



sisippa 89

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED APPROACHES
TO WATER POLLUTION PROBLEMS

SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR DES SOLUTIONS INTÉGRÉES
POUR DES PROBLÈMES DE POLLUTION DE L'EAU

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SOLUÇÕES INTEGRADAS
PARA PROBLEMAS DE POLUIÇÃO DA ÁGUA

**MODELISATION DE LA PROPAGATION DES INSECTICIDES
DANS LES RIVIERES INFESTEES PAR L'ONCHOCERCOSE (1)**

**INSECTICIDES ROUTING MODEL IN NATURAL RIVERS OF THE
ONCHOCERCIASIS CONTROL PROGRAMME**

**MODELO DE PROPAGAÇÃO DOS INSECTICÍDIOS
NOS RIOS CONTAMINADOS PELA ONCOCERCOSE**

Luc LE BARBE (2) ; Alain GIODA (3)

RESUME

En Afrique de l'Ouest et depuis 1974, l'Organisation Mondiale de la Santé lutte contre l'onchocercose ou cécité des rivières essentiellement en détruisant le vecteur de la maladie. Ce dernier, la simulie (un moucheron piqueur), est détruit au stade larvaire qui est exclusivement aquatique par l'épandage d'insecticides dans le lit des rivières. Depuis les années 1980, l'apparition des souches de simulies résistantes aux organophosphorés et la difficulté de traiter les rivières larges et à écoulement complexe (chenaux multiples, succession de chutes et d'eaux mortes) sont deux problèmes importants. L'objectif de notre travail est de déterminer un protocole standard de traitement. La méthode retenue est celle des traçages chimiques effectués avec un colorant fluorescent, la Rhodamine B, car les dosages d'insecticides *in situ* sont délicats, coûteux et peu fiables. Entre 1984 et 1986, onze traçages ont eu lieu sur neuf rivières et fleuves de Côte d'Ivoire et du Togo. Les résultats obtenus sont : 1) le calage des coefficients de diffusion et de disparition ; 2) la détermination des distances de "bon mélange" ; 3) la mise au point du protocole dans un écoulement monodimensionnel ; 4) l'application du protocole pour trois insecticides fictifs. Seuls les deux premiers points seront développés dans cette communication.

Mots-clés : diffusion, dispersion, écoulement monodimensionnel, insecticides, onchocercose, Rhodamine B, simulie, traçage, traitements.

- (1) Cette étude a bénéficié d'un financement de l'OMS (Onchocerciasis Control Programme).
(2) Hydrologie, ORSTOM, B.P. 11416, Niamey (Niger).
(3) Hydrologie, ORSTOM, B.P. 5045, 34032 Montpellier (France)

SISIPPA 89

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 31761-ex 1

Cote : B 796 -9 AVR. 1991

III-199

ABSTRACT

Since 1974, the World Health Organization has been carrying on the fight against onchocerciasis or river blindness in western Africa. The most important aim is to control the disease vector, black-flies of *Simulium damnosum* complex, which infects humans living near the banks of African streams. The black-fly is killed, at larval stage which is totally aquatic, by insecticides injected from the air into the rivers. There are two important problems: since the beginning of the eighties, the development of black-fly strains resistant to organophosphate insecticides and the difficulty to successfully treat large streams and rivers with complex flow (braided beds, fall zones and dead zones succession). The aim of this research is to elaborate a standard protocol of insecticide injection. The experimental technique is the use of Rhodamine B dye tracing instead of insecticide dosages which are delicate, expensive and can easily fail. The authors estimate dispersion and diffusion coefficients in a one-dimensional routing model; the only significant gradient is the direction of flow. They calculate the distance required for near uniformity of the dye concentration in the cross-section.

Key words : black-fly, diffusion, dispersion, dye tracing, injection, insecticides, onchocerciasis, one-dimensional model, Rhodamine B, routing.

RESUMO

Desde 1974, a OMS (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE) luta, nos países do Oeste da ÁFRICA, contra a Oncocercose -também designada como cegueira dos rios-, atacando de maneira sistemática o vector da doença, a simúlie, mosquito vulgarmente chamado borrachudo no BRASIL. A destruição da larva aquática da simúlie é feita através da injeção de insecticídios nos Rios. A partir de 1980, surgiram dois importantes problemas: a aparição de larvas resistentes aos insecticídios organofosfóricos e a grande perda de eficácia dos produtos nos rios de grande largura e de morfologia complexa (sucessão de corredeiras e de trechos sem declividade). As dosagens efetuadas diretamente no local são complicadas, caras e imprecisas. Foi então necessário estabelecer uma norma de tratamento. Utilizou-se o método dos traçadores químicos, no caso um produto fluorescente a Rodamina B. Onze experiências foram realizadas entre 1984 e 1986 em nove rios da COSTA de MARFIM e do TOGO. Os resultados obtidos foram os seguintes: 1) determinação dos valores dos coeficientes de difusão e de dispersão do produto; 2) avaliação das distâncias necessárias para obter uma boa mistura.

