

***Validité de l'utilisation d'un substrat
artificiel dans le cadre d'une surveillance
écologique des rivières tropicales
traitées aux insecticides***

Claude DEJOUX (1), Jean-Marie JESTIN (2),
Jean-Jacques TROUBAT (3)

RÉSUMÉ

La surveillance écologique à long terme des rivières ouest africaines traitées aux insecticides dans le cadre du Programme de lutte contre l'onchocercose nécessite la mise en œuvre de méthodes et techniques diverses. Parmi celles-ci on trouve l'utilisation de substrats artificiels, périodiquement échantillonnés. Les récoltes sont effectuées chaque mois et les substrats remis en place à chaque fois. On recherche ainsi sur les plans qualitatif et quantitatif, l'état des peuplements d'invertébrés atteint après un laps de temps d'environ 30 jours.

Plusieurs expérimentations ont été effectuées dans différentes conditions, afin de rechercher si, en l'espace d'environ un mois, les peuplements d'un substrat atteignent un niveau d'équilibre. Par ailleurs, l'incidence des applications hebdomadaires d'insecticide sur les peuplements est mise en évidence.

Les auteurs concluent que les peuplements ne parviennent jamais à un équilibre en 30 jours. Les peuplements durant cet intervalle de temps demeurent de type juvénile et ne parviennent pas à un climax de type classique. Chaque prélèvement crée une rupture dans la cinétique de colonisation, identique dans son principe à celle constatée lors de chaque épandage d'insecticide. Seules, les espèces appartenant aux stratégies R peuvent coloniser les substrats artificiels qui, bien que systèmes fortement résilients, sont des biotopes à très faible stabilité.

L'interprétation des résultats déjà acquis dans le cadre de la surveillance aquatique en Afrique de l'Ouest devra donc tenir compte de ces conclusions et les auteurs suggèrent l'abandon de cette technique dans le cadre des observations de routine, la réservant plutôt à des études plus spécifiques et ponctuelles, afin d'évaluer périodiquement le potentiel de repeuplement des cours d'eau traités par exemple.

MOTS-CLÉS : Substrats artificiels — Eau courante — Afrique tropicale — Insecticides — Invertébrés — Dynamique des peuplements.

SUMMARY

USE AND VALUE OF ARTIFICIAL SUBSTRATES FOR THE AQUATIC MONITORING OF TROPICAL RIVERS TREATED WITH INSECTICIDES

The long term surveillance of west african rivers treated with insecticides within the framework of the Onchocerciasis Programme, needs the use of various methods and technics. One of these is the use of artificial substrates, regularly sampled. Collections are taken every month and the substrates set down again at the same place,

(1) Hydrobiologiste O.R.S.T.O.M., 5, chemin du Moulin, 33260, La Teste (France).

(2) École Nationale Supérieure Agronomique, 65, rue Saint-Brieuc, 35042, Rennes (France).

(3) Technicien hydrobiologiste O.R.S.T.O.M., B.P. 1434, Bouaké (Côte d'Ivoire).

so that a general statement of the qualitative and quantitative evolution of invertebrate populations can be made, after a colonization period of about 30 days.

Some experiments have been carried out in different hydrological conditions in Ivory Coast rivers, in order to estimate if, after one month, the populations supported by each substrate reach an equilibrium. In other respects, effects of weekly applications of insecticide have been pointed out.

The Authors conclude that populations never reach an equilibrium level after 30 days. During that interval of time, communities remain at a juvenile stage and never attain a classic climax. Sampling of the substrates brings a cessation of the colonization process, identical to the rupture which occurs after each pesticide application. Only species which belong to the "R strategies" group are able to colonize the artificial substrates in a so short time, and if these biotopes appear to be highly resilient systems, they also show low stability.

Interpretation of the results obtained with such a method in the course of aquatic monitoring actually carried out in West Africa has to be carefully done, in respect to these conclusions. It would be better to abandon the use of this method on a regular basis. However, artificial substrates remain useful for more specific and local studies, in order, for example, to estimate the colonization potential of invertebrate populations during a short period in treated or untreated rivers.

KEY WORDS : Artificial substrates — Running water — Tropical Africa — Insecticides — Invertebrates — Population dynamic.

Dans le cadre de la réalisation de vastes programmes de lutte contre les écophases aquatiques des vecteurs de grandes endémies, l'utilisation de pesticides d'origine chimique n'est pas sans danger pour le maintien des équilibres naturels. Une surveillance écologique est nécessaire, dans le temps et dans l'espace, afin d'évaluer en permanence l'impact des traitements sur la faune non cible. Cette surveillance nécessite la mise en œuvre de différentes méthodes d'échantillonnage dont l'une consiste en l'utilisation de substrats artificiels.

L'introduction dans un milieu naturel d'eau courante, d'un substrat artificiel, représente une certaine potentialité spatiale de colonisation pour les invertébrés du cours d'eau. En absence de pollution et en fonction des saisons hydrologiques, cette colonisation présentera une cinétique et une intensité variable, mais on peut penser, *a priori*, qu'après un certain temps le peuplement du substrat atteindra un équilibre, résultant des différentes compétitions entre les organismes présents. Dans la mesure où cette hypothèse est vérifiée, l'introduction régulière d'un pesticide dans le milieu viendra périodiquement modifier cette tendance évolutive, ce qui pourra se traduire à moyen terme, soit par l'établissement d'un nouveau peuplement équilibré de plus faible densité ou moins diversifié, soit par la présence d'un déséquilibre permanent.

Si à notre connaissance aucune étude concernant la dynamique du peuplement d'un substrat artificiel par les invertébrés lotiques en milieu non pollué n'a été faite en pays tropical, un certain nombre de travaux bien documentés existe par contre pour les pays tempérés.

L'évolution dans le temps des peuplements de paniers garnis de cailloux a été suivie par KHALAF

et TACHET (1977) en vue de rechercher après combien de temps cet équilibre cité plus haut était atteint. Ils conclurent que ce n'est qu'après 16 jours que s'établit une stabilité relative mais que la structure du peuplement varie tout au long de l'expérimentation (34 jours), en fonction des prédominances passagères ou progressives de certains taxons. ULFSTRAND (1968) trouvait lui, dans une petite rivière à la faune peu diversifiée, que cet équilibre apparaît plus rapidement, en huit jours seulement.

Considérant le nombre de taxons présents sur les substrats en fonction du temps d'exposition, KHALAF et TACHET (1977) montrent qu'il croît rapidement durant les quatre premiers jours de leur mise en place (passant de 0 à 27), puis se stabilise ensuite, ne variant que de 27 à 34. A l'opposé, MEIER *et al.* (1979) ne constatent aucune stabilisation de ce facteur qui croît régulièrement durant les 60 jours de leur expérience.

L'évolution des effectifs par substrat semble de même extrêmement variable d'une expérience à l'autre. KHALAF et TACHET observent une augmentation très rapide des effectifs de Simuliidae, suivie d'une diminution après huit jours, alors que les autres taxons voient leurs effectifs croître régulièrement durant douze jours puis se stabilisent. A l'opposé, DICKSON et CAIRNS (1972) signalent qu'aucun équilibre stable des effectifs n'est atteint sur des substrats flottants après 60 jours d'exposition, MEIER *et al.*, trouvant eux un accroissement régulier durant 39 jours, puis une réduction progressive par la suite, qu'ils imputent à l'émergence de nombreux insectes aquatiques. Ces mêmes auteurs signalent enfin la grande variabilité du coefficient de variation des effectifs dans les séries de prélèvements journaliers, tout au long de l'expérimentation.

