

Utilisation du téméphos en campagne de lutte contre *Simulium damnosum* en Afrique de l'Ouest. Impact des premiers cycles de traitement sur le milieu aquatique

Claude DEJOUX (1)

RÉSUMÉ

La lutte contre *Simulium damnosum*, Diptère Simuliidae vecteur de l'onchocercose, est réalisée par l'OMS en Afrique de l'ouest par destruction de ses populations larvaires à l'aide d'insecticides chimiques, dans le cadre d'un programme dont la durée a été initialement fixée à 20 ans. Tous les cours d'eau qui abritaient des larves ont été régulièrement traités depuis 1975 et leur traitement sera poursuivi tant qu'il sera nécessaire.

Le pesticide le plus largement utilisé durant les 5 premières années, et encore actuellement, est le téméphos (Abate[®] 200 CE), un composé organophosphoré.

Conformément au calendrier pré-établi, les campagnes de traitement ne commencèrent pas à la même époque sur toute la zone infestée, les premiers cycles d'épandage ayant alors une incidence diverse sur l'environnement aquatique que nous avons été en mesure de rechercher sur plusieurs cours d'eau de Côte d'Ivoire.

D'une manière générale, les premiers traitements d'une rivière ont un effet toxique très fort sur les invertébrés et le décrochement induit par les épandages réalisés en conditions d'étiage varie généralement entre 30 et 50 % du peuplement présent (données expérimentales). Les traitements ultérieurs ont un impact quantitativement moins violent en raison d'une certaine sélection des espèces les moins sensibles et des stades larvaires les plus résistants.

Dans le cadre des différentes phases de la campagne de lutte, ces effets furent d'autant plus marqués que les dosages utilisés ne correspondaient pas toujours, pour des raisons diverses, à ceux normalement efficaces :

— Les premiers traitements de la haute Bagoué, réalisés avec un surdosage d'environ 10 fois, entraînent la mort de plus de 75 % des invertébrés présents sur le site étudié. Quelques mortalités d'oiseaux limicoles dues à l'ingestion de proies contaminées ont même été observées.

— A notre site d'observation sur la haute Maraoué, le traitement fut réalisé trop près du gîte et il y eut un surdosage de courte durée. Les effets ont été moins violents que sur la Bagoué, mais le taux de dérive atteignit 26 fois sa valeur normale, augmentation que l'on peut considérer comme excessive en conditions d'étiage.

— Sur le Sassandra où le traitement fut réalisé à plus d'un kilomètre du site d'observation, l'impact a été moins brutal et étalé dans le temps, mais d'un niveau également important puisque le même rapport était de 75 (et de 2,2 pour la dérive de nuit), pour l'ensemble de la faune. Les conditions hydrologiques au moment du premier cycle d'épandage étaient en fait intermédiaires entre celles qui prévalent durant la crue et les conditions de saison sèche, situation qui aurait justifié un traitement à un dosage plus faible.

D'une manière générale, les Baetidae présentent le maximum de réaction au passage du téméphos. D'autres taxocènes sont également très sensibles comme par exemple les Trichorythidae, les Orthocladiinae, les Tanytarsini. Les Hydropsychidae sont relativement moins affectés, à l'exception des stades jeunes.

L'analyse des différents cas étudiés nous conduit à énoncer quelques recommandations pour la réalisation des premiers cycles de traitement d'une campagne, visant à préserver au maximum l'environnement aquatique :

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

— Sans aller jusqu'à préconiser une réduction de la concentration employée au cours des premiers traitements, qui ôterait le bénéfice de l'effet de choc sur le groupe cible, il faut absolument proscrire tout surdosage.

Si techniquement il n'est pas possible de déverser moins d'une certaine quantité d'un produit, ce dernier doit impérativement être dilué avant sa mise en place dans l'aéronef afin que le dosage normal soit respecté.

— Il est particulièrement important de ne pas traiter trop près des gîtes, ce qui entraîne un passage trop rapide du pesticide à une concentration nettement supérieure à la normale, souvent peu efficace vis-à-vis du groupe cible, mais généralement fatale à de nombreux éléments de la faune non cible.

— D'un point de vue écologique, la période la moins défavorable pour commencer une campagne de traitements correspond à celle des eaux moyennes, soit en début, soit en fin de crue. Cette période n'est pas la meilleure pour s'attaquer au vecteur qu'il est préférable de contrôler au moment de son maximum de concentration, en milieu d'étiage. Il semble donc difficile de trouver un compromis satisfaisant les deux objectifs, un moindre mal étant peut-être de commencer les traitements en début d'étiage, en observant la plus grande rigueur dans le dosage et la logistique des traitements.

MOTS-CLÉS : Pollution — Insecticides — Invertébrés — Eaux courantes — Afrique.

SUMMARY

USE OF TEMEPHOS FOR CAMPAIGNS AGAINST *Simulium damnosum* IN WEST AFRICA. IMPACT OF THE FIRST TREATMENT CYCLES UPON THE AQUATIC BIOTA

The control of *Simulium damnosum* (order Diptera, family Simuliidae), the vector of onchocerciasis, is being carried out by WHO in West Africa by using chemical insecticides to destroy the larval populations, within a programme initially scheduled to last 20 years. All watercourses harbouring larvae have been regularly treated with insecticide since 1975, and the applications will continue for as long as necessary.

The pesticide most widely used today, and throughout the first five years of the programme, is temephos (Abate[®], 200 EC), an organophosphorus compound.

In accordance with the timetable laid down in advance, the larviciding campaigns did not start at the same time throughout the infested area. The first few series of applications produced varying effects on the aquatic environment, which the author has been able to investigate on several watercourses in Ivory Coast.

Generally speaking, the first applications on a river have a very strong toxic effect on the invertebrates, and the number releasing their hold on their substrates as a result of larvicide applications at low water usually varies between 30 % and 50 % of the population (experimental data). Subsequent applications have a less violent quantitative impact because there is some selection of the least susceptible species and the most resistant invertebrates.

In the different phases of the control campaign these effects were all the more marked because for a variety of reasons the dosages used were not always the normally effective dosages:

— The first applications on the upper Bagoé, in about 10 times the normal dosage, caused the death of over 75 % of the invertebrates in the location studied. There were even some deaths among limicolous birds, as a result of eating contaminated prey.

— At the observation point on the upper Marahoué the insecticide was released too close to the breeding site and there was an excess dosage for a short period. The effects were less marked than on the Bagoé, but invertebrate drift reached 26 times its normal level, an increase that can be regarded as excessive in a period of low water.

— On the Sassandra, where the larvicide was released over a kilometre from the observation point, the impact was less abrupt and was long-lasting, but its level was equally high because the increase in larval drift was 75 times (and 2.2 times for nocturnal drift) for all fauna. The hydrological conditions at the time of the first series of applications were intermediate between the high-water and the dry-season conditions, so a lower dosage would have been justified.

Generally speaking it is the Baetidae which display the most reaction to temephos. Other taxons are also highly susceptible, such as the Trichorythidae, the Orthocladiinae and the Tanytarsini. The Hydropsychidae are less effected, except for the younger forms.

In the light of analysis of the different cases studied, the author offers some recommendations for carrying out the first larvicide applications of a campaign so as to safeguard the aquatic environment as well as possible:

— A reduction in the concentration used for the first applications is not recommended, as the benefit of the shock effect on the target group would be lost, but any excess concentration must be strictly prohibited.

If it is not technically possible to release less than a certain amount of insecticide it is essential to dilute the product before it is loaded on the aircraft so that the normal dosage is complied with.

— *It is particularly important not to apply the larvicide too close to the breeding sites, or it will pass through too quickly and in a concentration much higher than normal; this often has little effect on the target group but is generally fatal to much of the non-target fauna.*

— *From an ecological viewpoint the least unfavourable time to start a larviciding campaign is at mid-water level, either at the start or at the end of the high-water period. This is not the best time for attacking the vector, which it is preferable to control when it reaches its maximum density in the middle of the low-water period. It therefore seems difficult to find a satisfactory compromise between two objectives; the lesser evil is perhaps to begin larviciding at the start of the low-water period, observing the utmost strictness with regard to concentrations and logistics.*

KEY WORDS : Pollution — Insecticides — Invertebrates — Running waters — Africa.

Depuis 1974, un programme de lutte contre les différentes espèces du complexe *Simulium damnosum* vectrices de l'onchocercose, est réalisé en Afrique de l'ouest par l'Organisation Mondiale de la Santé. Des épandages hebdomadaires d'insecticide sont effectués, par voie aérienne, afin de contrôler les populations larvaires de ce Diptère.

