

ORSTOM
Laboratoire d'Hydrologie

**LA TELETRANSMISSION SATELLITAIRE :
UNE METHODE DE GESTION PLUS ECONOMIQUE DES RESEAUX HYDROLOGIQUES
DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT**

B. POUYAUD
Directeur de Recherche
de l'ORSTOM

L. LE BARBE
Ingénieur d'étude
de l'ORSTOM

Montpellier, Avril 1987

LA TELETRANSMISSION SATELLITAIRE : UNE METHODE DE GESTION PLUS ECONOMIQUE DES RESEAUX HYDROLOGIQUES DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

INTRODUCTION

Les compétences des hydrologues de l'ORSTOM en matière de gestion de réseaux hydrologiques et de télétransmission satellitaire, compte tenu des matériels nouveaux développés récemment, ont déjà été présentées par ailleurs et divers articles ont été consacrés à l'utilisation des technologies nouvelles dans les études hydrologiques dans les pays en voie de développement : peut-on faciliter et améliorer la gestion des réseaux hydrologiques par l'introduction de ces technologies nouvelles ?

La présente note s'attache à montrer que cela est non seulement possible, mais de plus rentable, ainsi que le prouvent des réseaux en cours d'installation en Afrique de l'Ouest notamment.

I RAPPEL SUR LA GESTION CLASSIQUE D'UN RESEAU HYDROLOGIQUE.

Un réseau hydrologique se compose de stations hydrométriques (et/ou pluviométriques), réparties sur l'ensemble du territoire, représentatives, en principe, de la diversité de sa géologie, de ses climats, de ses sols, avec un densité de répartition fonction de l'utilisation qui en sera faite et des ressources économiques mobilisables. Une station hydrométrique peut être équipée d'une simple batterie d'échelles limnimétriques, lues par un observateur, ou d'un appareil enregistreur, le limnigraphe, dont le capteur peut être un flotteur se déplaçant avec le niveau d'eau, ou un système pneumatique mesurant la pression de l'eau susjacente. Le support de l'enregistrement, le plus souvent une bande de papier, devra être dépouillé manuellement ou semi automatiquement, au service hydrologique centralisateur, après récupération sur le terrain.

Ces appareils, échelles limnimétriques ou limnigraphes, mesurent des hauteurs d'eau, mais la grandeur qui intéresse d'abord l'hydrologue est le débit. Il faut donc transformer les hauteurs en débits. Cela suppose d'abord l'existence d'une station hydrologiquement stable, c'est à dire au lit non perturbé par le passage des crues, la pousse d'herbier et l'envasement. Il vaut mieux aussi que la transformation entre les hauteurs et les débits soit univoque, ce qui exige l'existence d'une section de contrôle permanente. Le tarage qui permettra cette transformation hauteur-débit s'effectue à partir de mesures ponctuelles du débit de la rivière, réalisées à diverses hauteurs, que l'on nomme jaugeages.

Les travaux de terrain consistent donc en des visites régulières de toutes les stations, qui sont indispensables pour plusieurs raisons :

- contrôler le fonctionnement ou le travail des lecteurs, recueillir les données (carnet d'observation ou limnigrammes) ;
- entretenir les installations et vérifier le niveau des limnimètres ;
- effectuer les mesures de débits (jaugeages) afin de compléter et de vérifier les étalonnages.

La plupart des limnigraphes installés sont au mieux à rotation mensuelle, ou utilisés comme tel, car leur fiabilité n'est pas suffisante pour risquer des lacunes en espaçant davantage les visites. L'expérience montre en effet que le rythme mensuel est bon pour des tournées de maintenance ; ce rythme est par contre insuffisant pour espérer étalonner rapidement une station par des jaugeages bien répartis des basses aux hautes eaux : la probabilité d'arriver sur la station en même temps que la crue est très faible.

Classiquement les tournées de maintenance sont donc régulières, fréquentes (tous les mois), car rien ne permet de connaître a priori l'état des appareils et l'éventuelle nécessité d'y intervenir.

