

## LA LUTTE CONTRE L'ONCHOCERCOSE HUMAINE ET LES PERSPECTIVES D'INTÉGRATION DE LA LUTTE BIOLOGIQUE

P. GUILLET

Institut de Recherches sur la Trypanosomiase et l'Onchocercose.  
OCCGE/ORSTOM - B.P. 1 500, Bouaké, Côte d'Ivoire

---

Pour être utilisable dans la lutte contre l'onchocercose, un insecticide ou un agent de lutte biologique doit présenter impérativement certaines caractéristiques parmi lesquelles :

- pouvoir être produit en masse à un coût réaliste,
- être correctement formulé afin de pouvoir être appliqué et avoir une efficacité totale contre les vecteurs,
- être suffisamment stable pour subir un stockage prolongé sur le terrain en zone tropicale,
- avoir une toxicité modérée vis-à-vis des organismes non cibles.

L'emploi généralisé d'un insecticide chimique en Afrique de l'Ouest a engendré des résistances chez certaines espèces vectrices. Ultérieurement des phénomènes de résistance croisée ont considérablement restreint l'arsenal des insecticides utilisables. Le recours à la lutte biologique s'est avéré indispensable. Le *Bacillus thuringiensis* H14 de Barjac répond parfaitement aux exigences mentionnées. Il est utilisé opérationnellement pour le contrôle des populations résistantes. Son emploi généralisé serait possible en améliorant les performances des formulations actuelles et en diminuant leur coût d'utilisation. Les perspectives d'utilisation d'autres agents que les bactéries sporogènes (mermithides, champignons, microsporidies) ne peuvent actuellement être évaluées tant que n'aura pas été résolu un certain nombre de questions parmi lesquelles : la spécificité parasitaire, le degré d'efficacité, les possibilités de productions de masse et la stabilité au stockage.

La lutte biologique contre les insectes vecteurs de maladies tropicales connaît actuellement un regain d'intérêt. Cela est dû aux phénomènes de plus en plus courants de résistance aux insecticides, au souci sans cesse croissant de protéger l'environnement ainsi qu'à la découverte récente du *Bacillus thuringiensis* H14. Cette bactérie entomopathogène a connu un développement très rapide et, moins de 4 années après sa découverte, a atteint le stade de l'utilisation opérationnelle à grande échelle dans la lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest. A travers cette opération, nous analyserons les perspectives offertes par l'utilisation d'agents de lutte biologique contre les vecteurs de cette maladie.

### L'ONCHOCERCOSE HUMAINE DANS LE MONDE

L'onchocercose est une filariose dermique transmise par des simulies du genre *Simulium*. Cette maladie, qui dans sa phase avancée provoque la cécité, touche environ 30 millions

d'individus dont près de 99 % se trouvent en Afrique intertropicale et le reste au Yémen, en Arabie Saoudite et en Amérique Centrale et du Sud.

La stratégie de lutte contre cette maladie est conditionnée par les contraintes imposées par le parasite d'une part, ses vecteurs d'autre part, ainsi que par les moyens de lutte disponibles.

Le parasite, *Onchocerca volvulus* Leuckart, vit chez l'homme plus de 10 ans et il n'est actuellement pas possible de le détruire par l'emploi de médicaments filaricides en campagnes de masse. La seule arme disponible reste la lutte antivectorielle. Cette lutte doit être continue et durer une quinzaine d'années jusqu'à disparition totale du parasite chez l'homme.

Les contraintes dues aux vecteurs et à leur milieu naturel sont très différentes selon qu'il s'agisse d'onchocercose africaine ou sud-américaine et conditionnent les armes que l'on peut leur opposer.

#### LES VECTEURS AFRICAINS

Ils appartiennent en majorité au complexe *Simulium damnosum* Theobald. Ils ont un cycle de développement très court (durée de vie larvaire de 8 j à 25 j, 25 à 30 générations/an). Les larves colonisent des cours d'eau d'une certaine importance dont le débit moyen peut varier de quelques m<sup>3</sup>/s (petites rivières de savane) à plus de 1000 m<sup>3</sup>/s (grandes rivières de forêt) <sup>(1)</sup>.

Les adultes se déplacent beaucoup et peuvent migrer sur des centaines de kilomètres. Pour être efficace, une campagne de lutte devra donc porter sur de grandes étendues afin de minimiser les phénomènes de migration et de réinvasion des zones traitées (Philippon & Le Berre, 1978 ; Le Berre & Philippon, 1982). En Afrique de l'Ouest et Centrale, entre 13° de latitude N et 12° de latitude S, les foyers sont généralement contigus. Le faciès de la maladie diffère sensiblement en zone de forêt et de savane ; dans ce dernier milieu, elle est beaucoup plus grave et entraîne un taux de cécité élevé. Les vecteurs de savane sont généralement différents de ceux de forêt.

Il existe en Afrique de l'Est, au Kenya et en Tanzanie notamment, des petits foyers isolés où les larves des vecteurs (*S. neavei* Roubaud, *S. damnosum* s.l.) se développent dans les torrents des régions montagneuses dont le débit est rarement élevé et les eaux moins chaudes. Les adultes semblent s'y déplacer sur de plus faibles distances. *S. neavei* dont les larves vivent fixées sur des crabes se rencontre généralement à une altitude plus élevée que *S. damnosum* s.l. et ne transmet pas toujours l'onchocercose, notamment dans les bassins où ces 2 espèces sont présentes.