Durant la saison sèche, ces traitements sont appliqués immédiatement en amont de tous les biotopes pouvant potentiellement être peuplés par *S. damnosum* s.l., soit, en pratique, tous les rapides et la majorité des biefs où le courant est accéléré. Pendant cette période, la concentration employée est de 0,1 mg/l durant 10 minutes. Cela revient à dire que l'épandage, réalisé en ligne par hélicoptère ou par avion, en amont du « gîte » à *S. damnosum*, comporte une quantité déterminée de la formulation d'insecticide, calculée en fonction du débit du cours d'eau au moment du traitement et correspondant à un passage de l'insecticide sur la zone ciblée durant 10 minutes d'une concentration de 0,1 mg/l de matière active. Il est évident qu'au point d'impact sur le cours d'eau, la concentration est beaucoup plus élevée. De même, en fonction de la distance du point d'épandage à la zone à traiter, de la vitesse du courant, de la morphologie du lit du cours d'eau, l'insecticide est susceptible de traverser la zone cible en moins de 10 minutes et à une concentration bien supérieure à 0,1 mg/l. Inversement, il peut aussi passer plus longtemps, à une concentration plus faible.

Durant la saison des pluies, quand les biotopes à *S. damnosum* sont diffus et dispersés tout au long des cours d'eau, les traitements se font à une dose moindre (0,05 mg/l/10 mn), et, étant donné la nature continue du courant, les points de traitement sont beaucoup plus espacés : de 1 à 30 km selon la morphologie des cours d'eau et leur débit. Cette situation peut entraîner, ou non, une superposition des actions de deux épandages.

Malgré l'innocuité relative du produit utilisé dans la majeure partie de la région traitée (il s'agit du téméphos ou Abate® 200 en concentré émulsif

à 20 % de matière active), l'impact sur les invertébrés vivant dans les mêmes biotopes que *S. damnosum* est loin d'être négligeable (DEJOUX et ELOUARD 1978 ; DEJOUX *et al.*, 1980). L'expérience a montré cependant que le premier cycle de traitement appliqué sur un cours d'eau, donc sur un milieu théoriquement vierge, est nettement plus meurtrier que les traitements suivants. Dans le présent travail, nous avons essayé d'estimer l'impact de ce premier traitement sur plusieurs rivières de Côte d'Ivoire et dans différentes conditions logistiques, tant du point de vue hydrologique que de la morphologie des biefs traités.

1. SITES ÉTUDIÉS

Trois sites ont été étudiés dont on trouvera figure 1 A la localisation géographique par rapport au réseau hydrographique de la Côte d'Ivoire. Le premier est situé sur la Bagoué, affluent du Niger coulant au nord du pays. Le second, situé sur un affluent du Bandama, la Maraoué, se trouve dans la région centrale de Côte d'Ivoire. Le troisième enfin est situé plus à l'ouest sur le fleuve Sassandra.

L'aspect topographique des biotopes étudiés ainsi que la localisation du point d'impact du 1^{er} traitement sont schématisés figures 1 B, C et D.

Le biotope de la Bagoué correspond à l'embase latéritique plus ou moins détruite d'une chaussée submersible bétonnée. L'accélération du courant y est due au rétrécissement du lit entre les piles ainsi qu'à l'amoncellement des blocs de latérite arrachés à l'édifice par les crues successives. Ces blocs, de 10 à 30 cm de diamètre, déposés sur le fond sableux du cours d'eau, créent un biotope rocheux à structure fortement alvéolaire, constituant un îlot privilégié peuplé d'une entomofaune riche et abondante. Certains, en place depuis de nombreuses années, sont recouverts par un petit phanérogame aquatique (*Tristicha trifaria*), facteur également très favorable à l'établissement des invertébrés.

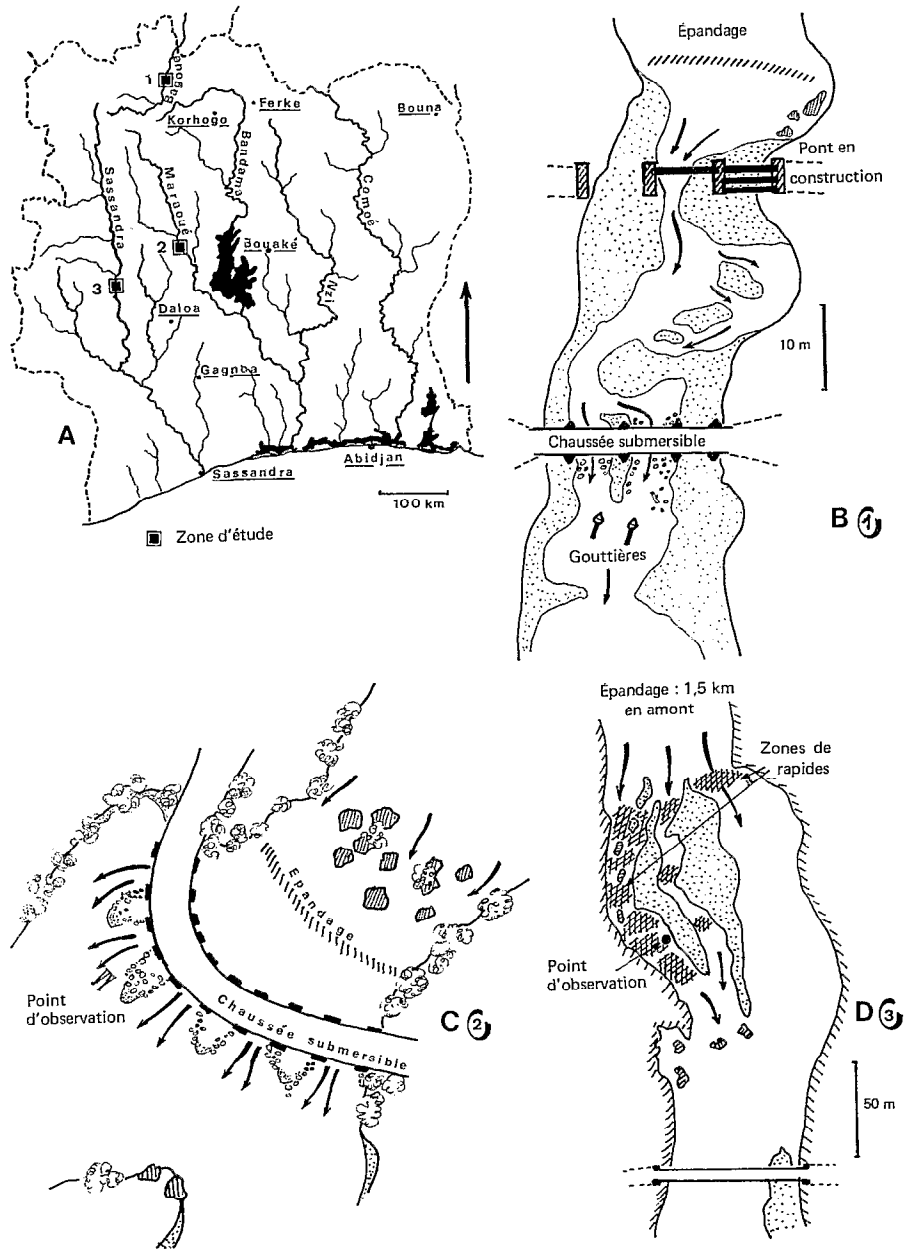


FIG. 1. — Situation des observations. A : En Côte d'Ivoire. B : Plan du site de la Bagoué. C : Plan du site de la Maraoué. D : Plan du site du Sassandra

Le biotope de la Maraoué est du même type, la chaussée non bétonnée, étant dans ce cas formée d'un simple empilement de troncs d'arbres posés sur une embase latéritique. Ces troncs supportent d'autres blocs de latérite recouverts de 60 à 80 cm d'un sol habituellement utilisé pour le renforcement des pistes (fig. 1 C). Les crues détruisant partiellement chaque année cet édifice, un talus s'est créé sous la

chaussée, en forme d'éboulis, augmentant encore l'accélération du courant déjà produite par la présence des piles.

Nous retrouvons donc sur ce site un biotope rocheux artificiel, moins isolé cependant que celui de la Bagoué car de nombreux rapides formés par des seuils rocheux naturels existent à faible distance en amont et en aval.

La troisième station d'observation a été choisie sur un gîte naturel, situé dans un bras du fleuve Sassandra, en amont de l'emplacement de l'ancien bac de Sémien (fig. 1 D). Ce biotope au courant rapide est formé par des blocs rocheux plus ou moins gros (20 à 80 cm de diamètre), dispersés sur un lit de graviers et de sable. Les blocs sont recouverts de *Tristicha trifaria* et les zones sableuses présentent un peuplement dense de *Vallisneria* sp. de 20 à 30 cm d'épaisseur.