Un même résultat est rapporté par MASON *et al.* (1973).

Ces grandes différences entre les résultats obtenus par divers auteurs confirment que le phénomène de colonisation d'un milieu vierge est complexe et que la notion d'équilibre est très relative selon le lieu et l'époque des expérimentations. Ceci ne pouvait que nous conforter dans l'idée qu'en milieu tropical un schéma évolutif encore différent était possible.

Dans le contexte de la surveillance écologique à long terme des rivières d'Afrique de l'Ouest traitées aux insecticides antisimulidiens afin de lutter contre l'onchocercose, il a été choisi d'échantillonner mensuellement les substrats artificiels utilisés. L'interprétation des résultats obtenus nécessitait donc de connaître si, entre deux prélèvements les peuplements parvenaient ou non à un état de stabilité relative.

Nous avons ensuite recherché, pour une même saison hydrologique et un même cours d'eau, comment se traduisait l'incidence d'une application hebdomadaire de larvicide sur les peuplements des substrats artificiels (1).

I. MÉTHODES

Il existe de très nombreux travaux d'hydrobiologie basés sur l'utilisation de substrats artificiels (HILSENHOFF, 1969 ; CELLOT, 1982 ; MASON *et al.*, 1967 ; BENFIELD *et al.*, 1974 ; HUGHES, 1975...), tant dans le domaine de l'étude quantitative de la faune benthique que dans celui de l'étude des modifications biocotiques entraînées par des pollutions diverses. Différents substrats ont été utilisés allant d'un simple morceau de corde à des paniers de formes diverses, emplis de cailloux ou de graviers, en passant par des superpositions de plaques de différente nature. Certains auteurs ont été à même de montrer que plus la nature du substrat était complexe, plus les processus de colonisation étaient variables et hétérogènes (ULFSTRAND *et al.*, 1974 ; SHELDON, 1977...). Il est finalement reconnu que chaque type de substrat présente des avantages et des inconvénients et tous ne peuvent indifféremment être utilisés n'importe où. Ceci explique certainement la profusion des modèles proposés, chaque auteur ayant adapté le sien à ses conditions de travail. Nous n'avons pas échappé à cette règle et après avoir testé l'efficacité de différents types dans une étude préliminaire (DEJOUX-VENARD, 1976), nous en avons adopté un dont l'emploi et la fabrication étaient aisés et qui permettait l'obtention de résultats comparables.

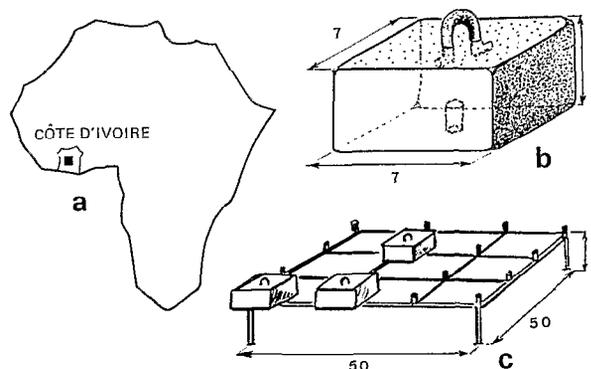


FIG. 1. — A : Situation des expérimentations. B : Schéma d'un substrat artificiel utilisé. C : Dispositif de mise en place sur cadre métallique, durant l'étiage

Il s'agit de petits blocs parallélépipédiques de ciment de dimension $7 \times 7 \times 4$ cm, munis d'un anneau d'attache à la face supérieure et d'un trou au centre de la face inférieure (fig. 1 b). Ce dernier permet le positionnement des blocs sur des supports métalliques quand la technique des « substrats suspendus » ne peut être utilisée.

Durant l'étiage, quand les variations du niveau de l'eau sont faibles, nous avons regroupé les substrats sur des cadres métalliques de 50×50 cm, munis de têtes régulièrement espacés et de pieds d'environ 10 cm de hauteur (fig. 1 c). Chaque cadre regroupait 16 substrats et nous avons fait en sorte que chaque ensemble soit mis en place dans des biotopes identiques (profondeur, vitesse de courant...). Malgré cette précaution, il est certain que les modifications du régime hydrologique durant une expérimentation, si faibles soient-elles à l'étiage, ont rendu cette identité parfois très relative.

Pour limiter l'incidence des variations de niveau durant la crue, nous avons préféré suspendre chaque substrat à un fil de fer, lui-même fixé à un réseau de câbles tendus en travers du cours d'eau. Chaque substrat était ainsi maintenu par son poids au sein de l'eau, sans que des baisses du niveau d'eau de 30 à 40 cm, ne risquent de l'exonder.

Les expérimentations ont été conduites sur la Maraoué, affluent du Bandama, le bief d'étude choisi, situé dans une zone de rapides, représentant un gîte typique à *Simulium damnosum* (fig. 1 a).

La récolte des substrats était effectuée chaque jour, à la même heure, et commençait 24 heures après leur mise en place. Selon les expériences, 2 ou 4 substrats étaient récoltés, soigneusement brossés dans un récipient d'eau formolée puis les organismes ainsi détachés étaient recueillis sur un

(1) Cette étude a bénéficié d'un support financier de l'Organisation Mondiale de la Santé.

filtre en tergal d'environ 200 μ de vide de maille. Les échantillons, fixés, étaient ensuite triés au laboratoire sous la loupe binoculaire.

Trois expérimentations successives ont été réalisées, deux en absence de traitement, la dernière alors que le cours d'eau était régulièrement traité avec un insecticide organophosphoré le Téméphos ou Abate[®], destiné au contrôle des populations larvaires de *Simulium damnosum*.

2. RÉSULTATS

2.1. Cinétique de colonisation en condition d'étiage, sans traitement insecticide

Utilisant le dispositif sur cadres métalliques, 124 substrats ont été mis en place du 13 février au 16 mars. Durant cette période, le niveau de la Maraoué a varié de 5 cm, ce qui est peu mais néanmoins suffisant pour provoquer des variations locales notables dans la distribution des zones de courant fort. Ce phénomène peut être la cause des variations individuelles de densité parfois constatées entre les 4 substrats prélevés le même jour.

Les substrats prélevés le 14 février avaient 24 heures de colonisation, ceux récoltés le 15,

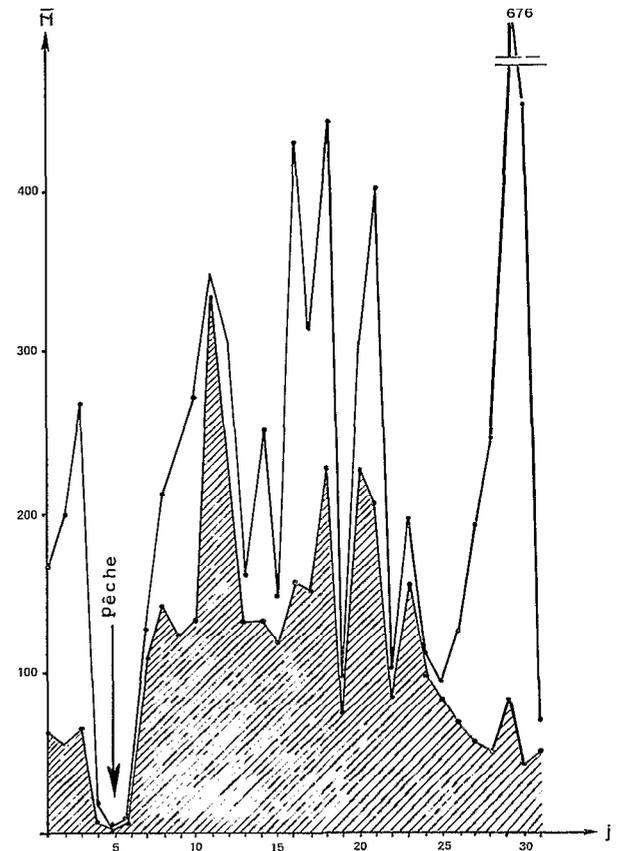


FIG. 2. — Colonisation durant l'étiage, en absence de traitements. Évolution des effectifs moyens par substrat en fonction du temps, avec ou sans Simuliidae (zone hachurée)