Nota - se que desde 1986 a GUINÉ-BISSAO aderou ao programa internacional de luta contra o Oncocercose.

Palavras - chave : difusão, dispersão, escoamento unidimensional, insecticídios, oncocercose, Rhodamina B., simulie, traçador, tratamento.

1 - INTRODUCTION

Nous présentons une partie de la contribution de l'Hydrologie ORSTOM à un programme de l'OMS, l'OCP (Onchocerciasis Control Programme) qui se déroule dans onze pays d'Afrique de l'Ouest. WHO/OMS (1985).

Démarré en 1974, ce programme aujourd'hui consiste pour l'essentiel à détruire le vecteur de l'oncocercose, une maladie tropicale plus connue sous le nom de cécité des rivières. Le vecteur, un moucheron piqueur, la simulie, est détruit au stade larvaire par des épandages d'insecticides. Ces derniers sont effectués en amont des zones d'eaux turbulentes des rivières, seules zones de développement des larves qui sont exclusivement aquatiques. Aujourd'hui, ce sont plus de 900 000 litres/an d'insecticides qui sont utilisés. Ce sont dans l'ordre décroissant des quantités mises en oeuvre : le *Bacillus thuringiensis* H-14, GUILLET (1988), le téméphos, le chlorphoxime, le carbosulfan et la perméthrine, PHILLIPON *et al.* (1986).

Le principal espoir en chimiothérapie repose sur la diffusion de l'usage de l'ivermectine.

2 - INTERETS ET INTEGRATION DU PROGRAMME DE TRACAGE

Notre objectif était de prédire le devenir des insecticides. Nous avons effectué, entre 1984 et 1986, onze épandages d'un produit traceur de la même manière que les traitements routiniers de l'OMS. Nous avons utilisé neuf tronçons de rivières différentes situées au Togo et en Côte d'Ivoire. Le traceur est un colorant fluorescent, de couleur pourpre, la Rhodamine B. Ce produit avait été employé notamment dans une expérience de simulation de pollution faite en amont de Paris, sur la Seine. DUTANG *et al.* (1982). Son caractère inoffensif était affirmé encore en décembre 1986 par l'Agence de bassin Rhin-Meuse qui trouvait de la Rhodamine B dans les eaux du Rhin à la suite de la catastrophe de Bâle (entrepôt 956 de SANDOZ ayant brûlé le 1er novembre 1986). RHIN-MEUSE INFORMATIONS (1986). A cette occasion, la pollution du Rhin a pu être appréciée grâce au traceur, un des produits relevés parmi les 1351 tonnes de substances stockées dans l'entrepôt. Ces produits étaient, pour l'essentiel (859 tonnes), des insecticides organophosphorés (disulfoton, thionéon, ...) de la même famille chimique que des produits utilisés par l'OCP (téméphos, chlorphoxime). SANDOZ (1987).

Sur notre expérience, plusieurs remarques préliminaires sont faites :

a) Nous avons cherché à apporter une contribution à la destruction du maximum de larves par une bonne répartition des insecticides sur toute la section

de l'écoulement et non à chercher la connaissance de l'impact d'une éventuelle pollution.

b) La première remarque découle d'une perception différente des problèmes d'environnement dans les PVD. Le long des rivières infestées lorsque les nuages de simulies vous entourent, améliorer l'environnement c'est détruire une nuisance la piqûre. Cette nuisance peut devenir, si le moucheron est contaminé par l'onchocercose, une maladie qui est un frein puissant à la mise en valeur des écosystèmes riverains. WHO/OMS (1985). Toutefois, il est à noter, afin de ne pas accentuer la différence entre PI et PVD, que les diptères ne constituant que des nuisances sont combattus dans les PI également par des pesticides. Citons la lutte anti-simulies au Canada et anti-moustiques en France par les Ententes Interdépartementales de Démoustification.