#### LES VECTEURS D'AMÉRIQUE CENTRALE

Le vecteur majeur est *S. ochraceum* Walker. Les larves se développent dans des cours d'eau insignifiants (0,1 à 10 l/s) abondants le long des montagnes volcaniques aux flancs abruptes et densément boisés (Anon., 1976). Le nombre de gîtes est généralement très élevé. Le cycle de développement larvaire est relativement plus long (supérieur à 15 j). Les foyers sont localisés et, comparés à ceux de l'Afrique de l'Ouest, de taille restreinte (de quelques km<sup>2</sup> à quelques milliers de km<sup>2</sup>). En Amérique du Sud (Vénézuéla, Brésil) le degré de gravité de l'onchocercose est mal connu. Les vecteurs sont *S. metallicum* Bellardi, dont les larves colonisent des cours d'eau de taille moyenne et, *S. exiguum* Roubaud et les espèces du groupe *S. amazonicum* Goeloi dans les rivières et les fleuves importants.

<sup>(1)</sup> Des traitements ont été réalisés sur la Sanaga (Cameroun) et le fleuve Zaïre à des débits respectifs de 6000 et 80.000 m<sup>3</sup>/s soit dans le 2ème cas 6000 l d'insecticide par point d'épandage.

## STRATÉGIE DE LA LUTTE CONTRE L'ONCHOCERCOSE

La diversité évoquée ci-dessus à propos des différents foyers d'onchocercose conditionne la stratégie à adopter pour la lutte.

## LA LUTTE EN AFRIQUE INTER-TROPICALE

La principale opération est le programme OMS de lutte contre l'onchocercose dans la région du bassin de la Volta (OCP) en Afrique de l'Ouest (Philippon & Le Berre, 1978 ; Le Berre & Philippon, 1982 ; Walsh *et al.*, 1981). Ce programme en cours depuis 1973 couvre une superficie de 700.000 km<sup>2</sup> et concerne 7 Etats (Bénin, Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Ghana, Mali, Niger et Togo).

La localisation des gîtes larvaires et la dispersion des femelles concourent à l'utilisation des traitements larvicides plutôt qu'adulticides. Selon la saison, 4000 à 18.000 km de rivières doivent être surveillés et, si besoin est, traités chaque semaine pendant 20 années. Les traitements doivent être systématiquement efficaces à 100 % afin de pouvoir ramener le taux annuel de piqûres (TAP : nombre de piqûres par homme et par an) de 300.000 et parfois plus dans les conditions naturelles, à moins de 1000, seuil au-dessous duquel l'endémie onchocercarienne reste très basse et ne constitue plus un problème de santé publique. Du fait de l'étendue des zones traitées et de leur inaccessibilité en saison des pluies, les traitements sont réalisés par avion et hélicoptère.

La pratique de ces traitements impose l'utilisation de formulations d'insecticides parfaitement auto-dispersibles et efficaces sous un faible volume du fait de la capacité de chargement limitée des aéronefs. La portée, c'est-à-dire la distance sur laquelle le traitement reste totalement efficace en aval du point d'épandage, doit être aussi grande que possible de manière à limiter le nombre de points de traitement et la quantité d'insecticide consommée. L'Abate<sup>®</sup>, un concentré émulsifiable à 20 % de téméphos (organophosphoré), répond à ces exigences. En saison sèche, il est utilisé à la dose de 0,1 mg/l pendant 10 mn et chaque gîte doit être traité individuellement du fait de l'absence de portée due au faible débit des rivières. En hautes eaux (saison des pluies), la dose est de 0,05 mg/l/10 mn et la portée efficace dans les mêmes rivières atteint 30 à 50 km. Le ravitaillement des aéronefs impose le stockage des fûts en brousse où ils restent en plein soleil pendant parfois plus d'un an. Pour le Programme OCP, la quantité d'insecticide consommée annuellement est de l'ordre de 160.000 à 180.000 l et représente environ 10 % du coût total du Programme. Après 10 années d'utilisation continue son impact sur le milieu naturel, régulièrement évalué, est jugé comme très acceptable.

Il existe d'autres exemples de lutte, en Afrique de l'Est notamment. La focalisation de la maladie a permis dans certains cas comme au Kenya avec *S. neavei* d'aboutir à l'éradication du vecteur (Mac Mahon *et al.*, 1958). Toutefois l'ampleur des opérations de traitement dans ce type de foyers est sans commune mesure avec l'exemple précédemment cité.

## EN AMÉRIQUE CENTRALE ET DU SUD

Des essais de lutte à l'aide du DDT ont été entrepris au Guatemala dès 1945 (Fairchild & Barreda, 1945). Un projet de lutte pilote, également au Guatemala, est en cours (Ogata, 1981). Les traitements sont réalisés à l'aide de blocs de plâtre imprégnés de téméphos qui, en se dissolvant, libèrent une concentration de 0,1 mg/l pendant 1 h environ. La portée des traitements est très faible, même lorsque la dose appliquée est double (Takoaka *et al.*, 1981).

Le problème majeur de ce type de campagne réside dans la multiplicité des gîtes à traiter ainsi que leur accessibilité toujours problématique. Le coût de l'insecticide en lui-même ne représentant qu'une faible part du prix de revient, il devrait être possible d'utiliser des larvicides

plus onéreux, même si l'onchocercose ne constitue pas en Amérique du Sud un problème socio-économique aussi grave qu'en Afrique. Au Guatemala par exemple, sur 2 bassins couvrant au total une superficie de 9,6 km<sup>2</sup>, il faut réaliser 370 points de traitement et la consommation annuelle de téméphos est de 2,3 kg.

#### PROBLÈMES RENCONTRÉS DANS LE DÉROULEMENT D'UNE CAMPAGNE DE LUTTE CONTRE L'ONCHOCERCOSE

Le programme OCP peut inscrire à son passif 2 écueils : les phénomènes de réinvasion, déjà mentionnés et la résistance aux insecticides. Ce dernier point est particulièrement important.

