

## **Toxicité pour la faune non-cible de quelques insecticides nouveaux utilisés en milieu aquatique tropical**

### **IV. *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* H-14**

C. DEJOUX (1), F. M. GIBON (1), L. YAMÉOGO (2)

#### RÉSUMÉ

*Le Bacillus thuringiensis var. israelensis est un insecticide entomopathogène qui agit par ingestion et provoque une lyse des tissus épithéliaux de l'intestin ainsi qu'une paralysie des pièces buccales. Le sérotype H-14 (de BARJAC), présente une très forte spécificité d'action vis-à-vis des larves de moustiques ainsi que des simulies.*

*Utilisé de manière expérimentale en Côte d'Ivoire dans le cadre d'essais de contrôle des populations larvaires de Simulium damnosum s.l., puis en campagne de lutte contre ces mêmes Diptères, il s'est avéré peu toxique pour la faune aquatique non-cible.*

*Son épandage dans un milieu vierge entraîne une augmentation de l'intensité de dérive des invertébrés présents qui ne dépasse pas 4 à 5 fois sa valeur normale (contre 50 à 200 fois pour des insecticides organophosphorés comme le téméphos ou le chlorphoxim). L'action traumatisante induite par les traitements semble par contre plus longue qu'avec d'autres produits mais est sans conséquences pour le maintien des équilibres.*

*Une action significative sur les Trichoptères Hydropsychidae, qui s'était traduite par une baisse sensible de leur densité après neuf semaines d'un traitement expérimental de saison sèche avec une formulation de B.t.i. H-14, n'a pas été retrouvée à la suite de traitements de campagne de plusieurs mois effectués sur de nombreuses rivières de Côte d'Ivoire, avec une autre formulation.*

*En milieu stagnant, des concentrations très supérieures aux doses actives contre les larves de moustiques ont été testées et se sont révélées très peu toxiques pour la faune non-cible.*

*D'une manière générale, l'utilisation de B.t.i. H-14 comme moyen de lutte antivectorielle, avec application en milieu aquatique, ne semble pas devoir entraîner de risques écologiques, tout au moins à court et moyen terme.*

**MOTS-CLÉS :** Insecticides — Toxicité — Invertébrés aquatiques — Afrique — Côte d'Ivoire.

#### SUMMARY

**TOXICITY FOR THE NON-TARGET FAUNA OF SOME NEW INSECTICIDES USED UNDER TROPICAL AQUATIC CONDITIONS.**

#### **IV — *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* H-14**

*Bacillus thuringiensis var. israelensis is a spore forming bacterium with a pathogenic action caused by the production of a toxic protein. The ingestion by insects of the crystal produced by the spores lead to a paralysis of the mouthparts and a rapid destruction of the gut epithelium. The H-14 serotype isolated by de BARJAC (1978) present a strong larvicide specificity against mosquitoes and also Simuliidae.*

*Experimental use of the primary powder or formulations have been done in several rivers of the Ivory Coast, in order to estimate their toxicity against aquatic non-target organisms in the case of Simulium control applications.*

(1) Hydrobiologistes ORSTOM, 24, rue Bayard, 75008 Paris.

(2) Ingénieur du développement rural. Institut supérieur Polytechnique — Ouagadougou, Haute-Volta.

Some medium term experiments have also been studied as well as a dry season campaign of weekly treatments, covering the main rivers of that country.

Applications of a formulation of B.t.i. H-14 on a virgin biotope produces an increase of the invertebrate drift intensity which rise about 4 to 5 times its normal value. Such an increase as to be considered as very low compared to the value which occurs after organophosphorus insecticides treatments (respectively 50 to 200 times with temephos and chlophoxim for example...). However, the traumatization induced on invertebrates by action of B.t.i. seems to be longer than in the case of application of other compounds, but is without any consequences to the aquatic population balance.

A significant decrease of density was found for *Hydropsychidae* after a 9 weeks experimental treatment of a small river with a B.t.i. formulation. The same phenomenon was not detected after the campaign of treatments with an other formulation, covering most of the Ivorian rivers.

A B.t.i. H-14 Sandoz formulation experimented in stagnant biotopes in order to control mosquitoes larvae has been applied without any injury for the non target fauna, even at high dosages never used in a normal campaign.

It can be concluded from the present results that B.t.i. H-14 have a nearly total short term innocuity against non target fauna associated to *Simulium damnosum* s.l., or mosquitoes larvae. There is also no evidence of a deleterious action on invertebrate populations after a regular application at medium term.

KEYWORDS: Insecticides — Toxicity — Aquatic invertebrates — Africa — Ivory Coast.

Essentiellement conduite à l'origine avec un insecticide organophosphoré, l'Abate® ou téméphos, la lutte antisimulidienne réalisée en Afrique de l'Ouest par l'Organisation Mondiale de la Santé (OCP) (1) s'est maintenant diversifiée. L'apparition en 1981 d'une résistance au téméphos de certains cytotypes du complexe *Simulium damnosum* a en effet nécessité la mise en œuvre sur le terrain (essentiellement en Côte d'Ivoire) de produits de remplacement. Afin de prendre toutes les garanties nécessaires pour leur emploi à grande échelle, sans risques trop importants pour l'environnement aquatique, ces produits ont fait l'objet, avant utilisation, de tests de toxicité *in situ*. Dans le présent travail, nous avons essayé de synthétiser les différents résultats obtenus pour l'un deux : le *Bacillus thuringiensis israelensis* sérotype H-14 (de BARJAC, 1978) (2).

## 1. CARACTÉRISTIQUES DU PESTICIDE

Le *Bacillus thuringiensis* Berliner 1915 est un insecticide d'origine biologique puisqu'il s'agit d'une bactérie de la famille des Bacillaceae dont les spores ont la propriété de produire une protéine toxique (delta-endotoxine). On en distingue actuellement plusieurs sérotypes ayant une grande spécificité d'action. D'une manière générale, le cristal protéinique entraîne après ingestion une paralysie des pièces buccales, ainsi qu'une lyse des tissus épithéliaux du système digestif (WHO/VBC/79-750).

Utilisé depuis plusieurs années en agriculture, principalement pour lutter contre les chenilles de Lépidoptères, le *Bacillus thuringiensis* est considéré comme un insecticide non dangereux pour l'environnement. Le sérotype H-14 de la variété *israelensis*, dont l'action entomopathogène vis-à-vis des larves de moustiques a été mise en évidence par de BARJAC (1978 a, b et c), fut reconnu comme efficace contre les larves de Simuliidae, en Côte d'Ivoire (GUILLET, 1979; GUILLET-ESCAFFRE, 1979 a), et très peu toxique à court terme pour les invertébrés lotiques (DEJOUX, 1979). Il devenait ainsi potentiellement utilisable en campagne de lutte contre l'onchocercose.

## 2. PRODUITS TESTÉS ET MÉTHODOLOGIE

### 2.1. Recherche de la toxicité à court terme

Le B.t.i. a été essentiellement testé sous deux formes différentes. La première était une poudre primaire du sérotype H-14, référencée R-153-78, produite par le laboratoire Roger Bellon Biochem, d'une teneur en matière active supérieure à 1 000 unités internationales de *Bacillus thuringiensis israelensis*, par mg. Elle est peu miscible à l'eau et devait mécaniquement être mise en suspension dans l'eau des milieux à traiter, avant épandage.

La seconde forme testée était une formulation fournie par le laboratoire Sandoz Ltd (Agrochemical Dpt., Bâle, Suisse), le Tecknar®, référencée Sandoz 402 I.W.DC. Elle se présentait sous forme

(1) OCP = Onchocerciasis control programme.

(2) Ce travail a fait l'objet d'un accord contractuel entre l'Organisation Mondiale de la Santé et l'ORSTOM.

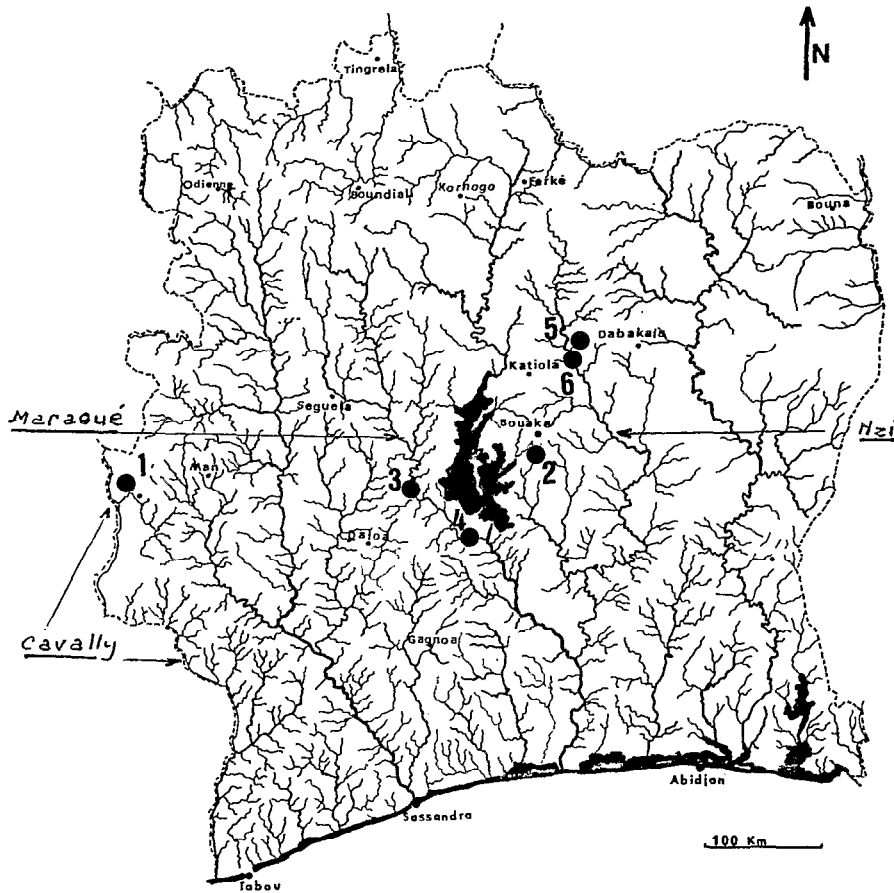


FIG. 1. — Carte de situation des différentes études. 1. Site de Wà sur le Goué, affluent du haut Cavally ; 2. Site du Kan (affluent du N'zi), près de Bouaké ; 3. Site de Danangoro sur la Maraoué, au Nord-Ouest de Bouaké ; 4. Site d'Entomokro sur la Maraoué, au Sud-Est de Bouaké ; 5. Site de l'affluent du N'zi en amont de la route Katiola-Dabakala ; 6. N'zi au pont de Timbé

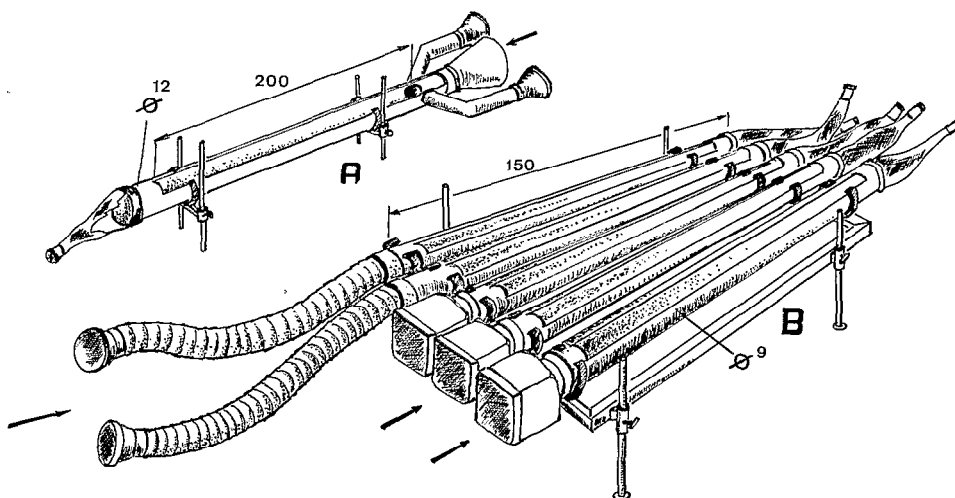


FIG. 2. — Schéma des deux systèmes de gouttières (simple A et multiples B), utilisés *in situ* pour étudier le décrochement des invertébrés, après action du B.t.i.