c) La simulation du devenir des insecticides effectuée par l'Hydrologie ORSTOM peut être entendue néanmoins comme une contribution à la simulation d'éventuelles pollutions chimiques ponctuelles sur neuf tronçons de rivières africaines. C'est d'ailleurs ce qui a été effectué maintenant sur le Rhin où une simulation avec utilisation de Rhodamine a été faite ainsi que l'application d'un modèle dit "DISPERSO RHIN". COMPAGNIE GENERALE DES EAUX (1988). Cette phase a abouti à l'inauguration d'une station d'alerte à la pollution dite "Station des Trois Frontières" et inaugurée au début 1989. OTV (1989). Ce type d'études trouve son utilité aujourd'hui quand certaines firmes des PI tentent de négocier avec les PVD leurs poubelles chimiques.

d) Il faut savoir qu'en Afrique de l'Ouest, une structure complexe de surveillance écologique fait partie intégrante d'OCP.

- La surveillance écologique de milieux traités, à court, moyen et long terme, est confiée à des scientifiques, des hydrobiologistes de terrain.

- Parallèlement, un groupe d'experts écologistes et hydrobiologistes regroupés sous le nom de Groupe Ecologiste, est chargé périodiquement d'analyser l'impact sur l'environnement des campagnes de traitement. DEJOUX (1988).

e) Les traçages ne sont qu'un des éléments de l'apport de l'hydrologie à la stratégie insecticide. Ils s'intègrent avec les mesures de débits faites pour l'OCP, dès le début du Programme, et la télétransmission des données hydrologiques par satellites polaires (système Argos) qui a débuté en 1983. GIODA *et al.* (1988) ; POUYAUD et LE BARBE (1987). De plus, grâce à la télétransmission et à l'application de modèles simples de prévision de débit (autorégression pour les stations hydrométriques isolées sur un bassin hydrographique et propagation de débit si les données d'une autre station, située à l'amont sont disponibles), des gains importants de précision sont obtenus sur les dosages d'insecticides au nord du Togo. LE BARBE et BADER (1988).

3 - CALAGE DU MODELE MONODIMENSIONNEL

L'éventail des caractéristiques de fleuves et rivières testés est suffisamment large, quant aux valeurs des débits, des largeurs des sections et des pentes des biefs (cf. tableau 1) pour que les conclusions soient utilisables pour OCP.

Pour tous les traçages et à toutes les sections de prélèvements, nous avons cherché à déterminer les paramètres du modèle, décrit en détails par LE BARBE et GIODA (1989), qui permettent la meilleure coïncidence entre les courbes théoriques et celles observées.

Pour chaque section, la courbe moyenne observée, correspondant au passage du nuage du traceur ou pollutogramme, comme l'appelle BUJON (1983), est la résultante de celles mesurées aux différents points de prélèvements.

Nous avons optimisé les valeurs des paramètres par la méthode de MARQUARDT (1963) (cf. tableau 2). Le Bandama et le Sassandra, en Côte d'Ivoire, ont été étudiés avec le modèle bidimensionnel DISPERSO mis au point par BUJON (1983), adapté aux conditions particulières de l'écoulement de ces deux fleuves.

Les variations de R et D sont bien réelles ; elles ne résultent pas d'erreurs de mesure ni d'un piégeage dès l'injection par des sédiments. Elles sont relativement importantes dans les premiers kilomètres à l'aval de l'injection c'est-à-dire dans la zone qui intéresse le plus OCP.

3.1 - Estimation du coefficient de disparition R

Nous faisons l'hypothèse que le coefficient R est la somme d'un terme constant R_0 , caractéristique du produit insecticide, et d'un terme décroissant dans le temps. Ce dernier terme serait un facteur de calage du modèle monodimensionnel lors d'une injection instantanée pour tenir compte de la quantité de produit ne participant pas dans les premiers temps au processus de diffusion ; il est donc logique d'essayer de relier la décroissance de R au terme x/L_1 , x est la distance au point d'injection et L_1 étant la longueur de diffusion.

$$R = R_0 + 9 \cdot 10^{-5} \left(\frac{x}{L_1} \right)^{-\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Le fait que R tende vers l'infini pour $x = 0$ n'est pas aussi paradoxal que cela puisse paraître ; en effet, selon l'hypothèse que nous avons émise, pour $x = 0$ nous avons $D = 0$ soit une concentration infinie. Il est donc logique que R tende vers l'infini. La formule (1) ne sera toutefois utilisée que pour les valeurs de x/L_1 supérieures à 0,01.

TABLEAU 1. Principales caractéristiques des biefs étudiés.