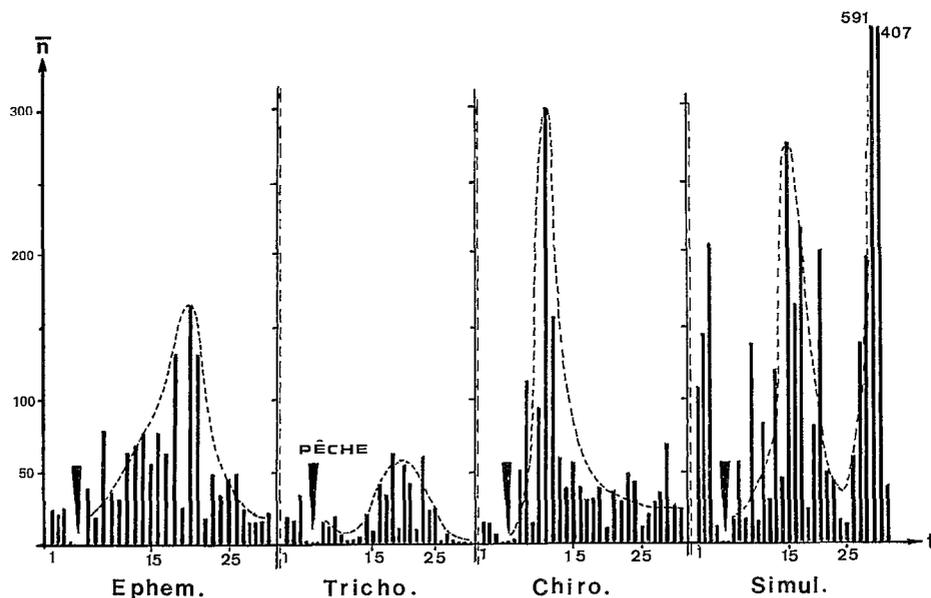


Fig. 3. — Intensité de colonisation en fonction du temps pour quelques taxocènes dominants en période d'étiage

48 heures et ainsi de suite jusqu'aux derniers qui avaient donc 31 jours de présence dans l'eau.

Les données numériques recueillies permettent de tracer deux séries de courbes. La première (fig. 2) schématise l'évolution dans le temps des densités d'organismes peuplant un substrat, compte tenu ou non de la présence de Simuliidae. La seconde (fig. 3) schématise cette même évolution pour les 4 principaux taxocènes récoltés.

L'examen de ces courbes et les différents calculs effectués sur les données journalières obtenues permettent de dégager un certain nombre de faits caractérisant le phénomène de colonisation.

— La première constatation concerne le brutal « décrochement » présent sur les courbes de la figure 2, du 17 au 19 février. Il est dû à un empoisonnement localisé de la rivière par un ichtyotoxique végétal, utilisé dans le cadre de pêches saisonnières traditionnelles (ELOUARD, JESTIN, DEJOUX, 1982). Fortuitement, notre expérimentation a commencé 4 jours avant cette pêche, sans qu'il nous ait été possible de la prévoir. Il est certain que ce phénomène va avoir une incidence sur toute l'expérimentation aussi devons-nous en tenir compte dans nos conclusions.

Il est intéressant de constater le peu de sélectivité de l'ichtyotoxique utilisé (probablement du *Tephrosia*) qui, outre les poissons, les macro-crustacés, les batraciens, détruit également les invertébrés. Ces pêches, toujours localisées dans le temps et l'espace, ont cependant une incidence marquée durant trois jours durant lesquels la faune colonisante est pratiquement réduite à néant. Ce laps de temps est nécessaire au « lavage » de la zone de pêche par les eaux non polluées venues de l'amont, phénomène agissant dans le même sens que la biodégradabilité du toxique dans le milieu.

Sur un plan quantitatif, cette incidence de la pêche peut être qualifiée de catastrophique. Sur un plan qualitatif, certains phénomènes sont également à noter qui témoignent du bouleversement passager des communautés. C'est ainsi qu'un *Hydropsychidae* relativement abondant (*Cheumatopsyche digitata*) disparaît complètement au moment de la pêche et ne réapparaît, en faible abondance, que 14 jours plus tard. L'action du toxique sur un autre *Hydropsychidae* du même genre (*C. falcifera*) n'est par contre sensible que durant 2 à 3 jours. Il y a donc une incidence très nette de la sensibilité spécifique à l'agent polluant.

A l'opposé de cette disparition temporaire d'une espèce, on voit apparaître brutalement des taxocènes qui étaient absents au début de la colonisation. C'est le cas par exemple des Oligoneuridae, des Heptageniidae et surtout d'un Éphéméroptère du genre *Tricorythus* qui est très abondant sur les

substrats durant 4 jours après la pêche, puis disparaît ensuite presque complètement, jusqu'à la fin de l'expérimentation. Ce phénomène, bien que moins marqué, apparaît également pour d'autres taxons, ce qui laisse à penser qu'il est la résultante d'une grande perturbation du milieu ayant amené certains organismes à quitter momentanément leur biotope préférentiel (les *Tricorythus* sont normalement abondants sous les pierres et dans la végétation aquatique), pour gagner d'autres biotopes durant le temps que dure leur traumatisme. Un effet mécanique de dérive artificielle de ces organismes, dû aux allées et venues des pêcheurs dans le cours de la rivière n'est pas non plus une hypothèse à écarter.

Enfin, nous retrouvons un phénomène classique maintes fois observé dans le cadre plus général de l'application d'un pesticide dans un milieu aquatique, il s'agit de la prolifération, après la perturbation, des Diptères Chironomidae.

A partir du 19 février, on observe une colonisation intense de la part de plusieurs espèces d'Orthocla-diinae, absents avant la pêche ou présents en très faible quantité. Si l'on regroupe tous les Chironomidae, leurs proportions passent de 6,6 % du peuplement, en moyenne et avant la pêche, à 33 % dans les 3 jours qui suivent cette dernière. Ce phénomène s'explique par la brièveté des cycles de développement de ces Diptères (de l'ordre de deux semaines pour certaines espèces), qui leur confère, au même titre que pour les Simuliidae, un rapide potentiel de recolonisation, d'autant plus que la raréfaction momentanée d'organismes prédateurs comme les *Hydropsychidae* est un élément favorable supplémentaire.

Malgré un artefact fortuit occasionné par la pêche traditionnelle, nous pouvons, après analyse de nos résultats, faire un certain nombre de constatations.