Pratiquement, les brigades sont sur le terrain trop longtemps et trop souvent pour assurer elles-mêmes le dépouillement des jaugeages et la première critique des relevés de données. Il serait pourtant important que l'homme de terrain puisse intervenir à ce niveau et corriger des erreurs flagrantes.

Tous les mois sont reçus et centralisés au service hydrologique les feuilles de jaugeages, relevés de hauteur d'eau ou limnigrammes. La plupart des services hydrologiques se sont dotés de logiciels qui leur permettent de saisir, de traiter et de critiquer ces données brutes : les résultats de jaugeages sont comparés aux courbes d'étalonnage, les limnigrammes sont représentés graphiquement et comparés à ceux des mois précédents ou à ceux des autres stations. Les anomalies sont aussitôt que possible vérifiées par les brigades sur le terrain.

En fin d'année toutes les courbes d'étalonnage sont mises à jour afin de calculer les débits écoulés à chacune des stations, ce qui servira de base à la publication d'un annuaire hydrologique, support de la diffusion aux utilisateurs des données hydrologiques.

L'archivage des données se fait au moins sous deux formes :

- l'archivage des documents écrits ;
- l'archivage informatique dans une banque de données.

Et éventuellement sous une troisième forme :

- l'archivage sous forme de microfiches.

II L'INTRODUCTION DE TECHNOLOGIES NOUVELLES DANS LA GESTION DES RESEAUX HYDROLOGIQUES

L'utilisation de logiciels performants est actuellement considérée comme faisant partie de la routine des services hydrologiques modernes, y compris dans les pays en voie de développement car elle représente souvent un raccourci intéressant dans la formation du personnel existant.

Ainsi, l'archivage informatique est réalisé dans des fichiers informatiques, constituant la banque de données hydrologiques. Le logiciel HYDROM du Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM permet de conserver sur le disque dur (40 MO) d'un micro-ordinateur toutes les données d'un pays. Il gère les fichiers suivants :

- Fichier "identification des stations" ;
- Fichier des "jaugeages" ;
- Fichier des "étalonnages" ;
- Fichier des "historiques de stations" ;
- Fichier des "cotes instantanées" ;
- Fichier des "débits instantanés" ;
- Fichier des "débits journaliers".

Des sauvegardes régulières doivent bien sûr être effectuées, mais le logiciel "HYDROM" édite aussi sur imprimante un fichier JOURNAL où sont consignées toutes les opérations effectuées.

Mais il est bien évident que de tels logiciels sont mal valorisés si leur utilisation est précédée par un dépouillement manuel des données, qu'il s'agisse du dépouillement des limnigrammes, ou même de la saisie des relevés d'observateurs.

Bien sûr, l'utilisation d'une table à digitaliser, type BENSON, permet plus de rapidité et de précision au dépouillement des bandes de limnigramme, mais il s'agit encore d'un poste gourmand en personnel très spécialisé.

Il est beaucoup plus satisfaisant pour l'esprit et économiquement rentable de pouvoir injecter l'information directement dans la chaîne informatique sous la forme acquise in situ, sans interface humaine. Des tentatives furent faites avec des bandes perforées, puis des bandes magnétiques, mais il semble bien que la vraie solution réside dans les mémoires de masse type EPROM, effaçables aux ultraviolets.

Le limnigraphe CHLOE et le pluviographe OEDIPE, réalisés par la société ELSYDE avec la collaboration scientifique et technique de l'ORSTOM, utilisent ce support très performant de la donnée.

Ainsi la donnée, brute d'enregistrement sur le terrain, peut être directement transmise via un lecteur de cartouche à la chaîne informatique pilotée par le logiciel HYDROM. Le gain de temps est évident, ainsi que la sûreté dans le transfert, exempt d'erreurs possibles, de la donnée.

Ajoutons que ce type de matériel a été doté, en ce qui concerne le limnigraphe CHLOE, d'un capteur de pression piézo-électrique "intelligent", puisque intégrant les variations de température de l'eau et de la pression atmosphérique. L'information est de plus numérisée dans le capteur, ce qui permet une liaison par câble capteur-enregistreur, aussi longue que voulue.