TABLEAU I

Récapitulatif des différentes observations réalisées concernant la toxicité du *Bacillus thuringiensis israelensis* H-14, sous forme de poudre primaire ou de formulation

Produit utilisé	Localisation des expériences	Méthodes d'observation - Caractéristiques diverses	
A - Observations en milieu lotique			
Effets à court terme	Poudre primaire	Goué, affluent du Cavally (site 1)	Tests en gouttières simples durant 24 heures* (traitement dans la gouttière) - Traitement d'un bief entier et étude de la dérive <u>in situ</u> .
	- Id -	Bouaké, affluent du Kan (site 2)	Tests en gouttières multiples durant 24 heures.
	Tecknar <sup>R</sup>	Maraoué à Danangoro (site 3)	Conditions hydrologiques de fin de crue, débit élevé. Épandage par bateau, en hélicoptère, à 5 km en amont du bief d'étude. Observation de la dérive <u>in situ</u> , durant 48 h. centrées sur le traitement. Filets de 225 cm <sup>2</sup> d'ouverture et de 250 µ, de vide de maille.
	Formulation Sandoz 402 I.W.DC.	Maraoué à Entomokro (site 4)	Conditions d'étiage. Épandage par hélicoptère à 300 m en amont du gîte étudié. Etude de la dérive <u>in situ</u> durant 48 h. - Etude de la densité d'organismes sur dalles rocheuses (Surber de 225 cm <sup>2</sup> ) : 10 prélèvements 24 h. avant épandage, 10 autres après. Etude de substrats artificiels benthiques en place depuis 3 mois (blocs de ciment de 4 x 7 x 7 cm), 10 prélevés avant épandage, 10 après.
	- Id -	Affluent du Nzi (site 5)	Conditions d'étiage, épandage par hélicoptère à 100 m en amont du bief étudié. Etude de la cinétique de dérive <u>in situ</u> durant 6 h. et de la faune benthique, avant et après traitement.
Effets à moyen terme	Tecknar <sup>R</sup>	Bouaké, affluent du Kan (site 2)	Traitements manuels hebdomadaires. Etude de la dérive <u>in situ</u> sur 48 h. centrées sur le 1er épandage Récolte de la faune benthique au Surber, chaque semaine durant 2 mois sur un bief aval traité et un bief amont non traité (5 à 8 échantillons de 33 cm <sup>2</sup> pris 24 h. avant et 24 h. après chaque épandage). Même étude sur fonds meubles avec un carottier de 3,3 cm de Ø. Prélèvements hebdomadaires de substrats artificiels formés de 4 à 5 blocs de latérite dans un filet grillagé.
	Formulation Sandoz 402 I.W.DC.	Site 3, site 4 et site 6 (Nzi au pont de Timbé)	Traitements réguliers hebdomadaires par hélicoptère (OMS). Faune benthique analysée dans 5 prélèvements au Surber de 225 cm <sup>2</sup> . Recherche de l'intensité de dérive diurne et nocturne.
B - Observations en eau stagnante			
Effets à court terme	Tecknar <sup>R</sup>	Bouaké	Tests en laboratoire. 10 séries de 2 béciers de 500 ml contenant chacun 5 larves d' <i>Aedes aegypti</i> et 5 larves de Baetidae ( <i>Centroptilum sp.</i> ). Une série est gardée comme témoin, les 9 autres reçoivent des concentrations allant de 85 à 780 ppm. Tests extérieurs en bacs plastiques pour des concentrations de 25 et 100 ppm.
	Formulation Sandoz		

\* Les méthodes signalées dans ce tableau sont décrites en détail dans Dejoux, 1980.

d'une suspension liquide épaisse, de couleur brun clair (densité spécifique 1,1 mg/ml à 180 °C), obtenue à partir du sérotype H-14.

Dans les tests en milieux lotiques, la concentration de 1,6 mg/l pour un temps de passage de 10 minutes a toujours été utilisée. En milieu stagnant, des concentrations variant entre 25 et 780 ppm ont été testées, les mortalités d'organismes étant notées après 24 heures d'action.

## 2.2. Recherche de la toxicité à moyen terme

Deux séries d'observations ont été effectuées. La première concernait le traitement expérimental, à l'aide de la formulation Sandoz 402 I.W.DC. (1,6 mg/l/10 minutes), d'un petit affluent du Kan situé près de Bouaké, en Côte d'Ivoire (site 2) (1). Des épandages hebdomadaires y ont été réalisés durant deux mois.

La seconde série concerna les effets de traitements réguliers de certaines portions de cours d'eau ivoiriens dans le cadre d'une surveillance de routine liée à la campagne OCP. Dans ce cas, la formulation utilisée était référencée Sandoz 402 I.S.C. et le dosage était identique. Trois sites ont été régulièrement échantillonnés (sites 3-4 et 6). Les sites 3 et 4 ont été traités de février à fin avril 1982 au Tecknar®, après avoir été auparavant régulièrement traités à l'Abate® et au Chlorphoxim®. Le site 6 a été traité au Teknar® à partir du mois d'avril 1982 date de reprise de l'écoulement. Au préalable ce site avait également été traité à l'Abate® et au Chlorphoxim®.

Les renseignements concernant la localisation des sites et les méthodes utilisées pour la recherche de la toxicité des différentes présentations du *B.t.i.* H-14, sont reportés dans le tableau I. Un schéma des deux dispositifs de gouttières utilisés dans plusieurs tests, est présenté figure 2.

## 3. RÉSULTATS

### 3.1. Action à court terme de la poudre primaire

Les résultats obtenus après épandage de poudre primaire sur un bief du Goué sont schématisés figure 3. L'intensité de dérive calculée pour plusieurs périodes de la journée, avant et après traitement, y est reportée.

Il apparaît nettement une grande différence de cinétique de dérive entre la faune non-cible (14 taxons) et les Simuliidae. Les premiers présentent une faible augmentation de leur intensité de décroche-

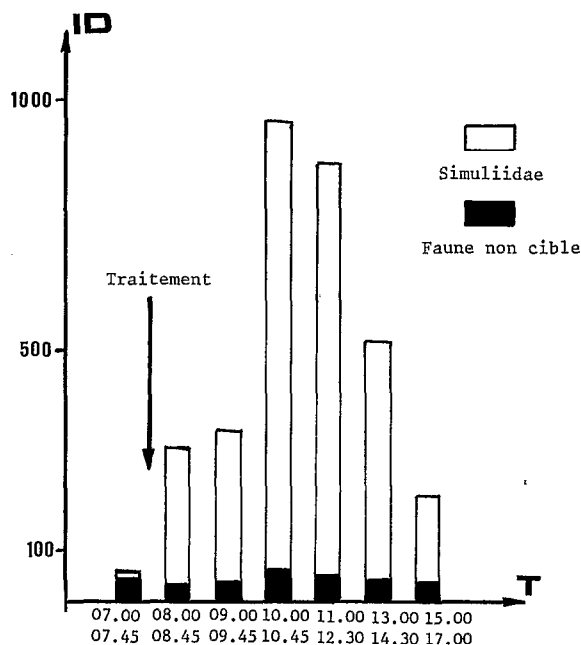


FIG. 3. — Variation de l'indice de dérive (ID) à la suite d'un traitement au *B.t.i.* du Goué (dosage : 0,2 mg/l de poudre primaire/ 10 minutes)

TABLEAU II

Cinétique de dérive *in situ* pour différents groupes d'invertébrés du Goué, traité à 0,2 mg/l de poudre primaire R-153,78 de *B. i. israelensis* pendant 10 minutes (en % du nombre moyen dérivé, par prélèvement)

Taxocènes	Avant traitement (4 prélèvements)	Après traitement (25 prélèvements)
Orthocjadiinae	33,3	45,9
Chironomini	14,2	1,6
Tanytarsini	4,8	7,4
Tanypodinae	0	8,1
Ceratopogonidae	9,5	1,6
Rhagionidae	0	0,8
Baetidae	19,0	15,4
Caenidae	4,8	1,6
Libellulidae	0	0,8
Elmidae	0	4,0
Pyralidae	4,8	6,4
Hydropsychidae	4,8	3,2
Oligochètes	4,8	1,6
Hydracariens	0	1,6

(1) La position des sites numérotés est reportée sur la figure 1.

TABLEAU III

Bilan de la dérive en gouttière témoin

TAXONS	Faune totale testée	Faune totale dérivée en 24 heures	Pourcentage d'individus ayant dérivé par taxon
<b>DIPTERES</b>			
Simuliidae	3010	680	22,6
Ceratopogonidae	6	5	83,3
Rhagionidae	10	4	40,0
Orthocladinae	667	119	17,8
Chironomini	155	36	23,2
Tanytarsini	428	48	11,2
Tanypodinae	55	9	16,4
Tipulidae	2	0	0
<b>EPHEMEROPTERES</b>			
Caenidae	36	5	13,9
Baetidae	284	56	19,7
Leptophlebiidae	9	9	100,0
Tricorythidae	28	1	3,6
<b>TRICHOPTERES</b>			
<i>Cheumatopsyche</i> sp	68	22	32,4
<i>Chironax</i> sp.	304	27	8,9
<i>Polymorphanysus</i> sp	1	1	100,0
<i>Ecnemus</i> sp	1	1	100,0
<i>Oecetis</i> sp	11	3	27,3
<i>Orthotrichia</i> sp	12	3	25,0
<i>Amphipsyche</i> sp	6	1	16,7
<i>Catoxyethira</i> sp	20	0	0
<b>COLEOPTERES</b>			
Elmidae	290	48	16,6
<b>LEPIDOPTERES</b>			
Pyralidae	74	25	33,8
<b>ODONATES</b>			
Libellulidae	155	6	3,9
Agrionidae	4	1	25,0
<b>HYDRACARIENS</b>			
	7	5	71,4
<b>COELENTERES</b>			
	1	1	100,0
<b>PLANIPENNES</b>			
	7	7	100,0
<b>OLIGOCHETES</b>			
	16	5	31,3
<b>NEMATODES</b>			
	2	1	50,0
<b>MOLLUSQUES</b>			
Ancylidae	214	6	2,8
<i>Biomphalaria</i> sp.	1	0	0
<i>Anisus</i> sp.	1	0	0
<b>HIRUDINEES</b>			
	57	0	0
<b>TOTAUX</b>	<b>5941</b>	<b>1134</b>	<b>Pourcentage global de dérive : 19,08</b>
Faune non-cible seule	3031	454	" 14,98

ment après traitement (1,3 fois au maximum décelé), alors que les Simuliidae, très nombreux dans le biotope traité, dérivent intensément (augmentation maximale de 81,2 fois!). De nombreuses larves de Simulies meurent par ailleurs, sans quitter leur support.

