

Télétransmission par satellite et prévision hydrologique dans le cadre de la lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest

Eric SERVAT (1) et Jean-Marc LAPETITE (1)

RÉSUMÉ

L'onchocercose, ou cécité des rivières, est une maladie endémique qui cause d'importants ravages en Afrique de l'ouest. Dans le cadre du programme de l'OMS de lutte contre ce fléau (OCP), la télétransmission par satellite est apparue comme un moyen sûr d'obtenir des données fiables concernant les débits des cours d'eau traités. Ces données sont indispensables pour permettre un calcul précis des doses d'insecticides injectés dans les rivières. Une description du matériel et de son protocole d'utilisation précèdent un premier bilan dressé tant en terme de fonctionnement du matériel proprement dit, qu'en terme d'efficacité et d'économies réalisées. On peut ainsi mettre en avant l'amélioration du rendement des traitements et la réduction des coûts de fonctionnement du programme. Un logiciel de prévision des débits à différentes échéances a été développé par l'ORSTOM à la demande de l'OCP. Ce logiciel (PERLES) est décrit au niveau de ses différentes unités fonctionnelles. Son couplage avec le système de télétransmission a permis d'accroître les performances du système. En conclusion, on met en avant l'intérêt des techniques de télétransmission dans le cadre d'une hydrologie opérationnelle (réseaux d'annonces de crues, réseaux hydrométriques).

MOTS-CLÉS: Télétransmission par satellite — Prévisions de débits — Onchocercose — Afrique de l'ouest.

ABSTRACT

SATELLITE TRANSMISSION AND FLOW FORECASTING IN CONTROL OF ONCHOCERCIASIS IN WEST AFRICA.

Onchocerciasis, or river blindness, is an endemic disease which causes great hardship in West Africa. Within the WHO programme to control this disease (OCP), reliable data on river flows have been obtained by using remote satellite transmission. These data are necessary to calculate how much insecticide should be introduced into the rivers. A description of the equipment and its use is followed by an initial report covering the functioning of the equipment, its efficiency and the economies attained. The improvement in the resulting treatment and the reduction in the running costs of the programme are discussed. Software for forecasting river flows over different time intervals was developed by ORSTOM at the request of the OCP. The different functions of this software (PERLES) are described. In conclusion, the advantages of remote transmission techniques for operational hydrology in general are discussed (flood warning systems, hydrological networks, etc.)

KEY WORDS: Satellite transmission — Flow forecasting — Onchocerciasis — West Africa.

1. INTRODUCTION

L'onchocercose, encore appelée cécité des rivières, est transmise à l'homme par la similie (*Simulium damnosum*). Cette petite mouche inocule, par sa piqûre, des filaires dont l'action sur l'organisme humain entraîne, à terme, la cécité.

En Afrique occidentale, et plus particulièrement en zone de savane, la maladie existe à l'état endémique. Les populations en sont généralement réduites à abandonner les zones infestées, alors qu'elles sont souvent les plus fertiles car situées en bordure de rivières. Les larves de similies se développent, en effet, dans les cours d'eau, lorsque la vitesse du courant y est suffisante.

(1) Hydrologie ORSTOM, Antenne hydrologique de l'ORSTOM, 06 BP 1203, Cedex 1 Abidjan 06, Côte-d'Ivoire.

Depuis 1964, l'Organisation Mondiale de la Santé a lancé un important programme de lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'ouest, OCP (Onchocerciasis Control Program), qui couvre tout ou partie de onze états (Niger, Bénin, Togo, Ghana, Côte-d'Ivoire, Burkina Faso, Mali, Guinée, Sierra Leone, Guinée Bissau, Sénégal) (cf. fig. 1).

L'objectif visé par OCP est l'interruption de la transmission de la maladie par la destruction des larves de simuliés, au moyen d'épandages d'insecticides dans les cours d'eau. Les équipes de prospecteurs d'OCP relevaient les hauteurs d'eau aux échelles de crues des stations hydrométriques durant leurs tournées hebdomadaires. Ces relevés, transmis aux bases de traitement, étaient utilisés pour calculer les doses d'insecticides à injecter dans les rivières au cours d'épandages effectués par avion ou par hélicoptère la semaine suivante.

Bien que l'insecticide utilisé, à savoir l'Abate^R, tolère une marge d'erreur importante, certains inconvénients nuisaient à l'efficacité optimale du traitement, plus particulièrement en saison des pluies : faible accessibilité aux données et précision des dosages insuffisante en cas de variation rapide des débits.

A cela sont venus s'ajouter des cas de résistance à l'Abate^R qui ont conduit OCP à utiliser, depuis 1985, de nouveaux produits dont l'emploi est plus contraignant (faible portée, impact accru sur l'environnement, spectres d'efficacité en dilution très étroits, coût élevé). Il est alors devenu indispensable d'avoir une connaissance parfaite du débit et donc de la dose d'insecticide à injecter au moment du traitement. C'est la raison pour laquelle a été mis en place un réseau de télétransmission par satellite des hauteurs d'eau enregistrées en différents points de la zone d'intervention d'OCP.

2. LE SYSTÈME DE TÉLÉTRANSMISSION UTILISÉ DANS LE CADRE D'OCP

2.1. INTÉRÊT DE LA TÉLÉTRANSMISSION

L'emploi de nouveaux insecticides aux conditions d'utilisation très strictes fait que l'efficacité de la méthode de traitement passe désormais par une bonne adéquation entre le débit propagé et le volume d'insecticide injecté dans le cours d'eau. Atteindre cette efficacité maximale signifie donc que les responsables des opérations aériennes de traitement des biefs doivent désormais travailler pratiquement en temps réel.

Au vu de l'étendue de la zone couverte par OMS/OCP, la transmission par satellite des données recueillies à partir d'enregistreurs automatiques apparaît comme un des meilleurs moyens d'atteindre cet objectif (POUYAUD et LE BARBÉ, 1987).

