

**Étude des facteurs
conditionnant l'efficacité
des préparations à base
de *Bacillus thuringiensis* H 14
vis-à-vis des larves
du complexe *Simulium damnosum*
(Diptera, Simuliidae) ⁽¹⁾**

1. Influence de la nature
et de la taille des particules

Pierre GUILLET ^{(2) (3)}, Henri ESCAFFRE ⁽⁴⁾,
Jean-Michel PRUD'HOM ⁽⁴⁾, Siaka BAKAYOKO ⁽⁵⁾

Résumé

Quatre séries d'expériences ont permis de démontrer que l'efficacité des formulations de *B. thuringiensis* H 14 dépend étroitement de la taille des particules. La taille moyenne optimum pour les formulations étudiées se situe entre 30 et 50 μ . Ces formulations, qui sont les plus efficaces au cours de la saison sèche (eau claire), perdent leur efficacité en saison des pluies (eaux turbides) et ne sont donc pas adaptées à l'utilisation opérationnelle dans la lutte contre les vecteurs de l'onchocercose.

Mots-clés : *Bacillus thuringiensis* H 14 — Larves de Simulies — Formulations — Taille des particules — Côte d'Ivoire.

Summary

FACTORS INFLUENCING THE EFFICACY OF *BACILLUS THURINGIENSIS* H 14 AGAINST *SIMULIUM DAMNOSUM* COMPLEX LARVAE. 1. NATURE AND SIZE OF PARTICLES. Four series of experiments were carried out in order to investigate the influence of the mean particle size on the efficacy of *B. thuringiensis* H 14 formulations against *S. damnosum* complex larvae.

In the first experiment, a 5 g/l primary powder suspension was agitated using a magnetic stirrer. Big spore-crystal clumps were progressively broken during agitation process and the efficacy of the suspension decreased proportionally to decreasing size (table I).

(1) Ce travail a bénéficié, dans le cadre des accords conclus entre l'ORSTOM et l'OCCGE, d'une subvention du Programme spécial PNUD/Banque Mondiale/OMS, de recherches et de formation concernant les maladies tropicales.

(2) Entomologiste médical ORSTOM, Institut Pierre Richet, B.P. 1500, Bouaké, Côte d'Ivoire.

(3) Présente adresse : OMS/OCP, B.P. 2279, Bamako, Mali.

(4) Technicien entomologiste ORSTOM, Institut Pierre Richet.

(5) Technicien OCCGE, même adresse.

In the experiment 2, two granulometric fractions were sorted from a dusty powder and tested comparatively to the original powder (table II). The fraction with the biggest particles (45 μm) was the most effective, but mortality recorded with young larvae decreased when mean particle size was beyond 35 μm (table III).

In the experiment 3, four granulometric fractions were sieved from a wettable powder. The most active fraction was the 50-63 μm one (table IV).

In the experiment 4, larvae were exposed in filtered water to a high concentration (200 mg/l) during 2 mn with seven different formulations. Before and after exposure, larvae were fed with fluorescent red dye. The ingested volume of formulation was easily visible between the two red bands of ingested dye and drawn with a stereomicroscope drawing apparatus. The ingested volume of powder formulations was closely related to their efficacy and to the type of particles rather than to their mean particle size (table V). No feeding inhibition was detected during the 2 mn exposure period. On the contrary, feeding inhibition was evident with water dispersible concentrates and the ingested volume was not detectable.

As a whole, the efficacy of *B. thuringiensis* H 14 formulations used was closely related to their mean particle size but also to the consistency of these particles. The efficacy increased with size up to an optimum of 35-50 μm according to the formulation used. The use of a cement in order to prevent desaggregation of clumps decreased larval ingestion rate and, consequently, the efficacy of the formulation.

Liquid suspensions with big clumps are difficult to perform at industrial level. In the second part of this work, advantages and drawbacks encountered in the use of this type of formulations will be compared with those of fine particle suspensions like Teknar^R and discussed in the light of the feeding behaviour of blackfly larvae.

Key words : *Bacillus thuringiensis* H 14 — Blackfly larvae — Formulations — Particles size — Ivory Coast.