Un examen des pourcentages moyens de décrochement pour les différents constituants de la faune non-cible, avant et après épandage, permet de déceler une légère augmentation pour les chirono-

TABLEAU IV

Bilan d'un traitement à la poudre primaire de *B.t.i.*, en gouttière, à la concentration de 0,2 mg/l (pour un écoulement de 10 minutes)

TAXONS	Faune totale testée	Faune totale dérivée en 24 heures	Pourcentage d'individus ayant dérivé par taxon
<b>DIPTERES</b>			
Simuliidae	6513	6060	93
Rhagionidae	4	2	50
Orthocladinae	521	60	11,5
Chironomini	91	35	38,5
Tanytarsini	300	46	15,3
Tanypodinae	32	4	12,5
Ceratopogonidae	3	3	100
<b>EPHEMEROPTERES</b>			
Baetidae	279	51	18,3
Tricorythidae	12	0	0
Caenidae	58	6	10,3
<b>COLEOPTERES</b>			
Elmidae	7	5	71,4
Hydrophilidae	2	1	50
<b>ODONATES</b>			
Libellulidae	135	12	8,9
Agrionidae	1	1	100
<b>TRICHOPTERES</b>			
Hydropsychidae			
- Sp T 1	42	0	0
- Sp T 10	8	5	62,5
Leptoceridae sp.			
<i>Oecetis</i> sp	7	5	71,4
<i>Ceraclaea</i> sp	1	0	0
Philopotamidae			
<i>Chironax</i> sp.	344	22	6,4
Hydroptilidae			
<i>Orthotrichia</i> sp.	11	9	81,8
<i>Catoxyethira</i> sp.	24	0	0
<b>PLECOPTERES</b>			
<i>Neoperla</i> sp.	1	0	0
<b>LEPIDOPTERES</b>			
Pyralidae	55	9	16,4
<b>MOLLUSQUES</b>			
Ancylidae	43	10	23,3
<i>Biomphalaria</i> sp.	6	4	66,7
<i>Anisus</i> sp.	3	3	100
<b>HIRUDINEES</b>			
	38	1	2,6
<b>OLIGOCHETES</b>			
	11	7	63,6
<b>NEMATODES</b>			
	2	1	50
<b>HYDRACARIENS</b>			
	5	4	80
<b>Faune totale</b>	<b>8763</b>	<b>6397</b>	<b>Pourcentage global de dérive : 76,42</b>
Faune non-cible (= sans Simuliidae)	2250	337	" " 14,97

mides autres que les Chironomini, mais dans l'ensemble, les effets du traitement que l'on peut considérer comme négligeables, à court terme, n'ont pas perturbé la structure de la dérive normale de la faune non-cible (tabl. II).

Le test réalisé en gouttière sur le même site, avec une concentration identique, permet une analyse

plus précise de l'impact. Le bilan de cette expérimentation est dressé dans les tableaux III et IV. Durant les 24 heures d'observation le total du décrochement dans la gouttière témoin correspond à une dérive d'environ 19 % de la faune présente dont 15 % sont relatifs à la faune non-cible. Cette valeur doit être regardée comme normale si l'on considère que le système expérimental n'était en place que depuis 48 heures avant le test, temps relativement trop court pour que les perturbations créées par la transplantation de la faune, du lit du cours d'eau aux gouttières, soient totalement estompées.

Après traitement, le bilan dans la gouttière traitée fait état d'une dérive globale de 76,4 % de l'ensemble de la faune, mais de seulement 15 % si l'on considère que la faune non-cible. Il y a donc une même intensité générale de dérive des espèces non-cible, avec et sans traitement (l'identité parfaite étant certainement fortuite).

Si l'on prend en considération séparément les taxocènes dont les effectifs testés étaient supérieurs à 50 individus et que l'on effectue une comparaison statistique des pourcentages (comparaison de leur différence  $d_q$  à la variance standard de cette même différence,  $Sd_q$ ) il apparaît qu'elle est hautement significative pour les Simuliidae, mais également, au seuil  $P = 0,01$ , pour les Chironomini, les Trichoptères du genre *Orthotrichia* et les mollusques Ancyliidae, ces deux derniers groupes accusant respectivement des augmentations de leur intensité de dérive de 56 et 20 %.

Il semble donc finalement que quelques groupes non-cible aient été légèrement traumatisés par le traitement alors que les autres présentent des différences d'intensité de dérive non significatives. Signalons aussi qu'à l'observation directe *in situ*, à la loupe binoculaire, il n'a pas été possible de déceler d'organismes morts « en place », autres que des Simuliidae.

### 3.2. Toxicité comparée de la poudre primaire et de la formulation

Cette expérimentation, réalisée à l'aide du système à gouttières multiples, porta sur une faune préalablement établie dans l'appareil depuis 4 jours, donc théoriquement stable. Le bilan en est présenté dans le tableau V.

Les Simuliidae accusent la plus forte réaction, bien que la poudre primaire n'entraîne que 33,3 % de décrochement des espèces présentes contre 69,8 % pour la formulation. Cette différence est significative au seuil  $P = 0,01$  ( $d_q = 0,487$  pour une valeur seuil de  $P = 0,01$  égale à 0,049). Il se peut toutefois que la formulation entraîne un décrochement supérieur à celui provoqué par la

poudre primaire pour une mortalité du même ordre, les individus morts décrochant dans ce cas plus facilement de leur support.

Les différences constatées pour le reste de la faune ne sont par contre pas significatives et les pourcentages varient peu d'une gouttière à l'autre. C'est le cas notamment pour les Chironomini qui, dans les premières expériences (cf. 3.1), accusaient une certaine sensibilité à la poudre primaire.

Il apparaît donc dans ce test que la formulation de *B.t.i.* n'est, à court terme, pas plus toxique pour la faune non-cible que la poudre primaire, mais

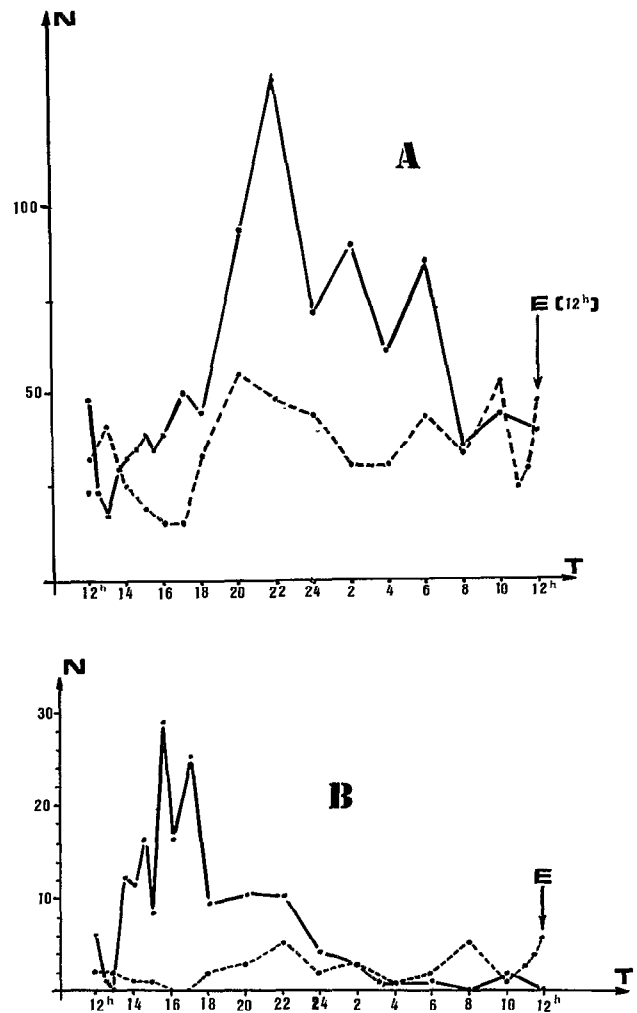


FIG. 4. — Cinétique de dérive de l'ensemble de la faune non cible (A) et des Simuliidae seuls (B), lors d'un épandage expérimental de *B.t.i.*, en formulation et durant la crue (dosage 1,6 mg/l/10 minutes). N = nombre moyen d'organismes récoltés dans la dérive ; T = temps ; ---- avant traitement, — après traitement ; E = épandage

TABLEAU V

Bilans comparés des impacts du *B.t.i.*, sous forme de poudre primaire et sous forme de formulation. Expérimentation en « gouttières *in situ* »

Taxocènes	Gouttière témoin			Traitement avec poudre primaire			Traitement avec formulation		
	faune testée	reste	% dérivé	faune testée	reste	% dérivé	faune testée	reste	% dérivé
<b>DIPTERES</b>									
Simuliidae									
<i>S. adersi</i>	552	427	22,6	845	654	22,6	672	86	87,2
<i>S. hangeavesi</i>	115	99	14,6	97	59	60,8	100	9	91,0
<i>S. rufigorve</i>	498	466	0,0	434	204	53,0	550	304	44,6
Chironomidae									
<i>Chironomini</i>	397	349	12,1	499	432	13,4	872	828	5,0
<i>Orthocladinae</i>	65	48	26,1	54	40	25,9	291	271	6,9
<i>Tanytarsini</i>	33	28	15,1	61	54	11,5	43	36	16,3
<i>Tanytarsinae</i>	223	221	0,9	119	111	6,7	149	143	4,0
Tipulidae	1	1	0,0	-	-	-	-	-	-
<b>TRICHOPTERES</b>									
Hydropsychidae	658	613	5,3	1384	1323	4,4	983	961	2,3
Polycentropodidae	4	4	0,0	-	-	-	-	-	-
Hydroptilidae	19	13	31,6	11	9	18,2	18	16	11,1
Philopotamidae	6	5	16,7	8	7	12,5	4	4	0,0
<b>EPHEMEROPTERES</b>									
Baetidae	76	75	1,3	3	1	33,3	-	-	-
Caenidae	4	4	0,0	-	-	-	-	-	-
<b>ODONATES</b>									
Libellulidae	2	2	0,0	-	-	-	1	1	0,0
Zygoptères	-	-	-	1	1	0,0	-	-	-
<b>PLECOPTERES</b>									
Pyralidae	1	0	100,0	2	1	50,0	-	-	-
<b>HYDRES</b>									
	2	0	100,0	9	1	88,9	9	2	77,8
<b>NEMATODES</b>									
	6	6	0,0	3	3	0,0	2	2	0,0
Totaux	2662	2361	$\bar{x}$ = 11,3	3531	2901	$\bar{x}$ = 17,8	3694	2663	$\bar{x}$ = 27,9
Simuliidae seuls	1165	992	$\bar{x}$ = 14,8	1376	917	$\bar{x}$ = 33,3	1322	399	$\bar{x}$ = 69,8
Faune non-cible	1497	1369	$\bar{x}$ = 8,5	2155	1984	$\bar{x}$ = 7,9	2372	2264	$\bar{x}$ = 4,5

qu'elle est par contre plus active vis-à-vis des Simuliidae.