Dans la mesure où les substrats sont situés dans des zones écologiquement similaires, l'intensité de colonisation de chacun d'entre eux est très voisine. Le calcul du coefficient de variation de leur peuplement pour un même jour, exprimé par la relation :

$$C.V. = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (\text{KHALAF et TACHET, 1977})$$

où S est l'écart type des effectifs des 4 substrats prélevés le même jour et \bar{X} leur effectif moyen, donne par exemple les valeurs suivantes :

Jours	1	3	7	11	15	19	23	27	31
C.V.	43,1	23,9	33,6	23	23,3	57,7	10,9	25,7	35,3

Les coefficients varient du début à la fin de l'expérimentation sans grande stabilité apparente, cependant, les valeurs obtenues demeurent faibles dans l'ensemble, même si elles diffèrent sensiblement du zéro, qui témoignerait d'une identité parfaite

des effectifs. On peut donc en conclure que les effectifs de chaque substrat sont différents mais non disproportionnés. Une grande homogénéité se conçoit mal de toute manière, dans la mesure où la majorité des organismes colonisants ont une distribution agrégative et que la taille moyenne de leur noyau d'agrégation est le plus souvent inférieure à la surface disponible sur un substrat (210 cm²).

La seconde constatation ressortissant de notre analyse est que la dérive représente le moteur essentiel de la colonisation. L'espace libre que représente un pavé lors de sa mise à l'eau est immédiatement occupé et chaque substrat se comporte comme un piège à dérive, constatation également faite par d'autres auteurs en climat tempéré (BOURNAUD *et al.*, 1978 ; CELLOT, 1982...). L'intensité très forte de la dérive naturelle dans les cours d'eau tropicaux accentue d'autant plus cet aspect et 24 heures seulement après leur mise en place, une densité supérieure à 160 individus peuple chaque substrat malgré sa petite taille et sa forme simple. 60 % de ce peuplement sont le fait des Simuliidae, taxocène largement dominant sur le bief étudié au moment de nos observations et dont on peut qualifier le mécanisme d'arrivée sur le biotope « pavé », de dérive dirigée. En effet, on sait que les larves de ces Diptères se laissent « descendre » avec le courant, le long d'un fil de soie secrété par leurs glandes séricigènes et se fixent en aval de leur point de départ quand elles rencontrent un substrat adéquat.

Les autres invertébrés colonisant les substrats dans les premiers jours sont essentiellement des

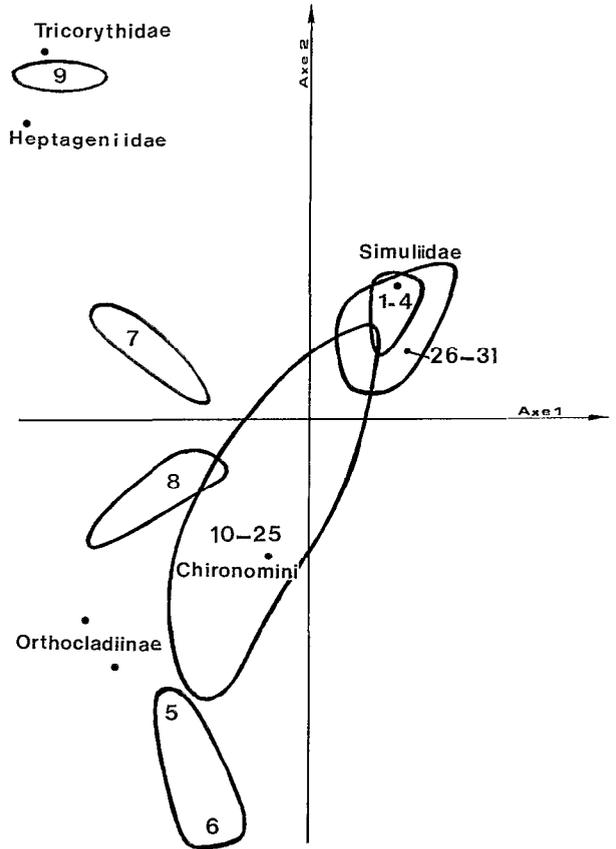


FIG. 4. — Analyse factorielle des correspondances (AFC) appliquée aux données de colonisation d'un substrat artificiel, durant l'étiage. Projection des points sur les axes 1 et 2

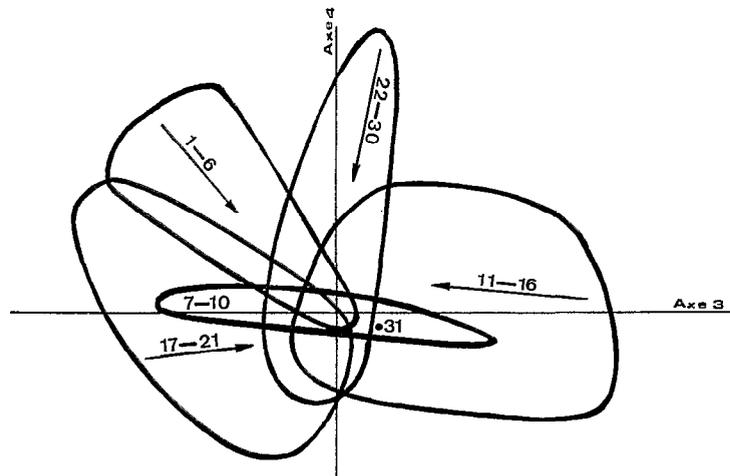


FIG. 5. — Colonisation en période d'étiage, AFC, projection des points sur les axes 3 et 4

Jeunes stades, au même titre que ceux qui constituent la dérive naturelle du cours d'eau, ce qui confirme à nouveau l'importance de ce phénomène dans l'apport biologique à ce milieu vierge.

— Si l'on ne tient pas compte des trois jours durant lesquels les effets de la pêche traditionnelle ont été les plus sensibles, il apparaît que les substrats ne présentent aucune stabilité de leurs effectifs totaux. Ainsi, l'examen de l'évolution dans le temps des effectifs des quatre taxocènes dominants (*Simuliidae*, *Chironomidae*, *Éphéméroptères* et *Trichoptères*), laisse apparaître pour chacun d'eux une période d'augmentation régulière et rapide qui correspond à l'occupation de l'espace libre et qui est une phase typiquement pionnière, puis une période de diminution, liée vraisemblablement à l'installation de compétitions multiples (spatiales, trophiques...). Seuls les *Simuliidae* présentent une seconde phase d'augmentation durant le laps de temps considéré (31 jours).

Une analyse factorielle des correspondances, effectuée sur 124 individus relevés et 20 variables taxons, a permis d'établir les figures 4 et 5.

La première représente la projection des points sur les axes 1 et 2. Plusieurs nuages s'individualisent nettement. C'est ainsi que les jours 5 et 6 sont très isolés et correspondent au maximum d'impact de la pêche. De même, les jours 7, 8 et 9 sont caractérisés par une très forte contribution des *Tricorythidae* (65,3 % de contribution relative) et des *Orthocladinae* (12,5 %), taxocènes qui apparaissent brutalement en grand nombre pendant la période d'instabilité passagère qui suit la catastrophe causée par l'empoisonnement.

On retrouve ensuite un groupement plus ou moins central des jours 10 à 25 que nous pouvons qualifier d'équilibre relatif, bien que l'examen de la figure 2 indique des variations de densité qui peuvent être très grandes ; les *Chironomidae* présentent la plus forte contribution relative (14,3 %) pour la construction de ce nuage peu différencié. Enfin, deux nuages sont plus ou moins confondus et regroupent l'un les jours 1 à 4 et l'autre les jours 26 à 31. Dans les deux cas, le maximum de poids est apporté par les *Simuliidae*. Il y a enfin sur l'axe 2 une nette opposition entre *Simuliidae* et *Chironomidae*, certainement due à la compétition spatiale qui existe entre ces deux groupes au fort potentiel de colonisation.