Des populations d'espèces forestières du complexe *S. damnosum* ont très rapidement développé une résistance au téméphos (Guillet *et al.*, 1981). Le chlorphoxim, un autre composé organophosphoré, a été utilisé en remplacement mais les larves ont également développé une résistance à ce composé (Kurtak *et al.*, 1982). Simultanément a été mise en évidence une résistance croisée à la plupart des composés organophosphorés utilisables en santé publique (Kurtak, comm. pers.).

Les autres familles de larvicides présentent des caractéristiques nettement moins avantageuses que les organophosphorés. Les organochlorés tels que le méthoxychlore sont beaucoup plus efficaces dans les eaux froides que chaudes. Le DDT longtemps utilisé avec succès est considéré comme indésirable par les écologistes du fait de son accumulation dans les chaînes alimentaires. De plus les larves du complexe *S. damnosum* peuvent développer une résistance à ce composé (Guillet *et al.*, 1977). Les carbamates, outre leur toxicité généralement élevée vis-à-vis des mammifères, ont un effet larvicide très limité (Jamnback & Frempong Boadu, 1966; Quelennec *et al.*, 1970). Les pyrèthrinoides présentent dans l'ensemble un pouvoir larvicide très élevé ; la deltaméthrine® (K-Othrine), par exemple peut être utilisée à des doses 15 à 20 fois moindres que celles de l'Abate (Dejoux & Guillet, 1980). Mais, comme tous les composés de cette famille sa toxicité vis-à-vis de la faune non cible, en particulier des poissons, limite les perspectives d'utilisation.

Les régulateurs de croissance représentent une famille d'insecticides en pleine expansion. Les mimétiques d'hormones juvéniles comme le méthoprène n'agissent à des doses raisonnables que sur les larves âgées (Dove & Mac Kague, 1975 ; Thompson & Adams, 1979). Les inhibiteurs de mue comme le diflubenzuron sont normalement actifs lors de chaque mue à la condition que le temps de contact soit relativement long (Lacey & Mulla, 1978a, b). Des essais préliminaires réalisés sur les larves du complexe *S. damnosum* ont montré qu'avec des temps de contact brefs, que l'on observe dans la pratique des traitements opérationnels (10 mn et moins), ce type de produit n'est pas efficace même à des dosages élevés.

L'apparition de la résistance croisée aux composés organophosphorés a conduit à intensifier la recherche de larvicides de remplacement mais, depuis 2 années maintenant, aucun nouveau larvicide chimique n'a atteint le stade opérationnel. La résistance apparue dans la zone forestière n'a qu'un impact très modéré sur l'ensemble puisqu'elle intéresse des espèces associées à une onchocercose peu grave ; mais le développement d'une résistance chez les espèces savaniques du complexe *S. damnosum* associées aux foyers les plus graves de la maladie risquerait d'hypothéquer l'acquit de 10 années de traitement d'une efficacité remarquable. Dans l'état actuel des recherches sur le développement des insecticides au sens large du mot, l'utilisation d'agents de lutte biologique constitue la seule alternative. Le *B. thuringiensis* H14 n'est pas seulement une des solutions élégantes proposées pour des traitements expérimentaux, mais un produit opérationnellement employé, même si la formulation actuelle présente de nombreuses insuffisances.

## LES AGENTS PATHOGÈNES DE SIMULIES ET LEURS PERSPECTIVES D'UTILISATION DANS LA LUTTE BIOLOGIQUE

### LES BACTÉRIES

*Bacillus sphaericus* Meyer & Neide : 4 produits primaires (souches 1593 et MR4) ont été testés sur des larves du complexe *S. damnosum*. Ils ne présentent aucune toxicité même à des dosages très élevés et des temps de contact longs. Il en est de même vis-à-vis des espèces néarctiques comme *S. vittatum* Zetterstedt (Molloy, comm. pers.). Dans le cadre du programme OMS de screening des bactéries entomopathogènes, de nouvelles souches et préparations à base de *B. sphaericus* vont de nouveau être testées sur les larves du complexe *S. damnosum*.

*Bacillus thuringiensis* H14 : les premiers essais sur larves des vecteurs d'onchocercose ont été réalisés au laboratoire (Undeen & Berl, 1979) et sur le terrain (Guillet & de Barjac, 1979), en Afrique de l'Ouest en 1979. Pour être utilisables, les produits primaires qui se sont avérés remarquablement efficaces et d'une parfaite sécurité d'emploi (Dejoux, 1979) doivent être correctement formulés. Les premières formulations ont été testées en 1979 (Guillet & Escaffre, 1979) et le programme d'évaluation a été rapidement intensifié grâce à une coopération étroite entre l'OMS et l'industrie.

Les recherches entreprises en Afrique de l'Ouest ont permis de démontrer que le type de formulation le mieux adapté à la lutte contre l'onchocercose est le concentré de suspension dispersible (suspension de spores et cristaux individualisés).

Leurs taux de sédimentation sont très faibles (Guillet *et al.*, 1979). Leur efficacité ne dépend ni du temps d'exposition des larves (Guillet *et al.*, 1982a) ni de la turbidité de l'eau. Du fait des modalités de nutrition des larves de simulies, on n'observe pas de compétition trophique entre les fines particules actives de *B. thuringiensis* H14 (1 à 2  $\mu$ ) et les particules naturelles dont se nourrissent les larves. Cette compétition existe nettement pour les formulations à grosses particules (20 à 50  $\mu$  de diamètre), qui sont moins retenues par les larves lorsque la concentration en particules naturelles augmente. Ces formulations sont donc nettement moins efficaces dans les eaux chargées de matières en suspension que l'on rencontre très fréquemment en zone tropicale, notamment en saison des pluies. Pour une formulation donnée, une augmentation du titre exprimée en UTI *Aedes aegypti* se traduit généralement par une augmentation d'efficacité vis-à-vis des larves de simulies. En revanche, d'un type de formulation à l'autre, cette relation n'est pas systématique (Guillet *et al.*, 1982b).