1. Introduction

Les premiers essais de terrain de *Bacillus thuringiensis* H 14 contre les larves des espèces du complexe *Simulium damnosum* Theobald, vecteur de l'onchocercose en Afrique intertropicale, ont été réalisés avec une poudre primaire non formulée R-153.78 (Bellon Biochem) (Guillet et de Barjac, 1979 ; Guillet et Escaffre, 1979a). Les résultats obtenus furent si encourageants que trois formulations expérimentales ont été immédiatement produites par l'industrie. Il fut alors démontré que l'efficacité de ces trois formulations dépendait de la taille des particules en suspension (Guillet et Escaffre, 1979b). Des résultats comparables ont été obtenus aux États-Unis avec les mêmes formulations testées sur des larves de *S. vittatum* Zetterstedt (Molloy *et al.*, 1981). Les auteurs montrèrent également que les formulations sous forme d'émulsions inhibaient le fonctionnement des pièces buccales, conduisant rapidement à un arrêt total de la prise de nourriture.

Du fait des perspectives remarquables offertes par la toxine de *B. thuringiensis* H 14, des recherches ont été entreprises pour déterminer les formulations qui seraient le mieux adaptées aux opérations de lutte contre les vecteurs de l'onchocercose en Afrique de l'Ouest et pour étudier les facteurs qui conditionnent leur efficacité.

La toxine de *B. thuringiensis* H 14 est insoluble dans l'eau et les solvants organiques usuels ; de ce

fait, toutes les formulations sont nécessairement de type particulaire. Les particules peuvent être constituées de spores et cristaux d'endotoxine séparés (0,5 à 1,5 μ , concentrés aqueux dispersibles) ou au contraire agrégés entre eux (poudres mouillables). Ces agrégats sont de taille tout à fait variable selon les formulations.

Les larves de simulies vivent fixées sur des supports dans les zones de courant rapide des rivières et se nourrissent des particules naturelles en suspension dans l'eau qu'elles filtrent au moyen d'un appareil buccal très spécialisé. Le rythme de préhension et d'ingestion de ces particules dépend de leur taille et de leur consistance. Les larves ingèrent des éléments de taille d'autant plus grosse qu'elles sont plus âgées. Enfin, les larves du complexe *S. damnosum* ingèrent davantage de nourriture lorsque la turbidité de l'eau et la quantité d'éléments figurés augmente (Kurtak, 1978, 1979 ; Élouard et Elsen, 1977 ; Elsen *et al.*, 1978 ; Elsen, 1979 ; Elsen et Hébrard, 1979 ; Elsen, 1980a et b).

Dans la mesure où la toxine de *B. thuringiensis* H 14 n'est active que par ingestion, il n'est pas surprenant, du fait des modalités de nutrition des larves de simulies, que l'efficacité des formulations dépende de la nature et de la taille des particules qui les constituent. Des recherches ont donc été entreprises pour étudier l'influence de ces deux facteurs sur l'efficacité des formulations afin de permettre à l'industrie de mettre au point de nouvelles formulations aussi effi-

caces que possible et adaptées aux conditions d'utilisation. Pour cela, quatre expérimentations différentes ont été réalisées successivement.

2. Expérience 1 : Influence de la fragmentation des agrégats sur l'efficacité d'une poudre primaire

2.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Une suspension à 5 g/l de la poudre primaire R-153.78 (3 500 U.I. *Aedes aegypti*/mg) (500 ml dans une fiole jaugée de 1 l) a été homogénéisée à la main. On a ensuite continué à homogénéiser la suspension avec un agitateur magnétique et des billes de verre pour fragmenter les agrégats en suspension. 20 ml de cette suspension ont été prélevés avant le début de l'agitation puis 5, 20 et 40 mn après et testés immédiatement sur des larves du complexe *S. damnosum* dans un dispositif de minigouttières. Cette expérience a été répétée deux fois. La taille des particules de chacun de ces prélèvements a été mesurée sur 300 agrégats environ avec une cellule de Nageotte. Au fur et à mesure de l'agitation, les agrégats se fragmentent, tandis que la proportion de spores et cristaux séparés augmente. Ces derniers n'ont toutefois pas été pris en compte dans le calcul

de la taille moyenne des particules car ils représentent une quantité pondéralement négligeable par rapport à la masse des grosses particules.

