

TELETRANSMISSION OF HYDROLOGICAL DATA WITHIN THE FRAMEWORK OF  
THE PROGRAMME TO COMBAT ONCHOCERCIASIS

J.C. Bader, ORSTOM, Lome  
L. Le Barbe, ORSTOM, Niamey  
Eric Servat, ORSTOM, Abidjan

ORSTOM, Lome, B.P. 375, Lome, Togo

ABSTRACT

For fighting the onchocerciasis a WHO programme, OCP (Onchocerciasis Control Programme), was launched in 1975 for spraying insecticides in rivers where vector larvae (*simulium damnosum*) are residing. About 3,000 to 15,000 km are being treated weekly.

In order to make the campaign efficient without ecological danger it is necessary to know the river discharge at the moment of the treatment. After a pilot study in the North of Togo, the OCP decided to make use of the ARGOS system in the zone of operation. A network of eighty benchmarks and two independent receiver stations has been established.

It was also necessary to establish methods for following precisely the propagation of floods and for forecasting the discharge between two benchmarks and between two messages transmitted.

In this paper, the authors describe the network and present the software for short-term forecasting of discharge.

O.R.S.I.O.M. Fonds Documentaire

N° 39707

Cote B

791

13 JUN 1994

## TELETRANSMISSION DES DONNEES HYDROLOGIQUES DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE LUTTE CONTRE L'ONCHOCERCOSE

J.C. BADER\* - L. LE BARBE\*\* - E. SERVAT\*\*\*

\* ORSTOM - Lomé - Togo  
\*\* ORSTOM - Niamey  
\*\*\* ORSTOM - Abidjan - Côte d'Ivoire

### RESUME

Pour lutter contre l'onchocercose, l'OMS mène depuis 1975 un important programme de lutte antivectorielle, l'OCP (Onchocerciasis Control Program). La méthode retenue consiste à épandre par voie aérienne des insecticides sur les gîtes larvaires du vecteur, localisés dans les zones à courant rapide des rivières. Pour optimiser ces épandages il est nécessaire de connaître le plus précisément possible le débit transitant dans le bief à traiter. L'OCP a donc décidé d'utiliser le système ARGOS pour télétransmettre en temps réel les débits. Les auteurs présentent dans cette communication le réseau de balises mis en place et le mode d'exploitation des données qu'il a fallu développer pour répondre aux exigences et contraintes du programme OCP.

### INTRODUCTION

L'Onchocercose est une maladie due à la prolifération de microfilaries dans le corps humain, pouvant aboutir à la cécité. Elle est transmise par une petite mouche (*Simulium damnosum*) dont les larves se développent dans les zones de courant rapide des rivières.

En Afrique de l'Ouest, l'OMS mène depuis 1975 un important programme de lutte antivectorielle contre cette maladie, l'OCP (Onchocerciasis Control Program).

La méthode employée consiste à épandre par voie aérienne des insecticides dans les rivières, aux endroits où sont localisés les gîtes larvaires. Les épandages sont effectués à un rythme hebdomadaire qui correspond à peu près à la durée de vie des larves. De vastes zones auparavant insalubres ont déjà pu ainsi être réhabilitées.

### CONTRAINTES ET OBJECTIFS

Tant du point de vue de l'efficacité des traitements et de leur impact sur l'environnement que d'un point de vue de coût, il est donc nécessaire d'avoir une connaissance aussi précise que possible des débits transitant aux dates et lieux des épandages, afin de pouvoir doser les insecticides de façon optimale.

Jusqu'à présent les débits étaient estimés à partir de lectures d'échelles pouvant dater de 2 à 5 jours, ce qui n'était pas satisfaisant en cas de variation rapide, notamment en saison des pluies.

C'est ainsi que l'OCP a été amené à envisager l'utilisation d'un système de télétransmission des données hydrologiques, qui permettrait d'avoir une connaissance des débits quasiment en temps réel.

En outre, pour des raisons de logistique, les valeurs des doses à injecter au cours d'une journée doivent être toutes communiquées dès le matin aux pilotes chargés des traitements, avant leur départ. Il est donc apparu utile de faire chaque matin, à partir des dernières données télétransmises, un calcul de prévision de débit pour différents moments de la journée.