Ainsi l'ins-tallation est-elle grandement facilitée et il n'y a plus lieu de prendre en compte les travaux de génie civil imposant des anciens limnigraphes à flotteur, pas plus que la maintenance délicate en certains endroits des bouteilles d'air comprimé.

Ces technologies nouvelles vont donc dans le sens d'une simplification des tâches des services hydrologiques, autant pour les travaux d'installation que pour la maintenance future des installations.

III LES AVANTAGES DE LA TELETRANSMISSION DANS LA GESTION DES RESEAUX HYDROLOGIQUES

L'introduction de la télétransmission satellitaire (la seule utilisable à moindre coût dans les vastes espaces des pays en voie de développement) complète très harmonieusement les appareillages décrits aux chapitres précédents.

Nous ne décrivons pas ici dans le détail les deux systèmes de télétransmission satellitaire existants, qui ne sont d'ailleurs pas concurrents mais complémentaires : il s'agit du système METEOSAT (satellite géostationnaire, 5 à 40 W de puissance d'émission, long message de plus de 5000 bits, possibilité de vrai temps réel) et du système ARGOS (satellite à défilement, 1 à 5 W de puissance d'émission, message court de 256 bits, temps différé de 7 heures au plus). Un des principaux avantages d'un système de télétransmission des données hydrologiques est, aux côtés des mérites de la donnée en temps réel ou légèrement différé, de permettre aux équipes de terrain d'aller sur les stations uniquement quand cela est nécessaire. Pour être rentabilisé, un tel système doit être généralisé à l'ensemble du réseau. Ainsi les tournées sont décidées en connaissance de cause, soit parce qu'une station doit être révisée, soit parce qu'une cote intéressante mérite un jaugeage.

Il se pose d'abord un problème de choix du matériel..

Sur le site devront être déterminés :

- le choix du capteur. Faut-il équiper en codeur les limnigraphes à flotteur ou pneumatiques existants, ou au contraire faire le choix de nouveaux limnigraphes à capteur piézo-électrique et stockage sur cartouche EPROM ?
- sur les balises ARGOS ou METEOSAT de transmission : faut-il transmettre la seule hauteur d'eau au passage du satellite, ou au contraire composer un message en mémorisant certaines cotes précédentes ?
- les stations doivent-elles être alimentées par batteries seules ou avec panneaux solaires ?
- les équipes de surveillance doivent-elles être équipées de banc de test et de terminaux-décodeurs pour pouvoir effectuer sur le site tous les diagnostics nécessaires ?

La réception des données peut aussi être effectuée de plusieurs manières. On peut certes faire confiance aux systèmes ARGOS ou METEOSAT centraux de réception et de diffusion des données, mais il est en général préférable de disposer d'une station de réception individuelle et autonome qui recevra toutes les stations du réseau. Cette station devra être une station de 2ème génération, telle que celle développée par CEIS-Espace en collaboration avec l'ORSTOM et qui permet d'alimenter en temps réel des fichiers banque de données et conserver cette banque en mémoire plus de 20 jours. La liaison entre cette station et les micro-ordinateurs gérant la banque hydrologique informatique du service se fait automatiquement et "on line".

Ainsi est-il désormais possible de réduire au maximum l'intervention humaine entre l'acquisition de la donnée in situ, son stockage et son traitement dans la banque hydrologique informatique. Ce fonctionnement d'un réseau ainsi automatisé et informatisé est bien sur très différent de celui d'un réseau classique :