Les suspensions ont été testées à la concentration de 0,1 mg/l pendant 10 mn. Des larves de tous stades ont été utilisées et séparées seulement au moment de la lecture des résultats en larves âgées (stades 6 et 7, longueur de la postgena $\geq 350 \mu$) et larves jeunes (stades 2 à 5, longueur de la postgena $< 350 \mu$).

2.2. RÉSULTATS

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau I. Plus la poudre primaire est agitée, plus les agrégats se fragmentent et moins le produit est efficace. La liaison entre la taille des agrégats et l'efficacité est aussi significative vis-à-vis des larves jeunes que des larves âgées (r^2 respectivement de 0,94 et 0,97). Cette expérimentation n'a pas été poussée au-delà de 40 mn car les agrégats présents au bout de ce laps de temps se sont avérés très difficiles à fragmenter.

On peut déduire de cette expérimentation que la taille moyenne des particules, qui confère à la suspension de poudre primaire R-153.78 la meilleure efficacité est égale ou supérieure à 26 μ .

TABLEAU I

Effet de la fragmentation des agrégats sur l'efficacité d'une suspension de poudre primaire R-153.78 (dosage 0,1 mg/l/10 mn, deux répliques)

Temps d'agitation (mn)		0	5	20	40
Taille moyenne des agrégats (en μ)		26,3	13,5	11,6	6,4
% de mortalité et (nb. de larves testées)	larves jeunes	61,8 \pm 6,5 (223)	38,3 \pm 9,4 (107)	42,7 \pm 8,6 (131)	26,4 \pm 6,0 (216)
	larves âgées	55,2 \pm 6,8 (211)	32,3 \pm 8,2 (129)	34,9 \pm 9,4 (103)	22,8 \pm 6,0 (198)

3. Expérience 2 : Efficacité comparée de différentes fractions granulométriques d'une même poudre

3.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Une poudre expérimentale a été obtenue (Bt 673, 6 000 U.I. *A. aegypti*/mg, Bellon Biochem) en aug-

mentant la cohésion des agrégats d'une poudre primaire par l'adjonction d'un liant. Le produit a été ensuite confié à un laboratoire spécialisé qui en a extrait par triage à sec deux échantillons, l'un à particules plus fines que la poudre d'origine, l'autre à particules plus grosses. Les tailles obtenues se répartissent comme l'indique le tableau II.

TABLEAU II

Répartition de la taille des particules de la poudre Bt 673 et des deux échantillons qui en ont été extraits

Taille (μ)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Poudre d'origine (moyenne = 35 μ)	5 %	12 %	18 %	35	17	7	4	2	-
Echantillon fin (moyenne = 18 μ)	16	42	32	9	1	-	-	-	-
Echantillon gros (moyenne = 45 μ)	-	-	6	18	42	19	8	5	2

Les tests ont été réalisés dans le système des minigouttières et les larves ont été séparées à la lecture du test en trois groupes :

- stades 2 et 3 (postgena < 200 μ) ;
- stades 4 et 5 (postgena 200 à 350 μ) ;
- stades 6 et 7 (postgena \geq 350 μ).

Quatre essais ont été réalisés à la dose de 1,6 mg/l pendant 10 mn.

3.2. RÉSULTATS

Ils sont présentés dans le tableau III.

L'efficacité de la poudre Bt 673 augmente avec la taille moyenne des particules. La liaison la plus significative est obtenue avec les larves âgées ($r^2 = 0,998$) et reste très significative pour les larves de stades intermédiaires ($r^2 = 0,90$). En revanche la mortalité des larves jeunes, qui augmente considé-

TABLEAU III

Influence de la taille moyenne des particules d'une poudre Bt 673 (Bellon Biochem) sur l'efficacité vis-à-vis de différents stades larvaires (1,6 mg/l/10 mn)

