

La démoustication de la plaine de Magadino : II. écologie des populations du moustique *Aedes vexans* (Meigen) et propositions de lutte intégrée

Autor(en): **Fouque, Florence / Baumgärtner, Johann / Delucchi, Vittorio**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Entomologique Suisse = Journal of the Swiss Entomological Society**

Band (Jahr): **71 (1998)**

Heft 3-4

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-402728>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

La démoustication de la plaine de Magadino.

II. Écologie des populations du moustique *Aedes vexans* (MEIGEN) et propositions de lutte intégrée

FLORENCE FOUQUE¹, JOHANN BAUMGÄRTNER² & VITTORIO DELUCCHI³

¹ Laboratoire d'Entomologie médicale de l'Institut Pasteur de la Guyane, BP 6010, F-97306 Cayenne cedex, Guyane française.

² Department of applied ecology and ecosystem science, International Center of Insect Physiology and Ecology (ICIPE), P.O. Box 30772, Nairobi, Kenya

³ Im Langstück 8, Gockhausen, CH-8044 Zurich

Mosquito control in the Magadino plain. II. Population ecology of Aedes vexans (MEIGEN) and proposals of integrated control. – A mosquito nuisance in the Magadino plain (Canton Ticino, Switzerland) was studied between 1988 and 1992. Faunistic surveys, ecological studies, follow-up of the population dynamics were carried out to determine the most important biting-species, the origins of the nuisance and the effects of natural control factors to define an integrated control program. *Aedes vexans* (MEIGEN), the most important biting-species deposits eggs in south-oriented humid soils of temporary pools. Under natural conditions, the development and survival of larvae and pupae are primarily functions of the water temperature. The estimated biological parameters were validated by means of a simulation model. The nuisance most probably originated from the natural evolution of the vegetation and topography of the region. The natural mortality factors such as the reduction of oviposition and the increase of the natural predation can be enhanced through habitat management. Larval control with *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*, already implemented since 1987, is also included in the proposed integrated control program. Finally, a follow-up of the ecological conditions of the Magadino plain is absolutely necessary to avoid further mosquito outbreaks.

Keywords: *Aedes vexans*, integrated control, Switzerland

INTRODUCTION

La plaine de Magadino, située dans le canton du Tessin en Suisse, est formée par le delta du fleuve Tessin dans le lac Majeur. Au siècle dernier cette zone marécageuse était soumise aux infestations de moustiques, avec des épisodes de transmission palustre endémique. A partir des années 1880, le fleuve Tessin fut endigué pour permettre le développement économique de la région (ANTONIETTI *et al.*, 1964). La plaine de Magadino est alors devenue une zone de production agricole, et les populations de moustiques étaient relativement bien tolérées par les habitants jusqu'à récemment. Depuis environ 30 ans, l'industrie du tourisme s'est fortement développée dans le canton du Tessin, jusqu'à devenir la troisième ressource économique de la région. Les installations touristiques se sont souvent implantées autour du lac Majeur. En 1974, une surface d'environ 800 hectares située au niveau du delta du Tessin fut transformée en réserve naturelle appelée "Bolle di Magadino" afin d'y protéger les espèces rares de plantes et d'oiseaux migrateurs. A partir du milieu des années 1980, les populations de moustiques de la plaine de Magadino ont provoqué des nuisances ayant des répercussions économiques. L'Association du Tourisme du Tessin perdit en deux ans environ 10 millions de francs suisses (annulation des réservations dans les hôtels ou campings, départs précipités, etc.). En

conséquence, le gouvernement du Tessin décida de financer deux types d'actions: un programme de recherche sur trois années et des opérations de lutte antilarvaire à base de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (B.t.i.).