- les tournées ne sont plus faites systématiquement selon le rythme imposé par l'autonomie des enregistreurs, et on distinguera deux type de tournées :
 - Les tournées préventives
 - Il y en aura deux par an, avant et après la saison des pluies où il sera procédé à la vérification des appareils, au changement des supports d'enregistrements, au contrôle de l'état des échelles, à des jaugeages de contrôle et au nettoyage de la station.
 - Les tournées curatives ou d'intervention
 - qui auront lieu chaque fois qu'une anomalie aura été détectée par la télétransmission sur l'une de stations ou lorsqu'il y aura une cote intéressante à jauger.
- La sécurité de l'ensemble de la gestion du réseau repose évidemment sur la bonne marche de la station de réception. En cas de panne, deux palliatifs sont possibles :
 - utiliser une procédure des centres ARGOS ou METEOSAT qui peuvent transmettre l'information disponible dès qu'ils en sont informés ; cette procédure est possible dans tous les cas
 - prévoir avec les services d'Etats voisins, ou d'organisations internationales (HYDRONIGER, OMS-OCP), également équipés en télétransmission, des accords de réciprocité qui permettraient de combler les lacunes de l'un des contractants.

Ainsi se trouvent donc brossées à grands traits, les bases de la gestion d'un réseau hydrologique moderne et performant, gestion permise grâce à l'injection raisonnable de technologies modernes qui ne sont justifiables que dans la mesure où elles sont suffisamment fiables, adaptées aux contingences climatiques locales et assimilables par les personnels existants.

IV ESSAI D'EVALUATION ECONOMIQUE DU MIEUX APORTE PAR LA TELETRANSMISSION A LA GESTION DES RESEAUX HYDROLOGIQUES

La conception d'un réseau hydrologique passe par un certain nombre de choix qu'il faut définir :

- le plus important et premier critère est bien sûr le budget disponible, que peut réserver le pays à la collecte de données hydrologiques. Encore faut-il que les installations réalisées correspondent aux possibilités de maintenance du service.
- le second sera ce qu'il faut bien nommer la "rentabilité" des stations du réseau. Cette rentabilité est difficilement estimable : on peut évaluer le prix de revient d'une mesure, mais comment évaluer ses retombées économiques ?

On conçoit néanmoins qu'un réseau sera d'autant plus rentable que :

- 1) les stations qui le composent seront implantées sur des rivières et en des points où des aménagements hydrauliques sont à réaliser ;
- 2) le coût de sa gestion sera plus faible.

Pour évaluer le mieux économique apporté par la télétransmission, il nous faut donc comparer le coût de la gestion d'un réseau classique à celui d'un réseau moderne équipé en télétransmission.

IV-1 Les réseaux à télétransmission installés en Afrique .

Le plus ancien est celui d'"HYDRONIGER" dont l'installation remonte à 1984. L'objectif est une gestion hydraulique en temps réel du bassin du Niger incluant les grands ouvrages hydro-électriques et les aménagements hydro-agricoles, mais aussi l'annonce de crues et la prévision d'étiages.

L'évaluation économique de ce projet est délicate pour plusieurs raisons :

- il recouvre 8 pays dont les situations des services hydrologiques sont très disparates.
- l'état de développement de ces pays, le degré d'intégration et même de réalisation des aménagements sont très variable.
- l'adéquation des objectifs aux réalités actuelles ou prévisibles n'est pas évidente.

On peut néanmoins estimer l'apport économique de la télétransmission satellitaire en comparant son coût à celui de la télétransmission classique par réseau radio au sol. Le coût économique de la technique satellitaire est évidemment d'un ordre de grandeur inférieur à la télétransmission radio terrestre, aussi bien en coût d'installation que de fonctionnement. Cela est dû à la différence entre les puissances d'émission nécessaires qui déterminent le coût des installations qui dans un cas sont photovoltaïques et dans l'autre du type groupe électrogène avec maintenance humaine indispensable. La sécurité de la télétransmission satellitaire est aussi beaucoup plus grande. Le programme HYDRONIGER fut le premier à montrer dans ce contexte géographique et socio-culturel tous les avantages de la télétransmission satellitaire.

Le deuxième exemple d'installation réussie d'un réseau hydrologique à télétransmission est celui d' OCP en Afrique de l'Ouest. Le contrôle et l'éradication de l'onchocercose nécessite la connaissance des débits des rivières, là où vivent les larves de la mouche vecteur, la similie ; des injections dosées d'insecticides détruiront in situ ces larves, mais il ne doit y avoir, ni sous-dosage (apparition de résistances entomologiques) ni surdosage (danger pour les populations non cibles et les riverains humains).

