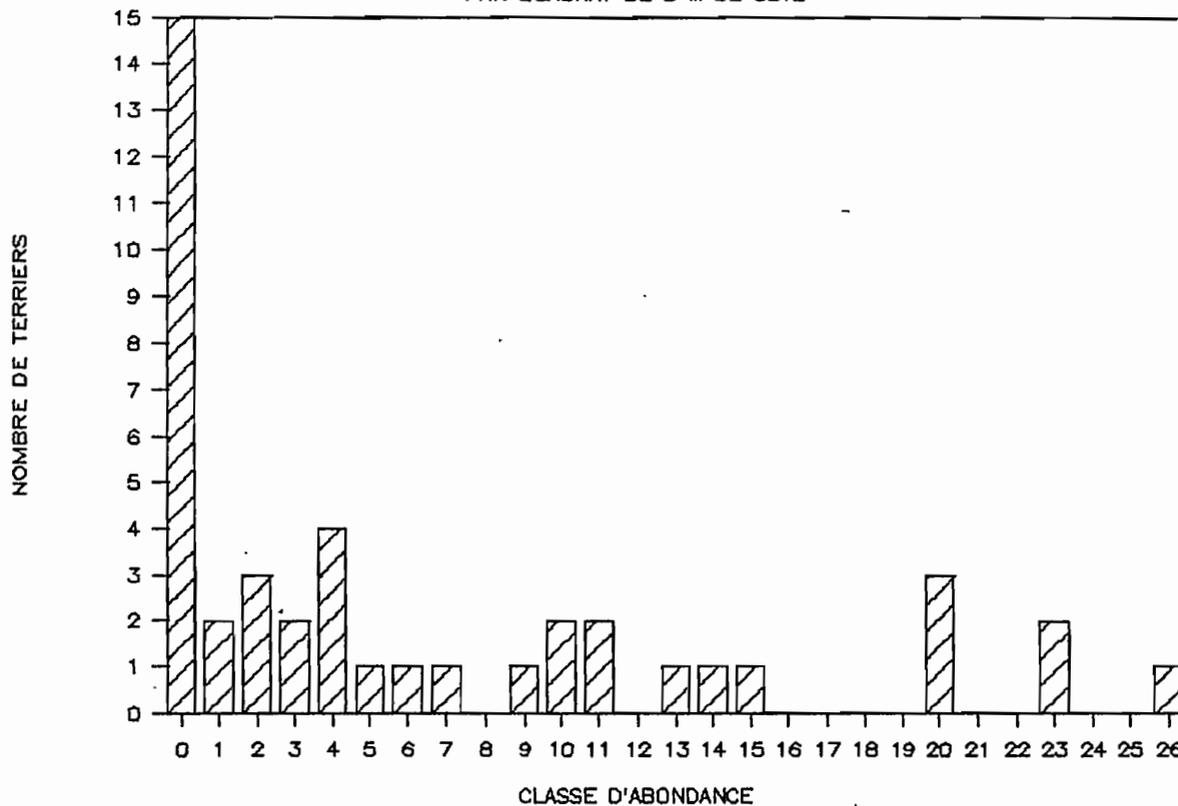


Figure 7 : Histogramme de la distribution du nombre de terriers par quadrat

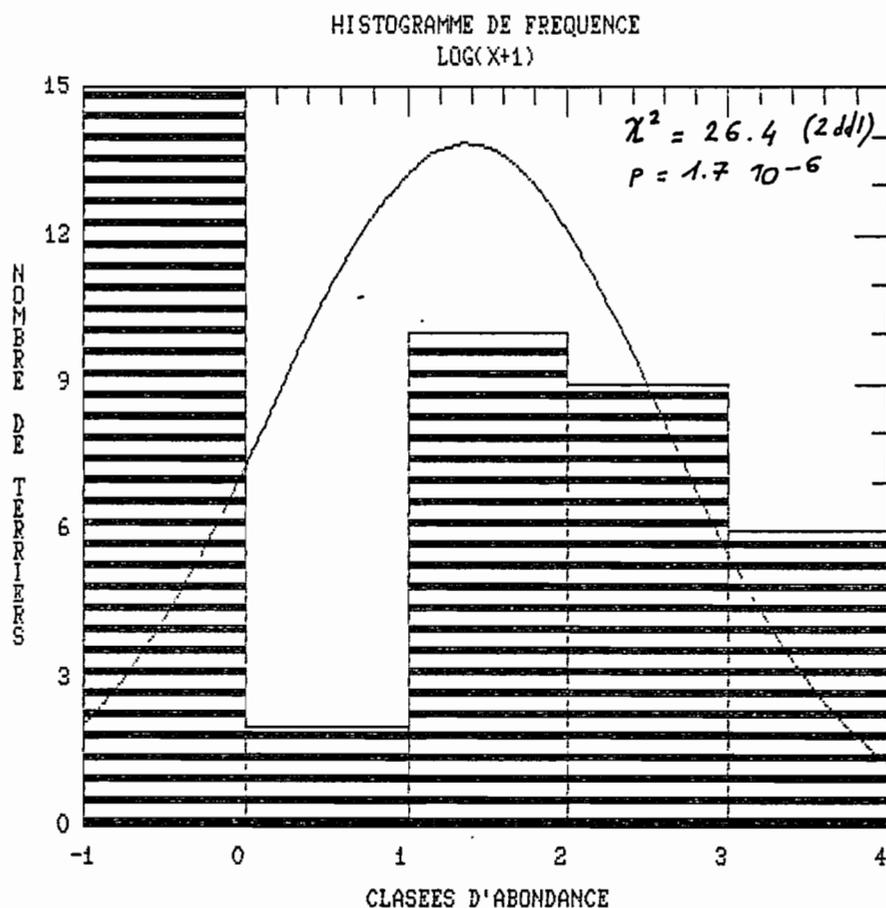


Figure 8 : Histogramme de fréquence du nombre de terriers par quadrat. Données transformées en Log (x+1). Adéquation à une loi normale.

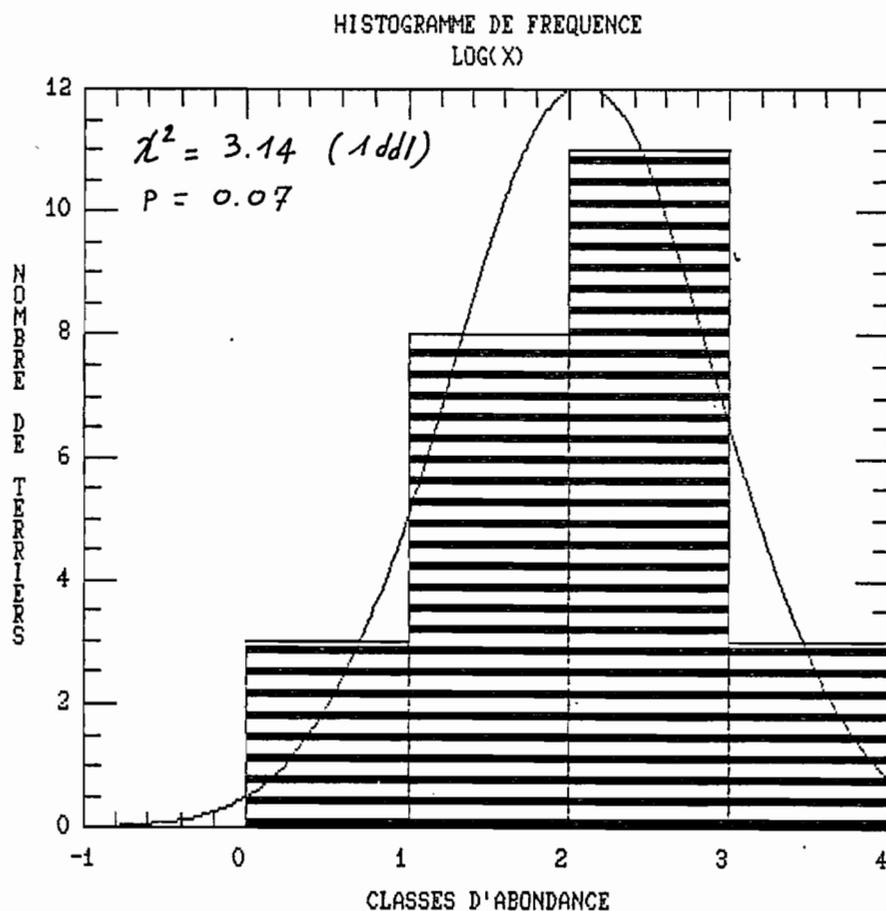


Figure 9 : Histogramme de fréquence du nombre de terriers par quadrat. Données transformées en Log (x). On ne tient pas compte des valeurs nulles. Adéquation à une loi normale.

polynesiensis y est présent. D'autres points (stations 15, 28 et grand maîté, entre autres) présentent à la fois des terriers où l'on trouve le copépode et des terriers où l'on trouve A. polynesiensis. Ces zones ont, soit été mal traitées, soit, après une période de sécheresse antérieure, remises en eau; ce qui expliquerait l'absence du copépode mais la présence du moustique. Par contre, mis à part un prélèvement (un terrier) où la présence des deux espèces a été constatée, on peut dire qu'à chaque fois que le copépode est présent dans un terrier, A. polynesiensis est absent. L'efficacité de prédation semble donc être excellente.

Le nombre de copépodes par terriers est variable puisqu'il va de quelques individus à près de 400. Aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre les paramètres physico-chimiques de l'eau et la présence ou le nombre de copépodes.

Le nombre de larves et nymphes d'A. polynesiensis par terrier est variable: il varie de quelques individus à plus de 200. Sur les 11 terriers hébergeant ce moustique, on en a trouvé 6 avec moins de 10 individus, 3 avec moins de 100 et 2 avec plus de 100.

41.3 - Données d'écologie

RIVIERE et al. (1985) ont décrit le fonctionnement d'un terrier de crabe comme gîte de ponte d'Aedes polynesiensis. Le moustique pond ses oeufs sur les parois du terrier, à quelques centimètres au dessus du niveau de l'eau, comme il le ferait dans d'autres types de gîte. Les variations du niveau de la nappe phréatique sont alors responsables des éclosions.

Les résultats donnés ci après sont des observations complémentaires récoltées à Rangiroa.

413.1 - Morphologie des terriers

La figure 11 (a) représente la relation entre le diamètre de l'entrée du terrier et la longueur de la galerie (jusqu'à la chambre). On constate qu'aucune liaison marquée n'existe. Les diamètres s'échelonnent entre 2 et plus de 25 cm, pour des longueurs comprises entre 15 et plus de 130 cm. Le diamètre moyen des terriers se situe entre 5 et 10 cm, pour une longueur de 30 à 70 cm.

La figure 11 (b) représente la même relation que précédemment, mais uniquement pour les terriers en eau, c'est à dire ceux susceptibles d'héberger A. polynesiensis. Les points en "gras" représentent les terriers dans lesquels on a effectivement trouvé A. polynesiensis. On constate là encore, qu'aucune relation distincte n'existe entre les habitudes de ponte du moustique et les diamètres ou les longueurs des terriers. L'échantillon est peut-être trop faible pour en tirer une certitude car les expériences de RIVIERE et al. (1985) montrent une préférence pour les galeries (artificielles) courtes, d'un diamètre (de tuyau) de 3.3 cm.