Il apparaît finalement que durant l'étiage, trois ensembles distincts d'organismes peuplent les substrats artificiels. Deux sont constitués par les différentes espèces de *Simuliidae* et les *Chironomidae*. Ce sont ce que nous pouvons appeler les colonisants forts, filtreurs ou détrivores, abondants et au cycle de développement court. Par opposition, le reste

des invertébrés au cycle long, péri-phytophages ou carnivores, a un potentiel de colonisation faible et ne s'installe dans le milieu que lentement. Ils forment le 3^e ensemble.

Les peuplements des substrats sont donc en première approximation en déséquilibre constant ou plutôt en rééquilibre perpétuel. C'est — peut-être — ce que traduit la figure 5 où nous avons schématisé la position des relevés sur les axes des plans factoriels 3 et 4. Mis à part les relevés des jours 7 à 10 qui se projettent à peu près symétriquement autour du centre de gravité des deux axes, l'ensemble des autres jours se distribuent en 4 nuages, répartis autour du centre mais présentent chacun une distribution identique et centripète des individus relevés. Pour chaque nuage, une progression dans le temps a tendance à ramener les projections vers le centre. Une telle position ne paraît pas due au hasard et semble correspondre à une sorte de « pulsion » affectant les peuplements qui pourraient présenter des tentatives périodiques de rééquilibre qui échouent régulièrement ou au contraire des dégradations permanentes d'un équilibre donné.

Il est pratiquement certain qu'en raison de leur position isolée dans le courant, les substrats ne subissent pas de prédation extérieure par l'ichtyofaune. Nous n'avons jamais par exemple observé à la surface des blocs les marques caractéristiques de succion qui sont le fait des *Labeo* périphytophages, seuls poissons prédateurs potentiels sur un tel biotope, en zone de courant fort. L'effet mécanique d'arrachement dû au courant peut par contre être assimilé à une prédation. On est donc en présence d'un système à double fonction et on retrouve une tendance évolutive déjà décrite par MAY (1972). La cinétique de peuplement du substrat résultant en fait de l'interaction d'un effet stabilisant qui est l'occupation optimale de l'espace libre par les organismes apportés par la dérive, et de l'effet déstabilisant du décrochement à partir de ce même substrat, fonction de la densité de son peuplement. Il y a donc déséquilibre permanent, ou rééquilibre permanent, si l'on admet qu'un tel système appartient à la catégorie présentant des points ou noyaux d'équilibre périodiques, définie par HOLLING (1973). Ces noyaux d'équilibre pourraient être par exemple ceux que nous voyons schématisés sur la figure 5, représentés par les jours 6, 10, 16, 21 et 31.

Cette même évolution « rythmique » se retrouve sur la figure 6 où nous avons représenté les variations des pourcentages relatifs des trois ensembles d'organismes isolés plus haut : Les *Simuliidae*, les *Chironomidae* et le reste des invertébrés. La concordance n'est pas exacte dans les premiers jours, probablement en raison de l'incidence de la pêche. Il est difficile d'expliquer avec certitude

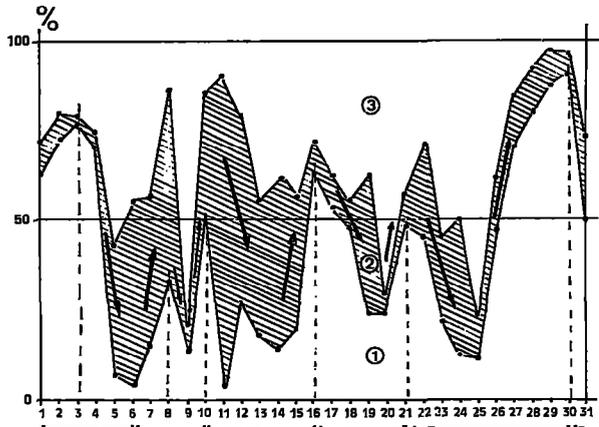


FIG. 6. — Variation dans le temps des pourcentages relatifs des trois principaux ensembles taxinomiques, en période d'étiage. 1 : Simuliidae ; 2 : Chironomidae ; 3 : reste des invertébrés. En traits épais, sous le graphique, sont schématisés les groupements temporels issus de l'analyse factorielle des Correspondances

ce type d'évolution, toutefois, il semble sous la dépendance de la variation des effectifs des Simuliidae qui augmentent et chutent avec régularité en fonction du temps. Les cycles ayant une pério-

dicité de 6 à 9 jours, l'hypothèse d'une évolution dépendant de l'émergence de ces Diptères (durée de développement de 7 à 9 jours) est peut être la plus plausible.

2.2. Cinétique de colonisation en conditions de saison des pluies et en absence d'insecticide

En raison des conditions hydrologiques, nous avons utilisé la technique des substrats suspendus. L'expérimentation s'est déroulée du 10 novembre au 4 décembre soit durant 25 jours.

— Les coefficients de variation entre les effectifs des 4 substrats prélevés le même jour, et calculés pour quelques jours pris au hasard, sont durant la première quinzaine pratiquement identiques à ceux trouvés durant l'étiage, puis ils deviennent ensuite significativement plus faibles.

Jours	1	3	7	9	11	13	17	21	25
C.V.	19,6	19,4	126,1	43,4	24,2	2,5	12,7	9,6	10,6

Il semble qu'il faille en rechercher la cause dans un apport d'organismes plus homogène durant la crue que durant l'étiage.

— A nouveau, nous retrouvons un peuplement des substrats essentiellement réalisé par quatre

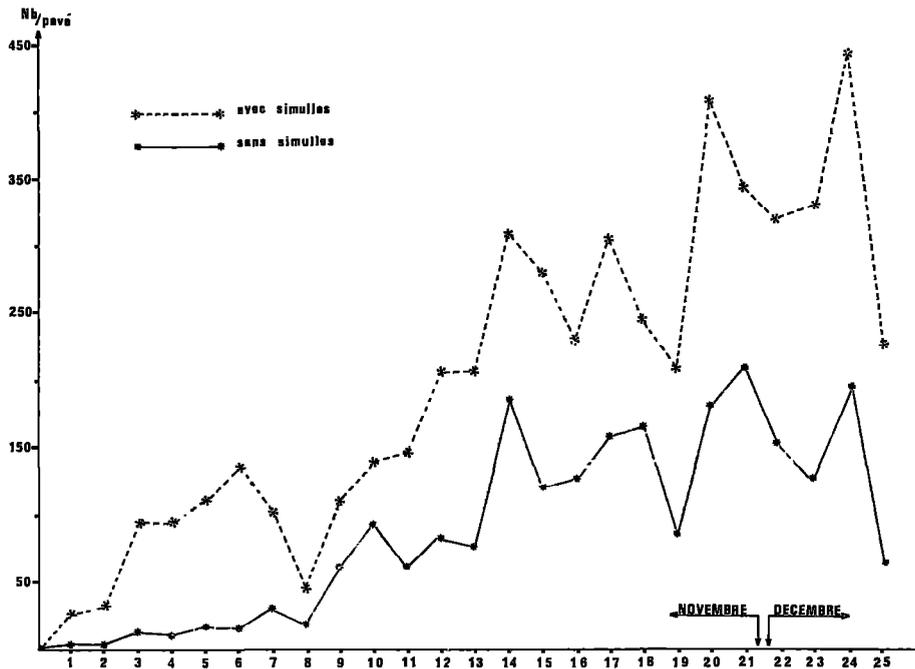


FIG. 7. — Évolution des effectifs moyens recensés par substrat durant la colonisation de saison des pluies, compte tenu ou non des Simuliidae

taxocènes : les Simuliidae, souvent dominants, les Chironomidae, les Éphéméroptères et les Trichoptères.