Une formulation à base de *B. thuringiensis* H14, le Teknar<sup>®</sup>, un concentré de suspension titrant au minimum 600 UTI *A. aegypti*/mg, sélectionné en 1981 (Guillet *et al.*, 1982a ; Lacey *et al.*, 1982) est maintenant utilisée opérationnellement par OCP pour le traitement des populations larvaires résistantes aux insecticides organophosphorés. Le dosage employé en toute saison est de 1,6 mg/l de formulation pendant 10 mn (soit 960 cm<sup>3</sup> pour un débit de 60.000 l/mn).

La portée, comme tous les larvicides antisimulidiens, est fonction du débit. Faible aux basses eaux, elle peut atteindre 20 km aux débits élevés (2,7.10<sup>7</sup> l/mn) (Lacey *et al.*, 1982) mais s'est avérée dans la pratique limitée à 8-10 km. Pour se disperser spontanément, le Teknar doit préalablement être dilué avec 20 % d'eau, ce qui augmente les quantités à appliquer. Pur ou dilué, sa stabilité est remarquable et il peut être stocké plus de 16 mois en plein soleil sans perte d'efficacité (Guillet *et al.*, 1982c).

Il est toutefois apparu indispensable de rechercher des formulations ayant des caractéristiques opérationnelles plus avantageuses. Plus de 200 nouvelles formulations fournies par l'industrie ont été testées sur les larves du complexe *S. damnosum* (Guillet, non publié) en vue d'identifier point par point les facteurs qui depuis la fermentation du bacille jusqu'à sa formulation peuvent conditionner son efficacité. Les meilleures formulations actuelles sont

4 fois plus efficaces que le Teknar avec des propriétés physiques améliorées, mais n'ont pas encore atteint le stade opérationnel du fait de leur coût de production.

Le Teknar a été également utilisé avec succès au Guatemala (Undeen *et al.*, 1981 ; Gaugler *et al.*, 1982), mais du fait des très faibles débits observés les dosages utilisés sont nettement plus élevés et la portée très faible.

#### LES PROTOZOAIRES

*Les ciliés.* Des ciliés du genre *Tetrahymena* (ou d'un genre proche) ont été décrits sur adultes du complexe *S. damnosum* (Corliss *et al.*, 1979 ; Lewis, 1960, 1965) et sur *S. ochraceum* au Guatemala (Garms, 1975). La prévalence naturelle des ciliés chez les femelles du complexe *S. damnosum* en Afrique de l'Ouest est généralement très faible (rarement plus de 1 à 2 %). Si l'on observe habituellement un grand nombre de ciliés par femelle infectée, leur pathogénicité n'a pas encore été prouvée et encore moins leurs potentialités comme éventuels agents de lutte biologique.

*Les microsporidies.* Ce sont après les mermithides, les parasites les plus fréquemment rencontrés chez les simulies. Deux espèces ont été trouvées chez *S. damnosum* s.l. : *Thelohannia fibrata* Strickland 1913 (Undeen, comm. pers.) et *Pleistophora simulii* (Ezenwa *et al.*, 1974). Dans la nature la prévalence est parfois élevée (jusqu'à 15 % chez *S. squamosum*, une des espèces du complexe *S. damnosum* en zone de forêt).

Des tentatives d'infestation à partir de spores prélevées sur des larves contaminées de dernier stade larvaire se sont soldées par un échec (Guillet, non publié), comme cela a été le cas avec d'autres espèces de simulies (Weiser & Undeen, 1981). Les espèces mentionnées sont cosmopolites et naturellement présentes dans le milieu. Il est probable que leur introduction artificielle n'augmente la prévalence que très temporairement. Des microsporidies de larves de moustiques du genre *Nosema* ou *Vavraia* peuvent être produites en laboratoire et se transmettent expérimentalement sans difficulté. Lors d'essais sur le terrain, il n'a jamais été possible d'obtenir des taux d'infestation dépassant 50 à 80 % (Anthony *et al.*, 1978). Avant de pouvoir envisager l'utilisation de microsporidies pour lutter contre les larves de simulies, il est indispensable de résoudre le problème posé par la transmission du pathogène, sa spécificité parasitaire, son pouvoir larvicide réel et son effet sur les adultes (fécondité, transmission).

*Les champignons.* Une des espèces cosmopolites les plus courantes *Coelomycidium simulii* Debaisieux 1919 a été trouvée chez *S. neavei* et *S. adersi* Pomeroy, une espèce couramment associée à *S. damnosum* s.l. Un *Coelomomyces* a été identifié chez *S. metallicum* au Honduras (Garnham & Lewis, 1959). Les cas d'atteinte par mycose chez les larves de vecteurs d'onchocercose semblent rares. En revanche l'on trouve parfois des filaments mycéliens sur les femelles vivantes de *S. damnosum* (un cas de prévalence de plus de 60 % a été signalé en Côte d'Ivoire) qui pourraient être des phycomycètes pathogènes. Des *Entomophthora* ont été trouvés chez *S. damnosum* s.l. au Cameroun (Lewis, 1965). Deux missions ont été consacrées à ce groupe d'entomopathogènes en Côte d'Ivoire mais n'ont pas abouti (Remaudière & Papierock, comm. pers.).

*Les virus.* Bien que les infections par virus cytoplasmiques polyhédriques puissent être décelées à l'œil nu, il n'en a, semble-t-il, pas été mis en évidence chez les vecteurs d'onchocercose. La prévalence de ce type de parasitisme dans la nature semble très limitée et encore mal connue.

*Les nématodes.* Le parasitisme par mermithides est très fréquent chez les simulies notamment en zone tropicale. Trois espèces ont été décrites en Afrique de l'Ouest sur *S. damnosum* s.l. : *Isomermis lairdi*, *Gastromermis leberrei* et *Gastromermis philipponi* (Mondet *et al.*, 1977a,b).