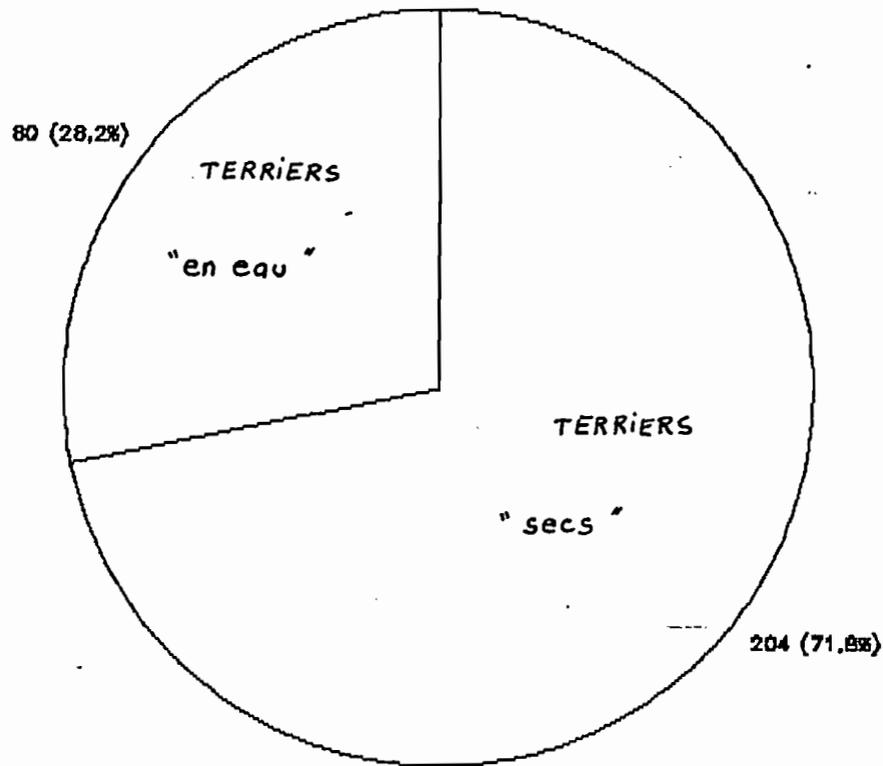


Figure 10 a : Pourcentage du nombre de terriers "en eau"

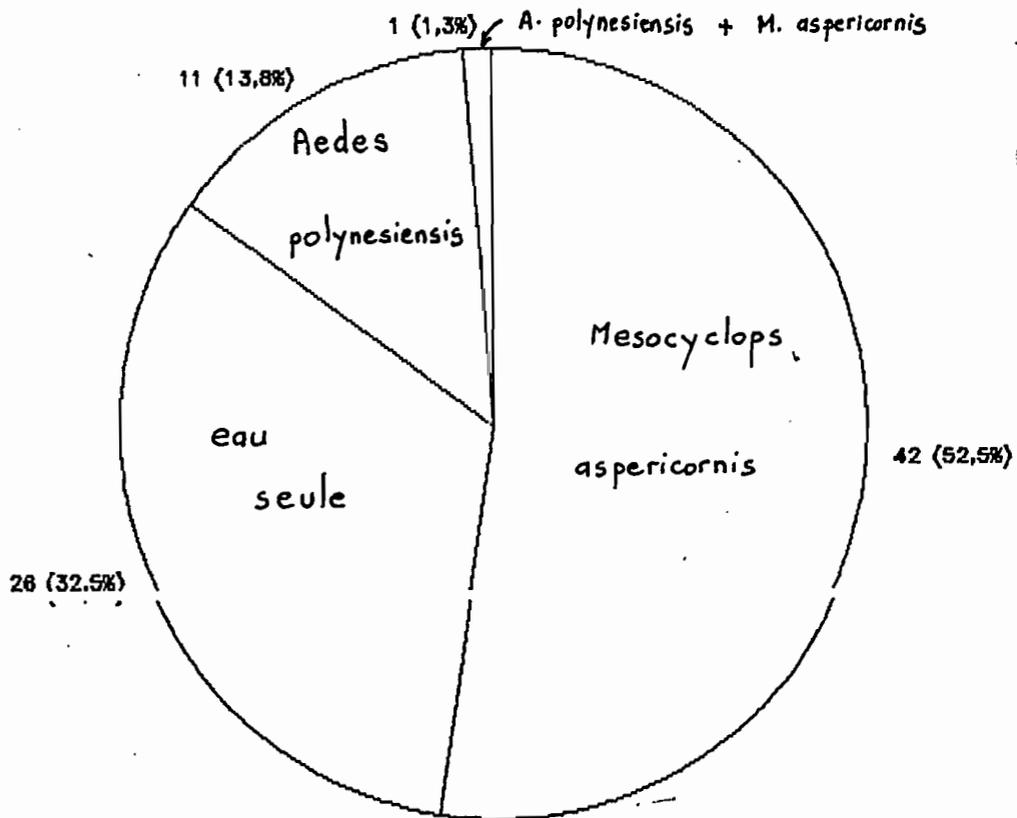
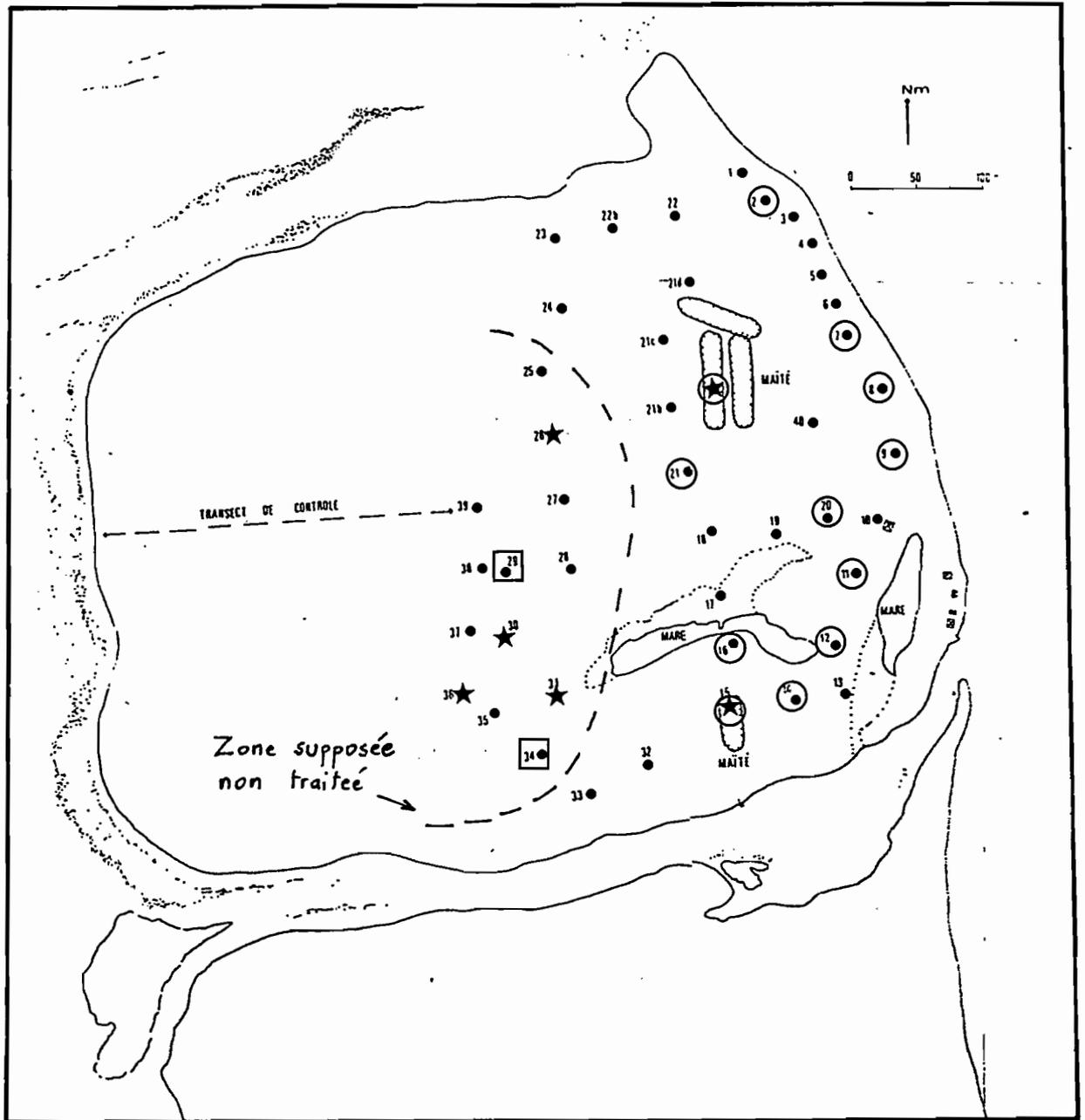


Figure 10 b : Occupation des terriers "en eau" par M. aspericornis et A. polynesiensis.



- Présence de *M. aspericornis*
- ★ Présence d' *A. polynesiensis*
- Eau sans *M. aspericornis* ni *A. polynesiensis*

Carte 9 : Occupation des terriers par *A. polynesiensis* et *M. aspericornis*

413.2 - Physico-chimie de l'eau des terriers

Dans tous les terriers en eau, le pH s'échelonne entre 6.59 et 8.05. Le pH moyen se situant autour de 7.5. La salinité reste faible, avec moins de 1 ‰ (entre 0.33 et 0.93). La température de l'eau est comprise entre 27.2 et 30.6 °C (avec présence du copépode dans ce prélèvement).

Les paramètres étant compris dans des fourchettes étroites de variation, les préférences de ponte d'A. polynesiensis ne sont pas marquées.

Le volume d'eau pompée est lui aussi variable puisqu'il va de quelques cm³ à plus de 10 litres. Les larves d'A. polynesiensis ont été trouvées dans des terriers dont le volume d'eau de la chambre était compris entre 200 cc et 3,6 litres. Le terrier contenant le plus de larves avait un volume d'eau de 1.2 litre.

41.4 - Conclusion : validité des échantillonnages

L'échantillonnage des terriers de crabe terrestre sur l'îlot Tereia a permis de dresser une cartographie générale de leur densité. Leur nombre total a été estimé (un peu plus de 20 000 sur 21 hectares), ce qui est nécessaire à la planification du traitement individuel des gîtes de ponte d'Aedes avec le copépode M. aspericornis.

Les zones où le copépode est déjà implanté ont été délimitées et on a pu aussi constater que le copépode était toujours présent dans les terriers en eau. Les populations de ce crustacé sont donc pérennes après plusieurs mois d'introduction (premières introductions faites par RIVIERE en 1985). On confirme ainsi les résultats préliminaires de RIVIERE et al. (1987).

La prédation du copépode est efficace mais il reste à prouver qu'il contrôle correctement les populations d'Aedes. On a déjà remarqué que M. aspericornis pouvait disparaître définitivement des gîtes en cas de dessiccation. Or, si le terrier se remet en eau, il devient un gîte de ponte potentiellement productif pour A. polynesiensis. Par ailleurs, on a vu que ces terriers pouvaient être très productifs (plusieurs centaines de larves par terrier) et on est donc en droit de se demander quelle peut-être la contribution d'un seul de ces gîtes à la densité totale des moustiques adultes observés. Si les conditions de survie des moustiques adultes sont bonnes, on peut penser, avec SERVICE (1983) que même une réduction du nombre total de gîtes productifs et par là du nombre des larves, n'est peut-être pas suffisante pour abaisser le niveau des populations des adultes à un seuil tolérable.

Quoiqu'il en soit, ce premier échantillonnage des terriers de crabe a permis de cerner les problèmes principaux dont on doit tenir compte pour améliorer l'échantillonnage. Celui-ci passe par la définition de strates géographiques, c'est à dire de zones dans lesquelles les densités sont homogènes. En cela, on peut s'aider du relief du sol, en définissant des zones hautes et basses etc... et échantillonner au hasard dans ces zones.