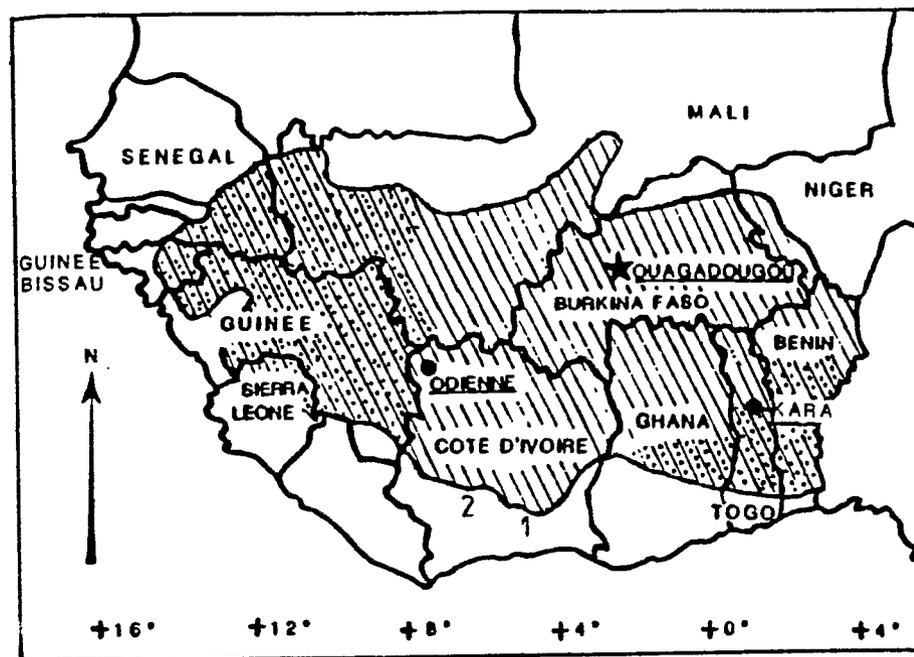


Fig-1- ZONE D'INTERVENTION DU PROGRAMME OMS-OCP

▨ Aire du programme  
★ Siège  
▨ Extension du programme  
● Base aérienne et station de réception

Enfin, étant donné l'impossibilité d'équiper tous les biefs à traiter de limnigraphes télétransmetteurs, on a envisagé de corréliser partout où ce sera possible, les débits contrôlés par des stations hydrométriques classiques à ceux d'une station télétransmettrice proche. Ainsi les données télétransmises permettront d'évaluer les débits sur un maximum de biefs.

Pour les biefs qui ne pourront être rattachés à aucune station télétransmettrice, les doses d'insecticide continueront à être calculées soit à partir de lectures d'échelle, soit à partir de l'expérience des pilotes et des responsables de traitement quand il n'y a pas d'échelle.

#### RESEAU ACTUEL DE LIMNIGRAPHERS TELETRANSMETTEURS

Pour la télétransmission des hauteurs d'eau, l'OCP a choisi le système Argos qui offrait les avantages suivants :

- transmission via satellite, efficace en tous points ;
- système équipant déjà de nombreux limnigraphes du programme Hydroniger ;
- fiabilité ;
- coût relativement peu élevé comparé au système Météosat, en particulier au niveau de la station de réception directe.

L'inconvénient du système Argos par rapport au système Météosat réside dans le fait qu'il utilise des satellites à défilement, et ne permet donc une transmission qu'au moment du passage en visibilité d'un satellite. Toutefois, au niveau de l'Afrique de l'Ouest, ceci permet 6 transmissions par jour en moyenne, ce qui est suffisant pour les besoins de l'OCP.

En 1984, l'ORSTOM a installé au nord Togo, pour le compte de l'OCP, un réseau pilote de 8 limnigraphes à flotteur adaptés au système Argos. Une station de réception directe était installée à Kara, où pendant deux ans on a pu évaluer l'efficacité du système et tester des modèles de prévision en temps réel. On a pu ainsi montrer que :

- la précision des dosages d'insecticide est considérablement augmentée par l'utilisation des données télétransmises ;
- cette précision est encore améliorée par l'utilisation de modèles simples de prévision de débits (modèles autorégressifs ou de propagation).
- le matériel (codeurs équipant les limnigraphes à flotteurs, balises émettrices, station de réception) est fiable ;

Depuis, l'OCP a décidé d'étendre sur une grande échelle son réseau de limnigraphes télétransmetteurs, comprenant à l'heure actuelle environ 80 appareils. Ceux-ci sont implantés sur des biefs très infestés et/ou caractérisés par de forts débits.