La situation géographique de la plaine de Magadino sur le versant sud des Alpes lui confère un climat mixte, avec des hivers continentaux froids et secs, et des étés subatlantiques chauds et pluvieux, favorables aux pullulations de moustiques. Cette plaine alluviale sédimentaire présente des sols assez acides qui favorisent les groupements forestiers à frênes. La majorité de la surface est utilisée par l'agriculture, les surfaces restantes sont recouvertes de forêts inondables, y compris dans la réserve des "Bolle di Magadino" qui a subi des transformations importantes de sa topographie et de sa végétation depuis environ 20 ans (Fig. 1). En effet, cette zone marécageuse était soumise à la pression des activités traditionnelles de fauchage des herbes à fourrage pour l'alimentation du bétail, de ramassage du bois mort pour le chauffage, et de nettoyage des canaux d'irrigation pour les activités de pêche. La création de la réserve naturelle s'est accompagnée de l'interdiction de poursuivre les activités traditionnelles. Les canaux d'irrigation se sont bouchés et la végétation a évolué naturellement. Les surfaces d'herbes à fourrage ont diminué de moitié et les surfaces boisées ont doublé. Le niveau de l'eau du lac Majeur est régulé selon la même législation depuis 1942, modifiée en 1968. Le lac Majeur présente de fortes

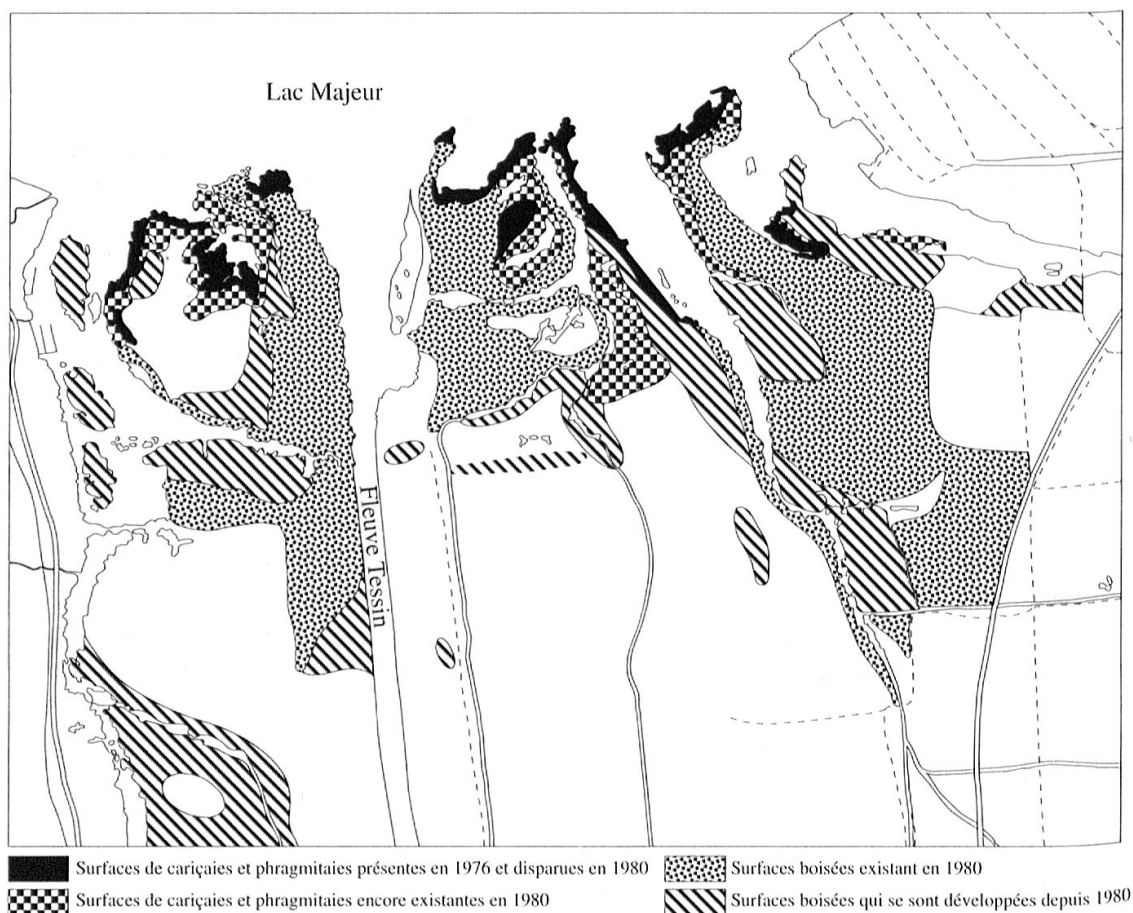


Fig. 1. Carte simplifiée de la réserve naturelle des "Bolle di Magadino", montrant l'évolution de la végétation, en particulier des herbes à fourrage et des zones boisées, entre 1974 et 1992.