Trois espèces ont également été décrites chez *S. metallicum* en Amérique Centrale *Neomesomermis travisi* (Vargas *et al.*, 1980) *Mesomermis guatemalae* (Poinar & Takaoka, 1981) et *Isomermis benevolus* (Poinar & Takaoka, 1979). De nombreuses espèces de mermithides ont été décrites chez d'autres espèces de simulies.

Le parasitisme de *S. damnosum* s.l. par *I. lairdi* en Afrique de l'Ouest a été bien étudié (Mondet, 1981). La prévalence chez les femelles piqueuses peut être de 20 à 25 % et même dans certains cas atteindre 50 %. Le parasite, dans la plupart des cas, stérilise la femelle en bloquant le développement ovarien. Lorsque la prévalence est élevée, on observe un pluriparasitisme, qui entraîne un déséquilibre très net de la sex-ratio avec production d'une majorité de mâles. Le parasitisme chez les larves est fréquent mais sa prévalence est généralement plus élevée dans les petits cours d'eau temporaires que dans les grandes rivières.

Quatre espèces de mermithides ont été décrites comme agents potentiels de lutte biologique contre les simulies (Poinar, 1981) : *Mesomermis flumenalis* Welch 1967, *Gastromermis viridis* Welch 1962, *Isomermis wisconsinensis* Welch 1962 et *Isomermis lairdi*. Il s'agit là de parasites spécifiques, difficiles à produire dans la mesure où il n'existe pas encore d'élevages de masse de larves de simulies. Un essai de lutte limité a été entrepris avec *M. flumenalis* sur *S. venustum* Say dans une toute petite rivière de l'Etat de New-York (Molloy & Jamnback, 1977). Il s'est avéré très difficile de dépasser 80 % de parasitisme et la portée du traitement a été faible. Il faudrait diminuer le coût de production des parasites respectivement de 10.000 et 100.000 fois pour être « compétitif » avec l'Abate et le Métoxychlore.

Il existe des espèces de mermithides non spécifiques telles que *Romanomermis culicivorax* Ross & Smith produites en masse *in vivo* pouvant parasiter des larves de simulies (Finney, 1975). Lors d'essais réalisés sur *S. damnosum* s.l. en Afrique de l'Ouest (Colbo *et al.*, 1978), il a été démontré que même à des doses massives, ce parasite ne pouvait infester plus de 0,5 % des larves de premier stade seulement. Son emploi ne peut donc pas être envisagé.

*Neoaplectana carpocapsae* Weiser (*Steinernema feltiae* Filipjev 1934, *Steinernematidae*) est un nématode qui peut parasiter près de 250 espèces d'insectes dont les larves de simulies. Sa production *in vivo* est relativement aisée. Des essais réalisés sur des larves de *S. vittatum* et *S. verecundum* Stone & Jamnback ont permis de constater que du fait de la taille élevée des parasites, ce nématode n'infeste que les larves âgées (Molloy *et al.*, 1980). Ses perspectives d'utilisation sont donc très limitées pour les vecteurs d'onchocercose dont les populations larvaires présentent simultanément tous les stades. Il a également été testé sur des vecteurs d'onchocercose au Mexique (Gaugler *et al.*, 1982).

## DISCUSSION - CONCLUSION

Pour remplir son objectif, un programme de lutte contre l'onchocercose, du moins en Afrique, s'il est basé sur l'utilisation de larvicides, doit détruire systématiquement de l'ordre de 99,9 % des larves. Des traitements efficaces à 90-95 % seulement auraient pour conséquence le maintien d'une population résiduelle de femelles assurant un taux de piqûres supérieur au seuil acceptable de 1000 piqûres par homme et par an.

La régulation naturelle des vecteurs par les agents pathogènes mentionnés dans cet exposé n'a aucune incidence significative sur la transmission de la maladie et sur son degré de gravité. Il n'est donc pas surprenant de constater que des zones en Afrique de l'Ouest, dans lesquelles le parasitisme par mermithides atteint 50 % des femelles de *S. damnosum*, présentent quand même une onchocercose hyperendémique due à un taux de transmission élevé.

Le fait que les larves de simulies vivent en eaux courantes et donc que les traitements larvicides n'ont jamais de rémanence conditionne les modalités d'utilisation des agents de lutte biologique. Dans l'état actuel des choses, cette utilisation ne peut consister qu'en applications séquentielles comme n'importe quel larvicide conventionnel afin de détruire systématiquement les simulies ou altérer leur capacité vectrice.

Nous avons pu constater que le nombre de parasites et agents pathogènes décrits chez les simulies vectrices de l'onchocercose est très limité comparativement aux autres espèces de simulies. Les recherches sur les agents pathogènes de simulies en zones tropicales ont jusqu'à ce jour été singulièrement négligées. La plupart des spécialistes résident en zones tempérées et n'interviennent que rarement lors de mission « safari » généralement de courte durée, ou pour examiner du matériel fixé par des entomologistes de terrain qui n'ont souvent qu'une compétence limitée en pathologie des insectes.

De la description d'un pathogène d'insecte à son utilisation comme agent de lutte biologique, il existe un « fossé » considérable, le plus souvent infranchissable. Qu'il s'agisse de microsporidies ou de champignons, les données concernant les modalités de transmission du parasite, sa pathogénicité réelle et les possibilités de production en masse *in vitro* sont actuellement trop fragmentaires pour pouvoir évaluer raisonnablement leurs potentialités dans la lutte biologique contre les vecteurs d'onchocercose.