Les bases d'opérations aériennes d'épandage (Odiène et Kara) sont, chacune, équipées d'une station de réception directe Argos, permettant de traiter les différents types de messages émis par les balises équipant tant les limnigraphes du réseau OMS que ceux du Programme Hydroniger ou de services hydrologiques nationaux.

Il y a deux types de messages télétransmis :

- Messages de 256 bits :

ils comportent : les hauteurs relatives aux 15 dernières demi-heures rondes ; des paramètres technologiques (température, tension ...) ; un code détecteur correcteur d'erreur de transmission.

Ils sont émis par des limnigraphes modernes à capteur de pression, de type sonde CHLOE.

Messages de 128 bits :

ils comportent : la hauteur au moment de l'émission ; des paramètres technologiques (température, tension ...) ; un code détecteur correcteur d'erreur de transmission.

Ils sont émis par des balises équipant, avec différents types de codeurs, des limnigraphes classiques à flotteur ou à pression.

A quelques exceptions près, toutes les balises sont équipées de panneaux solaires et sont donc autonomes du point de vue de l'alimentation électrique.

La transmission de paramètres technologiques dans les messages permet par ailleurs de suivre à distance et en temps réel, le bon fonctionnement des appareils. Si par exemple, on observe une chute anormale de tension d'alimentation, il est alors possible d'intervenir à temps pour remplacer les batteries, avant que ne se produise une panne d'émission.

Afin d'optimiser l'utilisation de la télétransmission, l'OCP a demandé à l'ORSTOM de mettre au point des programmes qui se chargeront de la traduction automatique des hauteurs en débits, et de calculs de prévisions de débits ainsi que d'estimations par corrélation. On aboutira alors au mode d'exploitation décrit ci-dessous.

#### MODE D'EXPLOITATION DES DONNEES

Le logiciel intégré développé par l'ORSTOM fait partie d'un ensemble cohérent allant de la mesure des hauteurs d'eau in situ à la prévision des débits à différentes échéances en passant par la télétransmission des données et leur réception centralisée au niveau des bases d'opérations aériennes. Ce logiciel comprend deux parties :

- transfert des données de la station de réception vers l'ordinateur de calcul ;
- réalisation des calculs et émission des prévisions de débits.

L'élaboration de ce logiciel a été guidée par un souci de convivialité extrême de manière à réduire et à simplifier les manipulations demandées aux opérateurs. Nous avons donc mis au point des procédures faisant appel à des successions d'écrans et à des menus déroulants.

Plus précisément le logiciel développé par l'ORSTOM remplira les tâches suivantes :

- 1) Gestion de fichiers de courbes d'étalonnage et de lectures d'échelles.
- 2) Gestion de tables de numéros de balises Argos, de tables de numéros de biefs et de divers fichiers de coefficients servant dans les différents calculs.
- 3) Transfert des hauteurs d'eau par liaison série, de la station de réception vers le microordinateur où seront réalisés les calculs.
- 4) Traduction des hauteurs d'eau en débit et stockage de ces débits.
- 5) Evaluation de débits sur des biefs non équipés de matériel télétransmetteur et prévisions de débit sur les biefs équipés.

## 6) Sortie des résultats sous forme numérique et graphique.

Au niveau de l'utilisation quotidienne, l'opérateur demandera le traitement de données pour les biefs à traiter dans la journée. Pour chacun de ces biefs, sera prévu une ou plusieurs procédures, classées par priorité décroissante. Celles-ci seront appelées les unes à la suite des autres jusqu'à ce que l'une d'entre elles donne pour le bief une valeur de débit relative à une date plus récente que : date présente moins cinq heures.

En effet, il arrive parfois lors d'un passage de satellite que certaines balises ne soient pas captées. Dans le cas d'une station pour laquelle on dispose de données de l'amont permettant un calcul de propagation de débit, on peut prévoir par exemple un calcul d'autorégression pour le cas où les données disponibles de l'amont seraient trop anciennes.

Les différentes procédures prévues sont les suivantes :

## a) Modèle de propagation (testé sur réseau pilote du nord Togo).

On a utilisé le modèle de l'onde diffusante. On l'emploie pour des biefs où le débit résulte de la propagation de débits connus à une station télétransmettrice amont d'une part, et d'apports intermédiaires peu importants d'autre part.