variations de son niveau qui peut augmenter de 100 à 150 cm en l'espace de quelques heures, en inondant alors la basse plaine de Magadino. Les eaux du lac Majeur étaient considérées dans les années 1980 comme méso-eutrophiques, c'est-à-dire très chargées en matière organique (LACHAVANNE & PERFETTA, 1981). Dans les années 1990, ces eaux sont devenues oligo-eutrophiques, c'est-à-dire moins chargées en matières organiques. Pendant plus d'un siècle, les conditions environnementales de la plaine de Magadino ont donc subi de nombreuses transformations qui se poursuivent encore aujourd'hui, avec des périodes de bouleversements plus ou moins importants.

Afin de déterminer les origines des nuisances récentes provoquées par les moustiques et d'établir les bases scientifiques d'un programme de lutte contre ces espèces, un projet de recherche a été mis en oeuvre entre 1988 et 1992 (FOUQUE, 1991). Cette publication résume les résultats obtenus par ce programme de recherche, notamment l'identification de l'espèce la plus nuisante, les informations acquises sur son écologie et sa dynamique des populations, et la détermination des facteurs naturels de contrôle de cette espèce. A partir de ces données, des hypothèses sur l'origine des nuisances sont émises ainsi que des recommandations sur la gestion de l'environnement basées sur les facteurs naturels de régulation, sur l'intégration des méthodes de contrôle et l'optimisation des interventions de lutte.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Identification des espèces de moustiques responsables de la nuisance

Durant la première année de recherche, une étude faunistique a été entreprise pour identifier les espèces de moustiques présentes dans la plaine de Magadino. Des prélèvements au hasard de larves et de nymphes ont été effectués dans divers habitats larvaires prospectés une ou plusieurs fois à différentes périodes de l'année. Des adultes ont également été prélevés avec un aspirateur à bouche dans des sites de repos, sur les murs de certaines habitations, étables et porcheries. Pour déterminer les espèces responsables de la nuisance, des captures d'adultes femelles sur appât humain ont été réalisées dans différentes conditions écologiques. Des informations sur les conditions écologiques environnantes ont également été rassemblées à l'occasion des prélèvements et captures de moustiques.

Etude de l'écologie et de la dynamique des populations de l'espèce la plus nuisante

Le stade oeuf a fait l'objet d'une première série de recherches. Un plan d'échantillonnage stratifié au hasard avec assignation optimale des unités d'échantillonnage (SAWYER & HAYNES, 1978) a été appliqué dans quatre mares temporaires pendant dix mois. Des échantillons de terre d'environ 10 cm³ étaient prélevés sur les bords non-immersés des mares et rapportés au laboratoire. Les oeufs ont été extraits de ces échantillons par une méthode de lavage et de flottation (FOUQUE, 1992). Les fluctuations des densités d'oeufs ont été suivies et analysées en fonction des paramètres environnementaux tels que la profondeur de la mare, les variations des niveaux d'eau, l'exposition du terrain et la situation écologique de la mare.

Les stades préimaginaux aquatiques (larves et nymphes) de l'espèce la plus nuisante ont ensuite fait l'objet de suivis en laboratoire et en conditions naturelles, durant deux années, afin de mieux comprendre leurs exigences écologiques et la dynamique de leurs populations. Des essais en laboratoire avec des températures

variables et fixes ont permis d'estimer les paramètres biologiques de développement, tels que les durées de développement ou les survies spécifiques à chaque stade en fonction des températures. Des échantillonnages au hasard dans des habitats larvaires sélectionnés ont permis de récolter des données démographiques rassemblées dans des matrices stade-fréquence, dont l'analyse a été faite selon la méthode de MANLY (1987).

D'après les informations rassemblées sur l'écologie des oeufs, des larves, des nymphes et des adultes de l'espèce la plus nuisante, une cartographie de ses gîtes dans la plaine de Magadino a été dressée.

Développement d'un modèle de simulation

Les paramètres physiologiques de l'espèce la plus nuisante, à savoir les taux de développement et de mortalité, en fonction des variations de la température, ont été utilisés dans le développement d'un modèle de simulation des fluctuations des populations de cette espèce. Ce modèle a été développé à partir d'un modèle stochastique basé sur un délai distribué dans le temps (MANETSCH, 1976; VANSICKLE, 1977) dans lequel la température ne contrôle pas que le développement, mais aussi la mortalité. Ce modèle est discuté par SEVERINI *et al.* (1990) et permet la représentation d'une population avec une structure d'âge qui varie dans le temps, tout en considérant la variabilité du développement. Ce modèle permet d'améliorer notre compréhension des phénomènes qui sont mis en jeu dans le développement et la survie de l'espèce la plus nuisante.