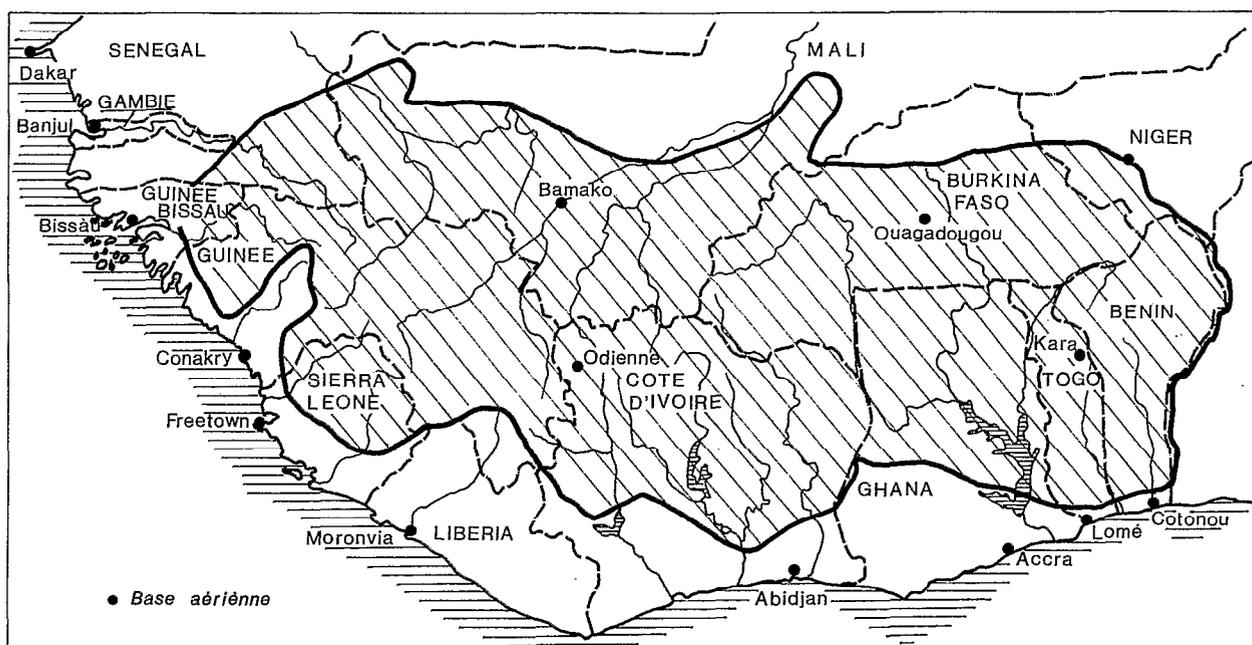


FIG. 1. — Carte de la zone couverte par le Programme OMS/OCP.

Cette technique offre, en effet, plusieurs avantages appréciables :

- un accès aux données garanti en toutes saisons ;
- une transmission des hauteurs d'eau quasiment en temps réel du fait des nombreux passages quotidiens des satellites relais ;
- des données plus fiables que les lectures d'échelles qui, elles, nécessitent plusieurs transcriptions qui sont autant de sources d'erreurs ;
- une centralisation rapide et simple des données par l'intermédiaire des stations de réception directe qui équipent les centres d'opérations aériennes (au nombre de deux actuellement, Odienné en Côte-d'Ivoire et Kara au Togo), et dont la fonction est de recueillir les messages relayés par les satellites.

2.2. MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

2.2.1. Description du matériel

En étroite collaboration avec le laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, la société ELSYDE France a mis au point une plate-forme hydrologique appelée CHLOE. Cette plate-forme est constituée d'un système de calcul de la hauteur d'un plan d'eau par l'intermédiaire d'un capteur de pression, et d'un boîtier électronique comportant une horloge et un système de codification et d'enregistrement des données sur mémoire de masse amovible. L'ensemble du système est alimenté de façon autonome par un panneau solaire et une batterie. En collaboration avec l'ORSTOM et ELSYDE France, la société CEIS-Espace a, quant à elle, intégré à cette plate-forme hydrologique une carte ARGOS permettant le transfert de données sous forme d'un message capté par un satellite relais et centralisé au niveau des stations de réception des bases de traitements aériens.

2.2.2. Méthodologie

Installée à proximité d'un cours d'eau, la balise de télétransmission n'est, bien entendu, opérationnelle que si la courbe d'étalonnage de la section qu'elle contrôle existe. Lorsque l'emplacement retenu ne correspond pas à une station du réseau hydrométrique national, il convient donc de procéder à un étalonnage. Le capteur de pression (SPI) est alors installé dans le même plan que les échelles limnimétriques, de façon à ce qu'il soit recouvert par l'eau même au plus fort de l'étiage. Le boîtier électronique est situé au-dessus des plus hautes eaux et à une distance du SPI n'excédant pas 50 m. Les deux éléments (boîtier électronique et capteur de pression) sont reliés par un câble souple (photo 1).

A intervalles de temps réguliers et réglables, il est procédé à une mesure de pression, corrigée par la température, qui permet de calculer la hauteur du plan d'eau. En outre, le SPI peut être interrogé à tout moment en dehors des instants de mesure programmés.

L'intervalle de temps fixé entre deux mesures de cote est d'une demi-heure. Elles sont sauvegardées sur mémoire de masse, ainsi que l'heure et la date, si la variation est supérieure à ± 1 cm par rapport à la dernière mesure. Ces cartouches de mémoire ont une autonomie d'environ une année. Hormis l'aspect télétransmission, les informations qu'elles contiennent peuvent être dépouillées automatiquement sur micro-ordinateur à l'aide d'un logiciel de gestion de banque de données hydrométriques (HYDROM) développé à l'ORSTOM (RAOUS, 1987). Les mémoires de masse peuvent alors être effacées et réutilisées.