La part de débits résultant de la propagation des débits de l'amont est donnée par l'expression suivante :

$$Q(t,x) = \int_0^G Q(o,u) \cdot I(t,u) du = \int_0^t Q(o,t-u) \cdot I(u) du \quad (1)$$

avec :  $Q(x,t)$ ,  $Q(o,t)$  : débits à l'aval et à l'amont à l'instant  $t$ .  
 $x$  : abscisse le long de la rivière, dirigée vers l'aval, avec origine à la station amont.  
 $t$  : temps  
 $I(t)$  : une réponse impulsionnelle d'expression suivante :

$$I(t) = \frac{x}{t} \cdot \frac{1}{\sqrt{4 \pi D t}} \exp\left(-\left(\frac{x - Vt}{2\sqrt{Dt}}\right)^2\right) \quad (2)$$

avec :

$$D = \frac{1}{2} \frac{Q}{LJ} : \text{coefficient de diffusion de l'onde de crue}$$

$$V = \frac{1}{L} \frac{\delta Q}{\delta H} : \text{célérité de l'onde de crue}$$

$L$  : largeur du miroir  
 $H$  : cote de la surface libre  
 $J$  : pente de la ligne de charge

Les valeurs de  $D$  et de  $V$  peuvent être déduites des courbes d'étalonnage des biefs, des relations largeur/débit et de la pente de la ligne d'eau que l'on suppose égales à la pente du fond.

Les valeurs varient donc suivant les conditions d'écoulement.

L'allure en cloche des courbes de réponse impulsionnelle (2) nous autorise à considérer des dates de début et de fin  $T_1$  et  $T_2$ , définies par les équations (3), telles que les débits passant à l'amont entre les temps  $t - T_2$  et  $t - T_1$  contribuent presque exclusivement à eux seuls à la valeur de l'intégrale (1).

Pour l'estimation du débit à l'aval à l'instant  $t$ , on a admis qu'il fallait prendre la réponse impulsionnelle correspondant, par l'intermédiaire de  $V$  et  $D$ , au débit moyen observé à l'amont entre les temps  $t - T_2$  et  $t - T_1$ . On résoud donc le système d'équations suivant en  $T_1$  et  $T_2$  :

$$(4) \quad \begin{cases} \int_0^{T_1} I(t, \bar{Q}) dt = \int_{T_2}^{\infty} I(t, \bar{Q}) dt = \varepsilon \\ \bar{Q} = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{t-T_2}^{t-T_1} Q(0,t) dt \end{cases} \quad (3)$$

Avec  $\varepsilon$  fixé égal à 0,05 ou 0,1.

Dans la pratique, si  $T_m$  est la date du dernier débit connu à l'amont, on commence alors par extrapoler les débits de l'amont de  $T_m$  jusqu'à la date  $t$  pour laquelle on souhaite la prévision pour l'aval.

On résoud alors le système (4) qui nous donne l'expression et les dates de début  $T_1$  et de fin  $T_2$  de la réponse impulsionnelle permettant le calcul du débit aval à l'instant  $t$ .

On examine alors si la part des débits amont extrapolés n'est pas trop importante dans le calcul du débit aval à l'instant  $t$ .

$$\text{Si } \int_{t-T_2}^{t-T_1} Q(u) \cdot k(t-u) du < 0,1 \quad \left. \vphantom{\int} \right\} \text{ alors le résultat est valable}$$

$$\text{Si } \int_{T_m}^{t-T_1} Q(u) \cdot k(t-du) > 0,1 \quad \left. \vphantom{\int} \right\} \text{ alors le résultat n'est pas valable et on passe à la procédure suivante s'il y en a.}$$

Quand le débit résultant de la propagation à partir de l'amont a pu être calculé, on effectue une correction pour tenir compte des apports intermédiaires non contrôlés de la façon suivante :

1er cas : le bief aval est équipé d'un limnigraphe télétransmetteur.

Si on note :

$Q_o$  le débit connu à l'aval  
 $Q_p$  le débit aval résultant de la propagation des débits de la station amont (calcul fait ci-dessus)  
 $Q_{prev}$  le débit prévu à l'aval  
 $t$  la date de la prévision  
 $T$  la date origine de la prévision, correspondant au dernier débit aval connu (avec extrapolation d'une heure).

alors on prend :  $Q_{prev}(t) = Q_o(T) + Q_p(t) - Q_p(T)$

2ème cas : le bief aval n'est pas équipé de limnigraphe télétransmetteur.