### 3.3. Action à court terme d'une formulation de *B.t.i.* employée durant la crue. Modification du rythme nyctéméral de dérive

Schématisée figure 4, l'augmentation de l'intensité de dérive après traitement se fait sentir faiblement sur la faune non-cible, quatre heures après épandage. Tout en étant significative (environ du simple au double), cette augmentation doit être considérée comme peu importante, d'autant que nous nous trouvons en période de hautes eaux et que la stabilité écologique du milieu est faible. Il est par contre intéressant de noter un certain effet prolongé du

traitement qui se traduit par une intensité globale de dérive, durant la nuit suivant l'épandage, encore environ deux fois supérieure à sa valeur de la nuit le précédant. Les Simuliidae accusent une dérive nettement plus élevée.

Il existe une légère différence dans la réaction au traitement des différents taxocènes. En calculant l'augmentation de l'intensité de dérive moyenne pour deux périodes de 22 heures correspondantes, l'une avant traitement et l'autre après, nous trouvons les pourcentages d'augmentation suivants :

Simuliidae.....	+ 70 %
Chironomidae.....	+ 46,2 %
Ephéméroptères.....	+ 39 %
Trichoptères.....	+ 27,6 %
Reste de la faune.....	+ 52 %



La plus forte augmentation est donc obtenue pour les Simuliidae, mais à nouveau il faut noter que de très nombreux individus moururent sans décrocher de leur substrat; cette valeur est donc sous estimée.

Mis à part le « reste de la faune » qui correspond à un ensemble de taxons variés, aux faibles effectifs, ce sont les chironomides qui réagissent le plus fortement au traitement, résultat à rapprocher de ce que nous avons déjà trouvé sur le Goué (3.1.) et qui est également signalé par d'autres auteurs (SINÈGRE *et al.*, 1979 b; YAMÉOGO, 1980). A l'opposé, les Trichoptères accusent une très faible réaction à ce traitement qui a d'une manière générale un impact sur la faune lotique non-cible peu important et étalé dans le temps.

A titre de comparaison, il faut enfin signaler que le rapport d'augmentation maximale (1) de l'intensité de dérive était dans cette expérience d'environ 3,5 alors que dans des conditions semblables il est de l'ordre de 40 à 80 fois dans le cas d'un traitement au téméphos (0,5 mg/l/10') et de 100 à 200 avec le Chlorphoxim®, autre organophosphoré (0,025 mg/l/10').

### 3.4. Action à court terme d'une formulation de *B.l.i.* employée à l'étiage

Agissant sur une faune concentrée dans les zones de rapides bien oxygénées, les traitements effectués durant l'étiage ont un impact particulièrement important qui concerne une faune rhéophile largement à l'origine des repeuplements de l'ensemble des cours à la reprise des écoulements.

#### 3.4.a. IMPACT D'UN TRAITEMENT EXPÉRIMENTAL DE LA MAROUÉ

##### *Modification du cycle nyctéméral de dérive*

La partie du cycle relatif à la seule faune non-cible, établi 24 heures avant traitement (fig. 5), présente un profil classique.

L'introduction de l'insecticide provoque une augmentation rapide de la dérive des Simuliidae durant 3 à 4 heures. Les valeurs trouvées restent cependant faibles car de nombreux individus morts ne décrochent pas de leur support.

La réaction de la faune non-cible est plus lente, mais l'intensité de dérive présente cependant un pic bien individualisé durant la journée après traitement. L'amplitude en demeure toutefois faible (2,5 fois au maximum de décrochement décelé), ce

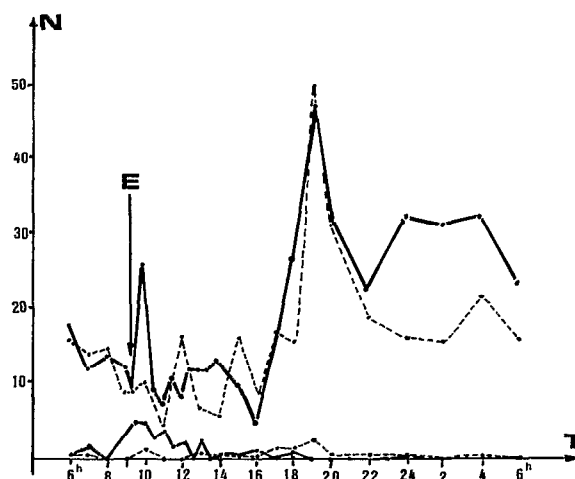


FIG. 5. — Cinétique de dérive de l'ensemble de la faune non cible (courbes supérieures) et des Simuliidae (courbes inférieures) lors d'un épandage expérimental de *B.l.i.*, en formulation, durant l'étiage (dosage 1,6 mg/l/10'). N = nombre moyen d'organismes récoltés dans la dérive; T = temps; - - - avant traitement, — après traitement; E = épandage

qui doit être considéré comme une action toxique extrêmement minime comparée à celle d'un organophosphoré, dans les mêmes conditions hydrologiques.

Le pic de dérive de nuit se situe ensuite au même moment que la veille du traitement, témoignant de l'absence de perturbation profonde du rythme de dérive. A partir de minuit et jusqu'au lendemain matin, on note à nouveau une augmentation sensible de l'intensité de dérive qui est environ 2 fois plus élevée que la nuit précédant le traitement. Cette observation rejoint celle faite en saison des pluies et on peut en conclure que la faune non-cible a subi une certaine traumatisation et que les individus, quand ils reprennent leur activité nocturne, sont légèrement affaiblis et résistent un peu moins à l'action du courant. D'une manière générale, le traitement a eu une très faible incidence sur l'intensité du décrochement de la faune non-cible.

##### *Variation des densités de faune benthique en place*

Les résultats obtenus par l'étude de la faune des rochers dans le courant du site traité, sont consignés dans le tableau VI. L'hypothèse de départ est qu'une forte action toxique du *B.l.i.* va entraîner une importante baisse de densité des organismes en place, due à leur décrochement et à leur passage

(1) Le taux d'augmentation maximale de dérive est le rapport entre la valeur de son intensité mesurée immédiatement avant passage d'un insecticide et sa valeur maximale atteinte après son passage.

TABLEAU VI

Estimation des densités d'organismes benthiques sur dalles rocheuses, avant et après un traitement avec une formulation de *B.t.i.* (concentration 1,6 mg/l/10')

TAXONS	AVANT TRAITEMENT			24 h. APRES TRAITEMENT			% de variation Avant/après
	$\bar{m}$ (10 ECH.)	%	Ecart type	$\bar{m}$ (10 ECH.)	%	Ecart type	
Oligochètes	0,9	0,06	-	0,6	0,04	-	- 33,3
Baetidae	5,6	0,41	5,79	4,80	0,32	4,10	- 14,3
Caenidae	2,4	0,17	4,57	1,80	0,12	3,91	- 25,0
Hydropsychidae	579,1	42,15	697,78	860,40	57,75	549,56	+ 32,7
Leptoceridae	-	-	-	0,10	0,007	-	-
Philopotamidae	-	-	-	0,30	0,02	-	-
Ceratopogonidae	-	-	-	1,40	0,09	-	-
<i>Simulium adersi</i>	180,0	13,10	323,56	22,30	1,50	33,75	- 87,6
<i>S. tridens</i>	4,10	0,30	-	0,80	0,05	-	- 80,5
<i>S. damnosum</i>	-	-	-	0,10	0,007	-	-
Chironomini	470,0	34,21	274,11	454,90	30,53	137,63	- 3,2
Tanytarsini	54,6	3,97	69,28	64,10	4,30	47,54	+ 14,8
Orthoclaadiinae	34,3	2,50	36,72	45,40	3,05	58,34	+ 24,4
Tanyptodiinae	10,3	0,75	16,78	11,10	0,75	14,50	+ 7,2
Tipulidae	8,3	0,60	9,74	5,10	0,34	6,28	- 38,6
Pyralidae	17,0	1,24	15,03	14,5	0,97	19,17	- 14,7
Hémiptères	-	-	-	0,10	0,007	-	-
Hydracariens	1,5	0,11	-	2,00	0,13	-	+ 26,0
Mollusques	5,9	0,43	-	-	-	-	-
Totaux	1374,0	100	-	1489,80	99,98	-	+ 7,7 %

dans la dérive. Cette hypothèse est vérifiée pour les Simuliidae (test de Wilcoxon positif au seuil  $P = 0,05$ ), mais pas pour les groupes non-cible suffisamment bien représentés. Pour ces derniers, certains effectifs sont même plus élevés après traitement qu'avant. Globalement, la série récoltée après traitement présente une densité plus élevée de 7,7 % si l'on considère tous les organismes et de 19,7 % si l'on ne prend en compte que la faune non-cible.

Cette augmentation des densités s'explique mal. Elle peut être due à une distribution très hétérogène des taxons dans les biotopes échantillonnés, mais on ne peut écarter l'hypothèse d'un apport d'organismes par la dérive, qui seraient alors retenus par la végétation ténue que constitue les *Tristicha trifaria* recouvrant les rochers. Cet apport serait alors dans certains cas supérieur à l'intensité du décrochement.

Quoi qu'il en soit, il n'est pas possible de conclure à un effet marqué du traitement, décelable au niveau des densités d'organismes peuplant les rochers dans le courant.

#### Variation des densités de peuplement des substrats artificiels

Les résultats regroupés dans le tableau VII conduisent à une conclusion similaire. La variation globale des densités est faible mais encore positive (+ 10,3 % en considérant toute la faune et + 14,5 % en ne considérant que la faune non-cible). Les variations des densités moyennes des différents taxocènes ne sont significatives que pour les Simuliidae, toutefois on constate une augmentation notable des peuplements chironomidiens.