Toutes les 220 secondes, la carte ARGOS envoie, par faisceau hertzien, les valeurs des quinze dernières demi-heures. Si l'un des satellites à défilement du système ARGOS passe à ce moment là au-dessus de la balise et de la station de réception, il sert de relais au message envoyé par la balise (fig. 2).

La station de réception (SRDA), quant à elle, stocke et traite les messages au fur et à mesure de leur arrivée. Développée par CEIS-Espace, elle est dotée d'un environnement informatique de type IBM-AT (ou XT-286 ou compatible MS-DOS). Une telle station permet de gérer un parc d'une centaine de balises de télétransmission. Le logiciel de la SRDA crée et exploite différents fichiers, alimentés en temps réel à chaque passage de satellite. Grâce à un code de correction d'erreur, la station valide les messages reçus, en corrigeant, si nécessaire, des erreurs de transmission. Ces fichiers rangés et ordonnés peuvent faire l'objet d'édition, automatique pour certains paramètres ou commandée par l'opérateur pour d'autres. La station gère et affiche également un certain nombre « d'alertes » portant sur les paramètres de fonctionnement interne des plates-formes ou sur des seuils de hauteur d'eau, minimum ou maximum, fixés par l'opérateur (POUYAUD, 1987).

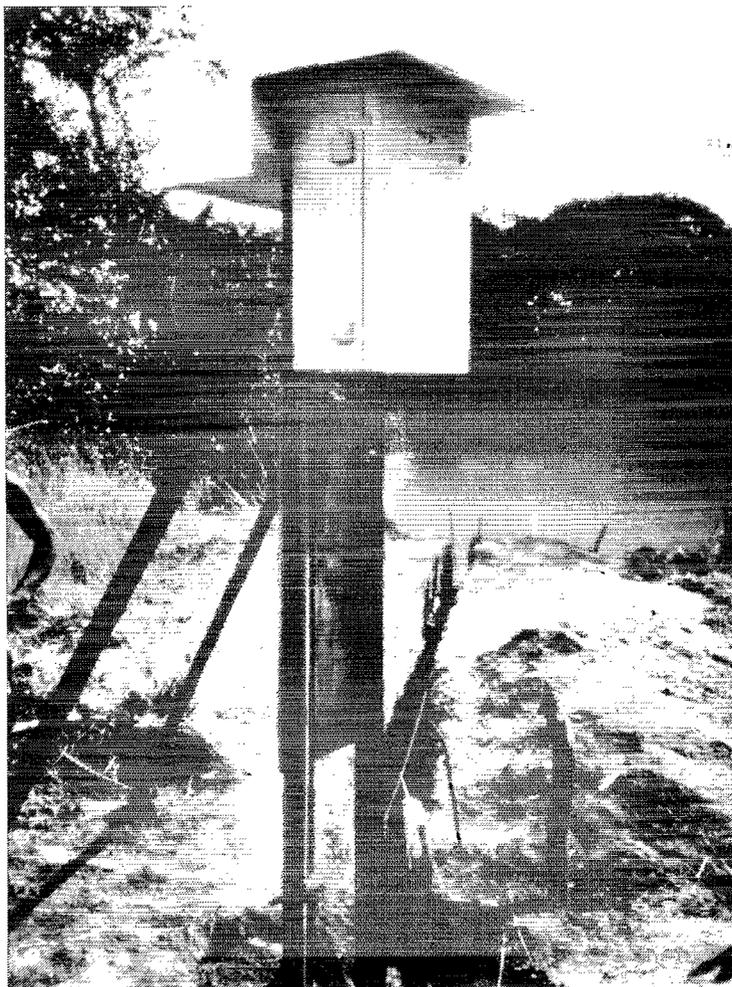


PHOTO 1

La plate-forme hydrologique et son alimentation par panneau solaire, reliée au capteur de pression, sur le Sankarani à Sanankoro, Guinée (Photo Michel GAUTIER, ORSTOM).

2.3. BILAN ACTUEL

2.3.1. *Le parc de balises*

Les conditions de vitesse du courant nécessaires au développement des larves de similies expliquent le fait qu'on les trouve principalement dans des cours d'eau de moyenne envergure ou en têtes de bassins, dans des zones où les vitesses atteintes par l'eau sont plus rapides. En conséquence de quoi, le réseau de plates-formes hydrologiques équipées de balises de télétransmission est donc plus dense sur les hauts bassins du Niger, du Sassandra, du Bandama, de la Comoé et de la Volta Noire. Actuellement, outre les quelques 80 balises du programme OMS/OCP, le réseau utilisé dans le cadre des traitements comprend une douzaine de balises du réseau Hydro-Niger.

2.3.2. *Le bilan en terme de fonctionnement*

Ces plates-formes hydrologiques comprenant l'ensemble « capteur-système de télétransmission » sont de conception très récente et susceptibles d'être perfectionnées d'un point de vue technologique. Néanmoins, après trois saisons des pluies de fonctionnement, et bien qu'il ait fallu faire face à différents types de problèmes (alimentation électrique,