RÉSULTATS

Identification de l'espèce la plus nuisante

Les études de faunistique (FOUQUE *et al.*, 1991) ont permis d'identifier 19 espèces de moustique présentes dans la plaine de Magadino (Tab. 1). Parmi ces espèces, *Culex pipiens* (L.) est de loin la plus abondante. Cependant les espèces nuisantes capturées sur appât humain appartenaient toutes au genre *Aedes*, avec 41 % d'*Aedes vexans* (MEIGEN), 18% d'*A. cinereus* (MEIGEN), 15% d'*A. intrudens* (DYAR), et 13% d'*A. sticticus* (MEIGEN). En conséquence, *A. vexans* est l'espèce la plus nuisante.

Les habitats larvaires d'*A. vexans* sont souvent des mares temporaires qui présentent d'importantes variations de leur niveau d'eau et qui sont ombragées par une végétation plus ou moins arborescente. Ces habitats sont localisés principalement dans la réserve naturelle des "Bolle di Magadino" et les bandes de forêt environnante, dans des zones plus ou moins inondables.

Ecologie et dynamique des populations d'A. vexans

Les femelles d'*A. vexans* déposent préférentiellement leurs oeufs dans le sol humide des mares temporaires ombragées. Les plus grands nombres d'oeufs ont été trouvés dans les sols les plus humides, mais non-détrempés et orientés vers le sud (FOUQUE, 1992). Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par HORSFALL (1963) pour *A. vexans* aux Etats-Unis. L'une des mares étudiées a reçu un traitement au B.t.i. Par la suite, le nombre d'oeufs a baissé, puis rapidement recommencé à augmenter. On peut donc supposer que des femelles d'*A. vexans* provenant d'autres habitats ont déposé leurs oeufs dans cette mare restée très attractive. Cette disper-

Tab. 1. Nombres de larves, nymphes et adultes prélevés dans leurs habitats larvaires et dans des sites de repos, et d'adultes capturés sur appât humain dans la plaine de Magadino, du 1er avril au 31 octobre 1988.

Espèces	Nombre de larves prélevées	Nombre d'adultes capturés sur appât humain	Nombre d'adultes prélevés dans des sites de repos
<i>Anopheles claviger</i>	2	0	15
<i>Anopheles maculipennis</i>	59	0	1
<i>Aedes (A.) cinereus</i>	45	39	0
<i>Aedes (A.) vexans</i>	124	88	0
<i>Aedes (O.) annulipes</i>	1	4	0
<i>Aedes (O.) cantans</i>	12	3	0
<i>Aedes (O.) intrudens</i>	0	32	0
<i>Aedes (O.) punctor</i>	1	2	0
<i>Aedes (O.) sticticus</i>	4	29	0
<i>Culex (C.) pipiens</i>	497	3	0
<i>Culex (C.) theileri</i>	1	0	0
<i>Culex (C.) torrentium</i>	84	0	0
<i>Culex (N.) hortensis</i>	28	0	0
<i>Culex (N.) territans</i>	123	0	0
<i>Culiseta (C.) annulata</i>	24	0	0
<i>Orthopodomyia pulchripalpis</i>	1	0	0

sion des femelles d'*A. vexans* pose le problème du rayon d'action des traitements antilarvaires.

Les durées de développement des larves et nymphes d'*A. vexans* sont une fonction de la température spécifique à chaque stade, et des seuils de développement ont été estimés à 6 °C pour les jeunes larves, 9 °C pour les larves âgées et 10,5 °C pour les nymphes (FOUQUE & BAUMGÄRTNER, 1996). La survie journalière des larves et des nymphes est également une fonction des températures, fonction spécifique à chaque stade. Pour des températures identiques à celles étudiées en laboratoire, les durées de développement et la survie journalière en conditions naturelles sont comparables aux valeurs expérimentales. Ces résultats indiquent donc que dans les conditions naturelles de la plaine de Magadino, aucun facteur supplémentaire de mortalité n'affecte significativement les larves et nymphes d'*A. vexans*. Les conditions de nourriture semblent optimales et les prédateurs ne créent pas de forte mortalité (FOUQUE *et al.*, 1992). Ces résultats ont été confirmés par le modèle de simulation qui représente le développement des stades préimaginaux d'une façon satisfaisante (FOUQUE & BAUMGÄRTNER, 1996) et indique que l'on a une perception adéquate des phénomènes.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Origine des nuisances dues à A. vexans: hypothèses