Ce gîte qui s'étend sur plusieurs centaines de mètres, est parsemé d'îlots plus ou moins immergés, peuplés par une végétation semi-aquatique dont les parties immergées ou flottantes sont autant de substrats colonisés par *Simulium damnosum*. A l'étiage, la profondeur moyenne de cette zone est de 20 à 80 cm. Au moment de notre étude (début juin) elle était sensiblement supérieure (80 cm à 1,5 m) en raison du commencement de la crue amorcée depuis la mi-mai.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Techniques utilisées

L'impact du premier traitement de chaque site a essentiellement été mesuré par une étude de l'intensité de dérive, les prélèvements étant récoltés soit à l'aide de différentes batteries de filets d'environ 200 μ de vide de maille, mises en place dans les zones de courant rapide des sites étudiés, soit à l'aval d'un système de gouttières placées *in situ*, les filets ayant également le même vide de maille.

Pour chaque échantillon, un taux de dérive est calculé par la relation $ID = \frac{\bar{N}}{\bar{V}}$. \bar{N} est le nombre moyen d'organismes récoltés dans un filet et \bar{V} le volume filtré durant le temps de mise en œuvre, calculé par la relation $V = v.s.t.$, où v est la vitesse du courant mesurée à l'aide d'un courantomètre, à l'entrée des filets, s la surface d'entrée d'un filet et t le temps de récolte. Si l'on exprime v en cm/s, s en cm^2 et t en secondes, la relation devient :

$$ID = \frac{10^6 \bar{N}}{\bar{V} \text{ cm}^3}$$

Dans le cas où les échantillons sont récoltés directement dans le cours d'eau, l'indice de dérive représente donc la quantité d'organismes potentiellement en dérive à un moment donné dans un mètre cube d'eau de la rivière. Le passage d'un insecticide provoquant généralement une forte augmentation immédiate de la dérive, il est intéressant de calculer le rapport maximal d'augmentation de cette dérive, qui est donné par la relation :

Indice maximum observé après traitement

Indice minimum immédiatement avant traitement

Il est aussi intéressant de calculer un indice pondéré, donné par la seconde relation :

Indice moyen observé dans l'heure centrée sur l'acrophase de décrochement / indice de dérive moyen dans l'heure précédant le traitement.

Dans le cas de l'utilisation de gouttières, il est possible de calculer exactement la valeur absolue du décrochement induit par le traitement, soit pour l'ensemble de la faune, soit pour chaque taxocène considéré séparément.

Sans entrer dans le détail de leur utilisation, il faut savoir que ces appareils, réalisés en fer ou en matière plastique, fonctionnent comme des systèmes semi-fermés. Immergés sur les sites à étudier quelques jours avant le traitement, ils demeurent en place, ouverts aux deux extrémités et garnis de substrats naturels et de faune, jusqu'au moment de l'épandage. Un système *ad hoc* empêche ensuite toute pénétration d'organismes durant l'expérimentation, seules l'eau et les particules d'insecticide pouvant traverser la gouttière. Un filet à dérive, fixé à l'aval de l'appareil, permet de récolter régulièrement les organismes qui décrochent de leur substrat sous l'effet toxique du produit épandu en amont. Pour une meilleure compréhension de l'utilisation de cette technique nous renvoyons le lecteur aux articles suivants : DEJOUX 1975 ; DEJOUX 1980 ; TROUBAT 1981.

2.2. Aspect logistique des traitements étudiés et protocoles d'observation

2.2.1. LA BAGOUÉ

Le premier traitement de cet affluent du Niger a été effectué fin mars c'est-à-dire pendant la période d'étiage maximum, alors que le débit était extrêmement faible. Pour des raisons techniques liées au système d'épandage des hélicoptères à cette époque, la quantité minimale qu'il était possible de déverser était 0,3 litre de formulation. Une telle quantité correspondait à un surdosage d'au moins dix fois par rapport à la concentration de 0,1 mg/l/10 mn qui aurait dû être employée.

Trois échantillons de dérive de jour ont été récoltés dans le cours d'eau, 24 heures avant le traitement. Les filets utilisés avaient une ouverture de 25 x 25 cm, une longueur de 2,5 mètres et un vide de maille d'environ 200 μ . Une seconde série de trois échantillons a été récoltée le jour du traitement, à 17 h 00, soit à la même heure qu'avant traitement. Lors de la première récolte, les filets ont été laissés en place trente minutes et lors de la seconde seule-

ment dix minutes, en raison de la grande quantité d'organismes dérivant.

Le même type d'échantillonnage était réalisé la nuit (à 20 h 00), la veille et le jour du traitement. La durée de mise en œuvre des filets était dans ce cas et les deux fois, de trois minutes.

Afin de pouvoir quantifier avec plus de précision l'impact du traitement, deux gouttières ont été installées côte à côte, dans le courant, à l'aval du gîte traité. L'emploi de deux appareils était essentiellement destiné à rechercher s'il existait une différence dans les résultats obtenus avec chacun d'eux.

La fermeture des gouttières eut lieu la veille du traitement, à 18 h 00. Le traitement eut lieu le lendemain à 15 h 05 et les récoltes se sont poursuivies jusqu'au surlendemain à 10 h 00, soit au total 40 heures d'observations dont 19 après épandage.

2.2.2. LA MARAOUÉ

Les observations réalisées sur le site dit « Pont de Kongasso », sur le cours moyen de la Maraoué, ont été faites fin avril, donc également en période d'étiage. Une quantité de 0,9 litre d'Abate était épandue, ce qui, compte tenu du débit, correspondait à une concentration légèrement inférieure à 0,1 mg/10 minutes, que l'on peut considérer comme normale.

Pour des raisons logistiques, il ne nous a pas été possible de réaliser les mêmes observations que sur la Bagoué et seuls des prélèvements de dérive *in situ* ont été effectués, les premiers échantillons étant récoltés au moment de l'épandage, à 17 heures. Un échantillon était la moyenne des récoltes de deux filets jumelés de chacun 100 cm² d'entrée, 60 cm de longueur, environ 200 μ de vide de maille et mis en œuvre à chaque récolte durant une minute.

2.2.3. LE SASSANDRA

Le premier traitement de cette rivière eut lieu en juin, à une période où les conditions hydrologiques étaient celles du début de saison des pluies, le niveau d'eau étant d'environ un mètre au-dessus de la cote d'étiage.

L'épandage, réalisé par avion, eut lieu à environ

1,5 km en amont de notre point de contrôle à la concentration de 0,1 mg/l/10 minutes.

Deux types d'observations ont été réalisés : d'une part la dérive naturelle a été récoltée durant 48 heures, dont 22 heures avant traitement et 26 heures après épandage (filets jumelés identiques à ceux utilisés sur la Maraoué et mis en place pour chaque prélèvement durant une minute); d'autre part, l'impact en gouttière a été mesuré, l'appareil ayant été installé 20 heures avant le traitement et les récoltes s'étant poursuivies 24 heures après.

3. ESTIMATION DES IMPACTS DES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS

3.1. Premier traitement de la Bagoué

L'ÉTUDE DE LA DÉRIVE AU SEIN DU COURS D'EAU a permis l'obtention des résultats consignés dans le tableau I.

L'impact du traitement a été catastrophique, la dérive de jour étant presque 300 fois plus élevée, deux heures après l'épandage que ce qu'elle était la veille à la même heure. Malgré l'éloignement dans le temps par rapport au maximum d'impact et compte tenu de l'énorme quantité de faune déjà dérivée, la dérive de nuit était encore, cinq heures après traitement, six fois plus élevée que la veille.

Dans les prélèvements de jour, les Caenidae présentèrent le maximum de décrochement et leur intensité de dérive était plus de 1.400 fois supérieure à son niveau normal. De même, les Tricorythidae étaient très touchés (*Tricorythus* sp. : 1.300 fois; ainsi que les Philopotamidae (*Chimarra petri*) 1.000 fois).

Dans les prélèvements de nuit, les rapports d'augmentation les plus élevés concernent principalement les Dytiscidae (18 fois), puis les Hydroptilidae (*Orthotrichia* sp. : 17 fois) et les Tanypodinae (13 fois). Certains taxocènes enfin sont présents dans les dérives après traitements alors qu'ils en étaient absents avant. Ce sont les suivants :

TABLEAU I

Comparaison des indices de dérive *in situ*, avant et après le premier traitement de la Bagoué

	Avant traitement	Après traitement	% d'augmentation
Indice de dérive de jour.....	1,37	401,44	99,66 %
Indice de dérive de nuit.....	11,92	71,04	83,22 %
Rapport $\frac{IDN}{IDJ}$	8,7	0,18	

Dérive de jour : Nématodes, Oligochètes, Heptageniidae, Plécoptères, Gomphidae, Ecnomidae, Tanytarsini, Hydrophilidae, Sisyridae.

Dérive de nuit : Hirudinae, Nématodes, Tricorythidae, Euthyplociidae, Agrionidae, Tanytarsini, Ceratopogonidae, Hydrophilidae, Sisyridae.