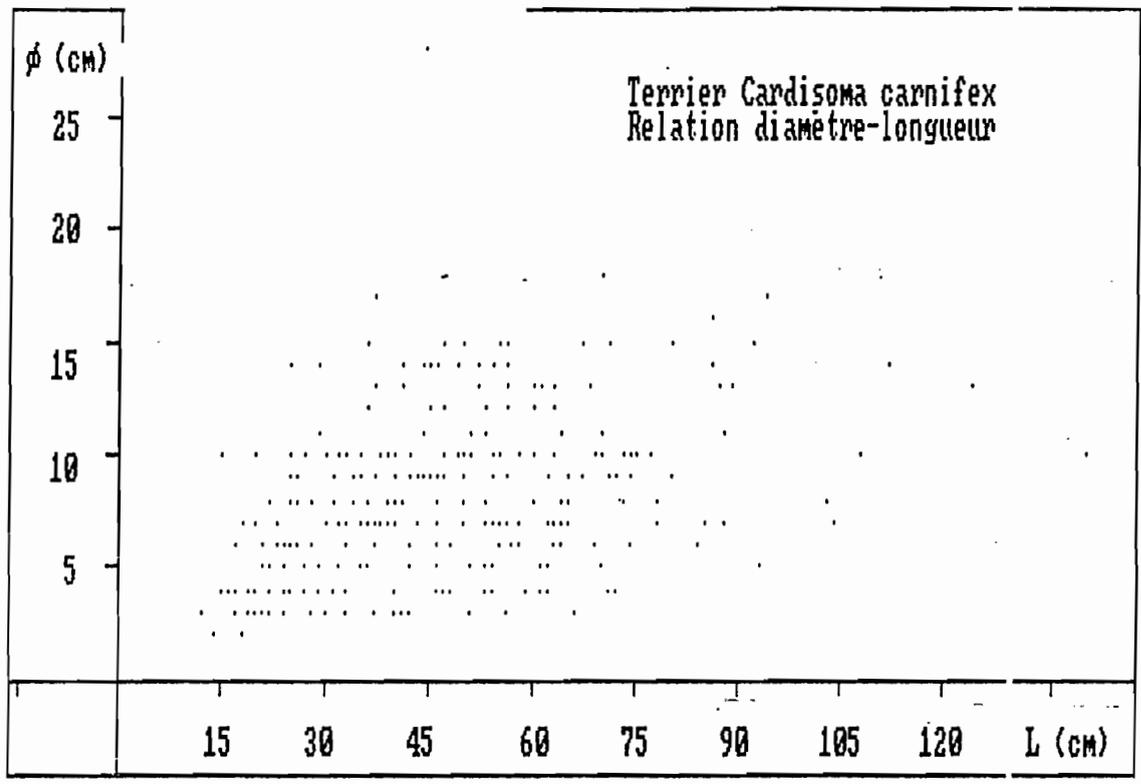


Figure 11 a : Relation diamètre-longueur pour les terriers

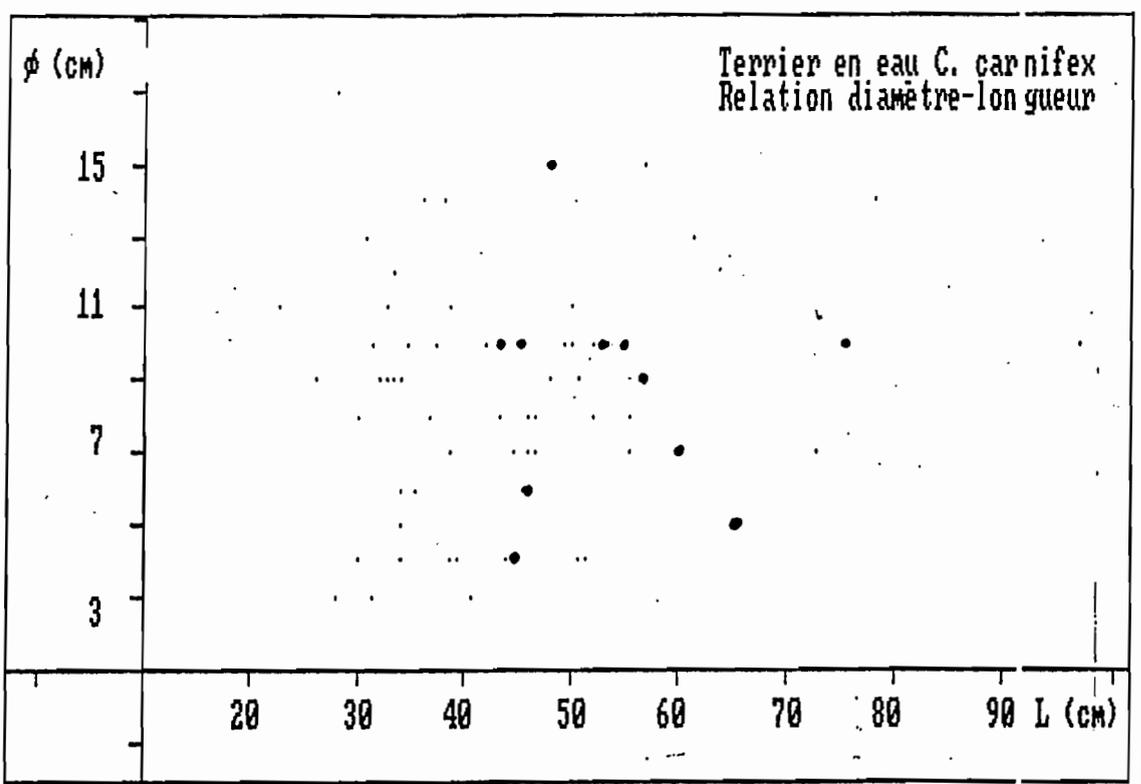


Figure 11 b : Relation diamètre longueur des terriers "en eau". Les terriers positifs pour A. polynesiensis sont en "gras".

4.2 - La population des moustiques adultes

42.1 - Migrations intra-îlot

Les migrations intra-îlot n'ont été abordées que d'une manière descriptive. Lors de tests de coloration des moustiques avec des poudres fluorescentes, on a pu constater que si la plupart des moustiques avaient tendance à rester dans les environs les plus proches du lieu de lâché (dans un rayon d'une dizaine de mètres), on pouvait en recapturer parfois assez loin, et ceci après un temps assez court (quelques heures à une journée). On trouvera à l'annexe 2 les données de terrain concernant ces colorations et montrant bien le degré de mobilité des populations de moustique. La carte 10 illustre, de façon sommaire, ces données pour les colorations jaune et vert, en indiquant les migrations minimales des moustiques (effectuées en un jour), à partir du point de lâché le plus proche de la recapture.

Les migrations intra-îlot sont donc possibles, sur des distances parfois plus grandes que celles dont fait état la littérature. Ceci n'est pas surprenant, -vu le couvert végétal de l'îlot et le degré de forte humidité constante qui régnait durant l'expérience. Aussi, on est en droit de se demander si des migrations inter-îlot sont possibles, et actives.

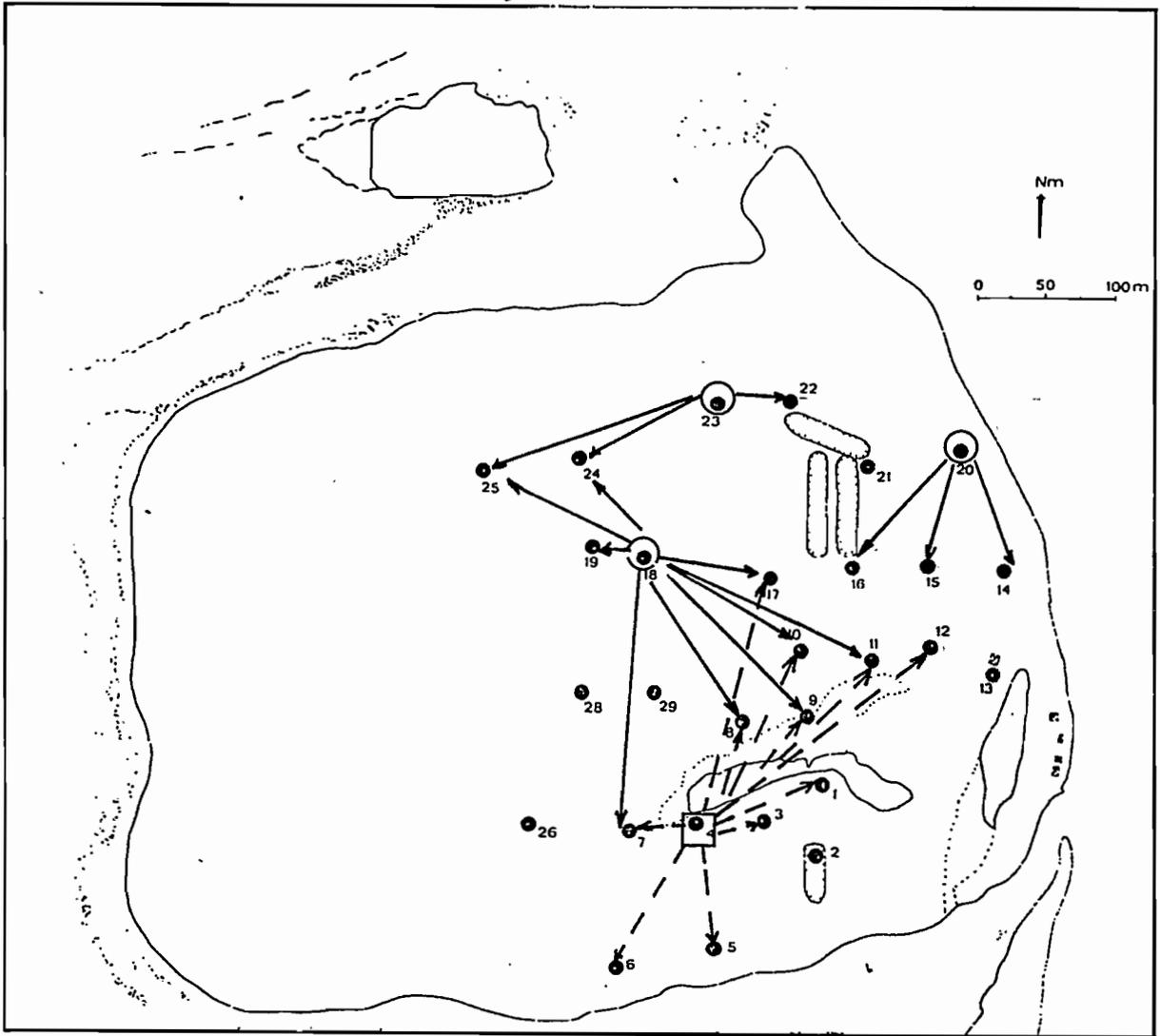
42.2 - Migrations inter-îlot : isolement de la zone d'étude.

Les données du tableau 2 (cf. § 342.2) et résumées au tableau 3, ont servi à l'ajustement du modèle d'ARNASON (1972). Ce modèle permet d'obtenir des estimations de certains paramètres de population. Entre autres, on peut estimer :

- La probabilité qu'un animal, vivant et dans la zone x au temps j, soit vivant et dans la zone y au temps j+1.
- La probabilité qu'un animal, vivant et dans la zone x au temps j, soit vivant au temps j+1
- La probabilité qu'un animal, vivant et dans la zone x au temps j, soit capturé dans l'échantillon pris au temps j.
- La taille de la population vivant dans la zone x au temps j.

LARDEUX et LONCKE (1987) ont établi un programme permettant de calculer ces paramètres. Les données de terrain, pour Tereia (Tab. 3) ont donné les résultats consignés dans le tableau 4.

On constate, que les valeurs $\text{PHI}(j, x, y)$, (qui donnent une idée du taux d'échange entre les deux zones) sont très élevées dans chaque zone (les moustiques restent sur place) et très faibles d'une zone à l'autre ($\text{PHI}(1, A, B)$; $\text{PHI}(1, B, A)$) : les migrations



- Point de lâché de moustiques verts
- Point de lâché de moustiques jaunes.