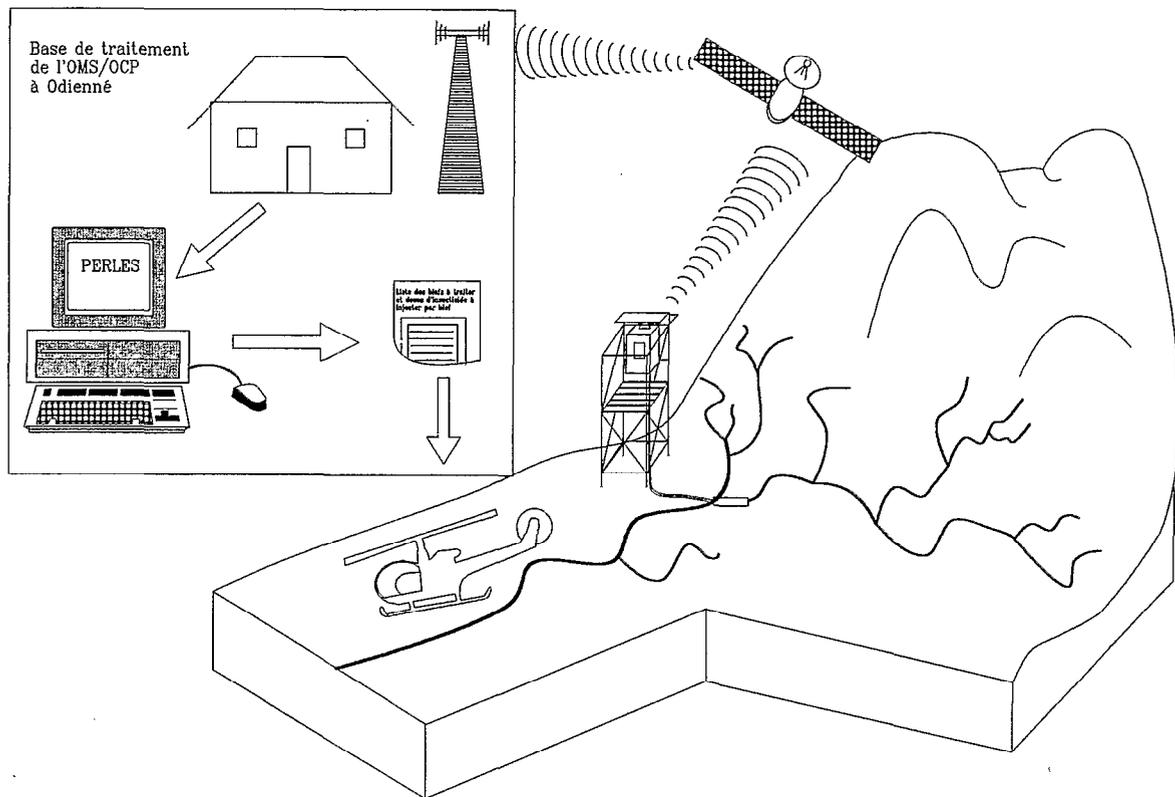


FIG. 2. — Schéma synoptique du système « mesure - télétransmission - prévision - traitement ».

cartouches, cartes électroniques, capteurs de pression) le bilan est positif. Les difficultés rencontrées sont et doivent être à l'origine de modifications ayant pour objectif d'accroître le coefficient de fiabilité de ce matériel.

En outre, l'expérience acquise durant les trois années écoulées sera très profitable, tant en ce qui concerne la conception future, que l'implantation et l'exploitation dans des conditions de fonctionnement difficiles (chaleur, humidité) de ce matériel technologiquement sophistiqué.

2.3.3. Amélioration du rendement des traitements et réduction des coûts

Avant la mise en place du protocole de traitement à partir des données télétransmises, les pilotes injectaient dans les cours d'eau des doses d'insecticides calculées à partir des lectures d'échelles de la semaine précédente. En saison des pluies, les variations de débit des rivières étant très rapides et parfois très importantes, l'adéquation « débit propagé-insecticide injecté » était souvent impossible à réaliser. L'utilisation de données hydrologiques en temps réel a permis l'obtention de dosages d'une précision rarement atteinte jusqu'alors. Hormis ce gain en efficacité des traitements, primordial pour le succès du Programme, une importante réduction de son coût a pu être obtenue. Plusieurs explications peuvent être fournies :

- un meilleur ajustement des doses d'insecticides et, donc, la diminution des coûteux surdosages ;
- des traitements plus efficaces permettant de suspendre ceux-ci pendant une semaine ou plus ;
- la suspension des traitements dans le cas de crues trop importantes.

De façon à améliorer encore l'efficacité du dispositif, l'OMS/OCP a demandé à l'ORSTOM d'élaborer un logiciel de prévision des débits en chacun des biefs de traitement, qui s'appuierait sur les données télétransmises.

3. PERLES, LOGICIEL DE PRÉVISION DE DÉBITS ASSOCIÉ AUX TECHNIQUES DE TÉLÉTRANSMISSION

3.1. OBJECTIFS

Le logiciel PERLES (Prévisions, Etalonnages, Réception, Lectures d'EchelleS), implanté sur les micro-ordinateurs de la base des opérations aériennes d'OCP à Odienné, a été conçu pour accroître encore l'efficacité du dispositif de télétransmission.

Plusieurs impératifs nous ont guidé lors de sa réalisation :

— PERLES devait être en mesure d'émettre des prévisions de débits pour l'ensemble des biefs traités, à différentes échéances de temps. A cette fin, plusieurs modèles de prévision sont utilisés qui permettent d'estimer les débits aux horizons 3, 6 et 12 heures en saison des pluies, période durant laquelle les variations de débit peuvent être très rapides. En saison sèche les cours d'eau suivent un régime de tarissement et les délais de prévision sont étendus à 1, 3, 5 et 8 jours ;

— un tel logiciel, exploitant non seulement les données transmises par les balises de télétransmission, mais aussi les relevés d'échelles limnimétriques réalisés par les équipes d'OCP, devait également inclure un gestionnaire de banque de données. PERLES permet donc de gérer et d'archiver les relevés des équipes OCP ainsi que les courbes d'étalonnages de l'ensemble des stations (échelles limnimétriques et balises) suivies dans le cadre du Programme ;

— le logiciel se devait d'être parfaitement convivial, condition *sine qua non* de son utilisation par les opérateurs OCP. PERLES se présente donc sous la forme d'une succession de menus déroulants d'un emploi très simple permettant, selon les cas, d'accéder aux différents sous-ensembles du logiciel ou de sélectionner une de ses nombreuses fonctions.

3.2. STRUCTURE

PERLES se présente en deux parties (SERVAT et LAPETITE, 1990) : la première est installée sur la station de réception proprement dite, alors que la seconde est implantée sur un micro-ordinateur relié à la station, et sur lequel se déroulent l'ensemble des calculs de prévision et des opérations de gestion (fig. 3).