Taille moyenne des particules	% mortalité larvaire et (nb. larves testées)			
	stades 2-3	4-5	6-7	tous stades
Témoin	2 (127)	3 (241)	2 (156)	1,3 (524)
Fines : 18 μ	48,8 \pm 6,2 (262)	51,7 \pm 3,9 (644)	40,0 \pm 3,7 (693)	46,2 \pm 2,5 (1599)
Normales : 35 μ	89,7 \pm 11,3 (29)	59,4 \pm 7,6 (165)	68,5 \pm 4,7 (391)	67,0 \pm 3,9 (585)
Grosses : 45 μ	65,4 \pm 5,1 (347)	74,2 \pm 3,1 (776)	85,3 \pm 2,8 (625)	75,9 \pm 2,0 (1748)

blement de 18 à 35 μ décroît significativement au-delà, car les petites larves ne peuvent plus ingérer les grosses particules non friables. Dans tous les cas, l'échantillon fin est moins efficace que l'échantillon d'origine. La taille moyenne optimum des particules pour la poudre Bt 673 se situe entre 34 et 40 μ . Au-delà de 40 μ , l'efficacité vis-à-vis des larves âgées continue d'augmenter mais la formulation serait moins efficace pour le traitement de populations larvaires composées en majorité de larves jeunes.

4. Expérience 3 : Efficacité comparée de quatre fractions granulométriques d'une poudre mouillable

4.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

100 g de poudre mouillable ABG 6108 (Abbott) lot 6478-194 (1 000 U.I. *A. aegypti*/mg) ont été passés à travers un jeu de tamis à mailles décroissantes (120 à 40 μ) pendant 30 mn sur un vibreur réglé au

maximum de l'intensité. Sept fractions granulométriques ont été récoltées et quatre testées (< 40 μ , 50 à 63 μ , 80 à 100 μ et > 120 μ), comparativement à la poudre non tamisée. Les tests d'efficacité ont été réalisés comme dans l'expérience précédente mais avec un dosage de 0,8 mg/l/10 mn.

4.2. RÉSULTATS

Les résultats obtenus sont présentés dans le

tableau IV. Comme dans le cas de l'expérience précédente, l'efficacité de la poudre mouillable varie en fonction de la taille des particules. La taille optimum est de l'ordre de 55 μ pour les larves jeunes et 90 μ pour les larges âgées. La fraction inférieure à 40 μ est dans tous les cas moins active que la poudre d'origine tandis que, globalement, les fractions 50 à 63 et 80 à 100 μ sont plus efficaces. La taille optimum des particules se situe donc pour cette poudre aux environs de 50 à 60 μ .

TABLEAU IV

Efficacité comparée de quatre fractions granulométriques d'une poudre mouillable ABG 6108 (Abbott) vis-à-vis de différents groupes de stades larvaires (dosage 0,8 mg/l/10 mn)

Fraction granulométrique	% de mortalité larvaire et (nb. larves testées)			
	stades 2-3	4-5	6-7	tous stades
< 40 μ	4,3 (280)	5,1 (294)	5,2 (328)	4,8 (902)
50 à 63 μ	44,2 \pm 9,7 (104)	33,0 \pm 7,0 (179)	25,1 \pm 5,5 (251)	31,5 \pm 4,0 (534)
80 à 100 μ	14,5 \pm 4,7 (227)	40,9 \pm 6,6 (225)	34,0 \pm 5,3 (315)	30,3 \pm 3,3 (767)
> 120 μ	0 (902)	0,9 (355)	2,4 (383)	1,2 (1640)
non tamisée	-	26,8 \pm 13,8 (41)	19,3 \pm 6,6 (145)	19,7 \pm 5,7 (186)
témoin	1,8 (167)	3,2 (189)	0 (127)	1,9 (483)

5. Expérience 4 : Volume de particules ingéré par les larves traitées avec différentes formulations

5.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Des larves de stade 7 ont été disposées dans un système de minigouttières (Guillet *et al.*, en préparation) fonctionnant en circuit fermé avec 150 l d'eau filtrée (filtre Esser[®]). En plus, un filtre de piscine a été placé entre la pompe et la gouttière pour que la quantité de particules en suspension dans l'eau reste toujours très faible. Il a été démontré que, dans ces conditions, le transit intestinal des larves de simules, qui progresse uniquement par bourrage, est pratiquement nul (Élouard et Elsen, *op. cit.*). Trois heures après la mise en place des larves dans les gouttières, on y introduit pendant 30 s une suspension à 5 g/l de poudre fluorescente rouge (Radiana[®]). Immédiatement après, les larves sont exposées pendant 2 mn