— L'évolution des effectifs, compte tenu ou non des Simuliidae (fig. 7) est beaucoup plus régulière et progressive que durant l'étiage. Évidemment, le fait que nous soyons en dehors de la période des pêches traditionnelles doit être gardé à l'esprit. Ce sont essentiellement les Simuliidae qui occupent l'espace libre durant les premiers jours. Leurs effectifs par substrats augmentent tout au long de l'expérimentation, mais si l'on considère leur

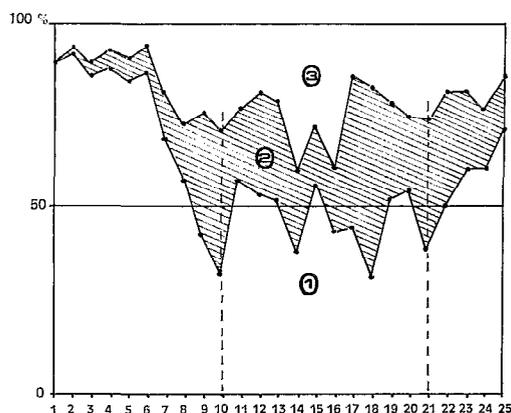


FIG. 8. — Pourcentages relatifs des différents taxocènes calculés journalièrement durant la colonisation de saison des pluies. 1 : Simuliidae ; 2 : Chironomidae ; 3 : reste des invertébrés

pourcentage relatif par rapport aux autres taxocènes (fig. 8) on note une chute régulière durant les 10 premiers jours corrélée à l'augmentation de densité progressive des Chironomidae, Éphéméroptères et Trichoptères.

Une période de stabilité relative s'établit par la suite durant une dizaine de jours, avant que les Simuliidae retrouvent leur dominance initiale.

D'une manière générale, l'intensité de dérive, plus faible durant la crue que durant l'étiage, en raison de la « dilution » des organismes dérivants dans une grande masse d'eau, induit un processus de colonisation plus lent et moins intense qui se traduit par des équilibres journaliers en apparence plus stables. En fait, l'expérimentation ayant été stoppée le 25^e jour en raison de la disparition dans le courant d'une série de substrats, il est difficile d'affirmer être parvenu à une stabilité des effectifs totaux après ce laps de temps. Une AFC effectuée sur les données récoltées durant cette expérimentation n'a également pas permis de mettre en évidence l'approche d'un état d'équilibre.

2.3. Cinétique de colonisation à l'étiage et sous traitement insecticide

Cette dernière expérimentation a été conduite alors que le bief étudié était traité depuis presque une année à raison d'un épandage hebdomadaire de Téméphos à la concentration 0,05 ppm/10 minutes, durant la saison des pluies, et 0,1 ppm/10 minutes durant la saison sèche.

L'évolution générale des densités d'organismes, en fonction du temps et par substrat, est schématisée figures 9 à 10 pour l'ensemble des taxocènes et individuellement pour ceux les mieux représentés.

Il apparaît immédiatement à l'examen des courbes que deux phénomènes sont en opposition. D'une part il y a une augmentation des effectifs en fonction du temps, de type classique, sans toutefois et à nouveau parvenir à une stabilité des densités. D'autre part, cette augmentation est périodiquement freinée de manière brutale par l'action des traitements. Ceci confirme à la fois le caractère non catastrophique des épandages d'Abate sur les invertébrés (DEJOUX *et al.*, 1979, 1980), mais aussi que les effets immédiats de chaque épandage ont une incidence locale marquée et décelable autrement que par l'augmentation du taux de dérive. L'emploi de substrats artificiels peut donc être un moyen de mise en évidence de l'impact à court terme d'insecticides antismulidiens.

Il est également intéressant de constater que les premiers éléments colonisants sont toujours les Simuliidae (autres espèces que *S. damnosum*, éliminée par les traitements) mais que cette prépondérance dans les effectifs est de courte durée, particulièrement en raison de la compétition avec les Hydropsychidae et surtout les Chironomidae.

Ce phénomène est lié aux particularités de la technique utilisée. En effet, les substrats sont, à leur mise à l'eau, absolument vierges de tout élément vivant. Il est alors normal que les Simuliidae, « colonisants forts » non liés aux substrats autrement que d'un point de vue mécanique, puisque filtreurs, soient dans un premier temps favorisés par rapport aux Chironomidae, autres « colonisants forts », détritivores ou péri-phytophages. Ces derniers, amenés par le courant sur des substrats où les conditions trophiques sont nulles ou très réduites dans les premiers jours, sont certainement peu enclins à demeurer sur les blocs de ciment et se laissent dériver. Ce n'est qu'après quelques jours, que les blocs se couvrent de périphyton et d'un dépôt de matière organique, procurant alors des conditions plus favorables à l'établissement d'invertébrés divers. Une même constatation est faite par MEIER *et al.* (1979) aux États-Unis.

Quand des traitements répétés agissent sur les substrats, les Simuliidae en subissent fortement les effets et après deux cycles d'épandage ne sont

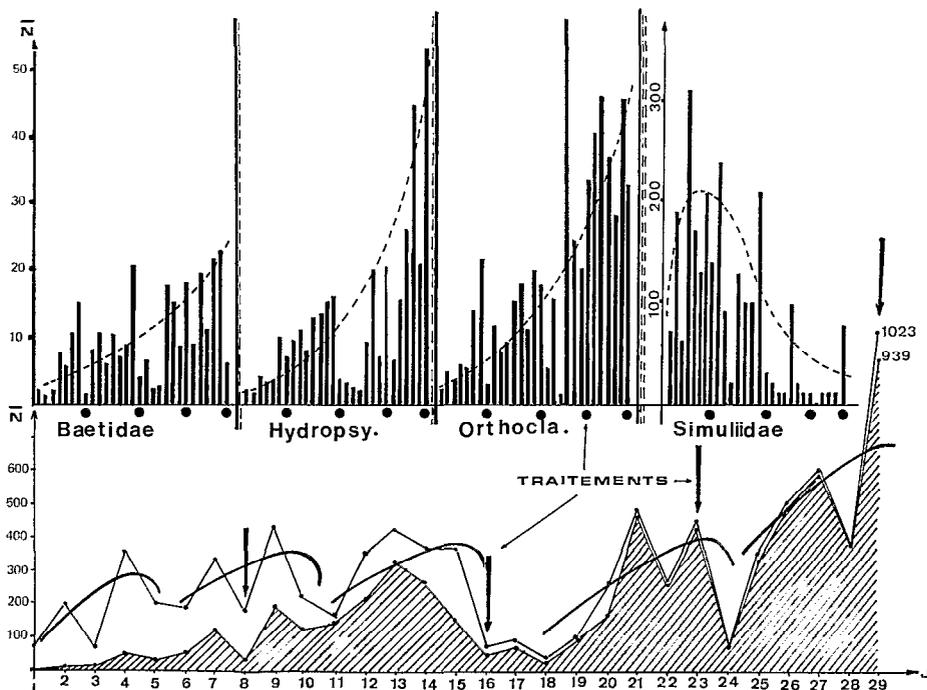


FIG. 9. — Évolution des effectifs moyens par substrat en fonction du temps et en période de traitements réguliers au Téméphos. Variation des effectifs totaux avec ou sans Simuliidae (zone hachurée). Variations individuelles des taxocènes dominants