Localisation	Date	Q (m ³ s ⁻¹)	V (m.s ⁻¹)	La (m)	Lo (m)	Pente	Nb
BANDAMA à BAFECAO-MBRIMBO	01-11-84	74	0,203	365	7520*	0,008	7
BANDAMA à BAFECAO-MBRIMBO	31-01-85	43	0,132	365	7520*	0,008	7
SASSANDRA à BUYO-SOUBRE	04-04-85	270	0,460	225	6850	0,0003	3
OTI à SANSANNE-MANGO	04-10-85	277	0,700	90	3150	0,0001	3
KERAN à TITIRA	07-10-85	46,3	0,470	49	5975	0,00154	5
KAMA à BASSAR	18-10-85	0,6	0,094	9,63	2740	0,00133	4
GBAN-HOU à BROUFFOU	25-10-85	1,23	0,170	12,9	2700	0,0049	5
KPELOU à KPESSIDE	11-10-85	6	0,250	27,5	2146	0,008	3
MONO à N'GAMBOTO(1)	14-11-85	7,1	0,103	55	2950	0,00026	4
MONO à N'GAMBOTO(2)	20-11-85	2,73	0,059	48	3250	0,00026	2
WAWA à KESSIBO-WAWA	14-02-86	0,75	0,130	29	3180	0,0038	3

* Valeur très approximative incluant la longueur d'une ramification

Q = débit

V = vitesse d'écoulement

La = largeur moyenne du bief étudié

Lo = longueur du bief étudié

Nb = nombre de sections de prélèvements

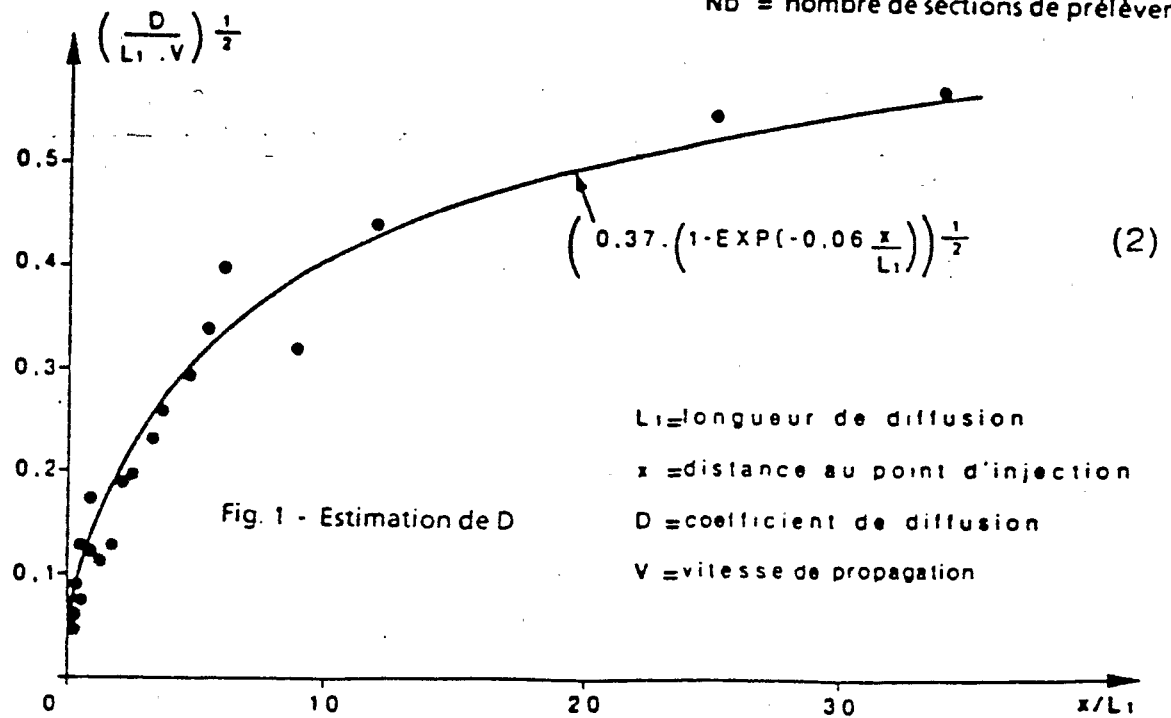


TABLEAU 2. Résultats du calage du modèle monodimensionnel (méthode MARQUARDT)