à une concentration de 200 mg/l de différentes formulations, puis exposées à nouveau pendant 2 mn à la poudre fluorescente. Les larves sont ensuite tuées avec de l'eau chaude et meurent dans une position rectiligne très favorable à l'observation ultérieure, puis sont conservées dans une solution à 10 % de formol. Elles sont ensuite disséquées, la longueur de la postgena mesurée, et le bol alimentaire ingéré, constitué de particules de *B. thuringiensis* H 14, bien visible entre deux bandes fluorescentes, est dessiné à la chambre claire. A ce niveau, généralement le deuxième segment abdominal, le tube digestif est cylindrique ce qui permet de calculer aisément la masse de particules (volume du bol) ingérées pendant le traitement. Un témoin a été réalisé avec seulement deux traitements à la poudre fluorescente espacés de 2 mn. Sept formulations ont été utilisées :

— Deux poudres primaires : R-153.78 et Bt Bl 45 (8 800 U.I.) (Bellon Biochem) ;

— Deux poudres mouillables : RB 50 % (1 750 U.I.) (Bellon Biochem) et ABG 6 108 (Abott) ;

— Une poudre Bt Bl 42-43 (8 200 U.I.) (Bellon Biochem) du même type que la poudre mentionnée dans l'expérience 2 ;

— Deux suspensions aqueuses : SA 10 % (Bellon Biochem) et SAN 402 WDC (Sandoz).

Deux fois deux essais ont été réalisés pour chaque formulation. Cette expérimentation a été réalisée dans une localité de savane, puis répétée également en zone de forêt sur des espèces différentes du complexe *S. damnosum*. La taille moyenne des agrégats a été mesurée également sans tenir compte des spores et cristaux libres. Les résultats sont présentés séparément

pour les larves de stade 7 jeunes (plaques thoraciques blanches) et les larves de stade 7 âgées (plaques thoraciques noires). Les larves de stade 6 ont été éliminées.

5.2. RÉSULTATS

Ils sont présentés dans le tableau V. On note tout de suite qu'il n'y a pas de différence entre les larves de stade 7 jeunes et âgées, ce qui infirme l'hypothèse souvent avancée que les larves de stade 7 âgées (stade pharate-nymphé) ne se nourrissent plus. Cette observation a également été faite au cours d'autres expérimentations relatives à la nutrition des larves âgées.

TABLEAU V

Relation entre la taille moyenne des particules, l'efficacité et le volume ingéré par les larves pour cinq formulations différentes (traitement à 200 mg/l pendant 2 mn, deux fois deux répliques ; * 10^{-4} mm³ ; ** nb. de larves utilisées)

Formulation (titre U.I. <i>A. aegypti</i> /mg)	R-153.78 (3500)	Bt Bl 45 (8800)	RB 50 % (1750)	Bt Bl 42-43 (8200)	ABG 6108 (1000)	Témoin	
Taille moyenne des particules	29,1 µ	20,3 µ	14,2 µ	13,5 µ	25 µ	--	
CL 50 (mg/l/10mn)	0,038	0,019	0,25	3,2	1,1	--	
CL 100 (mg/l/10mn)	0,2	0,1	0,4	6,4	3,2	--	
Volume ingéré	stade 7 jeunes	531,4**±37,2 (131)**	344,5±27 (117)	499,2±39,8 (128)	112,2±10,7 (122)	214,5±33,3 (100)	30,2 (96)
	stade 7 âgées	454,3**±52 (57)**	341,1±38 (59)	523,4±65,4 (61)	118,8±16,1 (57)	225,7±28,2 (59)	27,9 (41)

On constate que la masse ingérée par les larves varie significativement selon la formulation utilisée. Elle est en relation directe avec les niveaux d'efficacité observés ($r^2 = 0,71$ au niveau des CL 50 et $0,79$ au niveau des CL 95). En comparant les poudres mouillables RB 50 % et ABG 6108, on constate que la seconde qui est quatre fois moins active, est beaucoup moins bien ingérée. Les poudres RB 50 % et R-153.78 sont aussi bien ingérées l'une que l'autre, mais la dernière contenant deux fois plus d'endotoxine est deux fois plus efficace au niveau de la CL 100, ce qui est logique. La poudre Bt Bl 42-43, dont les particules ne sont pas friables, est mal ingérée par les larves (cinq fois moins que la poudre primaire R-153.78), ce qui explique son niveau

d'efficacité médiocre. Des résultats exactement comparables ont été obtenus en forêt et ne sont pas de ce fait reportés.