Une meilleure connaissance de l'écologie et de la dynamique des populations d'*A. vexans* nous autorise à formuler des hypothèses sur l'origine des explosions de populations constatées depuis quelques années dans la plaine de Magadino. Les conditions climatiques, principalement, les températures et les précipitations ne présentent pas de changement significatif depuis les années 1970. Les valeurs

moyennes et extrêmes communiquées par l'Observatoire Météorologique de Locarno-Monti (Tessin) sont du même ordre de grandeur que les valeurs relevées depuis le début du siècle. En ce qui concerne les variations du niveau de l'eau du lac Majeur, les valeurs moyennes et maximales communiquées par la Commission Internationale Italo-Suisse responsable des études scientifiques sur ce lac ne présentent pas de tendance à l'augmentation du niveau, la superficie inondée n'est donc pas supérieure. La qualité des eaux du lac qui sont devenues moins riches en matière organique n'a probablement pas influencé les populations d'*A. vexans* qui ne se rencontrent pas directement dans le lac. Par contre les modifications de la topographie et de la végétation dans la plaine de Magadino ont pu contribuer à l'augmentation des populations d'*A. vexans*. Les dépôts sédimentaires du fleuve Tessin qui n'ont plus été éliminés à partir de la création de la réserve des "Bolle di Magadino" se sont accumulés pour fermer les canaux d'irrigation en créant de nombreuses mares temporaires. Ces nouveaux habitats isolés du lac Majeur sont d'autant plus favorables aux *A. vexans* qu'ils sont inaccessibles aux poissons prédateurs de larves. Enfin, le doublement des surfaces boisées dans des zones inondables (Fig. 1) a certainement contribué à l'augmentation du nombre et de l'attractivité des gîtes à *A. vexans*.

Facteurs de contrôle des A. vexans et gestion de leur habitat

Les observations précédentes sur l'écologie et la dynamique des populations d'*A. vexans* permettent d'identifier des facteurs naturels de contrôle de leurs populations, qui peuvent servir de base à deux formes de gestion des habitats larvaires: – 1) Un premier facteur de contrôle est représenté par la réduction des pontes d'*A. vexans* par des actions directes ou indirectes sur certains gîtes larvaires. Certains gîtes pourraient être éliminés, ainsi les mares temporaires de petites dimensions situées assez loin du lac Majeur et en zone forestière pourraient être comblées (Fig. 2). D'autres gîtes pourraient être déboisés et rendus moins attractifs pour l'oviposition en s'asséchant plus rapidement. Ces actions s'intègrent dans une première forme de gestion de l'habitat qui a une influence sur le comportement des adultes d'*A. vexans*.

– 2) Un deuxième facteur de contrôle est constitué par l'augmentation de la mortalité larvaire et nymphale obtenue en facilitant l'accès des gîtes larvaires aux ennemis naturels. En effet, les gîtes larvaires situés aux abords immédiats du lac Majeur pourraient être remis en contact avec le lac et avec les prédateurs potentiels (petits poissons) par la réouverture des anciens canaux. Ces actions correspondent à une gestion de l'habitat différente de la précédente, basée non plus sur le comportement des *A. vexans*, mais sur le comportement de leurs antagonistes naturels.

La prévision dans le temps et dans l'espace du développement des populations nuisantes par le modèle de simulation développé sur les stades larves et nymphes d'*A. vexans* (FOUQUE & BAUMGÄRTNER, 1996) peut par ailleurs permettre une meilleure planification des actions contre ces moustiques. Ce modèle pourrait alors être considéré comme un outil supplémentaire de gestion des populations.

Intégration des méthodes de contrôle des A. vexans

Afin d'éliminer les nuisances provoquées par *A. vexans* dans la plaine de Magadino, il faut réduire drastiquement leurs populations en utilisant toutes les méthodes disponibles. Ces dernières devraient intégrer des éléments d'aménagement de l'habitat et des mesures de lutte.