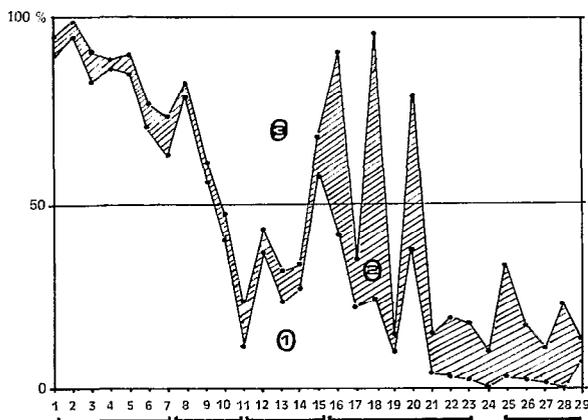


FIG. 10. — Pourcentages relatifs des différents taxocènes, calculés journalièrement durant l'étiage et en période de traitements au Téméphos. 1 : Simuliidae ; 2 : Orthocla.; 3 : reste des invertébrés

numériquement plus compétitifs par rapport aux autres invertébrés. Leurs effectifs demeurent alors très faibles, contrairement à ce que nous avons vu dans les deux autres expérimentations. En consé-

quence, les effectifs des Chironomidae et notamment les Orthocla., peu sensibles à l'Abate, augmentent régulièrement et ces Diptères se comportent globalement comme les Simuliidae en milieu non traité.

Une analyse factorielle des correspondances effectuée sur les données récoltées au cours de cette expérimentation permet d'isoler cinq nuages de points sur la projection des axes 1 et 2 (fig. 11). L'ordination des nuages de manière progressive tout au long de l'axe 1 traduit l'évolution de la structure du peuplement dans le temps, la séparation entre les valeurs négatives et les valeurs positives étant située vers le 15^e jour, période durant laquelle le poids des Simuliidae (66,6 % de contribution relative pour la première semaine) est devenu négligeable et où celui des Orthocla. devient prépondérant (80,1 % de contribution relative), en fin d'expérimentation.

L'axe 2 ne semble par contre pas présenter de signification particulière sinon peut-être celle d'un axe de densité, les jours 16 à 18 et surtout 24 qui présentent les chutes de densités les plus marquées étant situés en positions positives les plus éloignées par rapport à la valeur centrale de cet axe.

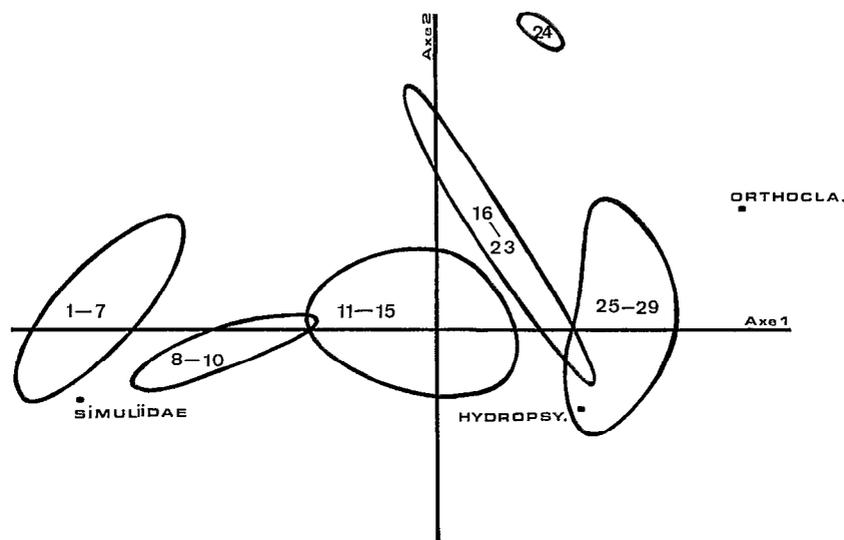


FIG. 11. --- AFC appliquée aux données de colonisation durant l'étiage et sous traitement insecticide. Projection des points sur les axes 1 et 2

3. DISCUSSION. CONCLUSION

Dans le cadre du programme de contrôle des populations larvaires de *S. damnosum*, la surveillance des effets marginaux des traitements est effectuée avec une périodicité mensuelle, durant les premières années d'application de l'insecticide. Les substrats artificiels utilisés, du même type que ceux que nous venons de tester, sont donc relevés avec des intervalles de temps allant de 25 à 33 jours en moyenne. Leurs peuplements sont analysés et une densité moyenne des organismes présents est calculée en vue d'une comparaison ultérieure entre années et entre période non traitée et période traitée.

Si l'on se réfère aux présentes expérimentations, il apparaît que les peuplements ne parviennent jamais à un équilibre durant les intervalles de temps considérés. Tout au plus peut-on distinguer 3 périodes dans le processus de colonisation. Durant environ 7 à 8 jours il y a installation de la faune avec occupation de l'espace sans compétition intense, les « colonisants forts » étant favorisés (essentiellement Simuliidae, non liés au substrat sur un plan trophique). Une deuxième phase d'environ une quinzaine de jours présente une stabilité relative avec des peuplements qui sont en compétition spatiale et trophique mais sans dominance très marquée. Enfin, dans une troisième phase dont nous ne connaissons pas la durée, s'installe une situation de déséquilibre, marquée par des dominances alternées d'un taxocène ou d'un ou plusieurs autres.

En ne considérant que les effectifs globaux par

substrat, il est évident qu'ils peuvent varier du simple au double, du jour au lendemain, même quand leur valeur sur 4 blocs récoltés chaque jour reste relativement homogène (rapports $\frac{S}{\bar{X}}$ faibles). Chaque

bloc de ciment représente en fait une situation « insulaire » au sein du milieu mais avec des possibilités d'entrée et de sortie permanentes et instantanées. Dans un milieu continu comme une surface rocheuse de grandes dimensions, il y a possibilité d'extension latérale du peuplement, avec un retour éventuel au point de départ. Dans le cas du substrat en eau courante, ceci est impossible. La cinétique du peuplement d'un tel biotope sera donc caractérisée par un phénomène du tout ou rien, directement sous la dépendance de la dérive aussi bien en « amont » qu'en « aval » et se traduisant par les courbes en dents de scie que nous avons obtenues.

L'interprétation des valeurs d'effectifs récoltés chaque mois dans le cadre d'un programme de surveillance continue à moyen ou long terme est donc très délicate, voire aléatoire. Bien entendu, le fait d'échantillonner régulièrement un substrat placé au même endroit introduit un facteur de stabilité que nous n'avons pas dans les expériences décrites ci-dessus ; cependant, que peut signifier une variation de densité du simple au double entre deux observations espacées d'un mois si de mêmes écarts peuvent être obtenus d'un jour à l'autre ? Nous avons vu en introduction que ce type de résultat était également fréquent en cours d'eau tempérés. Il semble donc en être de même dans les

cours d'eau tropicaux et la continuité du recrutement en jeunes tout au long de l'année, qui semble être la règle pour de nombreux invertébrés, n'introduit pas de stabilité supplémentaire.

En accord avec HOLLING (1973), nous pouvons dire que chaque substrat représente un système à forte résilience mais à faible stabilité. Dans la situation d'un cours d'eau non traité, aucun équilibre ne peut être atteint dans un intervalle de un mois, l'évolution du système étant liée à l'action de phénomènes dissipatifs à action continue. Tout au plus peut-on atteindre après une dizaine de jours un état stationnaire momentané que l'on peut en l'occurrence qualifier de «pseudo-climax» passager.