Les deux concentrés aqueux n'ont pas été mentionnés dans le tableau V. En effet, au fort dosage utilisé (200 mg/l), les larves cessent totalement de se nourrir. Elles retrouvent un comportement trophique normal dès la fin du traitement. On ne retrouve pas pour ces larves un bol de formulation ingérée, les deux bandes rouges étant continues.

Aucun effet inhibiteur apparent n'a été noté au cours du traitement avec les cinq autres formulations. Les larves observées sous microscope stéréoscopique présentent un rythme de repli des éventails céphaliques apparemment inchangé malgré l'exposi-

tion à de fortes concentrations de formulations. Un temps de contact court a du être retenu, ce qui explique le recours à une forte concentration, afin de pouvoir déceler la masse ingérée. La toxine de *B. thuringiensis* H 14 agit très rapidement et un temps de contact court était nécessaire pour s'assurer qu'au cours du traitement les larves ne seraient pas affectées par l'action paralysante de la toxine qui possède des propriétés neurotoxiques (Chilcott *et al.*, 1984). Dans la pratique, les larves soumises à la CL 100 meurent 15 à 20 mn après le début du traitement.

On a pu constater au cours de cette expérimentation que la quantité de produit ingéré, qui est en corrélation étroite avec le niveau d'efficacité observé, dépend apparemment beaucoup plus du type de poudre que de la taille moyenne des agrégats. Ceci s'explique probablement par la consistance des particules qui, plus ou moins friables ou compressibles, sont plus ou moins bien ingérées par les larves. L'efficacité d'une poudre de *B. thuringiensis* H 14 dépend donc de la rapidité avec laquelle les larves peuvent en un temps limité, capter et ingérer le maximum d'agrégats dérivant à portée de leurs pièces buccales. Il n'a pas été tenu compte dans l'interprétation de ces résultats, du titre biologique des formulations utilisées (exprimé en Unités Internationales *A. aegypti*/mg) car les valeurs mentionnées par les fabricants ne correspondent pas toujours à la valeur réelle qui n'a pu être déterminée à l'époque où ces essais ont été réalisés.

6. Discussion — Conclusion

On a pu mettre en évidence, à travers quatre expériences différentes, un degré de corrélation élevé entre la taille des agrégats de spores et cristaux qui se forment lors de la mise en suspension des formulations de *B. thuringiensis* H 14 et leur efficacité vis-à-vis des larves du complexe *S. damnosum*. La valeur moyenne conférant la meilleure efficacité sur l'ensemble des stades larvaires se situe, pour les formulations étudiées, entre 30 et 50 μ . Au-delà, l'efficacité vis-à-vis des larves âgées continue d'augmenter tandis qu'elle diminue très rapidement vis-à-vis des larves jeunes.

Si l'influence de la taille des particules est très significative pour chaque formulation étudiée, il faut noter que leur efficacité dépend également de la

nature des particules. Les particules de certaines formulations sont moins bien ingérées, notamment lorsque la cohésion des agrégats a été artificiellement augmentée, ce qui entraîne une diminution d'efficacité très significative.

Il paraissait souhaitable, au vu de nos résultats, d'orienter les formulateurs vers la mise au point de formulations à grosses particules, la taille optimum pour chacune d'elles restant à déterminer expérimentalement.

Pour être utilisables opérationnellement dans la lutte contre les vecteurs de l'onchocercose, les formulations qui sont appliquées par voie aérienne doivent être liquides et aussi concentrées que possible, tout en restant suffisamment fluides pour se disperser spontanément lorsque la formulation pure est pulvérisée en amont des rapides où se développent les larves. La mise au point et la production industrielle de formulations répondant à ces exigences se heurtent dans la pratique à de nombreuses difficultés, surtout dans le cas de formulations constituées de grosses particules. Celles-ci sédimentent beaucoup plus rapidement que les spores et cristaux séparés, entraînant une diminution probable de leur portée efficace (distance sur laquelle le traitement garde toute son efficacité en aval du point d'épandage). De plus, le fractionnement des agrégats, par suite du brassage dans les rapides, entraînerait également une diminution de la portée. Nous avons vu que l'utilisation d'un adjuvant destiné à augmenter la cohésion des agrégats ne représentait pas une solution envisageable. Enfin, les grosses particules en suspension aqueuse ont tendance à précipiter et à prendre en masse dans le fond des récipients de stockage.