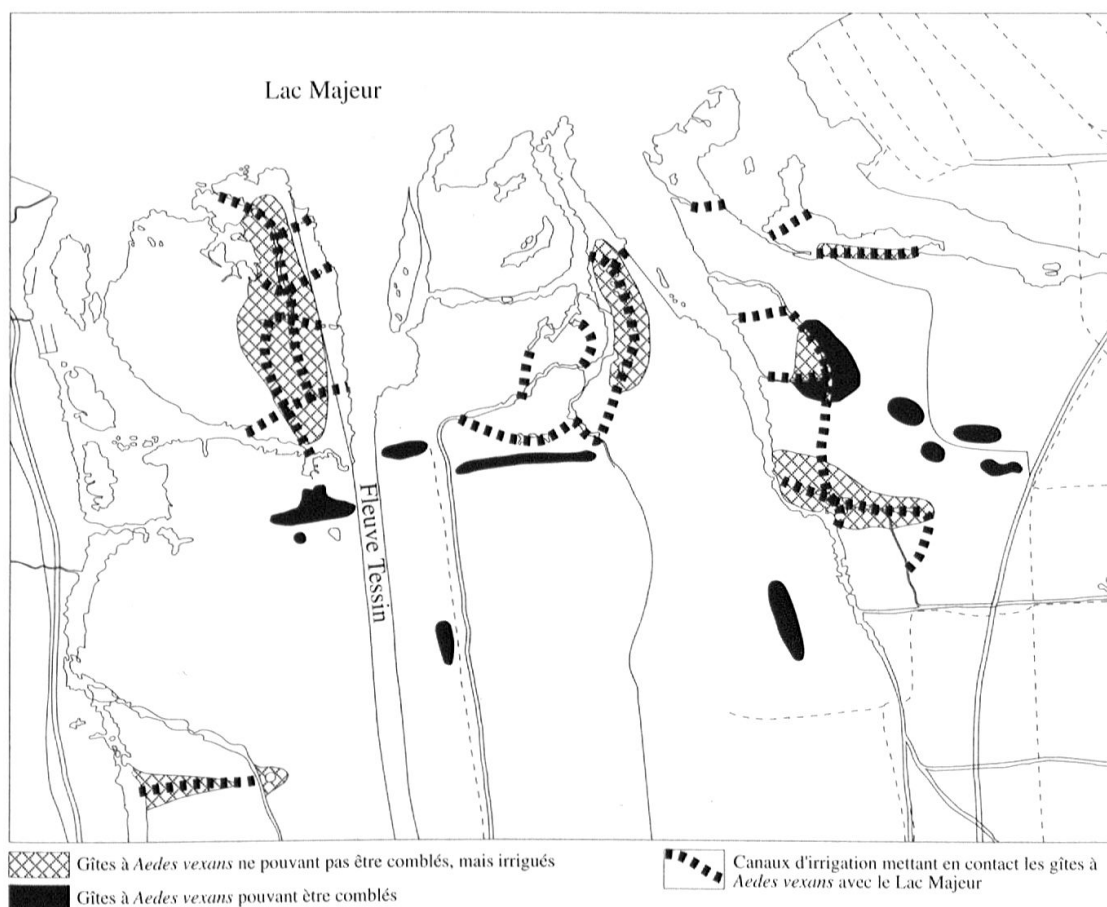


Fig. 2. Carte simplifiée de la réserve naturelle des "Bolle di Magadino", montrant les gîtes à *Aedes vexans* ainsi que les propositions d'aménagement de l'habitat.

Les propositions de gestion de l'habitat sont basées sur les facteurs naturels de contrôle des populations d'*A. vexans* et regroupent les 2 formes de gestion développées ci-dessus. Ces modifications des habitats larvaires, à savoir le comblement de certaines mares temporaires qui sont des gîtes exclusifs pour *A. vexans*, le déboisement de certaines zones, et l'ouverture de canaux d'irrigation, ne sont pas des procédures contraires aux intérêts de la réserve naturelle, car les surfaces humides seraient augmentées par la présence des canaux. Un aspect négatif de ces pratiques consiste en la création d'habitats larvaires pour d'autres espèces de moustiques comme les anophèles ou les *Culex* spp. Cependant ces espèces ne piquent pas l'être humain dans la plaine de Magadino. Ce transfert d'espèce devrait donc favoriser la disparition de la nuisance.