A nouveau, faut-il considérer que les substrats jouent le rôle de pièges à dérive comme cela a été montré par quelques auteurs, en l'absence de pollution (CELLOT, 1982; BOURNAUD *et al.*, 1973) ? Ils auraient ainsi « capté » les larves de chironomides dont on sait que l'intensité de dérive a tendance à augmenter sous l'effet du *B.t.i.* L'absence de végétation sur les substrats ne permettant plus d'avancer l'hypothèse d'une filtration mécanique; il faudrait alors admettre qu'il y a eu simple accumulation

TABLEAU VII

Densité avant et après traitement sur les substrats artificiels.  
Concentration de *B.L.i.*, égale à 1,6 mg/l/10 minutes

TAXONS	Avant traitement		Après traitement		% de variation avant/après
	m	%	m	%	
Oligochètes	1,5	0,28	1,2	0,20	- 20
Baetidae	0,7	0,13	0,1	0,02	- 85,7
Caenidae	3,0	0,55	0,8	0,13	- 73,3
Leptophlebiidae	0,3	0,05	0,8	0,13	+ 62,5
Ecnomidae	-	-	2,5	0,41	-
Hydropsychidae	364,1	67,13	368,1	60,85	+ 1,1
Hydroptilidae	-	-	1,7	0,30	-
Leptoceridae	-	-	1,8	0,30	-
Philopotamidae	-	-	1,2	0,20	-
<i>S. clavosum</i>	-	-	0,1	0,02	-
Simuliés	27,8	5,12	1,3	0,20	- 95,3
Chironomini	76,9	14,18	100,4	16,60	+ 23,4
Tanytarsini	9,3	1,71	29,5	4,88	+ 68,5
Orthoclaadiinae	52,2	9,62	84,5	13,97	+ 38,2
Tanytopodiinae	1,9	0,35	1,6	0,26	- 15,8
Diptères autres	0,4	0,07	2,0	0,33	+ 80,0
Elmidae	0,5	0,09	0,3	0,05	- 40,0
Pyralidae	2,3	0,42	4,6	0,76	+ 50,0
Sisyriidae	0,1	0,02	-	-	-
Hydracariens	0,8	0,15	1,4	0,23	-
Gastéropodes	0,6	0,11	-	-	-
Bivalves	-	-	1,0	0,16	- 42,9
Totaux	542,4	99,98	604,9	100	+ 10,3 %

en raison d'une dérive plus intense de ce groupe. S'il en est ainsi, nous pouvons en conclure que les individus dérivant après un traitement sont aptes à se raccrocher en aval, ce qui n'est pas toujours le cas après action d'autres insecticides (DEJOUX, 1983), donc que les effets toxiques du traitement ne traumatisent que faiblement ces organismes.

#### 3.4.b. IMPACT D'UN TRAITEMENT EXPÉRIMENTAL D'UN AFFLUENT DU N'ZI

La réalisation, sur un petit affluent du N'zi très riche en invertébrés, d'un traitement expérimental similaire à celui effectué sur la Maraoué, nous permet de préciser certains résultats précédemment obtenus.

À nouveau nous ne constatons pas d'action importante sur l'intensité de dérive, dans les 5 heures qui suivirent l'épandage (fig. 6). Cette dernière augmente légèrement un quart d'heure après le passage de l'insecticide, atteignant, compte tenu des Simuliidae, une valeur environ 4 fois supérieure

à son niveau prétraitement. Ceci doit être considéré comme faible, d'autant que si l'on exclue le groupe cible, le rapport d'augmentation pour le reste des invertébrés n'est plus que de 2 environ, valeur déjà rencontrée dans les expériences précédentes qui correspond essentiellement à une dérive légèrement accrue des chironomides Orthoclaadiinae.

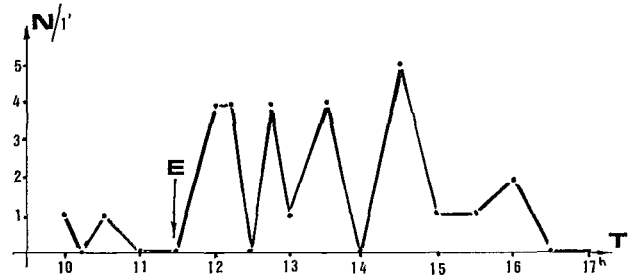


FIG. 6. — Cinétique de dérive à court terme observée au cours d'un traitement expérimental d'un affluent du N'zi, à l'aide d'une formulation de *B.L.i.*

TABLEAU VIII

Variation des densités d'organismes benthiques récoltés dans deux séries de 5 échantillons (Surber), avant et 5 heures après un traitement avec une formulation de *B.L.i.* (nombre moyen d'individus pour 225 cm<sup>2</sup>)

TAXONS	Densité avant traitement	Densité après traitement	% de variation
Hydropsychidae	86,2	193,6	+ 55,5
Hydroptilidae	9,4	31,6	+ 70,3
Philopotamidae	11,0	14,2	+ 22,5
Leptoceridae	1,0	1,4	+ 28,6
Simuliidae	0,6	1,6	+ 62,5
Orthoclaadiinae	240,8	325,8	+ 26,1
Tanytopodiinae	0,6	0,4	- 33,3
Chironomini	7,0	9,4	+ 25,5
Tanytarsini	24,2	32,4	+ 25,3
Tipulidae	0	0,4	-
Raghionidae	0,4	6,4	+ 93,8
Ceratopogonidae	1,6	1,0	- 37,5
Baetidae	65,0	91,6	+ 29,0
Caenidae	16,2	20,8	+ 22,1
Oligoneuridae	0,6	0	-
Pyralidae	49,0	43,0	- 12,2
Dytiscidae	0	0,6	-
Libellulidae	0	0,8	-
Plécoptères	0,2	0,2	0,0
Hydracariens	0,2	0	-
Total	514,0	775,2	+ 33,7

Dans le tableau VIII ont été regroupés les résultats d'analyse de deux séries de prélèvements à l'échantillonneur de Surber. Nous retrouvons une fois encore des densités globalement plus élevées dans la 2<sup>e</sup> série d'échantillons (environ 34 %), que la première. Pour les taxocènes ayant des effectifs suffisants (plus de 10 individus en moyenne par prélèvement), ces variations sont significatives.

Le biotope échantillonné est ici très particulier. Il s'agit d'une dalle d'une dizaine de mètres de long, en forme de déversoir incliné, recouverte de *Tristicha trifaria* sur une épaisseur de 6 à 7 cm. Elle est parcourue par une lame d'eau d'environ 10 cm, s'écoulant à environ 60 cm par seconde. Les échantillons ont été récoltés tête-bêche dans la partie aval de cette dalle.

Nous nous trouvons donc dans un cas mécaniquement plus simple que les précédents et il est ici nettement plus concevable que les organismes ayant décroché de l'amont de ce biotope aient été transportés vers l'aval où ils se sont relativement concentrés en se rattachant dans la végétation, volontairement ou par simple effet mécanique.

Il y aurait donc un phénomène identique à celui des cas précédents, le piège à dérive fonctionnant simplement avec une plus forte intensité en raison de la configuration morphologique du milieu.

Notre hypothèse émise en III.4.a se trouve ainsi quelque peu confirmée, mais nous retiendrons surtout et une fois de plus, le faible impact à court terme induit par le *B.t.i.*

### 3.5. Effets à moyen terme d'une formulation de *B.t.i.*

#### 3.5.a. ACTION DU PREMIER TRAITEMENT

L'impact du premier traitement du bief choisi risquant d'être plus marqué que celui des suivants, comme c'est généralement le cas lors de l'emploi d'autres pesticides (DEJOUX, 1973), un certain nombre d'observations ont été réalisées à cette occasion.

— La transparence de l'eau a permis de noter une dévalaison temporaire de l'ichtyofaune présente, immédiatement après le traitement (*Tilapia* sp.). De jeunes alevins d'*Alesles* sp. ont ensuite été régulièrement capturés dans les filets de récolte de la dérive, durant plus de 12 heures, alors qu'ils étaient très rares la veille du traitement. On peut supposer que la gène était occasionnée par les constituants de la formulation (solvant, émulsifiant...) mais qu'elle n'était que passagère, puisque des poissons ont par la suite régulièrement été observés sur le bief traité.

— Aucune action du même type n'a été observée

pour les larves de Batraciens (*Bufo regularis* essentiellement) qui étaient pourtant bien représentés dans la zone traitée.

— Les invertébrés réagirent de manière identique à celle déjà signalée dans les expériences précédentes, le traitement induisant une augmentation globale de l'intensité de dérive dans la demie heure suivant son application (environ 5 fois sa valeur prétraitement), les Simuliidae et Chironomidae en étant en majeure partie responsables.

Après un rapide retour à la normale, l'intensité de dérive nocturne est à nouveau plus forte (environ 2 fois) durant la première partie de la nuit suivant le traitement, que la nuit précédente.

Si l'on compare cependant les indices de dérive ID (indices qui, rappelons-le, correspondent au nombre théorique d'organismes « en dérive », chaque seconde, dans un mètre cube d'eau), entre la zone traitée et

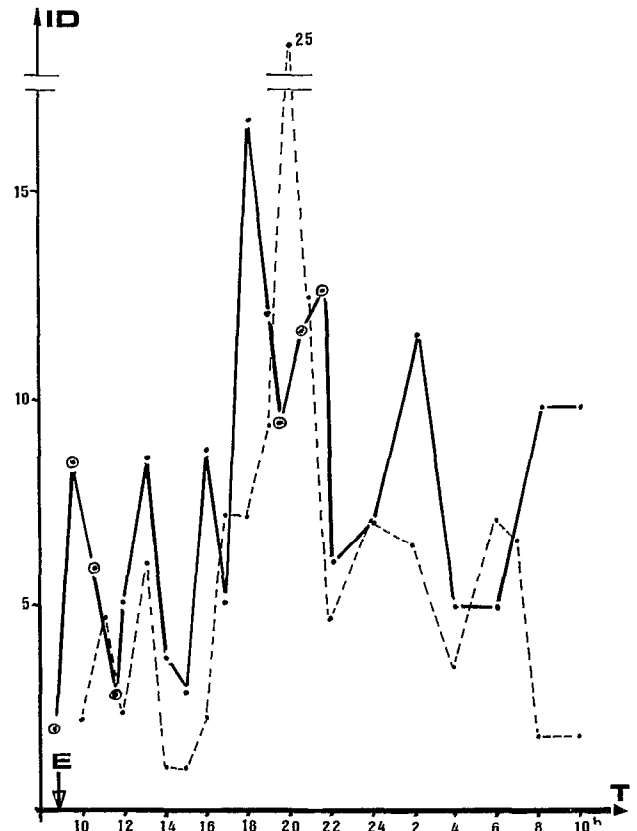


FIG. 7. — Cinétique comparée de la dérive des invertébrés durant 24 heures, dans la zone traitée (—) et dans la zone témoin non traitée (-----). ID = indice de dérive; E = épandage; ○ = valeurs moyennes de plusieurs mesures faites dans l'heure; ● = valeur de la seule mesure faite à l'heure indiquée

la zone non traitée située immédiatement en amont, on élimine ainsi les variations générales pouvant avoir lieu entre une nuit et la suivante. On intègre d'autre part les grandes « pulsions » intrinsèques de la dérive (commencement d'émergence d'une espèce par exemple...) qui se produisent alors simultanément aux deux points de mesure distants de quelques dizaines de mètres. Les différences constatées entre les deux courbes de variation des valeurs de ID sont alors en majeure partie dues à la perturbation produite par l'insecticide (fig. 7).