Carte 10 : Un exemple de migrations minimales intra-filot

```

+++++
+   PARAMETRES DE DEUX POPULATIONS   +
+ SUJETTES A MIGRATIONS ENTRE 2 ZONES +
+++++

```

PREMIER ECHANTILLONNAGE (Temps t = 1)

TOTAL CAPTURE ET MARQUE DANS LA ZONE A : 2185
TOTAL CAPTURE ET MARQUE DANS LA ZONE B : 2160

DEUXIEME ECHANTILLONNAGE (Temps t = 2)

ZONE A :

TOTAL CAPTURE EN A : 983
NBRE MARQUES EN A (à t = 1) ET RECAPTURES EN A : 103
NBRE MARQUES EN B (à t = 1) ET RECAPTURES EN A : 4

ZONE B :

TOTAL CAPTURE EN B : 1334
NBRE MARQUES EN A (à t = 1) ET RECAPTURES EN B : 6
NBRE MARQUES EN B (à t = 1) ET RECAPTURES EN B : 98

TROISIEME ECHANTILLONNAGE

ZONE A :

TOTAL CAPTURE EN A : 1070
NBRE MARQUES EN A (à t = 1) ET RECAPTURES EN A : 34
NBRE MARQUES EN A (à t = 2) ET RECAPTURES EN A : 16
NBRE MARQUES EN B (à t = 1) ET RECAPTURES EN A : 7
NBRE MARQUES EN B (à t = 2) ET RECAPTURES EN A : 4

ZONE B :

TOTAL CAPTURE EN B : 1656
NBRE MARQUES EN A (à t = 1) ET RECAPTURES EN B : 6
NBRE MARQUES EN A (à t = 2) ET RECAPTURES EN B : 2
NBRE MARQUES EN B (à t = 1) ET RECAPTURES EN B : 92
NBRE MARQUES EN B (à t = 2) ET RECAPTURES EN B : 49

Tableau 3 : Données introduites dans le modèle d'Arnason.

```

+++++
+   PARAMETRES DE DEUX POPULATIONS   +
+ SUJETTES A MIGRATIONS ENTRE 2 ZONES +
+++++

```

FICHER : C:\FREDERIC\RANGI.MIG

MODELE GENERAL

PHI(j,x,y) = probabilité qu'un animal, vivant et dans la zone x au temps j, soit vivant et dans la zone y au temps j+1

PHI(1,A,A) = .9990882 PHI(1,A,B) = .0247753
 PHI(1,B,B) = 1.205744 PHI(1,B,A) = -1.280964E-02

PHI(j,x) = probabilité qu'un animal, vivant et dans la zone x au temps j, soit vivant au temps j+1 [= PHI(j,x,A) + PHI(j,x,B)]

PHI(1,A) = 1.023864 PHI(1,B) = 1.192934

P(j,x) = probabilité qu'un animal, vivant et dans la zone x au temps j, soit capturé dans l'échantillon pris au temps j.

P(1,A) = .1106618 P(1,B) = 7.657561E-02
 P(2,A) = 1.694101E-02 P(2,B) = 3.186073E-02

N(j,x) = taille de la population vivant dans la zone x au temps j

N(1,A) = 19744.85 N(1,B) = 28207.42
 N(2,A) = 58024.87 N(2,B) = 41869.72

PHI(2,A,A)*P(3,A) = .0162767 PHI(2,B,A)*P(3,A) = 2.998501E-03
 PHI(2,B,B)*P(3,B) = 3.673164E-02 PHI(2,A,B)*P(3,B) = 2.034588E-03

Tableau 4 : Résultat de l'ajustement du modèle d'Arnason

inter îlot sont donc non significatives, que ce soit de Tereia à l'îlot voisin ou de l'îlot voisin vers Tereia.

Ces résultats, qui sont des probabilités, ont parfois des valeurs aberrantes (légèrement >1 ou <0), ce qui signifie que vraisemblablement le taux de recapture est légèrement trop faible pour que ces paramètres soient correctement estimés. Quoiqu'il en soit, les déviations sont peu marquées, et, en attendant confirmation par une autre expérience du même type, mais avec des données plus "solides", on peut dire que l'îlot Tereia est isolé de l'îlot voisin. Cet isolement est relatif puisqu'il existe tout de même un certain flux de moustiques de part et d'autre, mais, ces échanges sont très faibles et insignifiants, par exemple, lors de captures de femelles agressives en un point donné.

42.3 - Estimation des densités des femelles agressives

423.1 - Indices d'abondance

Les indices d'abondance sont constitués par les données de capture, par station, d'une durée de 10 mn (cf Tab.1, Tab.2 et annexe 2).

L'interprétation de ces indices est toutefois difficile. En effet, le nombre de femelles agressives capturées en 10 mn est extrêmement variable pour une même station. Ceci tient à plusieurs facteurs, dont l'influence mutuelle (synergie, antagonisme, niveau d'action par rapport les uns par rapport aux autres ...) est délicate à déterminer. On peut citer, entres autres :

- Le cycle d'activité même des moustiques (facile à décrire) : Une composante temporelle journalière doit donc intervenir.
- L'influence locale des facteurs physiques (végétation, ombre, humidité de l'air, vent etc...)
- L'attractivité des captureurs, qui peut varier d'un jour à l'autre.
- Des éclosions massives qui peuvent avoir lieu à une station, après d'autres observations antérieures (dont le niveau est alors, bien sur, très inférieur)
- D'autres facteurs inconnus, que l'on ne peut pas mesurer (par exemple, la station a été "visitée" par d'autres personnes un peu avant les captures. Les moustiques se sont gorgés et ne viennent pas piquer les captureurs.)

La figure 12 illustre ces variations en présentant une série d'observations obtenues sur différentes stations.

Pour chaque station, les captures ont été faites sur une série de jours distincts, parfois à des heures différentes d'un jour à l'autre (les heures de capture sont indiquées au dessus de chaque point).

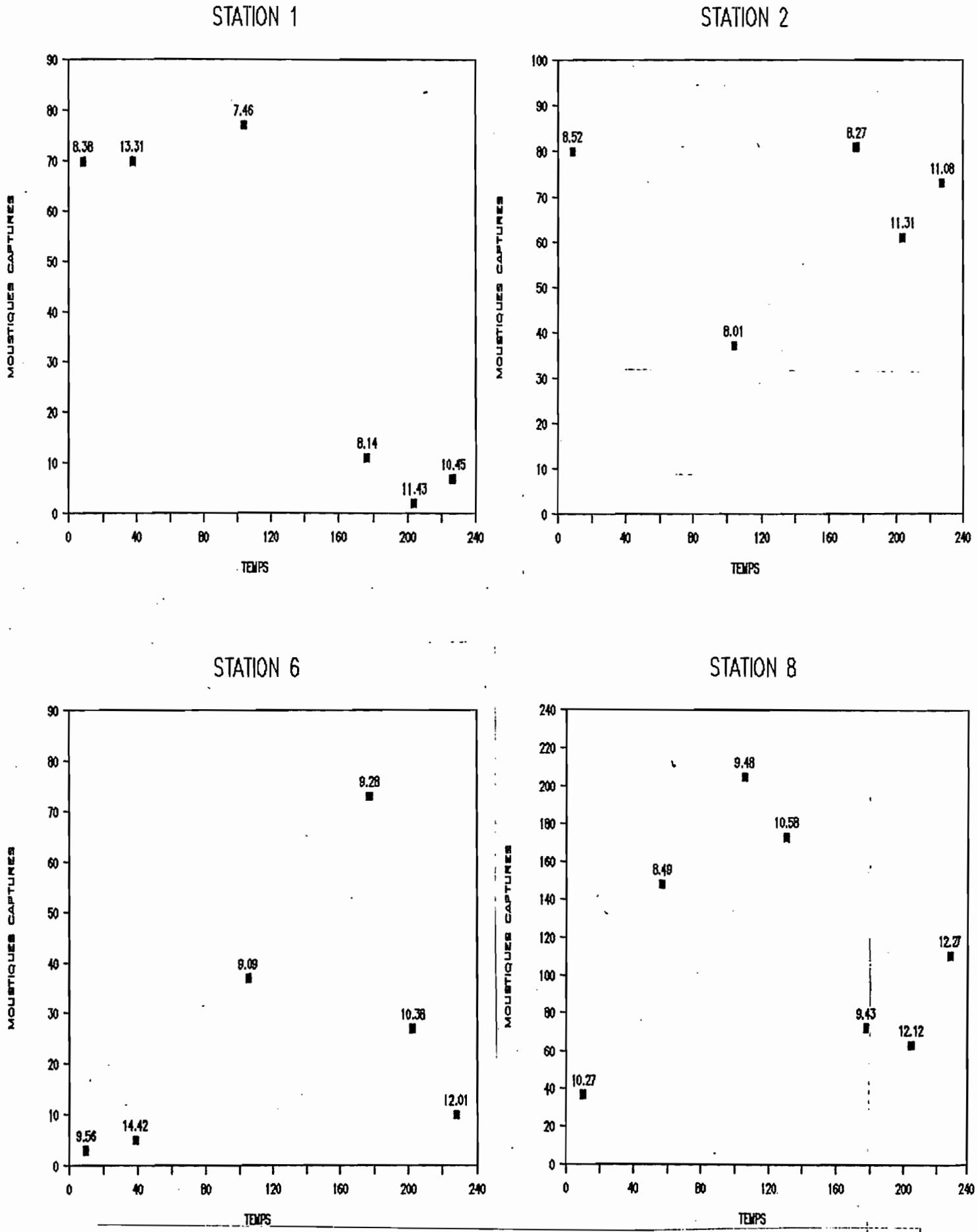
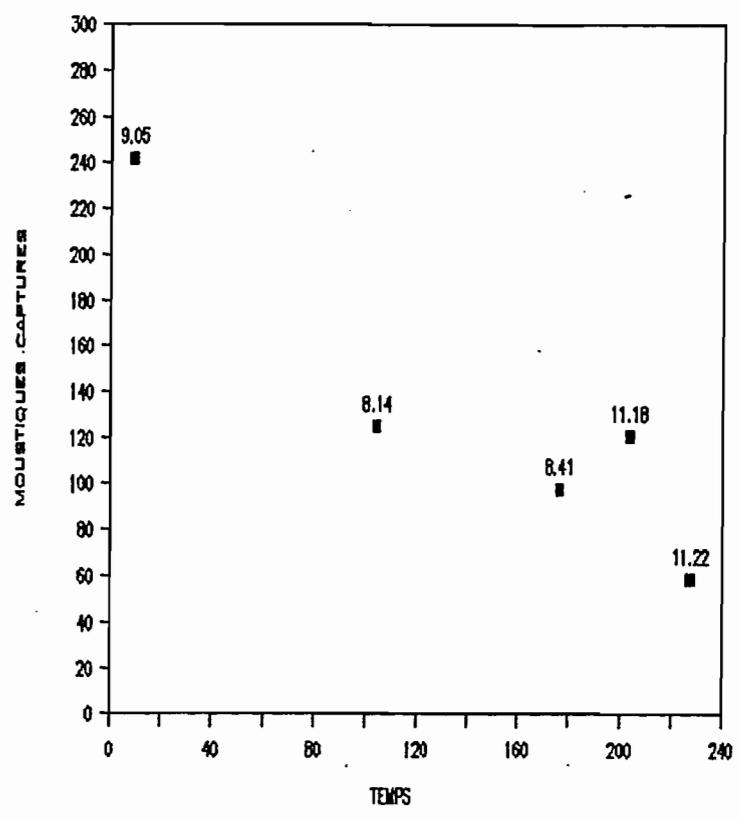
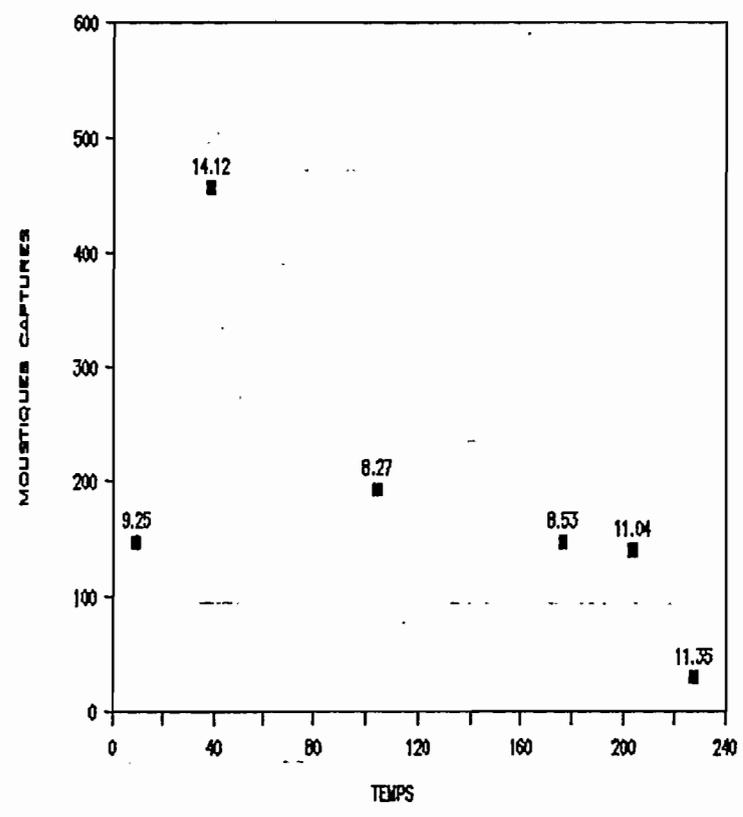