La comparaison des rapports $\overline{IDN}/\overline{IDJ}$ témoigne également de l'impact catastrophique du traitement. Pour une rivière tropicale en équilibre, ce rapport est généralement de l'ordre de 10 et plus, quand il est calculé pour une même journée, les prélèvements étant effectués à 17 h 00 et 20 h 00, soit grossièrement au minimum et au maximum de la dérive naturelle. Plus ce rapport devient faible, plus il est certain que le milieu est perturbé. Dans le cas présent, le passage d'une valeur de 8,7 avant traitement à seulement 0,18 après est hautement significatif.

INTENSITÉ DE DÉCROCHEMENT EN GOUTTIÈRE

Les dérives totales récoltées dans chaque gouttière ont été respectivement de l'ordre de 79 et 89 % de la faune mise en place dans chacune d'elles. Compte tenu des différences existant nécessairement

au départ dans la composition des peuplements de chaque appareil, une différence de 10 % ne peut être considérée comme significative, d'autant plus que les quantités de téméphos ayant traversé chaque appareil peuvent être légèrement différentes si une homogénéisation parfaite du produit n'est pas réalisée entre le point d'épandage et l'entrée des gouttières.

La cinétique de dérive observée dans une gouttière est schématisée figure 2 et le bilan du décrochement correspondant présenté en détail dans le tableau II.

D'une manière générale, ce sont les Éphéméroptères qui subissent l'impact le plus important avec un pourcentage de décrochement dépassant 90 % pour toutes les familles présentes. Les chironomides dans leur ensemble sont également très touchés avec un pourcentage de décrochement variant entre 70 et 86 % selon les sous-familles. Enfin, parmi les taxocènes les moins affectés et pour lesquels les effectifs présents étaient suffisants pour conclure, il faut citer les Odonates (45 %) et les Ceratopogonidae (45 %).

Simulium adersi, avec un décrochement de 86,5 % paraît ici sensible au traitement. Il faut cependant

TABLEAU II

Bilan du décrochement en gouttière lors du premier traitement de la Bagoué

Faune totale testée	Faune dérivée avant traitement	%	Faune dérivée après traitement	%	Faune restante	Faune totale dérivée	% total de décrochement
Hydracariens	31	6	21	67,7	4	27	87,1
Nématodes	2	-	2	100	-	2	100
Oligochètes	3	1	2	33,3	3	100	100
Poissons	2	2	-	100	-	2	100
<i>Caridina africana</i>	1	-	1	100	-	1	100
Sisyridae	5	-	5	100	-	5	100
Pyralidae	64	2	49	76,6	13	51	79,7
<i>Neoperla sp.</i>	20	1	17	85,0	2	18	90
Elmidae	341	12	238	69,8	91	250	73,3
Hydrophilidae	5	1	4	-	-	5	100
<i>Micronecta</i>	1	1	-	-	-	1	100
Veliidae	9	2	4	44,4	3	6	66,6
Odonates	10	1	4	40,0	5	5	50
Ceratopogonidae	40	2	18	45,0	20	20	50
Chaoboridae	3	1	2	66,6	-	3	100
Rhagionidae	35	-	25	71,4	10	25	71,4
<i>Sim. adersi</i>	104	13	90	86,5	1	103	99
Orthocladinae	609	53	429	70,4	127	482	79,1
Chironomini	633	22	535	84,5	76	559	88
Tanytarsini	97	1	74	76,2	22	75	77,3
Tanypodinae	576	22	498	86,5	56	520	90,3
Hydropterygidae	116	14	86	74,1	16	100	86,2
Hydroptilidae	383	19	294	76,7	70	313	81,7
Ecnomidae	20	2	15	75,0	3	17	85
Philopotamidae	195	6	129	66,1	60	135	69,2
Leptoceridae	44	3	29	65,9	12	32	72,7
Baetidae	1 098	26	1 059	96,4	13	1 085	98,3
Caenidae	1 384	75	1 256	90,8	53	1 331	96,2
Leptophlebiidae	168	8	154	91,7	6	162	96,4
Tricorythidae	56	4	52	92,9	-	56	100
Epheméridae	1	-	1	100	-	1	100
Heptageniidae	1	-	1	100	-	1	100
Total	6 057	300	5 094		663	5 394	

Pourcentage de décrochement avant épandage 4,95

Pourcentage de décrochement après épandage 84,10

Pourcentage global de décrochement 89,05

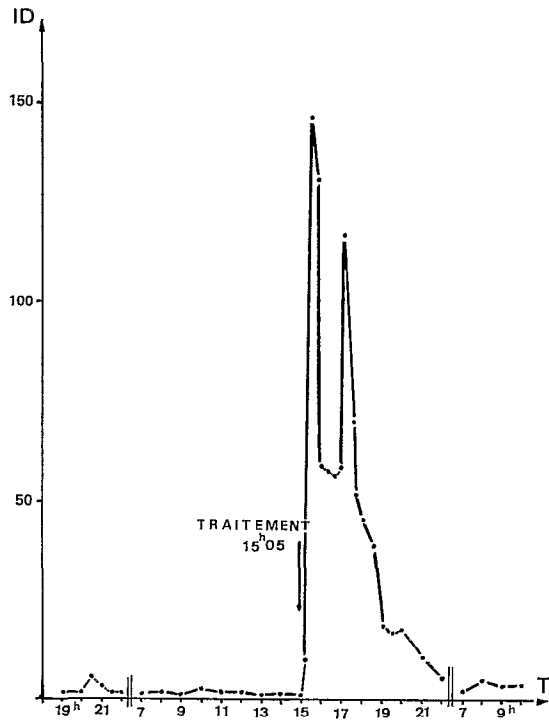


FIG. 2. — Cinétique de dérive des invertébrés, en gouttière, lors du premier traitement de la Bagoué

noter que ce taxon s'était fixé sur les parois métalliques des gouttières et ce substrat ne semble pas lui convenir, comme en témoigne le pourcentage de décrochement avant traitement (12,5), très élevé pour un organisme connu pour dériver naturellement peu.

La figure 2 met en évidence l'effet intense et brutal du traitement, le rapport d'augmentation maximum de dérive étant de 77,8 et le rapport pondéré de 30,1. La réaction des différents organismes présents est dans la majorité des cas immédiate comme en témoigne la figure 3. Toutefois, certains taxocènes présentent un décalage de leur acrophase de décrochement par rapport à d'autres, la réaction la plus rapide étant le fait des Baetidae que leurs faibles moyens d'ancrage ne permettent pas de résister au courant dès que l'insecticide les atteint.

Il est enfin intéressant de noter que l'intensité des effets du traitement demeure très forte jusqu'à la fin des observations c'est-à-dire 19 heures après le passage du téméphos. Le retour apparent vers une intensité de dérive proche de la normale, le lendemain du traitement (cf. fig. 2), n'est en fait, dû qu'à la raréfaction de la faune dans les gouttières.

Ceci a pu être mis en évidence par une énumération des effectifs restants dans une gouttière, après chaque intervalle de temps. Ces effectifs diminuent

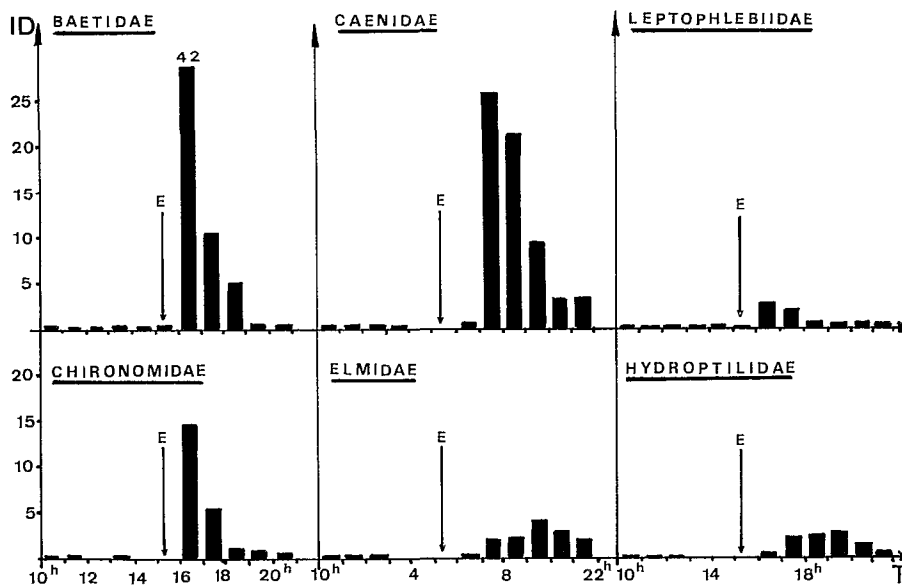


FIG. 3. — Intensité et chronologie de la dérive en gouttière de quelques taxocènes importants lors du premier traitement de la Bagoué. (E = épandage)

continuellement, d'abord très vite dans les premières heures puis ensuite plus lentement. Cependant, il apparaît que le pourcentage de décrochement, calculé sur la faune restante à chaque instant varie relativement peu ; il est d'heure en heure de l'ordre de 10 % ($\pm 3,4$), (fig. 4).