Dans le cas présent, apparaît nettement une augmentation de la valeur de l'indice de dérive après traitement, sans qu'il y ait perturbation des rythmes internes de dérive qui demeurent semblables dans les deux zones. Par ailleurs, la valeur supérieure de ID en zone traitée se maintient le lendemain de l'épandage, témoignant d'un effet léger mais étalé dans le temps, de la formulation de *B.t.i.*

### 3.5.b. MODIFICATIONS APPORTÉES AUX PEUPELEMENTS PAR 9 SEMAINES DE TRAITEMENT

#### *Peuplements des rochers en eau courante*

Nous avons procédé à une analyse comparée des densités, dans la zone traitée et dans la zone témoin. Dans chacune d'elles, les prélèvements ont été réalisés 24 heures avant (E - 24) et 24 heures après l'épandage (E + 24). Nous avons recherché dans un premier temps si une différence existait en zone témoin dans l'évolution des densités, entre les deux séries de mesures (fig. 8).

Il faut tout d'abord remarquer que les résultats obtenus au cours de l'échantillonnage réalisé la 9<sup>e</sup> semaine apparaissent comme aberrants et tout laisse à penser qu'ils résultent d'une perturbation importante du milieu, survenue entre la 8<sup>e</sup> et la 9<sup>e</sup> série du prélèvement. Nous n'en avons pas tenu compte dans le calcul des droites de régression.

D'une manière générale, on constate dans la zone témoin une augmentation de la densité moyenne de l'ensemble du benthon tout au long de l'étude. Cette augmentation est pratiquement synchrone entre les deux périodes E - 24 et E + 24, durant les 5 premières semaines, puis s'accroît différemment par la suite. La pente de la droite de régression pour la période E + 24 est nettement plus forte et le coefficient de corrélation ( $r = 0,73$ ) est supérieur au seuil significatif pour  $P = 0,05$  (seuil = 0,706).

Parmi les groupes taxonomiques principaux, on retrouve une évolution semblable tout au long de l'étude pour les Hydropsychidae, avec une différence cependant moins marquée entre les deux périodes d'échantillonnage (E - 24 et E + 24). Les Chironomidae quant à eux ne présentent aucune tendance

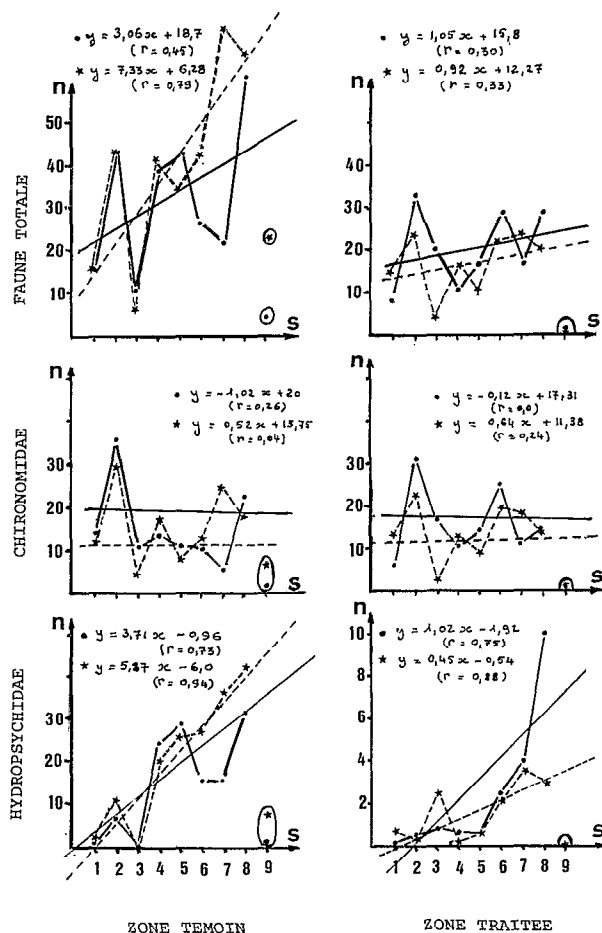


FIG. 8. — Évolution au cours des 9 semaines de traitement des effectifs moyens d'invertébrés récoltés en zone témoin et en zone traitée 24 heures avant épandage (—) et 24 heures après (-----). Faune des rochers dans le courant

à l'augmentation de densité durant le même temps, une légère baisse étant même constatée pour la période E - 24 ( $r$  non significatif).

Pour tous les groupes taxonomiques, une assez grande dispersion des points de part et d'autre des droites témoigne d'une forte distribution agrégative des espèces.

Un examen de la série de droites de régression correspondant à la zone traitée permet plusieurs conclusions intéressantes sur l'impact des épandages.

— Quand on considère l'ensemble de la faune, nous retrouvons comme en zone témoin une tendance à l'augmentation des densités entre le début et la fin de l'étude, mais elle est peu marquée ( $a = 1,05$  et  $0,92$ ) et les coefficients de corrélation  $r$  sont largement inférieurs au seuil de signification. La différence qui

TABLEAU IX

Densités comparées des organismes peuplant les rochers en eau courante, entre zone témoin et zone traitée (9 semaines de traitement)  
Densités moyennes par mètre carré

	(A) ZONE TÉMOIN				
	Densités moyennes	Peuplement	Densités moyennes	Peuplement	Différence de densités moyennes en %
	(T - 24 h.)	en % moyen (T - 24 h.)	(T + 24 h.)	en % moyen (T. + 24 h.)	
Chironomidae	4 222	47,5	4 582	42,2	+ 7,8
Simuliidae	111	1,3	77	0,7	- 30,6
Ceratopogonidae	34	0,4	13	0,1	- 61,8
Tipulidae	178	2	391	3,6	+ 54,5
Hydropsychidae	4 279	48,2	5 777	53,2	+ 25,9
Baatiidae	57	0,6	20	0,2	- 64,9
	Total 8 881	100	10 860	100	$\bar{D} = + 18,2 \%$
	(B) ZONE TRAITÉE				
	Densités moyennes	Peuplement	Densités moyennes	Peuplement	Différence de densités moyennes en %
	(T - 24 h.)	en % moyen (T - 24 h.)	(T + 24 h.)	en % moyen (T. + 24 h.)	
Chironomidae	4 563	81,6	3 848	87,0	- 15,7
Simuliidae	61	1,1	18	0,4	- 7
Ceratopogonidae	73	1,3	67	1,5	- 8,3
Tipulidae	167	3,0	88	2,0	- 47,3
Hydropsychidae	721	12,9	403	9,1	- 44,1
Baatiidae	4	0,1	0	0	-
	Total 5 589	100	4 424	100	$\bar{D} = - 20,8 \%$

par ailleurs existe entre les deux périodes E - 24 et E + 24 représente un écart d'environ 20 % (tabl. IX), dont Hydropsychidae et Tipulidae sont les principaux responsables.

On peut également supposer, *a priori*, que les densités d'organismes auraient, en absence de traitements, évolué de façon semblable entre zone témoin et zone traitée. En conséquence, les densités dans la zone traitée auraient été plus élevées en fin d'étude au temps E + 24 qu'au temps E - 24 et la différence constatée en présence de traitement n'est plus 20 % mais de l'ordre de 40 % (20,8 + 18,2).

D'autre part, si l'on ne tient pas compte des périodes d'échantillonnage et que l'on regroupe dans chaque zone les effectifs récoltés aux temps E - 24 et E + 24, on obtient un bilan présenté dans le tableau X où l'on retrouve une nette différence de densité moyenne entre bief témoin et bief traité (environ 50 % en moins en zone de traitement). Les densités de chironomides sont pratiquement identiques, mais les autres groupes taxonomiques sont nettement moins denses, à l'exception des Ceratopogonidae.

— Les droites de régression concernant les Chironomides varient peu entre le bief traité et le

bief témoin, ce qui suppose une stabilité des peuplements, pris dans leur ensemble. En pourcentage relatif (tabl. X), ils apparaissent toutefois plus importants dans le bief traité, bénéficiant du peu de densité des autres taxons.

— Les Hydropsychidae, qui ont largement augmenté leurs effectifs en zone témoin durant

TABLEAU X

Bilan comparé des peuplements d'invertébrés sur fond rocheux en eau courante, entre zone témoin et zone traitée à 1,6 mg/l/10' d'une formulation de B.I.i.

TAXOCENES	Zone témoin		Zone traitée		Différence de densité moyenne
	$\bar{N}/m^2$	%	$\bar{N}/m^2$	%	
Chironomidae	4402	45,05	4205,5	84,0	- 4,5 %
Simuliidae	94	0,96	39,5	0,79	- 58,0 %
Ceratopogonidae	23,5	0,24	70,0	1,40	+ 66,4 %
Tipulidae	284,5	2,92	127,5	2,55	- 55,2 %
Hydropsychidae	5028	51,46	562	11,23	- 88,8 %
Baatiidae	38,5	0,39	2	0,04	- 94,8 %
	9770,5		5006,5		- 48,8 %

9 semaines ( $r$  supérieur au seuil de 0,834 pour  $P = 0,01$ , au temps  $E + 24$ ), sont demeurés rares en zone traitée. Ils accusent d'ailleurs, avec les Tipulidae, le plus fort écart de densité entre les périodes  $E - 24$  et  $E + 24$  (tabl. IX), ce qui suppose une sensibilité certaine, à moyen terme, à la formulation de *B.t.i.* Le coefficient de corrélation  $r = 0,75$  correspondant à la droite de régression pour les périodes  $E - 24$  est significatif au seuil  $P = 0,05$ .

#### Peuplement des fonds meubles en eau peu courante

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau XI. Ils concernent des groupes taxonomiques très différents de ceux vivant sur les dalles rocheuses et sont tributaires de variations physiques de la nature de leur biotope, nettement plus importantes.

Bien que significative au seuil  $P = 0,05$ , la différence globale de densité constatée entre les deux zones peut difficilement être attribuée au seul traitement. Cette remarque s'applique *a fortiori* pour les chironomides qui accusent une différence encore plus faible.