Figure 12 : Variations journalières du niveau des captures (10 mn) pour quelques stations
[un point = un jour à une heure donnée]

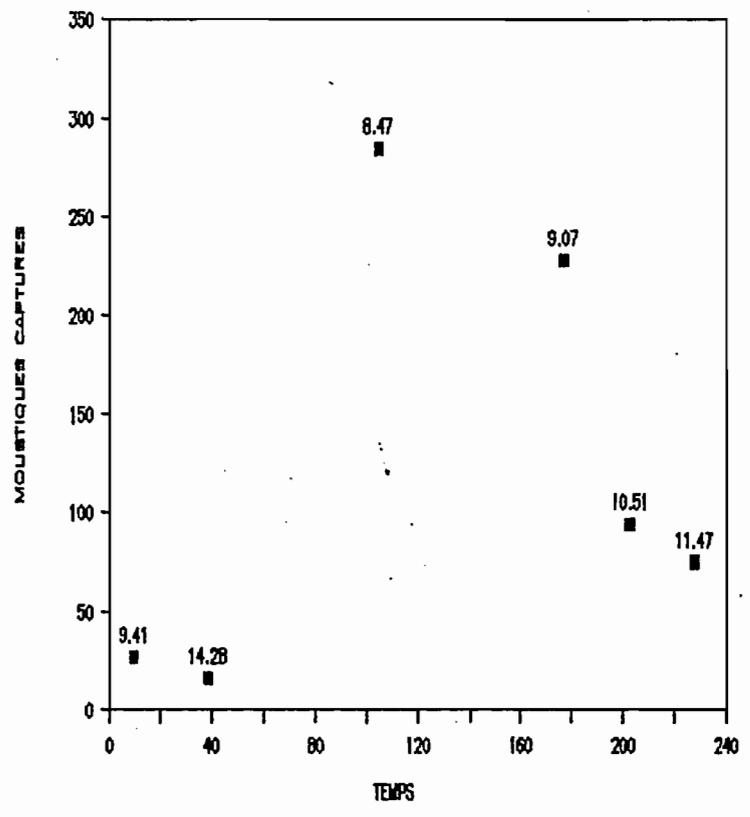
STATION 3



STATION 4



STATION 5



STATION 7

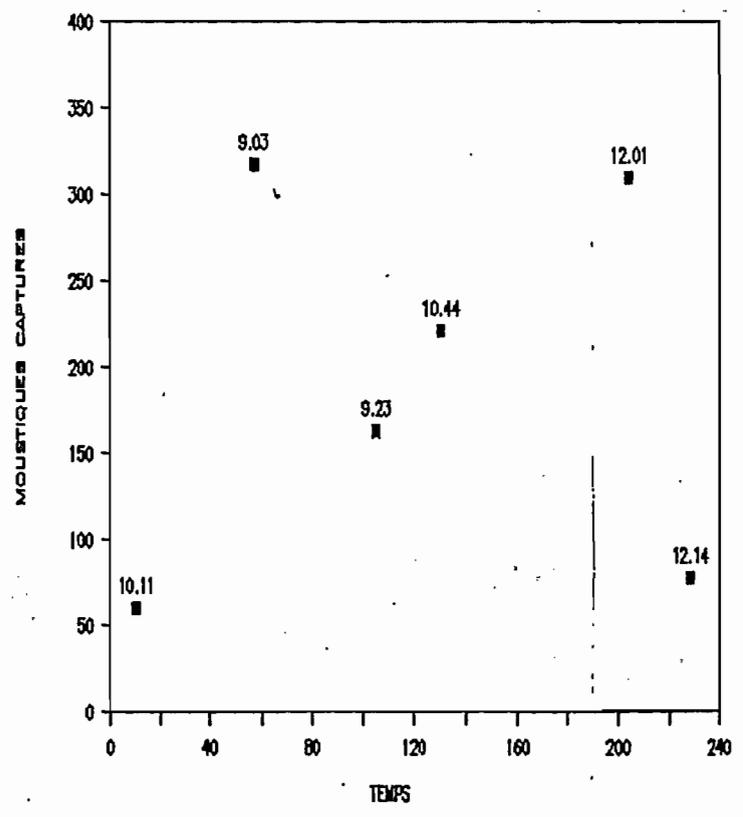
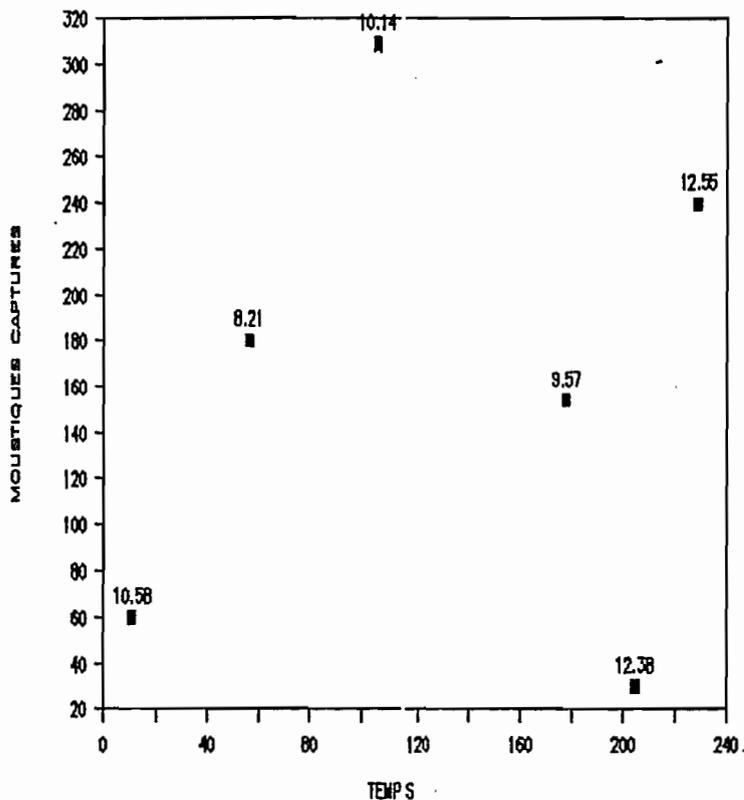
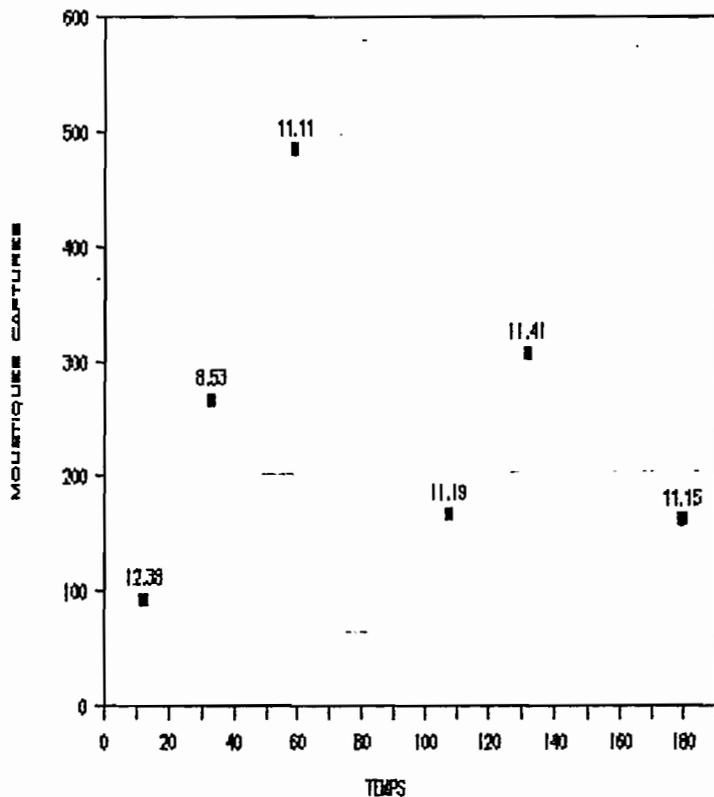


Figure 12 (suite) : captures journalières de 10 mn.

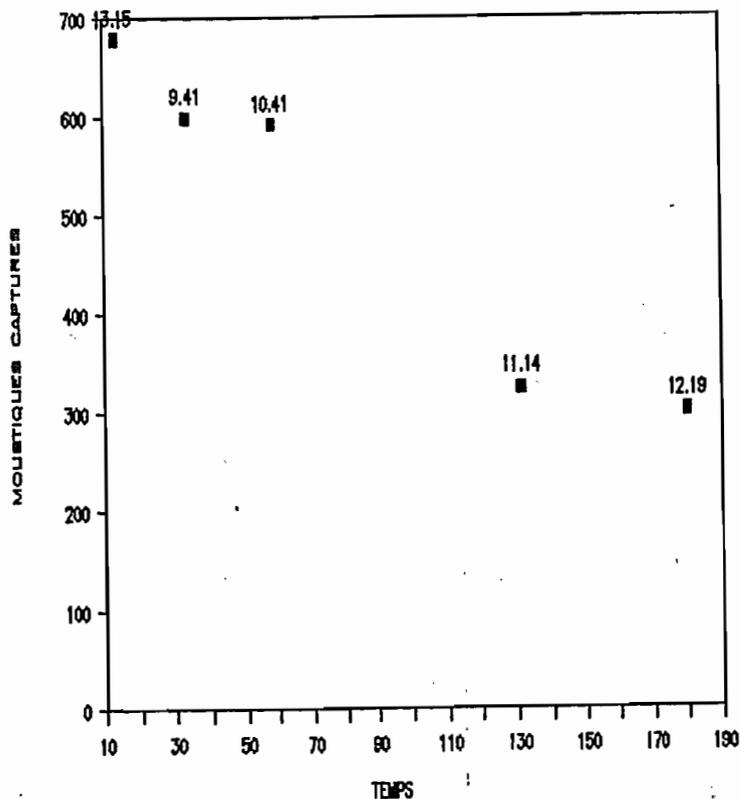
STATION 10



STATION 16



STATION 18



STATION 25

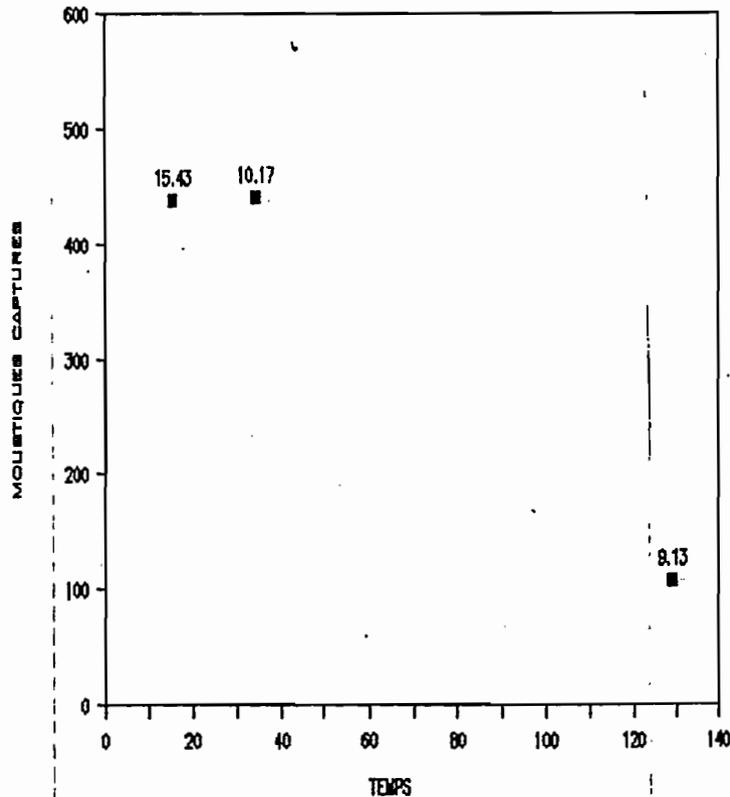


Figure 12 (suite) : captures journalières de 10 mn.