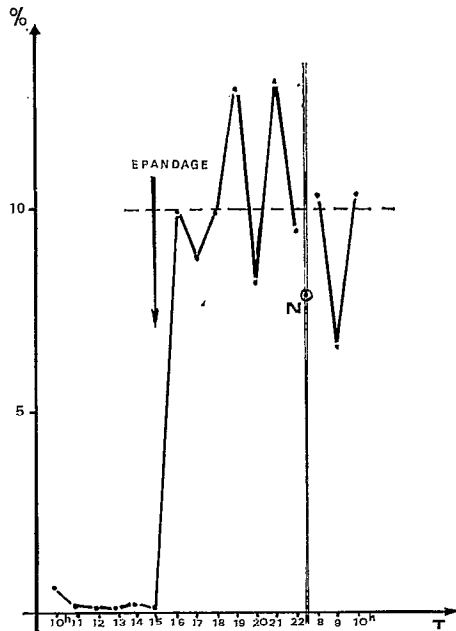


FIG. 4. — Évolution heure par heure du pourcentage de décrochement en gouttière en fonction de la quantité d'organismes restants à chaque heure. N = valeur moyenne calculée pour la nuit

Le maximum est atteint en début de nuit, c'est-à-dire durant la période où normalement la dérive naturelle est intense et où l'on a superposition du décrochement dû au toxique au processus de dérive fondamentale qui, malgré la perturbation du milieu, demeure fortement imprégné chez les organismes.

En conclusion, le premier traitement de la Bagoué, survenant à une période de basses eaux, effectué sur une faune d'invertébrés rhéophiles très dense mais relativement isolée, à une concentration au moins 10 fois supérieure à la normale, a eu des conséquences catastrophiques au niveau du site étudié. Plus de 75 % des invertébrés présents ont été détruits par le premier traitement et les observations poursuivies par la suite montrèrent que ces effets étaient encore sensibles après plusieurs mois. Des mortalités d'oiseaux (*Calidris minuta*) ont même été observées, ces derniers s'étant alimentés d'insectes morts (larves de chironomides et Odonates) accumulés le long des berges en aval du gîte traité.

3.2. Premier traitement de la Maraoué

La cinétique de dérive observée est schématisée figure 5. Elle est de type classique, avec un maximum de décrochement des organismes situé environ 1 h 30 à 2 heures après le passage de la vague insecticide. Le rapport d'augmentation maximal de la dérive est de 26 et le rapport pondéré de seulement 19,1. Nous sommes donc loin des valeurs obtenues sur la Bagoué, bien que dans ce cas encore, le traitement, effectué trop près du gîte, ne puisse être considéré comme correct par rapport aux normes d'efficacité reconnues ; nous en discuterons dans la conclusion.

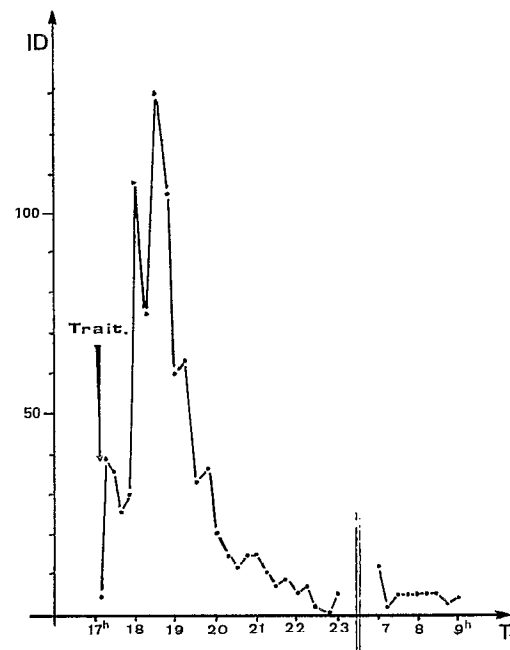


FIG. 5. — Cinétique de la dérive « in situ » des invertébrés, lors du premier traitement de la Maraoué

Les Baetidae réagirent immédiatement au passage du téméphos et dérivèrent en grande quantité dans la minute suivant le passage et l'insecticide. Ce phénomène classique et constant est lié à deux facteurs agissant dans le même sens. D'une part, les Baetidae sont des organismes sensibles et fragiles, d'autre part ils se tiennent généralement, selon les espèces, dans les courants modérés à forts, mais sans protection, de sorte que la moindre traumatisation leur fait abandonner leur substrat et ils « entrent » immédiatement dans la dérive. Par opposition, certains Hydropsychidae qui peuvent être aussi sensibles et peuvent également subir un effet de choc de la part du pesticide, demeurent mécaniquement

retenus un certain temps par leur habitat (logette, filet, anfractuosité...) et n'entrent dans la dérive qu'à compter du moment où, cherchant à fuir un biotope contaminé, ils abandonnent leur abri et se trouvent entraînés par le courant.

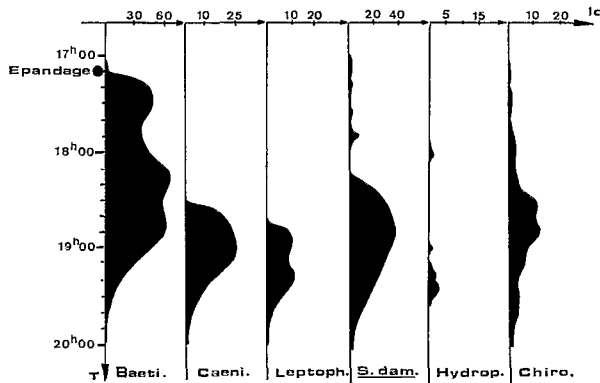


FIG. 6. — Chronologie et cinétique du décrochement de quelques taxocènes abondants au cours du premier traitement de la Maraoué.

Lors du premier traitement de la Maraoué, nous avons déterminé la chronologie du commencement de la dérive en masse des principaux taxocènes (fig. 6) et avons retrouvé un résultat du même type que celui déjà obtenu sur la Bagoué, avec seulement une réaction de moindre intensité.

3.3. Premier traitement du *Sassandra*

ANALYSE DE LA DÉRIVE NATURELLE

L'indice de dérive moyen calculé durant la journée précédant le traitement est de l'ordre de 15. C'est un indice très élevé, essentiellement dû à deux facteurs, l'un étant la grande richesse naturelle en invertébrés de ce bief de cours d'eau, le second étant l'arrachement des organismes de leur support, conséquence de la montée des eaux et de l'accélération du courant.

A cet indice élevé de dérive de jour, correspond pour les mêmes raisons un indice de dérive de nuit important, variant entre 120 et 230 en début de nuit ! Toutefois, le rapport $\overline{IDN}/\overline{IDJ}$ est de l'ordre de 10, ce qui correspond comme nous l'avons vu à une situation en équilibre.

Il a été mentionné (§ 2.2.3.) qu'en raison, d'une part de la grande étendue du gîte et d'autre part du débit relativement fort du cours d'eau en cette saison, le traitement avait été réalisé à environ 1,5 kilomètre de notre point d'observation. En conséquence, il s'est établi une bonne diffusion du

téméphos dans le milieu mais aussi un étalement très marqué du passage de la vague insecticide, situation donc totalement opposée à ce qui s'était produit sur la Maraoué.

Sur la courbe de cinétique de dérive (fig. 7), l'augmentation d'intensité de ce phénomène ne se manifeste que progressivement, environ deux heures après l'heure de traitement et n'atteint son maximum que cinq heures trente après l'épandage. La diminution qui suit ce maximum est elle aussi progressive jusqu'à ce que la période correspondant à la reprise d'activité nocturne des invertébrés (vers 18 heures) soit atteinte.

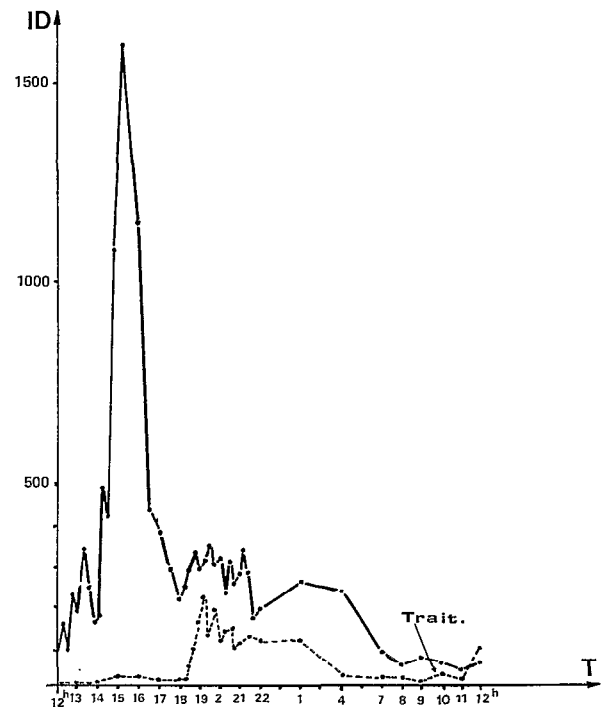


FIG. 7. — Cycle de dérive de 48 heures, centré sur le premier traitement du *Sassandra*   S mien. En pointillés : avant épandage ; en trait plein : après épandage

L'étalement du passage de l'insecticide se traduit donc par une courbe de maximum de dérive relativement symétrique par rapport à son mode, durant les premières heures suivant le traitement, alors qu'un passage bref et rapide provoque une réaction immédiate de la faune et un pic abrupte suivi d'une diminution plus ou moins lente. Il faut également remarquer que durant la nuit suivant le traitement, l'intensité de dérive demeure environ deux fois supérieure à ce qu'elle était la veille. Ce phénomène est très certainement la conséquence d'un passage tardif de l'insecticide qui s'est poursuivi durant la nuit.