Si on note :

$Q_p$  le débit aval résultant de la propagation de l'amont  
 $Q_{prev}$  débit prévu à l'aval  
 $t$  la date de la prévision  
 $S_{am}$  Superficie du bassin versant à la station amont

$S_{av}$  Superficie du bassin versant au bief aval

alors on prend :  $Q_{prev}(t) = Q_p(t) \cdot S_{av}/S_{am}$ .

L'avantage de ce modèle de propagation est qu'il nécessite la connaissance de très peu de paramètres, qui sont accessibles soit à partir d'une carte topographique soit à partir d'une série de jaugeages réalisés sur une section représentative du bief :

Q (H) courbe d'étalonnage  
L (Q) largeur du miroir  
J pente du lit  
X distance de la station amont.

Le calage se fait en jouant sur les paramètres L et J. Les prévisions sont faites à un horizon de 12 heures maximum et le pas de temps utilisé dans les calculs est d'une heure.

b) Modèle autoregressif (testé sur le réseau pilote du nord Togo).

On l'utilise pour des biefs équipés de limnigraphes télétransmetteurs, et pour lesquels on ne dispose pas de données de l'amont.

Le schéma retenu est du type arithmétique :

$$P(t + D) = C_0 \cdot Q(t) + C_1 \cdot Q(t - t_1) + C_2 \cdot Q(t - t_2) + C_3$$

avec :

P débit prévu  
D horizon de prévision  
t date du dernier débit connu  
 $t_1, t_2, C_0, C_1, C_2, C_3$  constantes.

Lors de l'étude du réseau pilote,  $t_1$  et  $t_2$  étaient pris égaux respectivement à 1 et 2 heures pour des bassins versants inférieurs à 7 000 km<sup>2</sup>, et à 2 et 4 heures pour un bassin de 30 000 km<sup>2</sup>.

Les coefficients  $C_0, C_1, C_2, C_3$  étaient déterminés par une régression au sens des moindres carrés, minimisant ainsi la somme des écarts. On voit que ce critère seul ne permet pas d'éviter de grosses erreurs relatives sur les faibles débits dès que ceux-ci sont d'un ordre de grandeur inférieur à celui du coefficient  $C_3$  obtenu. C'est pourquoi nous imposons la contrainte :  $C_3 = 0$ .

En outre nous imposons également la contrainte :  $C_0 + C_1 + C_2 = 1$  afin qu'en cas de débit constant on ne risque pas de prévoir un débit différent. Compte tenu des deux contraintes imposées, le critère des moindres carrés conduit à une expression assez simple des coefficients  $C_0, C_1$  et  $C_2$ .

Nous envisageons maintenant de ne plus limiter systématiquement à 3 le rang de l'auto-régression, ni de fixer de contrainte aux coefficients. Mais du fait que pour les dosages d'insecticide c'est plus l'erreur relative que l'erreur absolue qui compte pour les précisions de débit, et compte tenu de ce qui précède, il faudra utiliser pour la détermination des coefficients non plus le critère des moindres carrés classique mais la minimisation de la somme des carrés des écarts sur les logarithmes. Ceci peut être mis en oeuvre par optimisation numérique.

c) Modèle de décrue

En période de décrue, nous utilisons le modèle classique de décroissance exponentielle pour prévoir les débits aux stations équipées de télétransmetteurs mais aussi aux stations pour lesquelles l'on ne dispose que de quelques relevés par semaine.

## CONCLUSION

L'ensemble du réseau de balise Argos mis en place et son mode d'exploitation que nous venons de présenter devrait permettre d'éviter les surdosages importants risquant de nuire à l'environnement. Il devrait aussi permettre d'éviter les sous dosages générateurs d'échecs, inutilement coûteux et risquant, s'ils sont trop fréquents, d'isoler des couches de similies résistantes aux insecticides utilisés. Enfin, en augmentant le taux de réussite, il est envisageable de ne plus traiter systématiquement chaque bief toutes les semaines et d'adopter des stratégies moins coûteuses ...

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] "Mécanique des Fluides Appliquée". Cours de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Edition Eyrolle. Michel Hug.
- [2] "Guide de Prévision des Crues". Société Hydrotechnique de France.