Cependant, l'aménagement de l'habitat ne suffira pas dans un premier temps à réduire durablement et dans toute la zone concernée les populations de moustiques nuisibles à des densités non nuisantes. Il faut donc utiliser contre les *A. vexans* des méthodes de lutte compatibles avec la gestion des habitats. Une lutte biologique par l'introduction d'antagonistes naturels performants (comme par exemple *Hydra viridissima* PALLAS) pourrait être envisagée, mais cette méthode demande des études complémentaires longues et coûteuses. Une lutte physique telle que l'épandage

d'hydrocarbures ou de balles de polystyrène sur les surfaces d'eau n'est pas applicable dans les conditions de la plaine de Magadino. La lutte chimique s'avère impossible dans la réserve naturelle pour plusieurs raisons. Premièrement, l'utilisation de produits chimiques est interdite dans la réserve des "Bolle di Magadino"; deuxièmement, la lutte chimique n'est pas compatible avec l'utilisation des prédateurs naturels envisagée dans la gestion de l'habitat. À l'opposé, la lutte microbiologique anti-larvaire, mise en place par LÜTHY (1992), avec le produit B.t.i., est très adéquate. Jusqu'à présent, cette lutte résulte en une forte réduction des populations d'*A. vexans* quand les épandages de produit sont bien ciblés dans l'espace et dans le temps. Néanmoins, les habitants de la plaine de Magadino se plaignent encore de certaines nuisances dues aux moustiques après des applications mal réussies de B.t.i. Cette lutte pourrait donc être optimisée en utilisant le modèle de simulation. En effet, les émergences des adultes d'*A. vexans*, en fonction du nombre de larves échantillonnées peuvent être simulées en fonction des conditions atmosphériques. Ces prévisions pourraient aider dans la détermination du meilleur moment pour l'application des traitements antilarvaires. Enfin, l'utilisation unique de la lutte microbiologique présente quelques désavantages: les produits sont chers, ils ont une faible rémanence qui nécessite de nombreuses applications avec le risque de développer des résistances de la part des moustiques. La résistance des moustiques au B.t.i. a déjà été obtenue expérimentalement (GEORGHIOU, 1992). De plus, la lutte microbiologique ne permet pas une résolution définitive du problème, c'est pourquoi il semble indispensable d'y associer d'autres méthodes de lutte et de gestion de l'environnement.

Pour conclure, une lutte efficace et raisonnable contre les *A. vexans* doit intégrer des mesures à court terme comme les traitements avec B.t.i. et des mesures à long terme comme les différentes formes de gestion des habitats larvaires. Enfin, une évaluation régulière des modifications écologiques et de leur impact possible sur les populations de moustiques devrait permettre de prévenir de futures explosions de populations nuisantes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs plus vifs remerciements aux Départements de l'Environnement et des Oeuvres Sociales du gouvernement du canton Tessin qui ont financé ce projet de recherche. Toute notre gratitude va également aux Drs. A. BARBIERI, F. FILIPPINI, et à l'Ing. G. RIGHETTI du Département de l'Environnement (Bellinzona, Tessin) pour leur permission d'utiliser leurs laboratoires, pour leur assistance technique et pour les encouragements et conseils amicaux prodigués tout au long de ce travail. Nos sincères remerciements sont aussi adressés au Dr. H. BRIEGEL de l'Université de Zurich et au Prof. Dr. P. LÜTHY de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich pour leur aide et leur collaboration. Enfin, nous remercions l'Osservatorio Ticinese de Locarno-Monti qui nous a communiqué les données climatologiques, ainsi que toutes les personnes impliquées de près ou de loin dans ce travail et qui ont permis sa réalisation dans une bonne ambiance.