Localisation	x (m)	V (m s ⁻¹)	D (m ² s ⁻¹)	R (10 ⁻⁵ s ⁻¹)
MONO à N'GAMBOTO (2)	3250	0,056	7,3	1,8
MONO à N'GAMBOTO (1)	181	0,19	0,39	43,0
	2950	0,093	8,7	7,6
KERAN à TITIRA	1000	0,50	12,8	37,0
	1725	0,49	8,7	25,0
	3225	0,54	21,5	21,0
	3725	0,53	19,1	11,3
	5975	0,47	27,8	6,9
KPELOU à KPESSIDE	371	0,17	4,0	15,0
	746	0,24	6,66	6,2
	2146	0,25	7,85	6,0
WAWA à KESSIBO-WAWA	290	0,24	1,22	84
	3180*	(0,12)	(4,6)	(5,2)
GBAN-HOU à BROUFFOU	675	0,24	1,91	4,7
	1072	0,21	2,97	2,7
	1365	0,16	4,60	2,4
	1662	0,17	6,10	1,4
	2700	0,17	5,40	2,2
OTI à SANSANNE-MANGO	3150	0,65	37,3	27,0
	4750	0,67	52,2	18,0
KAMA à BASSAR	480	0,084	1,23	1,3
	1000	0,097	1,42	2,3
	2000	0,100	2,28	1,4
	2740	0,094	2,51	1,3

* relevés incomplets

x = distance à la section d'injection

V = vitesse de propagation

D = coefficient de diffusion

R = coefficient de disparition

TABLEAU 3 - Distance de bon mélange

L1 = longueur de diffusion

STATION	Distance de bon mélange (unité L1)	
	Limite inf.	Limite sup.
MANGO	0,25	-
TITIRA	0,25	0,57
KPELOU	-	0,45
BROUFFOU	-	0,90
BASSAR	-	10
MONO (1)	0,65	-
MONO (2)	-	1,10

3.2 - Estimation du coefficient de diffusion D

Les meilleurs résultats n'ont pas été obtenus avec des formules se trouvant dans la littérature scientifique soit qu'elles considèrent D comme une constante comme celle de FISCHER ou de Mc QUIVEY et KEEFER, soit qu'elles admettent que D varie dans le temps, comme celle de JAYAWARDENA et LUI LE BARBE et GIODA (1989). Les résultats les plus satisfaisants ont été obtenus avec la formule (2) qui est reportée dans la figure 1. Afin d'évaluer les paramètres de cette formule nous avons utilisé la méthode de MARQUARDT (1963).

4 - DISTANCE DE BON MELANGE

Il ne s'agit plus ici d'estimer un des paramètres du modèle mais de pouvoir répondre au problème suivant : "Pour le traitement d'un gîte isolé de larves de similies, à quelle distance de ce gîte faut-il injecter pour que le nuage ait une action insecticide sur la totalité de la section ?".

Dans le cas d'insecticides comme le téméphos ou le *B.t.* H-14, dont l'action larvicide du produit est fonction de la dose, la distance de bon mélange sera celle au-delà de laquelle les intégrales des courbes concentration/temps en différents points de la section seront identiques. Nous n'avons pas cherché à trouver une solution théorique à ce problème, qui nécessiterait de faire intervenir un coefficient de dispersion latéral difficile à évaluer. Nous avons simplement essayé de préciser pour chacun des traçages une fourchette pour cette longueur de bon mélange, et qui est délimitée par l'abscisse de la dernière section où il n'est pas atteint et par celle de la première où il l'est. En prenant comme unité la longueur de diffusion, nous avons obtenu les résultats du tableau 3.

La distance de bon mélange serait voisine de 0,5 fois la longueur de diffusion. Elle serait plus importante pour les rivières qui, comme le Mono possèdent un très faible brassage latéral. Vu le nombre très limité de valeurs observées, il est difficile d'aller plus loin dans l'analyse et le chiffre que nous avons avancé ne doit être considéré que comme un ordre de grandeur. Si cette distance de bon mélange est très inférieure à la portée, on pourra admettre que le traitement sera efficace et, par sécurité, on effectuera l'injection à cette distance du gîte à traiter. Si, au contraire, elle est du même ordre de grandeur que la portée, la probabilité d'échec devient importante. Cela permet de préciser les limites du protocole standard de traitement que nous avons essayé de définir. GIODA et al. (1988) ; LE BARBE et GIODA (1989). Les limites seraient atteintes sur l'Oti à Mango où la distance de bon mélange serait de 10 km et sur le Sassandra où elle serait de plus de 50 km.