On constate que pour de nombreuses stations, les variations du nombre de moustiques capturés sont importantes, indépendantes du jour de capture et de l'heure : aucune tendance n'apparaît. A certaines stations (n° 2, 3, 6 et éventuellement 8), ces variations sont moins marquées, et explicables en partie par la plus faible quantité de moustiques capturés. Toutefois, on remarque qu'une même station présente un état "semi-quantitatif" fixe : on peut, par exemple, classer les stations dans des groupes du genre "captures nombreuses", "captures moyennes", "captures faibles". L'interprétation des données de capture serait donc plus aisée si les valeurs étaient transformées de façon à réduire ces variations, qui sont d'autant plus fortes que le niveau des captures est élevé (cf. la relation moyenne-variance (fig. 13)).

La relation moyenne-variance permet d'ailleurs de définir la meilleure transformation (c'est à dire ici, celle qui normalise les données). Elle est de la forme $y = x^p$, avec $p = 1 - b/2$ (TAYLOR, 1961). La valeur b est obtenue dans le calcul de la régression $\text{Log}(\text{variance}) = a + b \cdot \text{Log}(\text{moyenne})$. Dans le cas présent, on trouve $p = 1 - 1.596/2 = 0.201$. On n'est pas dans le cas de la transformation logarithmique classique où $p = 0$.

Les tests classiques (c'est à dire -faisant appel à des distributions normales) peuvent donc être appliqués aux données de capture, moyennant la transformation préalable des données. On peut ainsi comparer les moyennes des captures dans plusieurs stations ou même faire des analyses de variance. De même, les comparaisons "avant-après" traitement pour une même station devront se faire après transformation des données. Si on désire échapper à la transformation des données, des tests non paramétriques devront être employés. Les techniques non paramétriques ont cependant le désavantage de ne pas permettre le calcul d'intervalles de confiance.

Si on reprend par exemple les stations 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 qui ont déjà fait l'objet de commentaires précédemment et qu'on essaye de faire l'analyse de variance des captures à ces stations durant 6 périodes d'observation (22, 23 et 24, 26, 29, 30 et 31 octobre), on obtient, après transformation des données (par puissance 0.2), les résultats du tableau suivant :

Source de variation	degrés de liberté	somme des carrés	variance	F	
				calculé	5%
JOURS	5	1.657	0.333	2.17	2.45
STATIONS	8	6.442	0.805	5.23	2.18
RESIDUELLE	40	6.148	0.153		
TOTALE	53	14.257			

Le coefficient de variation est égal à 16.2 % : la précision de l'analyse est donc moyenne. Toutefois, on remarque (au seuil 1%) une différence significative entre les stations de captures mais pas entre les jours de capture. Ainsi, d'un jour à l'autre, on peut considérer que le niveau moyen des captures, sur la zone couverte par les stations, est stable, alors que d'une station à l'autre, il

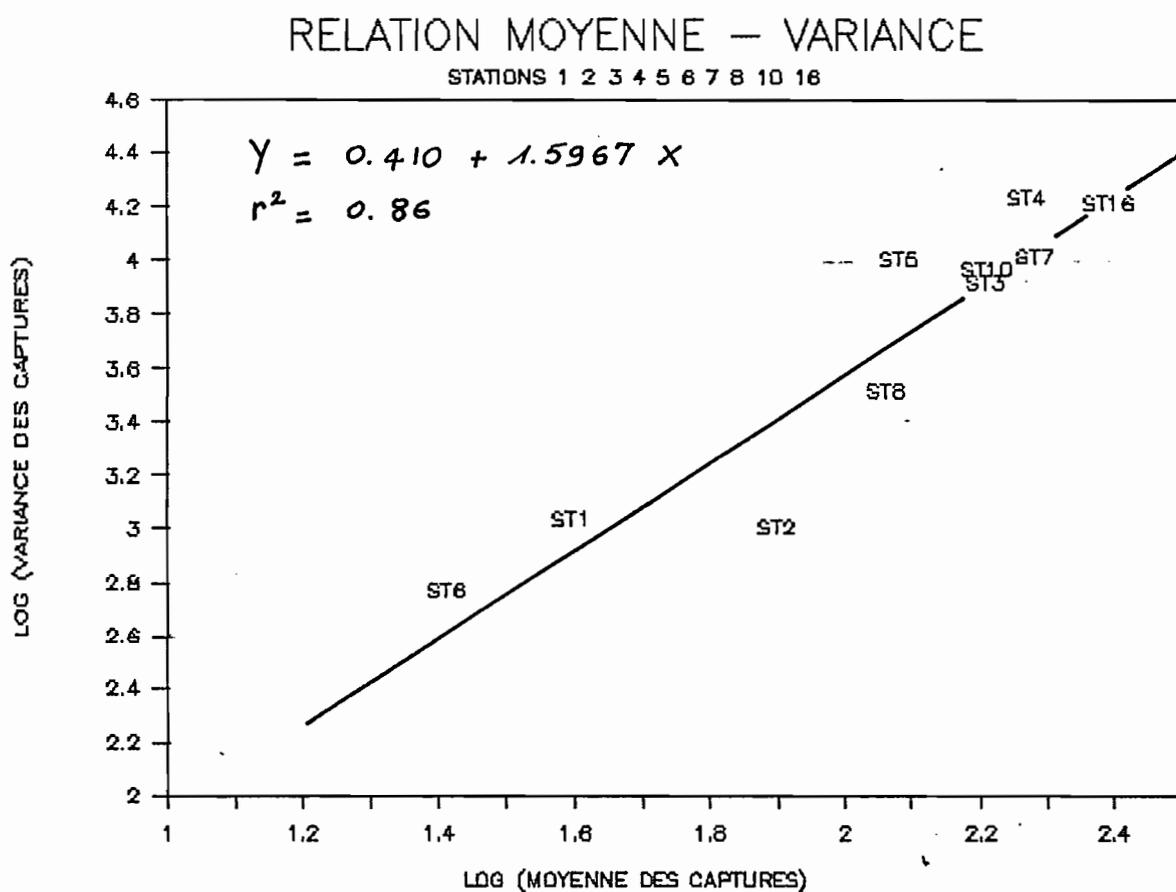


Figure 13 : Relation moyenne - variance du nombre de moustiques capturés par station

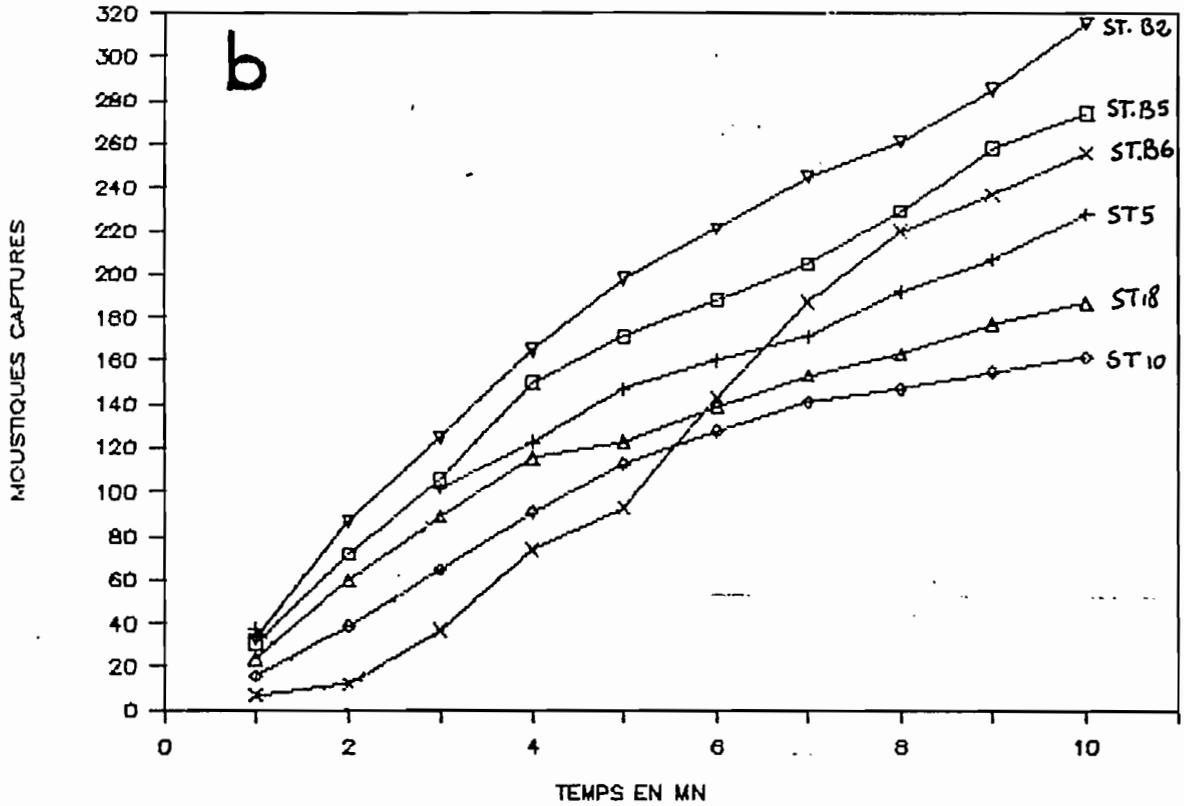
existe (bien entendu), des différences. Au niveau de l'échantillonnage, cela signifie que vraisemblablement des captures effectuées sur un seul jour sont suffisantes pour estimer l'abondance des moustiques dans une zone. De même, si une série de captures ne peut pas être faite le jour même, on peut repousser l'expérimentation au jour suivant, sans risques de variations énormes au niveau des résultats.

La méthode consistant à capturer des moustiques sur appâts humain, durant un laps de temps fixé et en des lieux différents, apparaît donc correcte pour l'obtention d'indices d'abondances. Cette méthode doit cependant être optimisée et des expérimentations dans ce sens devraient être conduites :

- Durée optimale de la capture : en effet, la durée de 10 minutes, préconisée par BONNET et CHAPMAN (1955); n'est peut-être pas toujours adaptée, surtout lorsque les densités apparentes de moustiques sont élevées. La figure 14 montre d'ailleurs ce phénomène. On constate que lorsque les densités sont relativement faibles (fig. 14 b), le nombre cumulé de moustiques capturés par minute se stabilise rapidement, ou au moins ne varie plus beaucoup au delà d'une certaine limite. Les captures de 10 mn sont ici justifiées. Par contre, si les femelles agressives sont nombreuses, il ne semble pas que 10 mn de capture soient suffisantes pour "épuiser" la population locale et avoir un indice approché des densités. Il serait intéressant de pouvoir calculer le gain de précision pour une augmentation de la durée de capture.
- Influence de l'heure de capture : le rythme nycthéméral d'activité d'Aedes polynesiensis n'est peut être pas le même selon les lieux de vie (semi-urbain, rural, disponibilité de repas sanguins etc...). A Rangiroa, il n'a pas semblé que l'heure ait eu une influence sur le niveau des captures. Ce n'est peut être pas le cas si les conditions (météorologiques, ou selon la saison de l'année par exemple) ne sont plus les mêmes.
- Choix du nombre de stations pour une surface à échantillonner. Ici, on touche en partie le problème du "rayon d'attraction" des captureurs, en fonction des conditions biotiques et abiotiques.
- Choix du nombre de visites à chaque station. Ce problème est un corollaire de l'influence de l'heure de capture et de la durée de capture. On peut le résumer ainsi : vaut-il mieux échantillonner plusieurs fois la même station pendant des durées courtes (par exemple 3 fois 5 mn) durant la même journée ou faire une seule capture 15 minutes ?
- enfin, des expérimentations devraient être conduites pour estimer (et quantifier si possible) l'influence des