#### Modifications constatées au niveau des peuplements des substrats artificiels

En raison des différences de forme qui existent nécessairement entre chacun des substrats employés, il n'est possible que de comparer la composition relative de leurs peuplements, au cours de l'étude. Mis en place une semaine avant les premiers traitements, les premières récoltes faites immédiatement avant épandage prouvent que la colorisation de ces milieux était grossièrement semblable dans les deux biefs étudiés, avec toutefois une légère différence

TABLEAU XI

Densités moyennes des organismes peuplant les fonds de sable, en zone traitée et en zone non traitée (moyennes établies sur 9 semaines)

Taxocènes	Zone non traitée		Zone traitée		Différences entre les densités moyennes
	$\bar{N}/dm^3$	%	$\bar{N}/dm^3$	%	
Chironomini	51	46,4	32,9	39,0	- 12,1 %
Tanytarsini	47,8	43,5	8,8	10,4	
Tanypodinae	2,2	2,0	8,3	9,8	
Orthoclaadiinae	1,7	1,5	19,3	22,9	+ 77,3 %
Ceratopogonidae	0,5	0,5	2,2	2,6	
Caenidae	1,4	1,3	0	0	-
<i>Potadoma</i> sp.	5,4	4,9	9,4	11,1	+ 42,6 %
Hydropsychidae	0	0	3,5	4,1	-
Total	110		84,4		- 23,3 %

pour les Hydropsychidae, moins denses dans la future zone traitée que dans la zone témoin. Rappelons qu'une telle différence avait également été notée sur les dalles rocheuses.

Après 9 semaines de traitements, la structure moyenne des peuplements entre les deux biefs présente peu de différences, sauf pour deux familles :

TABLEAU XII

Proportions moyennes des différents taxocènes ayant peuplé les substrats artificiels durant 9 semaines, en zone témoin et en zone traitée

	% en zone témoin 7 échantillons	% en zone traitée 7 échantillons	Différence
Chironomini	18,4	18,3	- 0,1
Tanytarsini	8,2	12,3	+ 4,1
Tanypodinae	1,7	2,5	+ 0,8
Orthoclaadiinae	8,4	35,3	+ 26,9
<i>S. adersi</i>	4,5	1,5	- 2,5
<i>S. hargreavesi</i>	0,2	0,5	+ 0,3
<i>S. ruficornis</i>	1,2	0	- 1,2
Baetidae	3,2	8,4	+ 5,2
Caenidae	0,3	1,7	+ 1,4
Hydropsychidae	51,8	14,7	- 37,1
Hydroptilidae	1,0	1,1	+ 0,1
Philopotamidae	0,4	0,9	+ 0,5
Libellulidae	0,1	0	- 0,1
Zygoptères	0,03	0,2	+ 0,17
<i>Potadoma</i> sp.	0,3	1,5	+ 1,2
Oligochètes	0,27	1,0	+ 0,73

les Orthoclaadiinae et les Hydropsychidae. Les premiers ont vu leurs effectifs augmenter, à l'inverse des seconds qui accusent une baisse sensible de leur pourcentage. Ce résultat est à rapprocher de celui obtenu par l'échantillonnage des dalles rocheuses et confirme un impact moyen des traitements sur ces organismes.

### 3.6. Premiers résultats fournis par le protocole de surveillance des milieux aquatiques lors de traitements de moyenne durée au *Bacillus thuringiensis*, sérotype H-14

Nous avons pris en considération les sites 3 et 4 de la Maraoué, qui ont été régulièrement traités aux organophosphorés depuis mi-1977, puis ensuite et durant 3 mois à l'aide de Teknar® (février à avril 1982), et les densités moyennes d'insectes

benthiques présents sur ces sites durant des périodes calendaires identiques. On remarquera tout d'abord la très forte variabilité des peuplements, aussi bien d'un mois au suivant que d'une année à l'autre. De telles variations, dues en partie à des conditions hydrologiques différentes, empêchent une analyse détaillée de l'effet de traitements de courte durée (tabl. XIII).

Le protocole de surveillance est en effet conçu pour un suivi à long terme et se prête mal à des comparaisons partielles. Nous pouvons toutefois faire quelques observations.

— Seuls les chironomides demeurent nettement plus abondants durant les périodes traitées que durant les périodes non traitées. Ils bénéficient d'une situation créée par l'application régulière d'organophosphorés qui les favorisent par rapport aux autres taxons ayant des cycles de développement plus longs (ELOUARD et JESTIN, 1982). Il apparaît toutefois une certaine tendance à la baisse de leurs effectifs, compensée par une augmentation des densités d'Hydropsychidae, au cours des 3 mois d'application du Teknar®. Elle peut correspondre à un retour à une situation plus proche de celle

TABLEAU XIII

Peuplements des dalles rocheuses aux sites de Danangoro et d'Entomokro, sur la Maraoué. Nombre moyen d'individus par prélèvements (5 échantillons au Surber de 225 cm<sup>2</sup> récoltés chaque mois). 1976 et 1977 : non traité. Traitement hebdomadaires au Teknar® en 1982

Années	Danangoro 1976				Danangoro 1977				Danangoro 1982				Entomokro 1982			
	Fév.	Mars	Avril	$\bar{N}$	Fév.	Mars	Avril	$\bar{N}$	Fév.	Mars	Avril	$\bar{N}$	Fév.	Mars	Avril	$\bar{N}$
Baetidae	194,2	13,4	79,6	95,7	176,0	489,0	2,4	222,5	43,2	362,0	10,4	138,5	58,8	12,8	4,8	25,5
Caenidae	52,4	2,6	0	18,3	0	1,0	0	0,3	20,4	0	0	6,8	19,4	17,6	1,2	12,7
Tricorythidae	11,8	0	0	3,9	0	0	0	0	1,2	0	0	0,4	5,8	0	0	1,9
Hydropsychidae	395,2	10,8	1610,4	672,1	328,2	85,4	186,0	199,9	369,0	282,0	485,0	378,7	101,4	902,4	688,2	564,0
Hydroptilidae	28,6	0	0	9,5	1,2	3,2	0	1,6	2,4	0,2	0	0,9	0	3,2	0	1,1
Philopotamidae	1,4	0	4,6	2,0	12,8	0	0	4,2	9,6	0	0,4	3,3	0,8	4,8	0	1,9
<i>Simulium</i> spp.	0	0	0	0	40,6	9,0	2,4	17,3	44,4	19,5	1,0	21,6	400,0	639,0	245,0	428,0
Chironomini	32,4	0	2,4	11,6	44,8	3,6	2,4	16,9	3027,0	60,0	49,8	1045,6	249,6	1973,0	157,8	793,5
Tanytarsini	277,2	0	0	92,4	0	0	0	0	159,0	28,0	6,6	64,5	1107,0	272,0	13,0	464,0
Orthocladiinae	9,0	31,0	132,8	57,6	61,6	58,0	80,4	66,7	1627,0	128,0	83,6	612,9	859,0	40,0	136,4	345,1
Tanyptodiinae	18,4	0,2	0	6,2	29,2	28,0	1,2	19,5	90,6	6,5	0,2	32,4	29,8	59,2	1,6	30,2
Pyralidae	19,2	0	0	6,4	94,2	10,4	0,8	35,1	13,8	25,0	2,4	13,7	62,0	34,4	39,4	45,3
Total	10:9,8	58,0	1829,8	975,9	788,6	687,6	275,6	583,9	5407,6	911,2	639,4	2319,4	2893,6	3958,4	1287,4	2713,1

prévalant avant tout traitement, auquel cas on peut conclure à un effet du *B.t.i.* inférieur à celui de l'Abate®.

Un résultat du même ordre a été trouvé sur le N'zi (site 6) traité de mai à juillet 1982 au Teknar®, après avoir subi des traitements au Chlorphoxim® et à l'Abate®. Enfin si l'on examine les résultats des analyses de dérive, aucune action drastique imputable aux traitements au *B.t.i.* n'est décelable. La dérive de jour (dérive traumatique) demeure faible, témoignant d'une traumatisation négligeable des peuplements présents. La dérive nocturne (d'activité biologique) est toutefois moyennement élevée, très certainement en raison des impacts à long terme des traitements antérieurs aux organophosphorés.

### 3.7. Effets d'une formulation de *B.t.i.* sur les invertébrés d'eau stagnante

Bien que les expériences réalisées aient été peu nombreuses et d'une portée limitée, elles ne furent pas sans intérêt dans la mesure où les informations dans ce domaine sont rares en pays tropical. Nous ne les considérerons cependant que comme des recherches préliminaires dont les résultats ont été les suivants :

— En laboratoire, l'addition d'une quantité progressive allant de 1 à 9 gouttes de formulation de *B.t.i.* à des béchers contenant 400 cc d'eau et chacun 5 larves de Culicidae et 5 larves de Baetidae, a entraîné la mort de tous les Culicidae en 24 heures ainsi que les mortalités suivantes de Baetidae :



Concentrations en mg/l	85	170	255	340	425	510	595	680	765
	mg/l (1 g)	— (2 g)	— (3 g)	— (4 g)	— (5 g)	— (6 g)	— (7 g)	— (8 g)	— (9 g)
1 <sup>re</sup> Série.....	0	0	0	1	0	0	2	1	1
2 <sup>e</sup> Série.....	0	1	0	0	1	0	1	0	2
Série témoin.....	— Aucune mortalité —								

Si cette expérience a peu de signification dans la pratique, dans la mesure où les concentrations normalement employées contre les larves de moustiques sont beaucoup plus faibles que celles testées (environ 1 mg/litre), il est toutefois intéressant de noter que jusqu'à 500 fois cette dose, le taux de mortalité des Baetidae n'a pas dépassé 20 % en 24 heures.

Dans l'expérience conduite à l'extérieur, dans des bacs comportant les éléments faunistiques normaux d'un gîte à moustiques, les résultats consignés dans le tableau XIV ont été obtenus.

TABLEAU XIV

Mortalités obtenues après 24 heures dans les bacs d'eau stagnante peuplés d'organismes aquatiques. Bac 1 avec 25 mg/l de formulation de *B.l.i.* (Sandoz 402 A WDC). Bac 2 avec 100 mg/l. Aucune mortalité dans un bac témoin

	Bac 1		Bac 2	
	VIVANTS	MORTS	VIVANTS	MORTS
Chaoboridae	3	0	4	0
Chironomini	26	0	11	0
Orthocladinae	13	0	17	0
Tanytopodinae	-	-	2	0
Culicidae	0	21	0	32
<i>Microvelia</i> sp.	3	0	-	-
<i>Anisops</i> sp.	16	0	5	1
<i>Paragomphus</i> sp.	-	-	2	0
Libellulidae	-	-	3	0
Dystiscidae	7	0	3	0
<i>Orthotrichia</i> sp.	3	0	6	0
Hydracariens	-	-	3	0
Oligochètes	2	0	47	0
Hydres	16	8	13	27
<i>Biomphalaria</i>	-	-	2	0
Ancyliidae	-	-	1	0
<i>Potadoma</i> sp.	17	0	41	0
Ostracodes	-	-	10	2
Ciliés	très nbx	?	très nbx	?
<i>Bufo regularis</i>	3	0	34	0

A la concentration 25 mg/l qui est bien au delà de la dose létale pour les Culicidae, seule une mortalité chez les Hydres a été observée (50 %). Tous les autres organismes ont survécu après 24 heures, hormis peut être quelques Ciliés mais il est pratiquement impossible pour ce groupe de retrouver les morts.

Dans le cas de la concentration 100 mg/l, la sensibilité des Hydres se manifeste à nouveau avec une mortalité de près de 70 %. De même apparaît une certaine mortalité chez les Ostracodes (16 %) et les Hémiptères *Anisops* sp. (17 %). Il est difficile de faire la part des « responsabilités » dans ces faibles taux de mortalité mais l'hypothèse d'une toxicité du solvant n'est pas à écarter.