RÉSUMÉ

Les nuisances provoquées par les moustiques dans la plaine de Magadino (Tessin, Suisse) ont fait l'objet d'un travail de recherche entre 1988 et 1992. Des études de faunistique, écologiques et de dynamique des populations ont permis de déterminer l'espèce la plus nuisante, les origines de la nuisance et les effets des facteurs naturels de contrôle, afin de proposer des actions de lutte intégrée. *Aedes vexans* (MEIGEN), l'espèce la plus nuisante, dépose ses oeufs dans les sols humides orientés au sud des mares temporaires ombragées. Le développement et la survie des larves et nymphes en conditions naturelles dépendent principalement de la température de l'eau. Un modèle simulant le développement des larves et des nymphes d'*A. vexans* a été utilisé pour vérifier les paramètres estimés. Les origines probables de la nuisance sont l'évolution récente de la végétation et de la topographie dans la plaine de Magadino. Les facteurs naturels de contrôle que sont la réduction de l'oviposition et l'aug-

mentation de la mortalité naturelle des *A. vexans* peuvent être renforcés par la gestion des habitats larvaires. Les propositions de solution intègrent donc des mesures d'aménagement, mais aussi de lutte antilarvaire à base de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*, mises en oeuvre depuis 1987. Enfin, un suivi des modifications écologiques de la plaine de Magadino s'avère indispensable pour éviter de futures infestations.

LITTÉRATURE

- ANTONIETTI, A., KLÖTZLI, F., SCHWARZ, M. & FUNK, F. 1964. *Bolle di Magadino*. Quaderni Ticinesi. Società ticinese per la conservazione delle bellezze naturali e artistiche. Boll. 7, 37 pp.
- FOUQUE, F. 1991. *La démoustication de la plaine de Magadino*. Thèse de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich, N° 9603, Zurich, 172 pp.
- FOUQUE, F. 1992. Stratified random sampling method for a survey of *Aedes* spp. eggs. *Bull. Soc. Vector Ecol.* 17: 132–139.
- FOUQUE, F. & BAUMGÄRTNER, J. 1996. Simulating development and survival of *Aedes vexans* (Diptera: Culicidae) preimaginal stages under field conditions. *J. Med. Entomol.* 33: 32–38.
- FOUQUE, F., DELUCCHI, V. & BAUMGÄRTNER, J. 1991. La démoustication de la plaine de Magadino. I. Inventaire faunistique des Culicidés et identification des espèces nuisibles à l'homme. *Bull. Soc. Entomol. Suisse* 64: 231–242.
- FOUQUE, F., BAUMGÄRTNER, J. & DELUCCHI, V. 1992. Analysis of temperature-dependant stage-frequency of *Aedes vexans* (MEIGEN) populations originated from the Magadino plain (southern Switzerland). *Bull. Soc. Vector Ecol.* 17: 28–37.
- GEORGHIOU, G.P. 1992. Biopesticides and vector resistance: the short- and long-term views. In: *VII European annual meeting of the Society for Vector Ecology, Bologna, Italy, 25–28 August 1992*, Abstracts of the presentations, p. 46.
- HORSFALL, W.R. 1963. Eggs of floodwater mosquitoes (Diptera: Culicidae) IX. Local distribution. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 56: 426–441.
- LACHAVANNE, J.B. & PERFETTA, J. 1981. *Étude des macrophytes des lacs de Lugano (Ceresio) et Majeur (Verbano) (rives Suisses)*. Unité de biologie aquatique. Université de Genève, 128 pp.
- LÜTHY, P. 1992. *Rapporto sulla lotta alle zanzare nel corso dell'anno 1991 nel basso piano di Magadino*. Rapport interne, non publié, 9 pp.
- MANETSCH, T.J. 1976. Time-varying distributed delay models and their use in aggregative models of large systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 6: 547–553.
- MANLY, B.F. 1987. A multiple regression method for analyzing stage-frequency data. *Res. Popul. Ecol.* 29: 119–127.
- SAWYER, A.J. & HAYNES, D.L. 1978. Allocating limited sampling resources for estimating regional populations of overwintering cereal leaf beetles. *Environ. Ent.* 7: 62–66.
- SEVERINI, M., BAUMGÄRTNER, J. & RICCI, M. 1990. Theory and practice of parameter estimation of distributed delay models for insect and plant phenology. In: GUZZI, R., NAVARRA, R.A. & SHUKLA, J. (eds), *Meteorology for environmental sciences*. World, Singapore, pp. 674–719.
- VANSICKLE, J. 1977. Attrition in distributed delay models. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 7: 635–638.

(reçu le 5 août 1997; accepté après révision le 15 décembre 1997)