NOMBRE DE MOUSTIQUES CAPTURES EN 10 MN

COURBES CUMULEES MN PAR MN



NOMBRE DE MOUSTIQUES CAPTURES EN 10 MN

COURBES CUMULEES MN PAR MN

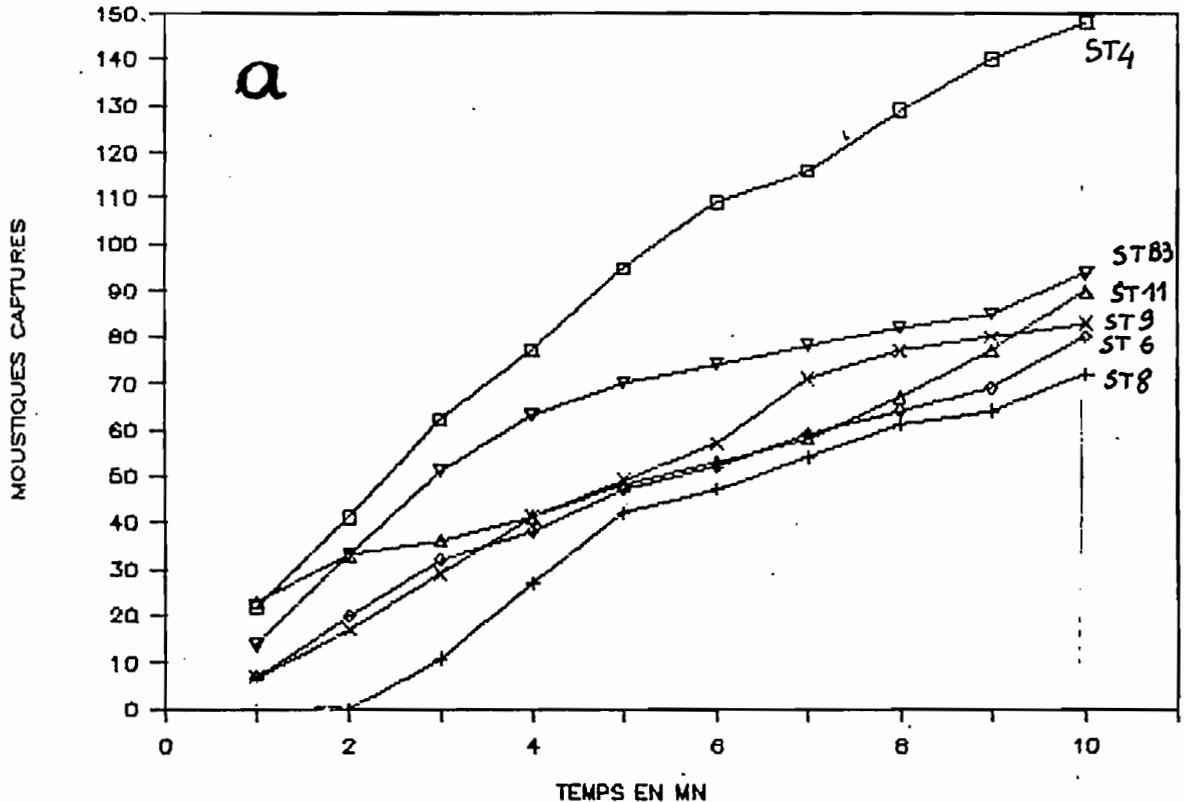


Figure 14 : Captures cumulées minute par minute, pendant 10 mn, à différentes stations.
a - fortes densités de moustiques
b - faibles densités de moustiques

sources de biais principales : comportement des moustiques (donc détermination d'un indice de capturabilité), "performance" des captureurs, inadéquation de l'heure de capture et de la distribution des moustiques etc...

423.2 - Estimation de l'abondance totale

Comme les indices d'abondance sont difficiles à obtenir avec précision, l'estimation de l'abondance totale des moustiques à Tereia sera elle aussi, sujette à erreur. Toutefois, une tentative a été faite grâce aux données de marquage-recaptures. Ces données ont été ajustées au modèle de JOLLY-SEBER (JOLLY, 1965; SEBER, 1965). Les résultats, présentés dans le tableau 5 sont un peu décevants par leur manque de précision. Ceci n'est pas surprenant, vu les sources de biais et d'erreur existant dans ce type d'expérience. Les résultats ont été obtenus à l'aide d'un programme mis au point par LARDEUX (1987), chez qui on trouvera aussi une description du modèle et les modalités d'application.

Les données obtenues à Rangiroa ne sont certes pas optimales pour ce genre de calcul. Les hypothèses de départ d'application du modèle peuvent en effet être violées. En particulier, la probabilité de recapture des individus n'est pas la même si on considère qu'une fraction de la population marquée peut, dans le laps de temps qui sépare deux captures, prendre un repas sanguin. Comme les captures sont faites d'un jour sur l'autre et qu'Aedes polynesiensis a besoin d'au moins 4 jours entre deux repas sanguins, cette probabilité est alors nulle pour les moustiques gorgés alors qu'elle est très élevée pour les autres. On regardera donc les résultats de l'ajustement au modèle avec circonspection. L'idéal aurait peut-être été de faire gorguer les moustiques capturés avant de les relâcher et de ne faire les recaptures que 4 jours plus tard. Cette méthodologie n'a pas été appliquée à Rangiroa en raison de la durée trop longue qu'aurait pris l'expérience.

On peut cependant comparer les résultats avec ceux obtenus par le modèle d'ARNASON et qui ne concernent, eux, qu'une zone délimitée de l'îlot.

42.4 - Pondoirs pièges

Sur Tereia, une série de pondoirs pièges a été disposée à chaque station de capture des femelles adultes (carte 6). Le but de cette expérience était d'essayer d'obtenir un autre type d'indice d'abondance que ceux issus des captures sur appât humain. Le pondoir piège est une technique simple, indépendante de conditions anthropiques (attractivité différentielle des captureurs etc...) et dont on peut facilement et à peu de frais répéter la mise en place. Cette technique est moins sujette aux aléas que les captures sur appât humain et l'interprétation des données est plus facile.

Les pondoirs pièges utilisés s'apparentent à ceux préconisés pour Aedes aegypti. Il s'agit d'un godet en plastique de 0.5 litre

(10 cm de diamètre au sommet et 7 cm à la base et 11 cm de haut), de couleur noire, dans lequel est pratiqué un petit trou servant à l'évacuation du trop plein des eaux de pluie et au maintien d'un niveau d'eau constant. Les femelles pondent sur une baguette de plastique (14 cm de long, 2 cm de large et 3 mm d'épaisseur) sur laquelle est fixé du papier buvard de couleur verte. Ces pondoirs sont fixés au niveau du sol, pour "concurrencer" les terriers de crabe.

Les pondoirs ont été laissés sur place durant une semaine, mais n'ont pas donné les résultats escomptés. Les A. polynesiensis n'ont pas utilisé les pondoirs pièges, comme le montre le tableau 6.

42.5 - Conclusion : validité des échantillonnages

L'estimation des paramètres de population des moustiques adultes est délicate à réaliser. A Tereia, certains paramètres ont pu être obtenus, notamment grâce à des opérations de marquage et de recapture.

Des indices d'abondance peuvent être dérivés des données de capture sur appât humain. Toutefois, leur interprétation est délicate en raison de leur manque de précision.

Dans le cadre d'une estimation d'impact d'un traitement insecticide (ici, lutte biologique), où on s'attend à une forte réduction des populations culicidiennes, ce manque de précision peut être pallié par la baisse drastique de ces indices. Dans le cas contraire, il paraît illusoire, dans l'état actuel des choses, de pouvoir analyser ne serait-ce que des tendances. Il faut donc revoir le mode d'échantillonnage des populations de moustique afin d'obtenir des indices fins, dont on peut suivre l'évolution. Ceci suppose une bonne connaissance de l'écologie d'Aedes polynesiensis et des sources de biais et de variation.

L'interprétation des données d'abondance sera alors plus aisée, qu'elle passe par des techniques d'analyse statistiques classiques (inférentielles) ou d'autres méthodes, comme celles de la géostatistique. Cette dernière paraît d'ailleurs bien adaptée à l'analyse des indices d'abondance et serait à approfondir à l'avenir.

4.3 - Les opérations de traitement

Les opérations de traitement de l'îlot ont nécessité le travail de trois équipes de quatre personnes pendant environ 120 heures. M. aspericornis a été inoculé dans un peu plus de 17 300 terriers. On peut remarquer que ce chiffre correspond bien à l'estimation du nombre de terriers faite au préalable (environ 20 000).

43.1 - Transport des copépodes

Contrairement à la technique utilisée auparavant au laboratoire pour le transport des copépodes sur les lieux d'étude

(SECHAN et LARDEUX, 1987), il n'a pas été utilisé de container réfrigéré. La technique de transport a été modifiée : les copépodes sont triés au laboratoire en lots d'une cinquantaine d'individus et mis dans des tubes plastiques (genre tube à essai) clos hermétiquement par un bouchon. La survie des copépodes dans ces conditions est excellente puisqu'elle dépasse plusieurs jours, voire quelques semaines (2 à 3) si les conditions extérieures de températures sont optimales. Les tubes peuvent donc être préparés à l'avance et stockés.

Cette méthode a de plus l'avantage de présenter les copépodes sous la forme d'une "dose" que l'on peut injecter telle quelle dans les terriers. Les manipulations sur le terrain sont donc réduites.

43.2 - Protocole

Le protocole de traitement est simple. Sur le terrain, chaque équipe délimite à l'aide de palmes de cocotier, des petites zones (quelques centaines de m²) qu'elle "s'approprie". A l'intérieur de chaque zone, tous les terriers sont sondés à l'aide d'un tuyau d'arrosage de 2 m de long environ. Lorsque le tuyau a atteint la chambre, une "dose" de copépodes y est versée et on rajoute environ 1 litre d'eau douce pour entraîner les copépodes. L'eau douce est puisée directement dans un puits creusé sur l'îlot. Elle est transportée à dos d'homme dans des bidons de 25 litres jusque sur les lieux de traitement. Une personne est donc chargée de l'approvisionnement de l'équipe en copépodes (stockés à l'ombre et au frais dans un maillé), une autre du tuyau de "traitement" des terriers, tandis que les deux autres se relaient pour le transport de l'eau douce.

43.3 - Paramètres de succès

L'opération ayant eu lieu durant une saison pluvieuse, la majorité des terriers situés dans les zones basses étaient en eau. La nappe phréatique, avec un niveau haut, était accessible. Les traitements en ont donc été facilités. La réussite de l'inoculation est donc quasi certaine.

Le risque majeur d'échec d'une telle expérience est l'assèchement des terriers, le copépode ne semblant pas résister à la dessiccation. Dans ce cas, lors de la remise en eau, les populations de moustique pourront s'y re-développer et aucun prédateur ne pourra contrôler cette nouvelle population.

Un autre risque, similaire à celui d'un échec d'inoculation, est l'oubli du traitement de certains gîtes ou l'impossibilité d'en traiter certains (de par les dimensions même des tuyaux de traitement, les terriers dont le diamètre est inférieur à 4 cm n'ont pas été traités). Si ces gîtes ne sont pas productifs (à sec, etc...) cela ne porte pas à conséquence. Dans le cas contraire, la contribution de ce gîte à l'abondance en moustiques adultes dans le secteur risque de masquer l'effet de prédation des copépodes dans les autres terriers.

On sait que M. aspericornis est capable de maîtriser les populations de larves d'Aedes dans les petits gîtes en eau. La

réussite d'une lutte biologique à grande échelle doit dépasser cette constatation en analysant ce qui se passe au niveau de la nuisance causée par les moustiques : si le niveau des populations n'est pas abaissé suffisamment, la lutte peut-être considérée comme un échec. Ce n'est donc pas la valeur du copépode comme agent de prédation qui est en doute, mais plutôt la dynamique même des gîtes de ponte (variations du niveau de l'eau, contribution d'un gîte à l'abondance générale etc...) et l'efficacité des personnes chargées du traitement. C'est ceci qui doit être analysé dans les études futures.

CONCLUSION GENERALE

L'expérimentation de lutte biologique menée sur un îlot de l'atoll de Rangiroa (Tuanotu, Polynésie française) contre Aedes polynesiensis avec le copépode Mesocyclops aspericornis a pour but de tester, à grande échelle et in situ, les potentialités du crustacé à maîtriser la dynamique des populations de moustiques.

Pour cela, il a fallu tout d'abord dresser un état général du lieu d'étude avant traitement :

- Répartition des gîtes de ponte du moustique (les terriers du crabe terrestre Cardisoma carnifex).
- Productivité de ces gîtes (densité des stades préimaginaux ...)
- Densité des populations de moustiques adultes

La détermination de ces paramètres est passée par la mise en place de plans d'échantillonnages. Ceux-ci ont certes permis de résoudre en partie les problèmes posés mais encore, ont mis en évidence la nécessité de reposer certaines questions fondamentales comme celles de l'échantillonnage des moustiques adultes, en vue de l'obtention d'indices d'abondance fiables.