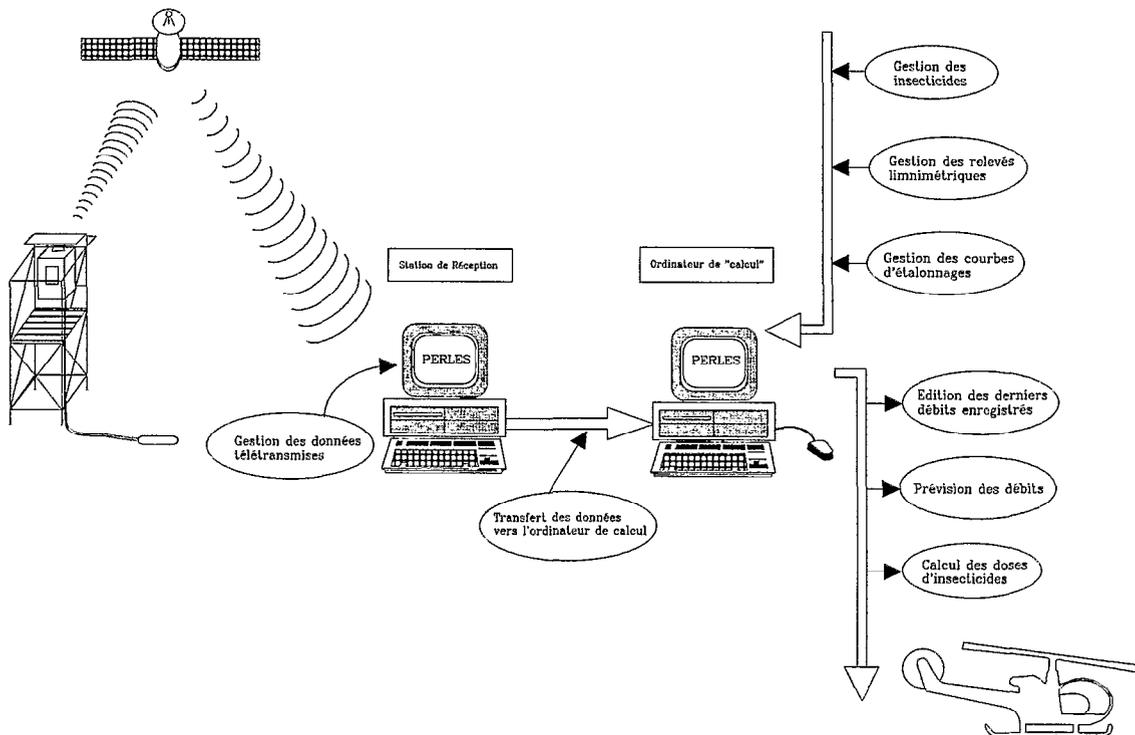


FIG. 3. — Fonctions et organisation du logiciel PERLES.

3.2.1. La station de réception

La partie du logiciel installée sur la station de réception a pour fonction d'organiser et de gérer le transfert des hauteurs d'eau, reçues via le satellite, vers le micro-ordinateur de calcul (fig. 4).

La réalisation de ces transferts est facilitée par la possibilité qu'offre PERLES de gérer des « tables de transfert » qui contiennent les numéros des balises ARGOS à prendre en compte. Lors de chaque opération de transfert de données, préalable à la phase de réalisation des calculs, et pour toutes les balises concernées, la date est mémorisée. Cela permet de ne transférer, à chaque fois, que les hauteurs d'eau postérieures à la date du dernier transfert effectué et de satisfaire ainsi une des principales contraintes, à savoir : économiser le temps, précieux dans le cadre d'une structure opérationnelle du type des bases d'opérations aériennes.

3.2.2. Le micro-ordinateur de calcul

La seconde partie du logiciel PERLES est installée sur le micro-ordinateur où sont effectués les calculs (fig. 5). Plusieurs fonctions y sont identifiées, que l'on peut séparer en deux groupes.

L'accès au premier groupe de fonctions est libre pour tout utilisateur de PERLES. Il comprend : la réception des données, la gestion des étalonnages des stations de référence et celle de la banque de données hydrométriques, le calcul et l'édition des prévisions de débits et des doses d'insecticide correspondantes pour les différents biefs à traiter. L'ensemble des opérations s'effectue par sélections successives à partir de menus déroulants.