Le parasitisme par *Mermithidae* est un phénomène mieux connu. Les quelques essais de lutte entrepris contre les simulies ont permis de démontrer qu'il était difficile d'obtenir des taux de parasitisme supérieurs à 70-80 % et la production de masse *in vitro* n'est pas encore réalisable. Malgré de nombreux travaux consacrés à ce sujet, l'emploi d'helminthes dans la lutte biologique contre les vecteurs d'onchocercose n'offre, dans l'état actuel des choses, pratiquement aucune perspective d'utilisation.

Il est peu probable que des parasites appartenant à ces 3 groupes soient, à moyen terme, utilisables massivement dans une campagne de lutte contre *S. damnosum* s.l. En revanche, la lutte contre les vecteurs d'onchocercose en Amérique Centrale pourrait offrir des perspectives intéressantes. Les débits très faibles des rivières et la nécessité des traitements manuels laissent une plus grande latitude dans le choix des moyens de lutte à utiliser. Ces foyers d'onchocercose représentent donc un milieu favorable pour tester de tels agents de lutte biologique.

Il existe dans le domaine de la lutte biologique contre les simulies une différence importante entre le *B. thuringiensis* H14 et tous les autres agents potentiels de lutte biologique. Le premier est infiniment plus performant à tous les niveaux (efficacité, stabilité, commodité d'utilisation et coût de production). Représente-t-il pour autant l'arme absolue ? Nous allons à l'aide de quelques chiffres le situer dans son contexte actuel d'utilisation.

Pour protéger les zones de résistance aux insecticides dans le Programme OCP, il faudrait utiliser par an l'équivalent de 80.000 litres d'Abate soit 1.600.000 litres de *B. thuringiensis* H14 (Teknar) c'est-à-dire 20 fois plus.

Actuellement pour protéger pendant 6 à 8 mois la moitié environ des zones où la résistance est effective, il a fallu doubler le budget insecticide de tout le Programme. Pour des raisons de logistique (capacité des appareils), il est très difficile de traiter en routine les rivières dont le débit dépasse 20 m<sup>3</sup>/s. La protection des zones de résistance n'est possible que grâce à une alternance judicieuse entre le Teknar et le Chlorphoxim, pour lequel les larves développent une résistance instable.

Il est indispensable d'améliorer les performances de la formulation présentement utilisée. L'objectif serait une formulation à dispersion spontanée aussi efficace que possible (une amélioration de l'ordre de 4 fois de la CL 100 est souhaitable), ayant en hautes eaux une portée opérationnelle de l'ordre de 20 km et d'un prix de revient équivalent à celui de l'Abate. Cet objectif

est techniquement réalisable et l'industrie travaille activement dans ce sens. La première approche consiste à augmenter la teneur en endotoxine (par culture sur milieu enrichi ou concentration en fin de culture) et à utiliser des agents de formulation qui optimisent l'efficacité de la toxine.

L'exemple de la lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest démontre que le *B. thuringiensis* H14, en dépit de ses imperfections actuelles, est déjà un instrument de lutte intégrée. Son utilisation même limitée à la saison sèche (basses eaux) permet de relâcher significativement la pression de sélection par les insecticides chimiques ainsi que la pression sur l'environnement. La lutte intégrée contre les vecteurs d'onchocercose ne se conçoit pas comme l'utilisation simultanée de plusieurs agents de lutte mais comme une alternance de produits présentant des modes d'action radicalement différents. Pour des raisons de logistique, il est difficile d'envisager l'emploi de plus de 2 ou 3 produits. L'alternance *B. thuringiensis* H14 (8 mois, saison sèche) — Abate (4 mois, saison des pluies) en zones de savane, où la résistance ne s'est pas encore manifestée, serait très souhaitable.

S'il est apparu nécessaire de situer le *B. thuringiensis* H14 dans son contexte actuel d'utilisation contre les vecteurs d'onchocercose, il représente toutefois un réel progrès qui a permis de résoudre le problème posé par la résistance aux insecticides. Ce n'est point là son seul mérite, car il a renforcé la crédibilité de la lutte biologique et fait prendre conscience de la nécessité d'intensifier les recherches dans ce domaine.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement les Docteurs Hamon et Le Berre, de l'Organisation Mondiale de la Santé (Genève) et le Docteur Mouchet de l'ORSTOM (Paris) pour la revue critique de ce manuscrit.

#### SUMMARY

The control of human Onchocerciasis and the prospects for biological agents

An insecticide or biological agent for use in Onchocerciasis control must have certain characteristics including mass production at a realistic cost, a formulation which can be easily applied and is fully effective against vectors, stability during several months storage in the tropics and moderate toxicity to man and non-target organisms. The widespread use of one chemical insecticide in West Africa has caused resistance in 2 vector species of the *Simulium damnosum* complex. Cross-resistance subsequently appeared which limited the number of usable insecticides. Recourse to biological control was therefore necessary. *Bacillus thuringiensis* H14 de Barjac fulfilled the above mentioned requirements for a control agent. It is being used operationally for the control of insecticide-resistant populations. Its use should be extended by improving performances of available formulations and increasing cost-effectiveness. The prospects for biological control agents other than spore-forming bacteria (mermithids, fungi, microsporidia) cannot be evaluated presently as long as a number of questions remain unanswered viz. host-parasite specificity, degree of efficacy, mass production and storage stability.

## BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme. — 1976. Epidémiologie de l'onchocercose. — Rapport d'un Comité d'Experts de l'Org. mond. Santé, Rapp. techn. n° 597, 105 pp.
- Anthony, D.W., Savage, K.E., Hazard, E.I., Avery, S.W., Boston, M.D. & Oldacre, S.W. — 1978. Field test with *Nosema algerae* Vavra & Undeen [*Microsporida* : *Nosematidae*] against *Anopheles albimanus* Wiedemann in Panama. — *Misc. Publ. Entomol. Soc. Am.*, 2, 17-27.
- Colbo, M.H., Laird, M. & Peterson, J. — 1978. Annu. Rept. Res. Unit. Vec. Pathol., Memorial Univ. Newfoundland.
- Corliss, J.D., Berl, D. & Laird, M. — 1979. A note on the occurrence of the ciliate *Tetrahymena* potential biocontrol agent in the blackfly vectors of onchocerciasis from Ivory Coast. — *Trans. Am. Microsc. Soc.*, 98, 587-591.
- Dejoux, C. — 1979. Recherches préliminaires concernant l'action de *Bacillus thuringiensis* de Barjac sur la faune d'invertébrés d'un cours d'eau tropical. — *Doc. Mim. OMS, WHO/VBC/79.721.*, 11 pp.
- Dejoux, C. & Guillet, P. — 1980. Evaluation of new blackfly larvicides for use in onchocerciasis control in West Africa. — *Doc. Mim. OMS WHO/VBC/80.783.*
- Dove, R.F. & Mac Kague, A.B. — 1975. Effect of insect development inhibitors on adult emergence of blackflies [*Diptera* : *Simuliidae*]. — *Can. Entomol.*, 107, 1211-1213.
- Ezenwa, A.O., Howlett, T. & Hedge, K. — 1974. Microsporidan infection of *Simulium damnosum* in West Africa. — *J. Parasitol.*, 60, 975.
- Fairchild, G.M. & Barreda, E. — 1945. DDT as a larvicide against *Simulium*. — *J. Econ. Entomol.*, 38, 694-699.
- Finney, J.R. — 1975. The penetration of three simuliid species by the nematode *Reesimermis nielsenii*. — *Bull. Wld. Hlth. Org.*, 52, 235.
- Garms, R. — 1975. Observations on filarial infections and parous rates of anthropophilic blackflies in Guatemala with reference to the transmission of *Onchocerca volvulus*. — *Tropen-med. Parasitol.*, 26, 169-182.
- Garnham, P.C.C. & Lewis, D.J. — 1959. Parasites of British Honduras with special reference to leishmaniasis. — *Trans. R. Soc. Med. Hyg.*, 53, 12-40.
- Gaugler, R., Kaplan, E., Alvaredo, D., Montoy, C. & Ortega, M. — 1982. Assesment of *Bacillus thuringiensis* serotype H14 and *Steinernema feltiae* [*Nematoda* : *Steinernematidae*] for control of the *Simulium* vectors of onchocerciasis in Mexico. — *Entomophaga*, 28,4,309.
- Guillet, P., Mouchet, J. & Grebaut, S. — 1977. La résistance au DDT chez *Simulium damnosum* s.l. [*Diptera* : *Simuliidae*] en Afrique de l'Ouest. — *Doc. Mim. OMS, WHO/VBC/77.678.*
- Guillet, P. & de Barjac, H. — 1979. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* for blackfly larvae, vectors of onchocerciasis. — *C.R. Acad. Sci., D.*, 289, 549-552.
- Guillet, P., Dempah, J. & Coz, J. — 1979. Evaluation de *Bacillus thuringiensis israelensis* pour la lutte contre les larves de *Simulium damnosum* s.l. : III. Données préliminaires sur la sédimentation de l'endotoxine dans l'eau et sur sa stabilité en zone tropicale. — *Doc. Mim. OMS, WHO/VBC/79.783.*
- Guillet, P. & Escaffre, H. — 1979. Evaluation de *Bacillus thuringiensis israelensis* de Barjac pour la lutte contre les larves de *Simulium damnosum* s.l.. Efficacité comparée de trois formulations expérimentales. — *Doc. Mim. OMS, WHO/VBC/79.735.*
- Guillet, P., Escaffre, H., Ouedraogo, M. & Quillevere, D. — 1981. Mise en évidence d'une résistance au téméphos dans le complexe *Simulium damnosum* (*S. sanctipauli* et *S. soubrense*) en Côte d'Ivoire (Zone du Programme de Lutte contre l'Onchocercose dans la région du bassin de la Volta). — *Cah. ORSTOM, sér. Entomol. Méd. Parasitol.*, 18, 291-299.