Orthoclaadiinae et Baetidae qui sont aussi les organismes dominants dans le biotope traité sont les deux taxocènes les plus abondants dans la dérive avec respectivement 31,2 et 29,7 % du total récolté en 48 heures. Les autres groupes participent pour une part bien moins grande, les plus fréquents étant les Tanytarsini (8,7 %) et les Leptophlebiidae (7,8 %).

Le rapport d'intensité maximale de dérive est dans ce cas de 75,5 alors que le rapport pondéré n'est que de 45,4. Si l'on compare ces valeurs avec

celles obtenues sur la Maraoué, elles apparaissent presque 3 fois supérieures, traduisant une forte réaction des invertébrés au traitement. Ce fait est important à retenir et nous verrons dans la discussion l'enseignement que l'on peut en retirer.

Si l'on prend en considération les taxocènes les plus abondants et que l'on compare leur intensité de dérive avant et après traitement, il est possible de calculer pour chacun différents rapports d'augmentation (tabl. III).

Les Caenidae et *Oecetis* sp. sont les moins affectés

TABLEAU III

Rapports d'augmentation de la dérive de quelques taxocènes abondants, après le 1^{er} traitement du Sassandra

Taxocènes	Dérive de jour			Dérive de nuit	
	A	B	C	A	B
Caenidae.....	2,4	2,0	17,9	— 1,5	— 2,3
Baetidae.....	23,8	52,5	166,2	2,1	3,7
Leptophlebiidae.....	9,5	9,8	45,8	2,6	1,6
Orthoclaadiinae.....	19,1	6,0	83,3	2,9	4,2
Tanytarsini.....	80,8	71,9	106,3	6,7	29,7
Leptoceridae (<i>Oecetis</i> sp.).....	5	2,4	9,1	4,3	1,6

A — Valeur moyenne, calculée sur des périodes allant de 8 h 00 à 18 h 00 incluses pour la dérive de jour et 18 h 00 à 8 h 00 exclues pour la dérive de nuit

B — Valeurs calculées pour les heures classiques de la surveillance de routine du programme oncho : 17 h 00 et 20 h 00

C — Valeurs calculées pour le maximum d'impact du traitement au niveau de la dérive de jour

par les traitements, aussi bien de jour que de nuit. Les autres taxocènes subissent par contre un impact nettement plus fort durant la journée. Pour certains, même au maximum d'impact de l'insecticide, nous sommes cependant loin des valeurs observées sur la Bagoué : pour les Caenidae, 1.400 sur la Bagoué contre 17,9 sur le Sassandra, pour *Tricorythus*, 1.300 contre 6 et les Philopotamidae, 1.000 fois contre 1,5. Enfin, quelques-uns ont une intensité de décrochement du même ordre de grandeur au maximum d'impact : Baetidae, 148 sur la Bagoué et 166,2 sur le Sassandra ; ou même supérieure : Orthoclaadiinae : 83 pour le Sassandra et 22 seulement pour la Bagoué !

INTENSITÉ DE DÉCROCHEMENT EN GOUTTIÈRE

Cette technique nous permet d'évaluer avec plus de précision l'impact du traitement. Le bilan de l'expérimentation est dressé dans le tableau IV et schématisé figure 8.

La courbe figure 8 présente une première partie qui correspond à la dérive naturelle car, nous l'avons

vu plus haut, ce n'est que plusieurs heures après l'épandage que la vague d'insecticide est passée à notre point de contrôle. A 13 heures, soit au temps t_0+3 h 30 si l'on considère le temps t_0 comme le moment de l'épandage, il apparaît un premier pic (A) qui correspond au début de décrochement de *Simulium adersi*, taxon réagissant au passage du front de la vague. Ensuite apparaît un second pic (B) centré à 15 h 30 (t_0+6 h), qui traduit le maximum de réaction de la faune au passage du téméphos. A partir de 19 h 45 (t_0+10 h 30) se situe un 3^e pic (C) correspondant à l'augmentation normale de l'indice de dérive durant la nuit. Enfin le lendemain entre 8 et 9 heures s'amorce un dernier pic (D) qui pourrait être dû partiellement au passage d'une vague secondaire résultant des traitements faits plus en amont sur la rivière (Baetidae) et également à un effet retard, les Plécoptères, Leptoceridae et Ecnomidae étant aussi responsables de cette augmentation. Ce phénomène se retrouve au niveau des prélèvements de dérive *in situ*, confirmant, par terme de comparaison, la grande sensibilité de la méthode des gouttières.

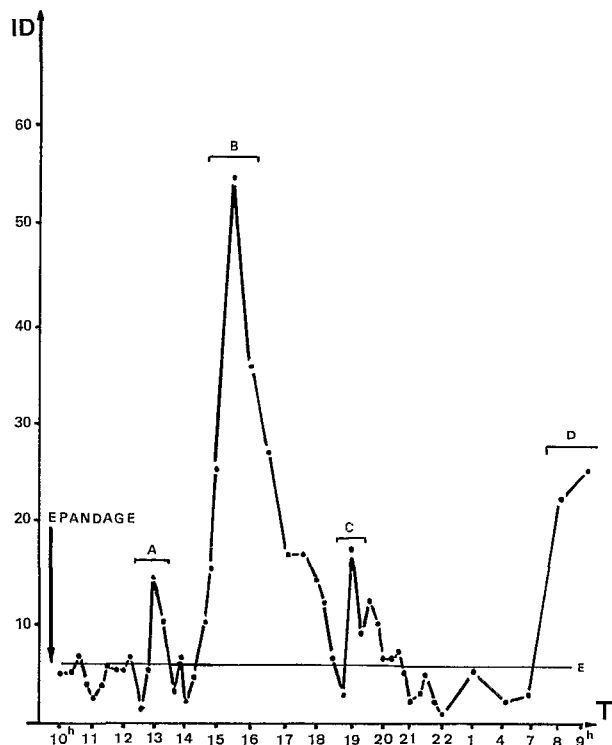


FIG. 8. — Cinétique de dérive en gouttière lors du premier traitement du Sassandra. A — Réaction de la faune à l'arrivée du front de vague. B — Maximum de décrochement des invertébrés. C — Début de dérive nocturne. D — Réaction au passage d'une deuxième vague, cumulée à un certain effet retard

Le bilan global de l'expérimentation nous permet d'estimer à 46,8 % la quantité de faune dérivée en 23 heures d'observations. Cette dérive se décomposant bien entendu en dérive naturelle et dérive traumatique due au téméphos. Étant donné les conditions d'expérimentation, il était impossible d'évaluer la dérive naturelle à l'aide d'un témoin mais considérant les fortes intensités de dérive obtenues *in situ* avant le traitement, nous pouvons l'estimer à environ 15 à 20 % de la faune présente. Si cette hypothèse est juste, la dérive due à l'impact du traitement serait donc de l'ordre de 25 à 30 %.

Parmi les taxocènes testés ayant des effectifs suffisants, les plus affectés furent dans l'ordre *S. adersi*, les Leptophlebiidae, les Orthocladinae et les Baetidae. À l'opposé, les Tricorythidae et *Oecetis sp.* réagirent faiblement au toxique.