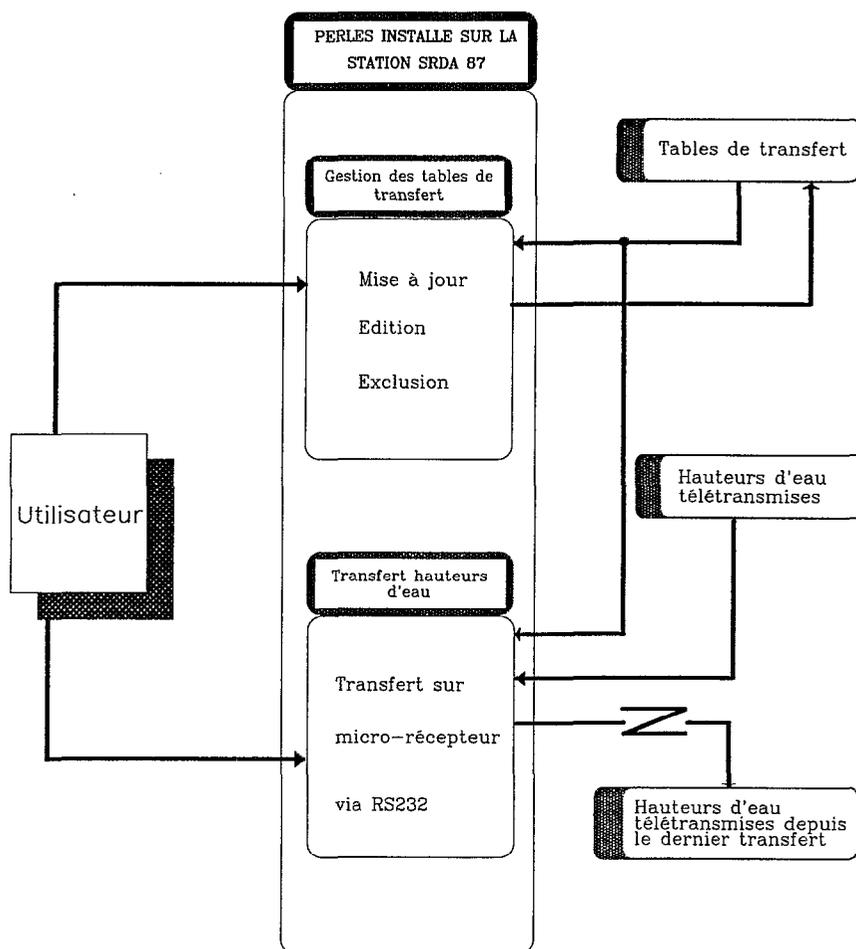


FIG. 4. — Schéma fonctionnel de PERLES installé sur la station de réception (SRDA).

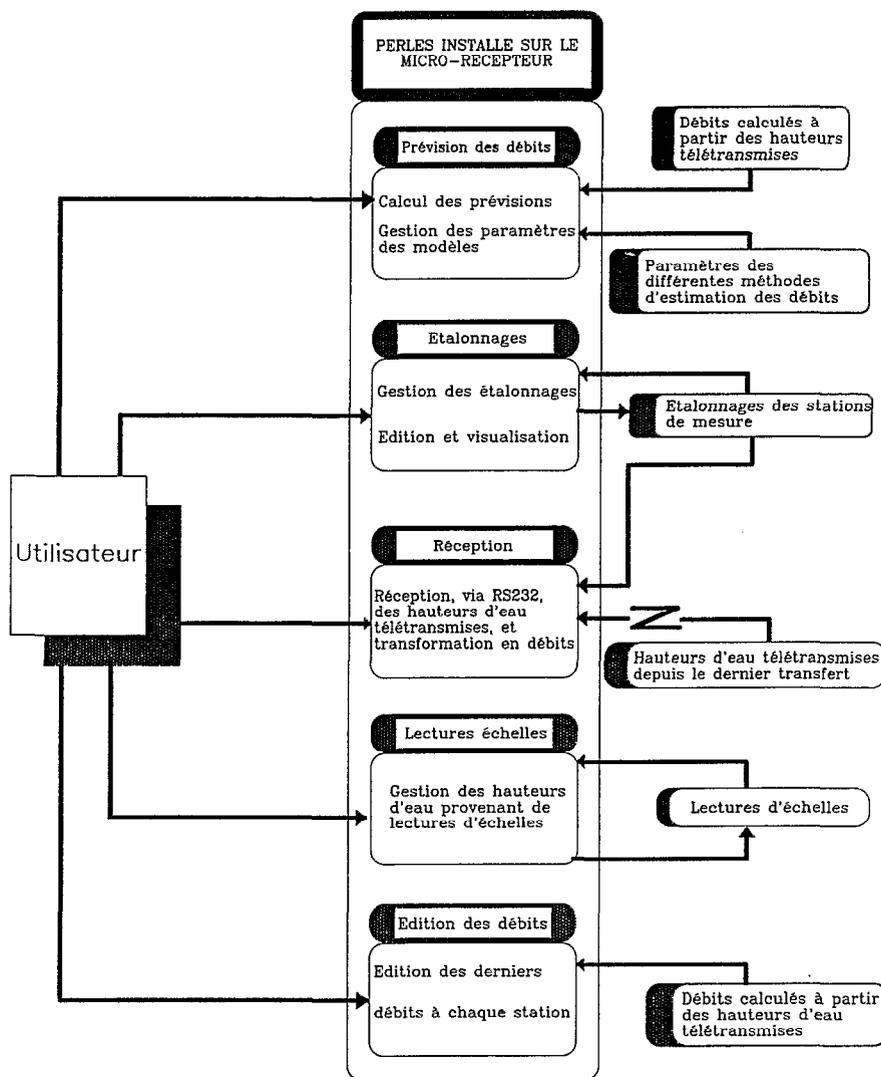


FIG. 5. — Schéma fonctionnel de PERLES installé sur le micro-ordinateur de calcul.

Le deuxième groupe de fonctions n'est accessible qu'aux hydrologues chargés du calage des modèles utilisés pour émettre les prévisions. Pour chacun des biefs concernés, on définit donc une gestion des paramètres qui lui sont propres. Ces paramètres comprennent, non seulement les coefficients des différents modèles utilisés, mais aussi les coefficients de priorité qui leur sont attribués.

En effet, le logiciel gère, pour chaque bief, des priorités d'utilisation des méthodes de prévision. Celles-ci sont actuellement au nombre de cinq : modèle de propagation basé sur la méthode d'Hayami (VEN TE CHOW, 1959 ; QUIVEY et KEEFER, 1974), modèle auto-régressif, corrélation « balise de télétransmission-échelle limnimétrique », méthode empirique propre à OCP et modèle de tarissement. Chacune de ces méthodes nécessite des informations qui lui sont propres et, selon les cas, elle peut ou ne peut pas être appliquée. Nous avons donc défini pour chaque bief un ordre préférentiel d'utilisation de ces techniques de prévision. Si la méthode qui s'est révélée la mieux adaptée et la plus précise ne peut pas être utilisée (pour cause d'absence des données nécessaires, par exemple), on passe à la suivante et ainsi de suite. Ce processus nous permet d'être en mesure de faire une estimation du débit qui transite dans un bief dans environ 90 % des cas, quoi qu'il advienne.

3.2.3. Méthodes employées

Les méthodes de prévision employées dans ce logiciel sont simples et robustes, et bien connues des hydrologues. L'originalité du logiciel ayant trait, comme nous l'avons signalé, non pas aux méthodes utilisées proprement dites, mais à leur emploi en cascade et selon des priorités définies au préalable si nécessaire.