5 - CONCLUSION

Notre travail est une contribution importante au devenir des insecticides en Afrique de l'Ouest notamment par l'ampleur des campagnes de terrain au nombre de onze. Son existence dans le cadre d'OCP montre qu'il est possible dans les PVD de monter des expérimentations qui, en Europe, ne sont faites malheureusement la plupart du temps, qu'après une catastrophe écologique comme celle du Rhin à Bâle.

En Afrique de l'Ouest, le fait de rencontrer des rivières peu aménagées avec notamment l'absence de digues ou de secteurs canalisés contribue à la dispersion des résultats. De même, la plupart des formules de la littérature scientifique sur les valeurs des coefficients de dispersion, de la distance de bon mélange..., recueillies de façon expérimentale soit en laboratoire, soit dans des rivières non naturelles, se révèlent inadéquates.

Les conclusions de notre travail sur la propagation des insecticides sont à l'étude au siège d'OCP à Ouagadougou (Burkina Faso).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Directeur de l'OCP pour son autorisation de diffusion des données et de leur interprétation. Ils remercient également le Chef de la Lutte Antivectorielle de l'OCP pour ses conseils et ses encouragements. La technique des traçages n'aurait pu être mise en place sans l'accord des Autorités de la République du Togo et de la République de la Côte d'Ivoire et le travail de terrain n'aurait pu être fait sans l'appui de la Direction de l'Hydraulique togolaise et de la Direction Centrale de l'Hydraulique ivoirienne.

BIBLIOGRAPHIE

BUJON, G. - "Modélisation de la dispersion des substances solubles ou pseudo-solubles dans un cours d'eau. Application au cas de la Seine en amont de Paris", *La Houille Blanche*, 1, 1983, pp. 45 - 53.

COMPAGNIE GENERALE DES EAUX - "Une station d'alerte à la pollution sur le Rhin". *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 112, octobre 1988, p. 37.

DEJOUX, Cl. - *La pollution des eaux continentales africaines*. Paris (France), ORSTOM, Travaux et Documents n° 213, 1988.

DUTANG, M. ; DEMOCRATE, Ch. ; LHERITIER, R. ; GIRARD, G. ; MANEM, J. - "Simulation des pollutions accidentelles à l'aide de traçage par la Rhodamine B". *Sciences de l'Eau*, 1, 4, 1982, pp. 369-386.

GIODA, A. ; LE BARBE, L. ; BADER, J. C. - "Jaugeages, télétransmission et traçages : éléments pour une stratégie contre l'onchocercose (Afrique occidentale)", in *Proceedings of the VIth IWRA World Congress on Water Resources*, Ottawa (Canada), May 29 - June 3, 1988, III, pp. 497-506.

GUILLET, P. - "Insecticides" in *Seritec Onchocercose*, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), OCCGE édit., juin 1988, pp. 43-47.

LE BARBE, L. ; BADER, J. C. - "Utilisation du système Argos par le programme de lutte contre l'onchocercose (Le réseau expérimental du nord-Togo)", *Hydrol. continent.*, 1, 3, 1988, pp. 25-40.

LE BARBE, L. ; GIODA A. - *Hydrol. continent.*, 2, 1989 (à paraître).

MARQUARDT, D. W. - "An algorithm for least-square estimation of nonlinear parameters", *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics*, 11, 1963, pp. 431-441.

OTV - "La station d'alerte des Trois Fontières sur le Rhin", *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 125, février 1989, p. 16.

PHILIPPON, B. ; REMME, J. N. ; ZERBO, D. G. - "Le programme de lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'ouest. Bilan sommaire et perspectives générales", in *Comptes rendus du IVème Congrès sur la Protection de la Santé Humaine et des Cultures en Milieu Tropical*, Marseille (France), 2-4 juillet 1986, pp. 125-131.

POUYAUD, B. ; LE BARBE, L. - "Onchocercose, hydrologie et télétransmission" in *Proceedings of the Rome Symposium (Water for the Future : Hydrology in Perspective)*, April 1987, Rome (Italy), IAHS 164, pp. 239-244.

RHIN-MEUSE INFORMATIONS - "Le Rhin pollué à Bâle en novembre 1986", *Journal du Comité et de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse*, Moulins-les-Metz (France), 37, décembre 1986, pp. 2-3.

SANDOZ - "Schweizerhalle. The fire on 1 November 1986 and its aftermath". Basle (Switzerland), Sandoz Ltd., 1987.

WHO/OMS - "Dix années de lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest". OCP/GVA/85.1A, Geneva (Switzerland), WHO/OMS, 1985.