- Guillet, P., Escaffre, H. & Prud'hom, J.M. — 1982a. L'utilisation d'une formulation à base de *Bacillus thuringiensis* H14 dans la lutte contre l'onchocercose. I. Efficacité et modalités d'application. — *Cah. ORSTOM, sér. Entomol. Méd. Parasitol.*, 20, 3, 175-180.
- Guillet, P., Escaffre, H. & Prud'hom, J.M. — 1982b. *Bacillus thuringiensis* H14, a biocontrol agent for onchocerciasis control in West Africa. — *Proc. 3rd Int. Colloq. Invertebr. Pathol.*, Brighton 1982. 460-465.
- Guillet, P., Escaffre, H. & Prud'hom, J.M. — 1982c. L'utilisation d'une formulation à base de *Bacillus thuringiensis* H14 dans la lutte contre l'onchocercose. II. Stabilité dans les conditions de stockage en milieu tropical. — *Cah. ORSTOM, sér. Entomol. Méd. Parasitol.*, 20, 181-185.
- Jamback, H. & Frempong Boadu, J. — 1966. Testing blackfly larvicides in the laboratory and in streams. — *Bull. Wld. Hlth. Org.*, 34, 405-421.
- Kurtak, D., Ouedraogo, M., Ocran, M., Barro, T. & Guillet, P. — 1982. Preliminary note on the resistance in Ivory Coast of resistance to Chlorphoxim in *Simulium soubrense/sanctipauli* larvae already resistant to temephos (Abate®). — *Doc. Mim. OMS, WHO/VBC/82.850*.
- Lacey, L.A., Escaffre, H., Philippon, B., Seketeli, A. & Guillet, P. — 1982. Large river treatment with *Bacillus thuringiensis* H14 for the control of *Simulium damnosum* s.l. in the onchocerciasis control programme. — *Tropenmed. Parasitol.*, 33, 97-101.
- Lacey, L.A. & Mulla, M.S. — 1978a. Biological activity of Diflubenzuron and three new IGR's against *Simulium vittatum* [Diptera : Simuliidae]. — *Mosq. News*, 38, 377-381.
- Lacey, L.A. & Mulla, M.S. — 1978b. Factors affecting the activity of Diflubenzuron against *Simulium* larvae [Diptera : Simuliidae]. — *Mosq. News*, 38, 264-267.
- Le Berre, R. & Philippon, B. — 1982. Lutte contre l'onchocercose : stratégie, réalisation, futur. — *Comm. Journées Hôpital C. Bernard*, Paris 22-23/10/82, 7 pp.
- Lewis, D.J. — 1960. Observations on *Simulium damnosum* in the southern Cameroun and Liberia. — *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 54, 208-223.
- Lewis, D.J. — 1965. Features in *Simulium damnosum* populations of the Kumba area in West Cameroun. — *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 59, 365-374.
- Mac Mahon, J.P., Highton, R.B. & Goiny, H. — 1958. The eradication of *Simulium neavei* from Kenya. — *Bull. Wld. Hlth. Org.*, 19, 75-107.
- Molloy, D. & Jamnback, H. — 1977. A larval blackfly control field trial using mermithid parasites and its cost implications. — *Mosq. News.*, 37, 104-108.
- Molloy, D., Gaugler, R. & Jamnback, H. — 1980. The pathogenicity of *Neoaplectana carpocapsae* to blackfly larvae. — *J. Invertebr. Pathol.*, 36, 302-306.
- Mondet, B. — 1981. Etudes sur *Isomermis lairdi* [Nematoda : Mermithidae] parasite de *Simulium damnosum* s.l. [Diptera : Simuliidae] en Afrique de l'Ouest. — *Travaux et Documents ORSTOM*, 141, 161 pp.
- Mondet, B., Poinar, J.R. & Bernadou, J. — 1977a. Etude du parasitisme des simulies [Diptera : Simuliidae] par des Mermithidae [Nematoda] en Afrique de l'Ouest. Description de deux nouvelles espèces de *Gastromermis*. — *Can. J. Zool.*, 55, 1275-1283.
- Mondet, B., Poinar, J.R. & Bernadou, J. — 1977b. Etude du parasitisme des simulies [Diptera : Simuliidae] par Mermithidae [Nematoda] en Afrique de l'Ouest. IV. Description de *Isomermis lairdi* n.sp. parasite de *Simulium damnosum*. — *Can. J. Zool.*, 55, 2011-2017.
- Ogata, K. — 1981. Preliminary report of Japan-Guatemala onchocerciasis control pilot project. In : *Blackflies : the Future for Biological Methods in Integrated Control*. (M. Laird, ed.). — *Academic Press*, 105-115.
- Philippon, B. & Le Berre, R. — 1978. La lutte contre les vecteurs d'onchocercose humaine en Afrique intertropicale. — *Méd. Trop.*, 36, 667-675.
- Poinar, J.R. — 1981. Mermithid nematodes of blackflies. In : *Blackflies : the Future for Biological Methods in Integrated Control*. (M. Laird, ed.). — *Academic Press*, 159-170.

- Poinar, J.R. & Takoaka, H. — 1979. *Isomermis benevolus* sp. n. [*Nematoda : Mermithidae*] a parasite of *Simulium metallicum* [*Diptera : Simuliidae*] in Guatemala. — *Jap. J. Sanit. Zool.*, 30, 305-307.
- Poinar, J.R. & Takoaka, H. — 1981. Three new mermithids [*Nematoda*] from Guatemalan blackflies [*Diptera : Simuliidae*]. — *Int. J. Systematics*.
- Queennec, C., Philippon, B. & Cordelier, R. — 1970. Essais d'activité d'une poudre insecticide à base de Sevin contre les larves de simules. — *Méd. Trop.*, 34, 3-6.
- Takoaka, H., Ochoa, J.O., Takashi, M. & Takashi, H. — 1981. Evaluation of temephos as a larvicide against *Simulium ochraceum* [*Diptera : Simuliidae*] in Guatemala. — *J. Med. Entomol.*, 18, 145-152.
- Thompson, B.H. & Adams, B.G. — 1979. Laboratory and field trials using Altosid® insect growth regulator against blackflies [*Diptera : Simuliidae*] of Newfoundland. — *Can. J. Med. Entomol.*, 16, 536-546.
- Undeen, A.H. & Berl, D. — 1979. Laboratory studies on the effectiveness of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* de Barjac against *Simulium damnosum* [*Diptera : Simuliidae*] larvae. — *Mosq. News*, 39, 742-745.
- Undeen, A.H., Hiroyuki, T. & Hansen, K. — 1981. A test of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* de Barjac as a larvicide for *Simulium ochraceum* the Central American vector of onchocerciasis. — *Mosq. News*, 41, 37-40.
- Vargas, M., Rubstov, I.A. & Fallas, B. — 1980. Bionomics of blackflies [*Diptera : Simuliidae*] in Costa-Rica. V. Description of *Neomesomermis travisi* sp.n. [*Nematoda : Mermithidae*]. — *Rev. Biol. Trop.*, 28, 73-89.
- Walsh, J.F., Davies, J.B. & Cliff, B. — 1981. World Health Organization Onchocerciasis control programme in the Volta river basin. In *Blackflies : the Future for Biological Methods in Integrated Control*. (M. Laird, ed.). — *Academic Press*, 85-103.
- Weiser, J. & Undeen, A.H. — 1981. Diseases of blackflies. In : *Blackflies : the Future for Biological Methods in Integrated Control*. (M. Laird, ed.). — *Academic Press*, 181-196.