— Le modèle d'onde de crue diffusante est utilisé prioritairement chaque fois que cela est possible. Il consiste à négliger les termes d'inertie dans les équations de Barré de Saint-Venant. La propagation des crues obéit alors à l'équation différentielle suivante :

$$\delta Q / \delta t + C \delta Q / \delta x - D \delta^2 Q / \delta x^2 = 0 \quad (1)$$

avec : Q : débit,
C : célérité de l'onde de crue,
D : coefficient de diffusion de l'onde de crue,
x : abscisse,
t : temps.

Si C et D peuvent être considérés comme invariants, la solution de l'équation s'exprime sous forme d'un produit de convolution, ainsi que l'a montré Hayami (VEN TE CHOW, 1959) :

$$Q_x(t) = \int_0^t Q_0(u) K_x(t-u) du \quad (2)$$

avec K, noyau de convolution :

$$K_x(t) = (x / (2t^{3/2} \sqrt{\pi D})) \exp[-((x - Ct) / (2\sqrt{Dt}))^2] \quad (3)$$

En règle générale, les rivières traitées par l'OCP sont telles que les vitesses de propagation de crues sont très différentes selon le remplissage du lit. Certains aménagements ont donc dû être apportés à la méthode. En particulier les valeurs de C et D, qui ne peuvent être considérées comme constantes, sont recalculées dans chacun des cas. Cela permet d'utiliser un noyau de convolution approprié à chacune des crues traitées (BADER *et al.*, 1988 ; LE BARBÉ et BADER, 1988).

— Les modèles auto-régressifs sont utilisés sur les biefs équipés de balises de télétransmission. Les équations d'auto-régression sont déterminées à l'aide d'une méthode de régression progressive, le « Stepwise » (DRAPER et SMITH, 1981). Elles ont pour forme générale :

$$Q(t_0 + H) = A_0 + A_1 Q(t_0) + A_2 Q(t_0 - 1) + \dots + A_{n+1} Q(t_0 - n) \quad (4)$$

avec : Q(t) : débit au temps t,
t₀ : date origine de la prévision,
H : horizon de la prévision (ici 3, 6 ou 12 heures)
A₀, ..., A_{n+1} : coefficients de l'équation.

— Les corrélations entre balises et échelles permettent d'affiner l'estimation des débits pour des biefs sur lesquels on ne dispose que d'une lecture hebdomadaire d'échelle limnimétrique.

— Les relations empiriques, utilisées en derniers recours, associent les débits de différents cours d'eau dans la détermination du débit d'un bief donné. Ces relations résultent des années d'observation et de la parfaite connaissance du terrain des responsables locaux d'OCP.

— Le modèle de tarissement employé en saison sèche, période pendant laquelle les pluies sur la zone traitée sont nulles ou rares (et dans ce cas généralement très faibles), consiste en une fonction exponentielle décroissante dont la formulation est :

$$Q(t_0 + H) = Q(t_0) \exp(-\alpha H) \quad (5)$$

avec : Q(t) : débit au temps t,
t₀ : date origine de la prévision
H : horizon de la prévision (ici 1, 3, 5 ou 8 jours),
α : coefficient de tarissement.

L'ensemble de ces modèles constitue le cœur de la partie « Prévisions » du logiciel. Le schéma fonctionnel complet en est représenté sur la figure 6.

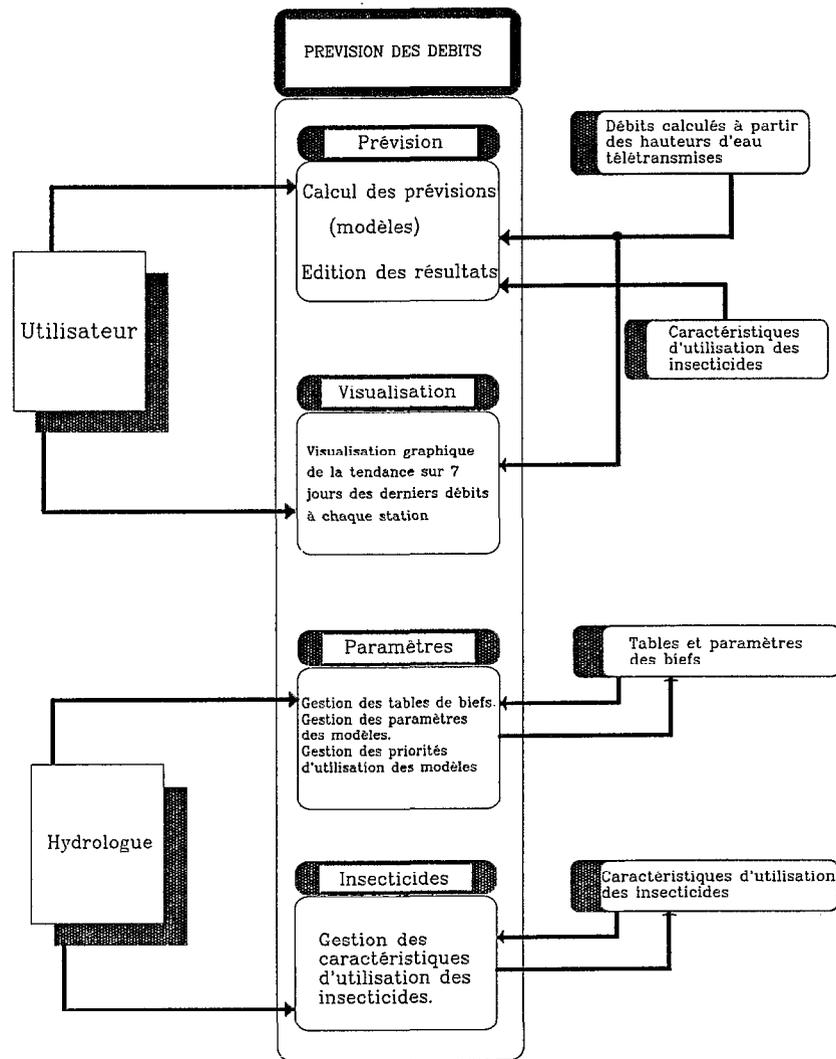


FIG. 6. — Schéma fonctionnel de la partie « Prévisions » du logiciel PERLES.