Les résultats de ces quelques tests en eau stagnante, compte tenu de leur caractère préliminaire, semblent indiquer que le *B.l.i.* sous forme de formulation Sandoz, ne présente aucune toxicité à court terme pour de nombreux organismes non-cible tropicaux. Ceci rejoint les observations effectuées en climat tempéré, bien qu'il ait dans ce cas été rapporté une toxicité du *B.l.i.* en formulation, vis-à-vis des larves de Chironomidae, du même ordre de grandeur que celle obtenue pour les Culicidae (SINÈGRE *et al.*, 1979 a et b). Nous n'avons pas noté cette toxicité dans nos tests, bien qu'ayant expérimenté de très fortes concentrations.

#### 4. CONCLUSION

Bien que les différents essais dont nous venons de présenter les résultats ne couvrent pas toutes les situations rencontrées en campagne de lutte contre Simulies ou moustiques, nous pouvons conclure à une innocuité marquée du *B.l.i.* vis-à-vis des invertébrés aquatiques non-cible, tout au moins à court et moyen terme.

— Introduit dans un milieu lotique, le *B.l.i.* en formulation n'induit qu'une faible augmentation de la dérive des invertébrés, contrairement à ce qui se passe avec plus d'une dizaine d'autres insecticides employés dans les mêmes conditions. L'augmentation du taux de dérive est seulement de 3 à 5 fois, au maximum d'intensité. Il faut toutefois noter que le phénomène se prolonge sur presque 24 heures,

témoignant d'une certaine traumatisation des organismes, légère mais prolongée.

— Certains taxons sont plus affectés que d'autres par les traitements. C'est par exemple le cas des *Orthotrichia* sp. (Trichoptères) ou des Simuliidae (*S. adersi*, *S. tridens* et bien entendu *S. damnosum*, espèce qui disparaît totalement des biefs traités).

— L'examen des premiers résultats fournis par le Programme de surveillance montre cependant que sous traitements hebdomadaires, des populations importantes de Simuliidae autres que *S. damnosum* peuvent se développer. Par ailleurs, il ne se confirme actuellement pas l'hypothèse selon laquelle le *B.t.i.* H-14 aurait maintenu, comme ce fut le cas au cours des traitements expérimentaux d'un affluent du Kan, les populations d'Hydropsychidae à un niveau très faible. Peut-être faut-il chercher dans ce dernier cas d'autres explications à ce phénomène comme par exemple une hétérogénéité du milieu entre zone traitée et zone non traitée avec des différences de nature du substrat, de vitesse de courant, d'ensoleillement... Nous savons par ailleurs que des formulations différentes d'une même matière active peuvent avoir des effets eux aussi différents.

— Si l'on en juge par le bilan réalisé après 9 semaines de traitements expérimentaux de l'affluent du Kan, encore jamais traité auparavant, il faut malgré tout se garder de conclure en une innocuité totale des épandages et si l'on considère l'ensemble de la biocénose du bief traité, la baisse de densité des organismes benthiques constatée en fin d'étude n'est certainement pas fortuite et doit, au moins partiellement, être imputée à l'action de la formulation de *B.t.i.* Son amplitude est cependant faible et n'atteint pas celle constatée après des applications régulières d'Abate® que l'on peut considérer comme sans conséquences péjoratives et à long terme pour l'environnement aquatique.

— Bien que restant faible, la toxicité de la formulation est sensiblement supérieure à celle de la poudre primaire, probablement en raison d'une meilleure dispersion dans le milieu, mais on ne peut également

écarter une action toxique spécifique de ses constituants (solvant, dispersant...).

— D'une manière générale et au moment où nous écrivons ces lignes, la durée d'emploi du *B.t.i.* dans le cadre des traitements réguliers des cours d'eau de Côte d'Ivoire doit être considérée comme trop courte pour qu'ait pu s'établir — s'il y a lieu — une amélioration de la situation hydrobiologique. En effet, ce n'est pas en quelques mois que peuvent se reconstituer les équilibres faunistiques d'avant traitement, dans des milieux qui ont subi des épandages hebdomadaires d'Abate® puis de Chlorphoxim® depuis plus de huit années. Même si les effets de ces deux produits peuvent être considérés comme non catastrophiques, il est certain que la pression insecticide qu'ils ont exercé sur les écosystèmes constitue un facteur défavorable à un rapide retour à la situation d'origine.

— L'ensemble des résultats obtenus concernant la toxicité du *Bacillus thuringiensis israelensis* sérotype H-14 est cependant suffisamment positif pour que cet agent biologique soit considéré comme un insecticide utilisable en campagne permanente de lutte contre *Simulium damnosum*, sans que des risques soient à craindre, sur le plan écologique, pour la faune associée à ce complexe d'espèces cibles vectrices de l'onchocercose humaine. Malgré cela, il est nécessaire que soit maintenue une surveillance attentive des milieux traités afin de prévenir d'éventuels effets à long terme.

— Les quelques essais réalisés en eau stagnante doivent être considérés comme très favorables dans la mesure où les doses utilisées étaient largement supérieures à celles habituellement mises en œuvre en opérations larvicides contre les moustiques, aussi bien que lors de traitements agricoles sur rizières, contre les insectes borers du riz.

Des essais répétés et de plus grande envergure sont naturellement nécessaires pour confirmer ce faible impact sur les hydrosystèmes tropicaux stagnants, mais ces premiers résultats sont encourageants.

*Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 26 février 1985  
et reçu au Service des Éditions le 28 février 1985*

## RÉFÉRENCES

- BOURNAUD (M.), THIBAUT (M.), 1973. — La dérive des organismes dans les eaux courantes. *Ann. Hydrobiol.*, 4 (1) : 11-49.
- CELLOT (B.), 1982. — Cycle annuel et zonation de la dérive des macroinvertébrés du Rhône en amont de Lyon. Thèse III<sup>e</sup> cycle. Université de Lyon, *multigr.*, 167 p.
- De BARJAC (H.), 1978 a. — Une nouvelle variété de *Bacillus thuringiensis* très toxique pour les moustiques : *B. thuringiensis* var. *israelensis* sérotype 14. *C.R. Hebd. Séances Acad. Sci. (D)*, Paris, 286 : 797-800.
- De BARJAC (H.), 1978 b. — Un nouveau candidat à la lutte biologique contre les moustiques : *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*. *Entomophaga*, 23 : 309-319.
- De BARJAC (H.), 1978 c. — Étude cytologique de l'action de *B.t.i.* sur les larves de moustiques. *C.R. Hebd. Séances Acad. Sci. (D)*, Paris, 286 : 1629-1632.
- DEJOUX (C.), 1975. — Nouvelle technique pour tester *in situ* l'impact de pesticides sur la faune aquatique non-cible. *Cah. ORSTOM, sér. Ent. et Parasitol.*, 13 (2) : 75-80.
- DEJOUX (C.), 1978. — Pesticide toxicity. Field evaluation at small and medium scale. *WHO, OCP/SWG*, 78-79, 5 p. *multigr.*
- DEJOUX (C.), 1979. — Recherches préliminaires concernant l'action de *Bacillus thuringiensis* de Barjac sur la faune d'invertébrés d'un cours d'eau tropical. Mimeographed document *WHO/VBC/79.721*, Geneva, 11 pages.
- DEJOUX (C.), 1980. — Effets marginaux de la lutte chimique contre *Simulium damnosum*. Techniques d'études. *Rapp. ORSTOM, Bouaké*, n° 35, 64 p. *multigr.*
- DEJOUX (C.), 1982. — Recherche sur le devenir des invertébrés dérivant dans un cours d'eau tropical à la suite de traitements antisimulidiens au téméphos. *Rev. franç. Sci. de l'eau*, 1 : 267-283.
- ELOUARD (J. M.), JESTIN (J. M.), 1982. — Impact of temephos (Abate) on the non target invertebrate fauna. *Rev. Hydrobiol. trop.*, 15 (1) : 23-31.
- GIBON (F. M.), ELOUARD (J. M.), TROUBAT (J. J.), 1980. — Action du *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* sur les invertébrés aquatiques. I. Effets d'un traitement expérimental sur la Maraoué. *Rapp. ORSTOM Bouaké* n° 38, *multigr.* 15 p.
- GUILLET (P.), 1979. — Prospects of spore-forming bacteria for blackfly control. Scientific Working Group on Biological Control of Insect Vectors of Diseases, Geneva, 19-22 November 1979; mimeographed document *TDR/BCV SWG. 79/WP. 23*, 8 pages.
- GUILLET (P.) & ESCAFFRE (H.), 1979 a. — Evaluation de *Bacillus thuringiensis israelensis* de Barjac pour la lutte contre les larves de *Simulium damnosum* s.l. I. Résultats des premiers essais réalisés sur le terrain. Mimeographed document *WHO/VBC/79.830*, Geneva, 7 pages.
- GUILLET (P.) & ESCAFFRE (H.), 1979 b. — Evaluation de *Bacillus thuringiensis israelensis* de Barjac pour la lutte contre les larves de *Simulium damnosum* s.l. II. Efficacité comparée de trois formulations expérimentales. Mimeographed document *WHO/VBC/79.735*, Geneva, 7 pages.
- SINEGRE (G.), GAVEN (B.) & JULLIEN (J. L.), 1979 a. — Evaluation de l'activité larvicide de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* sur les Culicidés. Performances comparées des formulations commerciales. Impact du produit sur la faune non-cible. *Mimeographed document. EID n° 40*, Montpellier, France, 23 pp.
- SINEGRE (G.), GAVEN (B.) & JULLIEN (J. L.), 1979 b. — Sécurité d'emploi du sérotype H-14 de *Bacillus thuringiensis* pour la faune non-cible des gîtes à moustiques du littoral méditerranéen français. Mimeographed document *WHO/VBC/79.742*, Geneva, 6 pages.
- TROUBAT (J. J.), 1981. — Dispositif à gouttières multiples destiné à tester *in situ* la toxicité des insecticides vis-à-vis des invertébrés benthiques. *Rev. Hydrobiol. trop.* 14 (2) : 149-152.
- TROUBAT (J. J.), GIBON (F. M.), WONGBE (A. I.), BIHOUM (M.), 1982. — Action du *Bacillus thuringiensis* Berliner H 14 sur les invertébrés aquatiques. II. Effets d'un épandage sur le cycle de dérive et les densités d'insectes benthiques. *Rapp. ORSTOM, Bouaké, multigr.* 17 p.
- WHO/VBC/79.750. — Data sheet on the biological control agent *Bacillus thuringiensis* serotype H-14 (de Barjac 1978) *VBC/BCDS/ 1979-01 Mimeo*, 13 p.
- YAMEOGO (L.), 1980. — Modification des entomocoénoses d'un cours d'eau tropical soumis à un traitement antisimulidien avec *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*. Institut Supérieur Polytechnique de Ouagadougou. *Mém. fin d'études. Ingénieur du Dév. rural.*, 120 p. *multigr.*