Les opérations de traitement ont montré qu'il était possible de traiter tout un îlot. Toutefois, vu le nombre élevé de personnes nécessaires à sa réalisation, la durée de l'expérimentation et l'infrastructure (disponibilité des copépodes dans les îles éloignées ...) et travail demandés, on est en droit de se demander quel peut-être, en Polynésie, l'avenir de cette technique de lutte, même dans le cas où l'efficacité du copépode s'avérerait excellente. Il serait donc souhaitable d'essayer d'abaisser l'ensemble des coûts (matériels et humains) pour optimiser la méthode.

réussite d'une lutte biologique à grande échelle doit dépasser cette constatation en analysant ce qui se passe au niveau de la nuisance causée par les moustiques : si le niveau des populations n'est pas abaissé suffisamment, la lutte peut-être considérée comme un échec. Ce n'est donc pas la valeur du copépode comme agent de prédation qui est en doute, mais plutôt la dynamique même des gîtes de ponte (variations du niveau de l'eau, contribution d'un gîte à l'abondance générale etc...) et l'efficacité des personnes chargées du traitement. C'est ceci qui doit être analysé dans les études futures.

CONCLUSION GENERALE

L'expérimentation de lutte biologique menée sur un îlot de l'atoll de Rangiroa (Tuamotu, Polynésie française) contre Aedes polynesiensis avec le copépode Mesocyclops aspericornis a pour but de tester, à grande échelle et in situ, les potentialités du crustacé à maîtriser la dynamique des populations de moustiques.

Pour cela, il a fallu tout d'abord dresser un état général du lieu d'étude avant traitement :

- Répartition des gîtes de ponte du moustique (les terriers du crabe terrestre Cardisoma carnifex).
- Productivité de ces gîtes (densité des stades préimaginaux ...)
- Densité des populations de moustiques adultes

La détermination de ces paramètres est passée par la mise en place de plans d'échantillonnages. Ceux-ci ont certes permis de résoudre en partie les problèmes posés mais encore, ont mis en évidence la nécessité de reposer certaines questions fondamentales comme celles de l'échantillonnage des moustiques adultes, en vue de l'obtention d'indices d'abondance fiables.

Les opérations de traitement ont montré qu'il était possible de traiter tout un îlot. Toutefois, vu le nombre élevé de personnes nécessaires à sa réalisation, la durée de l'expérimentation et l'infrastructure (disponibilité des copépodes dans les îles éloignées ...) et travail demandés, on est en droit de se demander quel peut-être, en Polynésie, l'avenir de cette technique de lutte, même dans le cas où l'efficacité du copépode s'avérerait excellente. Il serait donc souhaitable d'essayer d'abaisser l'ensemble des coûts (matériels et humains) pour optimiser la méthode.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNASON A.N. - 1972 - Parameter estimates from mark-recapture experiments on two populations subject to migration and death. Res. Popul. Ecol. XIII : 97-113.
- BONNET D.D., CHAPMAN H. - 1956 - The larval habitat of Aedes polynesiensis Marks in Tahiti and methods of control. Arer. J. Trop. Med. Hyg., 7 (5) : 512-518.
- BOUCHON C. - 1981 - Quantitative study of the scleractinian coral communities of a fringing reef of Reunion Island (Indian Ocean). Mar. Ecol., 4 : 273-288.
- JOLLY G.M. - 1965 - Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration - stochastic model. Biometrika 52 : 225-247.
- LARDEUX F. - 1987 - Estimation des paramètres démographiques d'une population par le modèle de JOLLY-SEBER. Programme BASIC d'application. Rapport ITRMLM.
- LARDEUX F. - 1988 - Estimation des populations des larves de moustique dans les terriers du crabe terrestre Cardisoma carnifex. Echantillonnage par élimination d'individus. A paraître.
- LARDEUX F., KAY B., COLOMBANI L. - 1987 b - Lutte biologique contre Aedes polynesiensis avec le copépode Mesocyclops aspericornis. Expérimentation à Tikehau. I - Prospection et recherche de sites d'étude. Proposition de lutte intégrée. Rapport ITRMLM n°12 / 87 / ITRM / Doc-Ent : 15 p.
- LARDEUX F., LONCKE S. - 1987 - Un programme BASIC d'estimation de paramètres de deux populations animales sujettes à migrations entre deux zones. Rapport ITRMLM n°14 / 87 / ITRM / Doc-Ent.
- LARDEUX F., SECHAN Y., FAARUJA M., COLOMBANI L., TERIITEFO L. - 1987 a - Lutte biologique contre Aedes polynesiensis avec le copépode Mesocyclops aspericornis. Expérimentation à Huahine. I - Prospection et recherche de sites d'étude. Rapport ITRMLM n°10 / 87 / ITRM / Doc-Ent : 15 p.
- PENNINGTON M.R., GROSSLEIN M.D. - 1978 - Accuracy of abundance indices based on stratified-random trawl surveys. ICNAF Res. Doc. 78/VI/77 : 42 p.
- RIVIERE F. - 1979 - La vie animale terrestre à Takapoto. J. Soc. Océanistes XXXV (62) : 19-30.

RIVIERE F., THIREL R. - 1981 - La prédation du copépode Mesocyclops leuckarti pilosa (Crustacea) sur les larves de Aedes (Stegomyia) aegypti et de Ae. (st.) polynesiensis (Dip : Culicidae). Essais préliminaires d'utilisation comme agent de lutte biologique. Entomophaga. 26 (4) : 427-439.

RIVIERE F., KAY B., KLEIN J.M., SECHAN Y. - 1987 - Mesocyclops aspericornis and Bacillus thuringiensis israelensis for the biological control of Aedes and Culex vectors breeding in crab holes and other containers. J. Med. Entomology 24 : 425-433.

RIVIERE F., KLEIN J.M., DUVAL J., SECHAN Y. - 1983 - Biological control of Aedes aegypti and Aedes polynesiensis in French Polynesia : use of natural predators.
Article présenté au 15^{ème} congrès de Pacific Science Association, University of Otago (Dunedin-New Zealand), Fev 1-11, 1983. 17p.

RIVIERE F., KLEIN J.M., PICHON B., SECHAN Y., DUVAL J. 1985 - Ecologie de Aedes polynesiensis, Marks, 1951, (Diptera : Culicidae) en Polynésie française : IV. Observations en relation avec les trous du crabe terrestre Cardisoma carnifex (Herbst, 1874). Centre ORSTOM de Tahiti. Notes et documents d'entomologie médicale n° 8 : 37 p.

SCHERRER B. - 1983 - Techniques de sondage en écologie. In FRONTIER S. (Ed.) - Stratégies d'échantillonnage en écologie, Masson : 63-162.

SEBER G.A.F. - 1965 - A note on the multiple recapture census. Biometrika 52 : 249-259.

SECHAN Y., LARDEUX F. - 1987 - Contrôle biologique d'Aedes aegypti et Aedes polynesiensis avec le copépode prédateur Mesocyclops aspericornis. Rapport O.M.S. du projet TDR/VBC n° 840361 / 850343 : 39 p.

SERVICE M.W. - 1983 - Biological control of mosquitoes - has it a futur ? Mosq. News 43 : 113-120.

TAYLOR L.R. - 1961 - Aggregation, variance and the mean. Nature, Lond. 189 : 732-735.

ANNEXE 1 : CALENDRIER ET COÛT DES MISSIONS
(en Francs CFP)

1^{ère} mission :

	DATES (Jours)	TRANSPORT (à charge de)	FRAIS
F. LAPSEUK	6/5/87 au 14/5/87 (8j)	25 210 (ORSTOM)	57 960 (ORSTOM)
A. TETUANUI	6/5/87 au - 14/5/87 (8j)	25 210 (ITRMLM)	47 872 (ITRMLM)
L. TERIITEPO	6/5/87 au 14/5/87 (8j)	25 210 (ITRMLM)	35 472 (ITRMLM)
Petit matériel (Aller-retour)		14 106 (ORSTOM)	
Gros matériel (tarif approx.)		20 000 (ORSTOM)	
Divers			1 742 (ORSTOM)
Essence Hors bord			18 000 (ORSTOM)
TOTAL		109 726	161 046
		270 782	

2^{eme} mission

	DATES (Jours)	TRANSPORT (à charge de)	FRAIS
F. LARDEUX	20/10/87 au 18/11/87 (30)	25 210 (ORSTOM)	217 350 (ORSTOM)
M. FAARUIA	18/10/87 au 18/11/87 (32)	25 210 (ITRMLM)	191 488 (ITRMLM)
L. TERIITEFO	20/10/87 au 18/11/87 (30)	25 210 (ITRMLM)	133 020 (ITRMLM)
Main d'oeuvre temporaire (9 pers./30 j)	20/10/87 au 18/11/87 (30)		500 500 (ORSTOM et ITRMLM)
Gros matériel	(tarif approx.)	100 000 (ORSTOM)	
Transport des copépodes		174 777 (ORSTOM et ITRMLM)	
Divers			57 498 (ORSTOM)
Essence Hors bord			90 000 (ORSTOM)
TOTAL		350 407	1 189 856
		1 540 268	

ANNEXE 2 : DONNEES BRUTES DE CAPTURE ET COLORATION

Date Coloration	22 octobre rose		23 octobre vert ou jaune		
	Station	Heure	Total	Heure	Total
1	8.38	70	13.31	70	1
2	8.52	80	13.45	142	0
3	9.05	242	13.58	323	5
4	9.25	147	14.12	457	8
5	9.41	27	14.28	16	0
6	9.56	3	14.42	5	0
7	10.11	60			
8	10.27	37			
9	10.45	5			
10	10.58	50			
11	11.11	18			
12	11.24	19			
13	11.38	2			
14	12.11	4	8.26	27	0
15	12.25	4	8.39	68	2
16	12.38	93	8.53	267	11
17	12.56	264	9.07	477	44
18	13.15	679	9.41	599	5
19	13.34	293	9.58	633	14
20	13.48	23	11.56	57	2
21	14.03	258	11.41	471	64
22	14.52	170	11.18	449	3
23	14.58	315	11.01	487	5
24	15.14	247	10.41	433	41
25	15.43	438	10.17	441	3
26					
27					
28					
29					

Station	24 octobre					26 octobre orange				
	Heure	Total	Roses	Jaunes	Verts	Heure	Total	Roses	Jaunes	Verts
1						7.46	77	2	1	0
2						8.01	37	0	0	0
3						8.14	125	1	5	1
4						8.27	193	1	3	4
5						8.47	285	1	4	1
6						9.09	37	0	1	3
7	9.03	317	1	1	1	9.23	162	2	2	0
8	8.49	148	1	0	2	9.48	205	4	1	3
9	8.36	195	0	0	2	10.01	156	4	4	5
10	8.21	180	0	0	2	10.14	309	2	3	7
11	8.07	215	6	0	2	10.42	364	6	5	10
12	7.53	364	7	2	10	11.33	416	3	1	4
13	7.41	146	4	0	4					
14	11.37	23	0	0	2					
15	11.25	76	1	0	12					
16	11.11	485	11	0	31	11.19	167	2	0	7
17	10.55	357	3	2	21					
18	10.41	592	5	0	105					
19	10.26	440	9	0	38					
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26	9.21	234	0	0	2					
27	9.39	171	2	1	2					
28	9.55	110	0	0	0					
29	10.08	128	2	0	0					

27 octobre					
Station	Heure	Total	Roses	V / J	Oranges
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7	10.44	221	0	1	17
8	10.58	173	1	9	14
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15	11.55	53	0	1	0
16	11.41	307	3	15	1
17	11.27	214	1	15	0
18	11.14	325	3	11	2
19	9.31	366	5	13	0
20	8.03	14	0	2	0
21	8.16	269	3	11	0
22	8.29	178	5	14	0
23	8.45	380	17	27	0
24	9.01	172	4	4	0
25	9.13	107	0	7	1
26	10.31	262	0	3	13
27	9.44	219	2	10	3
28	9.58	146	2	1	4
29	10.11	452	1	7	16