Bien que moins élevé que celui de *S. damnosum*, le décrochement de *S. adersi* (95,2 %) n'en est pas moins très important et pose à nouveau le problème de la sensibilité de ce taxon au téméphos. Après plusieurs années d'utilisation de ce produit, nous avons en effet toujours observé la présence de

TABLEAU IV

Premier traitement du Sassandra, bilan de la toxicité observée en gouttière

Taxocènes	Faune dérivée en 23 heures	Faune restante	Faune totale testée	% de décrochement
Baetidae	159	115	274	58,0
Caenidae	29	19	48	60,4
Tricorythidae	30	30	60	37,5
Heptageniidae	0	17	17	0
Leptophlebiidae	47	10	57	82,4
Oligoneuridae	1	0	1	100
Euthyplocididae	0	246	246	0
Prosoptotomatidae	3	2	5	60,0
Epheméridae	0	2	2	0
Chironomini	34	42	76	44,7
Orthocladinae	62	29	111	73,9
Tanyptodinae	6	18	24	30,8
Tanytarsini	13	29	42	31,0
Ceratopogonidae	0	3	3	0
<i>S. adersi</i>	99	5	104	95,2
<i>S. damnosum</i>	129	0	129	100
Rhagionidae	1	3	4	25,0
Hydropsychidae	1	1	2	50,0
Ecmonidae	16	6	22	72,7
Leptoceridae	11	0	11	100
Hydroptilidae	7	8	15	46,7
Philopotamidae	11	25	36	30,6
<i>Oecetis sp.</i>	88	203	291	16,3
Aethalontera sp.	2	4	6	33,3
Plécoptères	40	55	95	40,4
Libellulidae	1	0	1	100
Gomphidae	0	2	2	0
Agriionidae	1	0	1	100
Elmidae	6	50	56	13,8
Elodidae	3	1	4	75,0
Dytisoidae	0	1	1	0
Hydracariens	8	2	10	80,0
Oligochètes	2	3	5	66,7
TOTAL	830	951	1787	

FAUNE DÉRIVÉE EN 23 HEURES

peuplements simuliéens dans les cours d'eau traités (en dehors de toute référence à la résistance de certains cytotypes de l'espèce cible). Ces peuplements sont constitués en majeure partie de *S. schoutedeni*, mais également de *S. adersi*. Ceci tendrait à prouver que cette dernière espèce est, à moyen terme, relativement peu sensible au téméphos et par conséquent, soit que les pourcentages de décrochement obtenus en gouttière sont surestimés, en raison peut être d'une certaine incompatibilité du taxon pour ce biotope artificiel, soit que le faible pourcentage survivant aux premiers cycles de traitement est en mesure, comme pour de nombreux autres taxons moyennement sensibles, de maintenir dans le milieu naturel un peuplement notable en dépit des traitements répétés.

4. DISCUSSION. CONCLUSION

Nous avons estimé les impacts ponctuels, à la fois dans le temps et l'espace, des premiers traitements au téméphos de trois cours d'eau où les conditions

hydrologiques et la logistique des épandages étaient différentes. Au cours d'une campagne aussi longue et de grande envergure que celle actuellement réalisée par l'OMS en Afrique de l'ouest, il est évident que les différents cas que nous avons étudiés sont appelés à se reproduire fréquemment. Par ailleurs, dans la mesure ou certains sont des cas extrêmes, toutes les situations intermédiaires sont envisageables. Il serait donc prétentieux de vouloir établir des lois de traitements définitives au vu des seuls résultats du présent travail. Cependant, tenant compte de notre connaissance empirique des milieux et des organismes traités, nous pensons pouvoir énoncer quelques principes généraux qui puissent guider la réalisation de traitements, à la fois efficaces contre le groupe cible et présentant les meilleures garanties d'innocuité pour l'environnement aquatique.

— Le premier cas examiné, celui de la Bagoué, montre que l'impact d'un surdosage, survenant durant l'étiage à un moment où la faune rhéophile est fortement concentrée, est de type catastrophique et doit être absolument évité. Une destruction des invertébrés d'un biotope atteignant 75 % de la faune présente est à proscrire et ne peut être répétée sans risque d'amener à brève échéance un déséquilibre complet du milieu traité.

Il est de toute manière certain que l'impact sur un milieu vierge, à l'étiage, est sévère. Nous avons maintes fois réalisé des traitements expérimentaux en gouttière sur des milieux non traités de Côte d'Ivoire (Nzi, Maraoué, Bandama...), obtenant toujours sur une durée de 24 heures, dans des conditions parfaitement contrôlées, avec un écoulement dans l'appareil d'une concentration de 0,1 mg/l d'insecticide durant 10 minutes, des décrochements par action du téméphos variant entre 30 et 50 % du peuplement testé, selon sa composition initiale.

Malgré les précautions prises par les responsables de la lutte antivectorielle, les surdosages sont fréquents et le cas de la Bagoué n'est pas isolé. Une telle situation prévalait également par exemple lors des premiers traitements de la basse Maraoué (ELOUARD et TROUBAT 1979) qui eurent à nouveau lieu à une période de très faible débit. Ces auteurs concluent à un effet catastrophique sur les invertébrés, la faune peuplant des substrats artificiels de type flottant ayant considérablement diminué après traitement (Simulidae : — 99,97 % ; Baetidae : — 97,76 % ; Chironomini : — 94,8 % ; Ceratopogonidae : — 96,6 % ; Hydropsychidae : — 73 % ; Orthocladiinae : — 46 %...). Les réductions observées sur des substrats d'un autre type et placés au fond de la rivière sont relativement plus faibles, probablement en raison d'une moindre atteinte par le téméphos dont la faible densité provoque surtout

l'écoulement en surface. Par contre, une comparaison des densités d'invertébrés sur les rochers peu profonds, dans le courant, amène ces mêmes auteurs à estimer la perte à environ 87 %, ce qui est considérable.

— La situation que nous avons étudiée lors du premier traitement de la haute Maraoué est également pleine d'enseignement. Nous sommes là en présence d'un cas fréquent où, durant l'étiage, la concentration théorique normale est respectée, l'épandage étant réalisé trop près du bief visé. Nous avons pu observer le passage rapide de la vague de téméphos à notre point d'observation sous forme d'une suspension blanchâtre, alors qu'à une concentration de 0,1 mg/l, l'insecticide n'est normalement pas visible à l'œil nu. On peut donc conclure que le produit est passé sur le gîte pendant un temps très court, mais à un dosage bien plus élevé que celui souhaité. En conséquence, les effets toxiques, certes moins violents que sur la Bagoué, n'en furent pas moins trop élevés pour être acceptables. De plus, dans de tels cas, ils sont généralement très variables selon les espèces considérées et inégalement répartis sur le bief, donc difficiles à prévoir et à analyser.

— Nous avons estimé que le premier cycle de traitement du Sassandra avait entraîné, sur le bief étudié, un décrochement des invertébrés de l'ordre de 25 à 30 % en 24 heures. Nous nous trouvions alors dans une période de transition sur le plan hydrologique puisque la montée des eaux, très récente, correspondait à un début de crue. Le dosage utilisé (0,1 mg/l/10 mn), qui est celui normalement adopté en conditions d'étiage, ne correspondait donc pas à la situation hydrologique réelle. En fait, une telle situation est fréquente à cette époque de l'année où les premières grosses pluies alternent souvent avec des périodes sèches, entraînant des variations brusques et irrégulières du niveau d'eau, donc du débit.

Dans la pratique, les hauteurs d'eau des rivières à traiter sont relevées en fin de semaine, communiquées par radio au centre opérationnel de traitement qui, à partir de ces données, calcule les quantités d'insecticide à épandre pour chaque bief. Les traitements se font alors sur ces bases, la semaine suivante. Il s'écoule donc un certain laps de temps entre la mesure et le traitement, suffisant dans certains cas et particulièrement dans les périodes de transition climatique pour que les débits au moment de l'épandage soient nettement au-delà ou en deçà des valeurs escomptées.

Dans le cas du premier traitement du Sassandra, sans pour autant adopter le dosage habituel de saison des pluies de 0,05 mg/l/10 mn, il semble qu'un

dosage intermédiaire de 0,075 mg/l/10 mn aurait été mieux adapté. Toutefois et malgré ce léger surdosage, les effets constatés, bien que nettement marqués, ne peuvent être qualifiés de violents et inacceptables. Il est certain que la crue est pour les invertébrés une période de perturbations mais aussi qu'elle leur procure de grandes possibilités de dissémination, les bonnes conditions de courant et d'oxygénation n'étant plus limitées à de petites zones de rapides. Le décrochement de son support, pour un invertébré rhéophile, ne signifie donc pas nécessairement la mort par anoxie après transport dans une zone calme, comme dans la majorité des cas en saison sèche (DEJOUX, 1982). Il y a donc lieu de penser que de nombreux invertébrés ayant dérivé quelques heures après l'acrophase du décrochement, trouverent en aval des conditions écologiques satisfaisantes pour survivre, s'ils étaient encore physiquement en mesure de se réimplanter sur un substrat.

Si les premiers traitements d'une rivière ont un effet toxique très marqué sur les invertébrés, l'impact devient moins aigu au cours des traitements suivants (DEJOUX et ELOUARD 1977). S'il n'en était pas ainsi, il faudrait que le milieu traité présente un énorme pouvoir de « régénération » de sa faune pour pallier les pertes hebdomadaires d'un niveau égal à celui qu'il subit au cours d'un premier cycle d'épandage.