Dans le cas où le cours d'eau est le siège de traitements réguliers aux insecticides, l'incidence de chaque épandage est telle qu'elle maintient chaque système — ou chaque substrat en l'occurrence — dans une phase juvénile (FRONTIER, 1977) où seuls les colonisants forts participent activement au peuplement entre deux applications de pesticide. Il n'y a aucune possibilité d'atteindre un climax véritable, même à long terme et seules les espèces appartenant aux stratégies R peuvent se développer, au détriment des espèces que, toutes choses étant égales par ailleurs, on peut qualifier appartenir aux stratégies K proposées par COLE (1954) (Hydro-psychidae par exemple ou certains Tricorythidae).

La diversité d'un tel peuplement reste faible, mais la forte résilience du système global (l'ensemble du cours d'eau), favorisée par une faible toxicité intrinsèque du Téméphos, agit comme un tampon empêchant la disparition complète de la majorité des espèces «stratégies K». On a donc une situation de non équilibre permanent induite par une action extérieure aux communautés et se traduisant par une évolution des densités du type en escalier (fig. 9) telle que définie par HUSTON (1979). L'état d'équilibre est alors directement dépendant de l'intervalle de temps entre deux traitements et de l'importance quantitative de la réduction périodique du peuplement. Tout au plus peut-on espérer, dans

le cas d'épandages hebdomadaires, parvenir à un équilibre dynamique c'est-à-dire à une répétition fixe de l'état de déséquilibre! Il deviendrait alors possible de juger de l'état qualitatif et quantitatif du «système substrat», à des périodes de l'année comparables entre elles. En fait, pour qu'une telle hypothèse puisse être prise strictement en considération, il faudrait une réduction des populations périodique et constante. Si la périodicité existe, on sait par expérience la grande inégalité d'action de chaque traitement.

En conclusion de ces différentes observations, il ne semble possible d'utiliser à long terme des substrats artificiels pour la surveillance des milieux traités aux insecticides que si l'on se limite à une étude qualitative des communautés qui les peuplent, n'allant guère plus loin que la notion de présence-absence, un calcul des pourcentages relatifs de chaque taxocène étant déjà à réaliser avec précaution.

Plus profitable est l'utilisation de substrats artificiels pour mettre en évidence des effets à court terme d'épandages d'insecticides et nous avons déjà préconisé certaines techniques d'utilisation par ailleurs (DEJOUX, 1980). Enfin, la mise en place de nombreux substrats, sur un bief limité et dans des biotopes variés permet, s'ils ne sont laissés en place qu'une quinzaine de jours (ce qui nous place dans la phase dite de pseudo-équilibre), d'évaluer périodiquement le potentiel de colonisation des invertébrés présents, sur un plan qualitatif et semi-quantitatif.

Pour conclure, nous suggérons d'abandonner l'utilisation de la technique des substrats artificiels dans le cadre du programme de surveillance de routine lié à la campagne de lutte contre l'onchocercose, mais de conserver cette technique pour des études ponctuelles et à court terme, plus spécifiques, aisément réalisables dans le cadre de cette même campagne.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 1^{er} mars 1983*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENFIELD (E. F.), HENDRICK (A.), CAIRNS (J.), 1974. — Proficiencies of two artificial substrates in collecting stream macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, 45 : 431-50.
- BOURNAUD (M.), CHAVANON (G.), TACHET (H.), 1978. — Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. 5. Colonisation par les macro-invertébrés de substrats artificiels suspendus en pleine eau ou posés sur le fond. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20 : 1485-1493.
- CELLOT (B.), 1982. — Cycle annuel et zonation de la dérive des macro-invertébrés du Rhône en amont de Lyon. *Thèse de 3^e cycle, Université de Lyon*, 165 p., *multigr.*
- COLE (L. C.), 1954. — The population consequences of life history phenomons. *Quart. Rev. Biol.*, 29 : 103-137.
- DEJOUX (C.), 1980. — Effets marginaux de la lutte chimique contre *Simulium damnosum*. Techniques d'étude. *Rapp. O.R.S.T.O.M. Bouaké* n° 34, 64 p., *multigr.*
- DEJOUX (C.), VENARD (P.), 1976. — Efficacité comparée de deux types de substrats artificiels. *Rapp. O.R.S.T.O.M.* n° 3, 15 p., *multigr.*
- DEJOUX (C.), ÉLOUARD (J. M.), LÉVÊQUE (C.), TROUBAT (J. J.), 1979. — La lutte contre *Simulium damnosum* en Afrique de l'ouest et la protection de l'environnement aquatique. *Comptes rendus du Congrès sur la lutte contre les insectes en milieu tropical, Chambre de commerce de Marseille*, 1979 : 873-883.
- DEJOUX (C.), ÉLOUARD (J. M.), JESTIN (J. M.), GIBON (F. M.), TROUBAT (J. J.), 1980. — Action du téméphos (Abater) sur les invertébrés aquatiques. VIII. Mise en évidence d'un impact à long terme après six années de surveillance. *Rapp. O.R.S.T.O.M. Bouaké* n° 36, 18 p., *multigr.*
- ÉLOUARD (J. M.), JESTIN (J. M.), DEJOUX (C.), 1982. — Action de *Tephrosia vogeli* employé dans les pêches traditionnelles, sur les invertébrés aquatiques de la Maraoué (Côte d'Ivoire). *Rev. Hydrobiol. trop.*, 15 (2) : 177-188.
- FRONTIER (S.), 1977. — Réflexions pour une théorie des écosystèmes. *Bull. Écol.*, 8 (4) : 445-464.
- HILSENHOFF (W. L.), 1969. — An artificial substrate device for sampling benthic stream invertebrates. *Limnol. Oceanogr.*, 14 : 465-71.
- HOLLING (C. S.), 1973. — Resilience and stability of ecological systems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 4 : 1-23.
- HUGHES (B. D.), 1975. — A comparison of four samplers for benthic macro-invertebrates inhabiting coarse river deposits. *Wat. Res.*, 9 : 61-9.
- HUSTON (M.), 1979. — A General hypothesis of species diversity. *Am. Nat.*, 113 : 81-101.
- KHALAF (G.), TACHET (H.), 1977. — La dynamique de colonisation des substrats artificiels par les macro-invertébrés d'un cours d'eau. *Annls. Limnol.*, 13 (2) : 169-190.
- MASON (W. T.), ANDERSON (J. B.), MORRISON (G. E.), 1967. — Limestone-filled artificial substrate float unit for collecting macro-invertebrates in large streams. *Progee Fish-Cult.*, 29 : 74-86.
- MASON (W. T.), WEBER (C. I.), LEWIS (Ph. A.), JULIAN (E. C.), 1973. — Factors affecting the performance of baskets and multiplate macro-invertebrate samplers. *Freshwat. Biol.*, 3 : 409-436.
- MAY (R. M.), 1972. — Limit cycles in predator-prey communities. *Science*, 177 : 900-2.
- MEIER (P. G.), PENROSE (D. L.), POLAK (L.), 1979. — The rate of colonization by macro-invertebrates on artificial substrate samplers. *Freshwat. Biol.*, 9 : 381-392.
- SHAW (W.), MINSHALL (G. W.), 1980. — Colonization of an introduced substrate by stream macro-invertebrates. *Oikos*, 34 : 259-271.
- SHELDON (A. L.), 1977. — Colonization curves : application to stream insects on semi-natural substrates. *Oikos*, 256-261.
- ULFSTRAND (S.), 1968. — Benthic animal communities in Lapland streams. *Oikos*, suppl. 10 : 1-120.
- ULFSTRAND (S.), NILSSON (L. M.), STERGAR (A.), 1974. — Composition and diversity of benthic species collectives colonizing implanted substrates in a south swedish stream. *Ent. scand.*, 5 : 115-122.