Les valeurs de débit calculées à différents horizons peuvent ensuite être reprises comme variables d'entrées d'un logiciel développé par ailleurs. Celui-ci a pour objectif l'optimisation des circuits de traitement sous l'angle de la gestion des heures de vol et des points de ravitaillement en carburant et en insecticide.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le logiciel PERLES constitue un ensemble très complet. C'est non seulement un outil convivial de prévision des débits et de calcul des doses d'insecticide, mais aussi un gestionnaire de banque de données limnimétriques.

Son organisation modulaire (fig. 4, 5 et 6) permet toutes les modifications possibles dont, notamment, l'introduction de modèles de prévision différents si le besoin s'en faisait sentir.

L'utilisation de ce logiciel conduit à une importante économie de temps puisque, pour une table de traitement moyenne (soit une dizaine de balises et une soixantaine de biefs), il faut compter moins d'un quart d'heure, du transfert des données de la station de réception à l'édition des résultats.

Ce qui se révèle parfaitement compatible avec les impératifs horaires quotidiens de briefing des pilotes et de début des opérations de traitement.

Par ailleurs, l'équipement du réseau hydrographique de la zone couverte par OCP, en balises de télétransmission par satellite, a permis de passer d'une gestion hebdomadaire à une gestion qui se fait pratiquement en temps réel.

Le couplage de PERLES avec ce système ARGOS a permis d'accroître encore l'efficacité du dispositif en automatisant des prévisions à différentes échéances. On obtient alors une bonne adéquation entre les doses d'insecticide injectées dans les cours d'eau et les débits propagés. Cet ensemble « plate-forme hydrologique - télétransmission - PERLES » permet ainsi des améliorations importantes au niveau du programme OCP :

— il évite les sous-dosages, générateurs d'échecs, et risquant à terme d'isoler des souches de simuliés résistantes aux insecticides utilisés ;

— il évite les sur-dosages importants, inutilement coûteux, et qui peuvent avoir des conséquences nuisibles sur l'environnement ;

— il augmente le taux de réussite et permet donc d'envisager une suspension momentanée des traitements pour certains biefs, autorisant par là l'adoption de stratégies moins coûteuses.

Hormis le cas particulier du programme de lutte contre l'onchocercose, la télétransmission par satellite offre de nombreuses perspectives et se présente comme une technique d'avenir en hydrologie. Elle devrait trouver sa pleine utilisation dans le cas de réseaux d'annonces de crues sur de grands bassins versants. Cependant son intérêt dans le cadre de la rationalisation de la gestion d'un réseau hydrométrique national est évident. Les plates-formes hydrologiques sont, en particulier, à même de transmettre certains paramètres propres à leur fonctionnement. Elles réalisent par là une certaine forme d'autosurveillance qui peut réduire considérablement les coûts de fonctionnement des réseaux en diminuant le nombre de tournées d'entretien et en permettant de mieux les cibler (POUYAUD, 1988).

Ces avantages rendent la télétransmission par satellite encore plus attractive pour les pays en voie de développement de la zone intertropicale, dans lesquels les voies d'accès aux stations sont parfois impraticables et où, localement, les conditions de suivi peuvent se révéler insuffisantes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs remerciements à Jean-Claude BADER et Jean-François BOYER pour leur contribution au développement du logiciel PERLES.

BIBLIOGRAPHIE

- BADER (J.C.), LE BARBÉ (L.), SERVAT (E.), 1988. — Télétransmission des données hydrologiques dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose. Proceedings of the Sahel Forum on the State of the Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi-Arid Areas of Africa. Ouagadougou, Burkina Faso, Novembre 1988. Edited by Misganaw Demissie and Glenn E. Stout : IWRA, Urbana, Illinois.
- LE BARBÉ (L.), BADER (J.C.), 1988. — Utilisation du système ARGOS par le programme de lutte contre l'onchocercose. Le réseau expérimental du Nord-Togo. *Hydrol. continent.*, vol. 3, n° 1, 1988 : 25-40. Editions de l'ORSTOM, Paris.
- DRAPER (N.R.), SMITH (H.), 1981. — Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons, New York, 709 pp.
- POUYAUD (B.), 1987. — Présentation de la station de réception directe ARGOS et de son logiciel. Troisièmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. 23-24 septembre 1987. *Colloques et Séminaires*. Editions de l'ORSTOM, Paris.
- POUYAUD (B.), 1988. — Réseaux hydrologiques, banques de données informatisées et télétransmission. Proceedings of the Sahel Forum on the State of the Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi-Arid Areas of Africa. Ouagadougou, Burkina Faso, Novembre 1988. Edited by Misganaw Demissie and Glenn E. Stout : IWRA, Urbana, Illinois.
- POUYAUD (B.), LE BARBÉ (L.), 1987. — Onchocercose, Hydrologie et Télétransmission. Water for the Future : Hydrology in Perspective. Proceedings of Rome Symposium, April 1987. IAHS, Publ. 164.
- QUIVEY (M.C.), KEEFER (J.), 1974. — Simple method for predicting dispersion in streams. *J. Environmental Engineering Division*, ASCE.
- RAOUS (P.), 1987. — La gestion des données hydrologiques à l'ORSTOM. Troisièmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. 23-24 septembre 1987. *Colloques et Séminaires*. Editions de l'ORSTOM, Paris.
- SERVAT (E.), LAPETITE (J.M.), 1990. — PERLES, Guide de l'utilisateur. OMS, Programme OCP. ORSTOM, Département Eaux Continentales. *multigr.*
- WEN TE CHOW, 1959. — Open channel hydraulics. McGraw Hill, New York. 680 pp.