Deux phénomènes concourent à cette situation. Le premier est une modification progressive des peuplements qui conduit à une prédominance des espèces les moins sensibles ou de celles qui bénéficient directement de la raréfaction des espèces concurrentes (prédatrices par exemple). Les Tanytarsini dans le cas de l'emploi de l'Abate® ou les Orthocladiinae quand le chlorphoxim est utilisé, appartiennent à cette catégorie, bénéficiant de la raréfaction des Hydropsychidae. On remarque d'une manière générale que ces espèces ont un cycle de développement court qui leur permet une recolonisation rapide du milieu entre deux épandages. Ce sont des espèces pionnières.

Le second phénomène, plus difficile à appréhender, consiste en une diminution de la sensibilité intrinsèque des espèces régulièrement traitées. La cause en est très certainement variable selon les espèces, allant de la simple « mithridatisation » des individus au cycle long, à une sélection progressive d'organismes peu ou pas sensibles qui conduit à l'établissement de populations génétiquement résistantes comme c'est le cas par exemple actuellement pour certains cytotypes de *S. damnosum* (*S. soubrense* et *S. sanctipauli*), en Côte d'Ivoire.

Finalement, il nous paraît nécessaire d'insister sur le fait que le premier traitement d'un cours d'eau à l'aide d'un insecticide chimique représente une agression souvent violente et brutale vis-à-vis des

invertébrés qui le peuplent. Les organismes subissent un effet de choc qui entraîne leur décrochement en masse de leurs supports habituels, suivi d'une très forte mortalité, principalement dans les premières heures après l'épandage. C'est donc un moment critique, au cours duquel l'importance de l'impact peut conditionner, à moyen terme, le devenir des peuplements benthiques.

De l'ensemble des observations de routine effectuées sur les rivières de Côte d'Ivoire, il est possible d'extraire suffisamment d'informations empiriques pour proposer le schéma d'évolution faunistique de la figure 9 où seules les densités globales d'organismes par mètre carré sur les roches dans le courant ont été considérées.

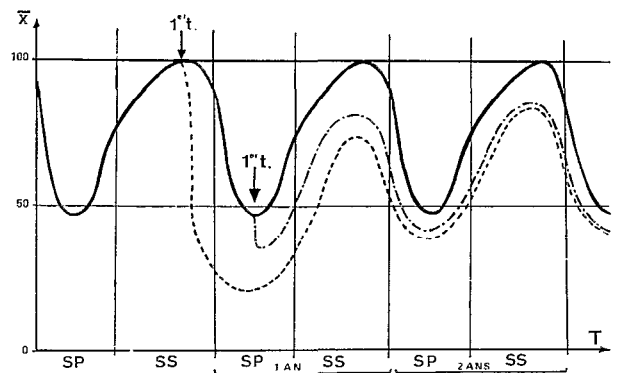


FIG. 9. — Évolution schématique des densités d'invertébrés peuplant les rochers dans le courant, en fonction de l'époque des premiers traitements de campagne. \bar{x} : densité par mètre carré, en proportions relatives de 1 à 100, le maximum étant atteint en fin d'étiage. SP : Saison des pluies. SS : Saison sèche. Ces données théoriques sont seulement valables dans le cas des traitements réalisés au téméphos. En trait plein : évolution théorique des densités, en absence de traitements ; en tiretés : évolution théorique selon l'époque des premiers traitements

Quand les premiers traitements prennent place durant l'étiage au moment où les invertébrés rhéophiles sont concentrés en très fortes densités dans les zones de rapides, l'impact à court et moyen terme est violent et une bonne situation ne peut se rétablir durant la saison des pluies suivante, les mortalités ayant dépassé bien souvent 40 à 50 %. Au contraire, même avec un décrochement de l'ordre de 25 à 35 % survenant au cours des premiers traitements faits durant la crue, les équilibres vont se maintenir à un meilleur niveau la saison sèche suivante. La saison des pluies fait en quelque sorte office de tampon et la faune acquiert cette moindre sensibilité dont nous avons déjà parlé, bénéficiant en plus du fait que le décrochement du substrat d'un organisme rhéophile ne l'amène

plus nécessairement dans une zone écologiquement non viable.

Ces différentes observations et considérations nous amènent donc à énoncer les conclusions suivantes :

— Les premiers cycles de traitement d'un bassin doivent être effectués avec le maximum de soins et il est impératif d'éviter tout surdosage. Si des raisons techniques en sont la cause, il faut modifier les systèmes d'application du pesticide ou bien diluer la formulation employée.

Dans les cas où les surdosages sont dus à des épandages réalisés trop près des gîtes et s'il est certain qu'éloigner le point de largage de l'insecticide peut entraîner une sédimentation en amont d'une grande partie du produit, peut-être est-il concevable de réaliser un épandage de plus longue durée, avec une formulation plus diluée et en un point intermédiaire.

— Il est indispensable d'éviter de réaliser un premier cycle de traitement en période d'étiage maximum. Sur un plan écologique, les périodes

d'eaux « moyennes », c'est-à-dire quand la crue est nettement amorcée, ou le milieu de la décrue, sont les plus propices. Ces périodes correspondent grossièrement en Côte d'Ivoire aux mois de juillet et de novembre. Cependant, si elles sont favorables à la préservation de la faune non cible, il est certain aussi qu'elles correspondent à des époques où l'attaque du groupe cible est très délicate, en raison d'une grande dispersion des gîtes larvaires, des migrations des adultes qui favorisent un repeuplement rapide et des grandes quantités de produit qui doivent être utilisées en raison des débits importants. Les exigences des environmentalistes et les contraintes des équipes de lutte sont donc peu compatibles et dans ce cas, les décisions de traitement devront être prises en connaissance de cause, en fonction de l'acuité des problèmes et de l'enjeu des opérations de contrôle.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 20 octobre 1982*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERTRAND (J. Y.), 1976. — Action de l'Abate, larvicide anti-simulies sur quelques éléments de la faune non cible du Bandama (Lamto-Côte d'Ivoire). *Bull. Écol.*, 7 (4) : 445-450.
- CORBET (P. S.), 1956. — Some effects of *Simulium* control by insecticide on the feeding habits of insectivorous fishes. *Publ. Cons. Sc. Afr. S. Sahara*, 25 : 81.
- CORBET (P. S.), 1958. — Some effects of DDT on the fauna of the Victoria Nile. *Rev. Zool. Bot. Afr.*, LVII, 1 (2) : 75-95.
- ÉLOUARD (J. M.), TROUBAT (J. J.), 1979. — Action de l'Abate sur les invertébrés aquatiques. VII. Effets des premiers traitements de la basse Maraoué. *Rapp. O.R.S.T.O.M. Bouaké*, 32. *Multigr.*, 35 p.
- DEJOUX (C.), 1975. — Nouvelle technique pour tester *in situ* l'impact de pesticides sur la faune aquatique non cible. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. Méd. et Parasitol.*, 13 (2) : 75-78.
- DEJOUX (C.), 1977 a. — Action de l'Abate sur les invertébrés aquatiques. III. Effets des premiers traitements de la Bagoué. *Rapport O.R.S.T.O.M., Bouaké*, 14. *Multigr.*, 31 p.
- DEJOUX (C.), 1977 b. — Action de l'Abate sur les invertébrés aquatiques. Cinétique de décrochement à court et moyen terme. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.* XI, 3 : 217-230.
- DEJOUX (C.), 1977 c. — Action de l'Abate sur les invertébrés aquatiques. IV. Devenir des organismes dérivants à la suite des traitements. *Rapport O.R.S.T.O.M. Bouaké*, 15. *Multigr.*, 12 p.
- DEJOUX (C.), 1978 a. — Action de l'Abate sur les invertébrés aquatiques. VI. Effets des premiers traitements du Sassandra. *Rapport O.R.S.T.O.M. Bouaké*, N° 25. *Multigr.*, 21 p.
- DEJOUX (C.), 1978 b. — Action de l'Abate sur les invertébrés aquatiques. Effets des premiers traitements de la Maraoué. *Rapport O.R.S.T.O.M. Bouaké*, 19. *Multigr.*, 9 p.
- DEJOUX (C.), 1979. — Traitements des écosystèmes lotiques tropicaux aux insecticides organophosphorés. Risques pour l'environnement. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20 : 2708-2713.
- DEJOUX (C.), 1982. — Recherches sur le devenir des organismes dérivant à la suite des traitements des rivières tropicales au téméphos. *Rev. franç. Sci. de l'eau*, 1 : 267-283.
- DORTLAND (R. J.), ELSSEN (van A. C.), KOEMAN (J. H.), QUIRIJNS (J. K.), 1978. — Observations on side effects of a helicopter application of endosulfan against tse-tse flies in Niger. *Rapp. Multigr. Dept. Toxicol. Agricultural University Wageningen*, 37 p.
- SAMMAN (J.), PUGH THOMAS (M.), 1978. — Effect of an organophosphorus insecticide, Abate, use in the control of *Simulium damnosum* on non target benthic fauna. *Int. Journ. Environ. Studies*, 12 : 141-144.