Tous les essais mentionnés dans le présent travail ont été réalisés en période de basses eaux (saison sèche) pendant laquelle la turbidité de l'eau est la plus faible. La poursuite de ces essais au cours d'une saison des pluies, qui est habituellement une période peu propice, nous a permis de constater que les formulations à grosses particules, si performantes soient-elles dans certaines conditions, perdent beaucoup de leur efficacité lorsque la turbidité de l'eau augmente à la suite d'une crue et durant toute la saison des pluies. Ces essais, qui nous ont finalement conduits à opter pour les formulations à très fines particules (spores et cristaux séparés), feront l'objet de la deuxième partie de ce travail.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 8 novembre 1985.

BIBLIOGRAPHIE

- CHILCOTT (C. N.), KALMAKOFF (J.) et PILLAI (J. S.), 1984. — Neurotoxic and haemolytic activity of a protein isolated from *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* crystals. *FEMS Microbiol. Lett.*, 25 : 259-263.
- ÉLOUARD (J.-M.) et ELSEN (P.), 1977. — Variations de l'absorption des particules alimentaires et de la vitesse de transit digestif en fonction de certains paramètres du milieu chez les larves de *Simulium damnosum* Theobald 1903 (Diptera, Simuliidae). *Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. et Parasitol.*, 15, 1 : 29-39.
- ELSEN (P.), 1979. — La nature et la taille des particules ingérées par les larves du complexe *Simulium damnosum* dans les rivières de Côte d'Ivoire. *Rev. Zool. Afr.*, 93 : 476-484.
- ELSEN (P.), 1980 a. — Le transit intestinal chez les larves du complexe *Simulium damnosum* (Diptera, Simuliidae) en Afrique de l'Ouest. 3. Influence du stade larvaire, du nyctémère et de la saison. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 60 : 203-212.
- ELSEN (P.), 1980 b. — Contribution à l'étude écologique des populations préimaginales du complexe *Simulium damnosum* Theobald 1902 en Afrique de l'Ouest. Thèse de 3^e cycle, Université de Paris XI.
- ELSEN (P.) et HÉBRARD (G.), 1979. — Le transit intestinal chez les larves du complexe *Simulium damnosum* (Diptera, Simuliidae) en Afrique de l'Ouest. 2. Influence de la température de l'eau, de la concentration des particules et de la nature de ces particules. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 59 : 49-58.
- ELSEN (P.), QUILLÉVÉRÉ (D.) et HÉBRARD (G.), 1978. — Le transit intestinal chez les larves du complexe *Simulium damnosum* (Diptera, Simuliidae) en Afrique de l'Ouest. 1. Influence du sexe et de l'espèce. *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, 58 : 209-217.
- GUILLET (P.) et BARJAC (H. de), 1979. — Toxicité de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* pour les larves de simuliées vectrices de l'onchocercose. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 289, D : 549-552.
- GUILLET (P.) et ESCAFFRE (H.), 1979 a. — Évaluation de *Bacillus thuringiensis* de Barjac pour la lutte contre les larves de *Simulium damnosum* s.l. — I. — Résultats des premiers essais réalisés sur le terrain. Doc. mimeo. OMS, WHO/VBC/79.730.
- GUILLET (P.) et ESCAFFRE (H.), 1979 b. — Évaluation de *Bacillus thuringiensis israelensis* de Barjac pour la lutte contre les larves de *Simulium damnosum* s.l. — II. — Efficacité comparée de trois formulations expérimentales. Doc. mimeo. OMS, WHO/VBC/79.735.
- KURTAK (D. C.), 1978. — Efficiency of filter feeding of blackfly larvae (Diptera, Simuliidae). *Can. J. Zool.*, 56, 7 : 1608-1623.
- KURTAK (D. C.), 1979. — Food of blackfly larvae (Diptera, Simuliidae) : seasonal changes in gut contents and suspended material at several sites in a single watershed. *Quaest. Ent.*, 15 : 357-374.
- MOLLOY (D.), GAUGLER (R.) and JAMNBACK (H.), 1981. — Factors influencing efficacy of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* as a biological control agent of blackfly larvae. *J. Econ. Entomol.*, 74 : 61-64.