Une étude pilote (LE BARBE, 1985) sur un mini réseau du bassin de la KARA (affluent de l'OTI au Nord TOGO) a montré le bénéfice en coût et efficacité qu'apporterait le système de transmission ARGOS au programme OCP, s'il était étendu à son ensemble :

- en 1985 l'économie réalisée sur les épandages d'insecticide en 6 stations grâce à la télétransmission a atteint 2.000.000 F. CFA par an pour une station selon une estimation faite à partir des épandages des années précédentes.
- le surcoût supplémentaire (maintenance et exploitation du réseau) ne dépasse pas 1.000.000 F. CFA par station et par an.

On peut donc considérer que l'on obtient un gain de 1.000.000 F.CFA par station et par an, chiffre à comparer aux investissements qui s'élèvent à 3.500.000 F. CFA pour une station à créer entièrement et à 2.000.000 F. CFA pour une station à transformer.

Ces résultats de 85 ont conduit l'OCP à lancer l'installation d'un vaste réseau d'une centaine de stations hydrologiques sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, dont il escompte l'amortissement en deux campagnes annuelles. En effet, l'isolement des zones de l'extension ouest du programme, fait qu'il serait illusoire, sans télétransmission, de vouloir économiquement entretenir ces stations et les étalonner, ce qui explique la rapidité de l'amortissement prévu, confirmé par les campagnes de 1986.

IV-2 La télétransmission satellitaire, une aide à la gestion d'un réseau hydrologique classique

La rentabilité de la télétransmission justifiée et prouvée dans des applications particulières, il importe maintenant de la démontrer aussi dans la gestion classique d'un réseau hydrologique national.

Cette étude a été faite par LE BARBE (1986) dans le cas du réseau de la République Populaire du BENIN dans le cadre d'une convention avec le FAC de financement de la rentabilisation du réseau hydraulique du BENIN.

Nous avons repris ci-dessous dans cet exemple précis les budgets de fonctionnement hors salaire des personnels du réseau classique (Tableau A) et du réseau avec télétransmission (Tableau B).

BUDGET ANNUEL DU RESEAU - Récapitulatif (en F. CFA)

		<u>Amortissement</u>	<u>Fonctionnement</u>
A	Frais de tournées	4 504 450	5 006 764
B	Bureaux de COTONOU	300 000	2 800 000
C	Bureaux de PARAKOU	-	5 390 000
D	Matériel implanté sur les stations	1 025 000	300 000
E	Lecteur d'échelles	-	900 000
F	Edition des annuaires	-	700 000
G	Imprévus	-	1 000 000
		<hr/>	<hr/>
		5 829 450	11 096 764

TOTAL : 16 926 217 F CFA

ARRONDI à 17 000 000 F. CFA

**BUDGET ANNUEL DU RESEAU (avec ARGOS)
Récapitulatif (en F. CFA)**

		<u>Amortissement</u>	<u>Fonctionnement</u>
A	Frais de tournées	2 306 550	2 381 126
B	Bureaux de COTONOU	300 000	3 400 000
C	Bureaux de PARAKOU	-	390 000
D	Matériel implanté sur les stations	1 025 000	1 878 125
E	Lecteur d'échelles	-	0
F	Edition des annuaires	-	700 000
G	Imprévus	-	1 000 000
		<hr/>	<hr/>
		3 631 550	9 749 251

TOTAL : 12 380 801 F CFA

ARRONDI à 13 400 000 F. CFA

Nous fournissons aussi le tableau C où sont rassemblés les investissements nécessaires à l'équipement en télétransmission ARGOS

11	plateformes hydrologiques type OMS (86)	42 900 000
4	équipements pour limnigraphes à flotteurs (balise + codeur + guérites)	11 000 000
1	terminal d'initialisation pour les plateformes hydrologiques type OMS 86	2 200 000
1	banc de test	2 400 000
1	Modification de la station de réception	5 500 000
20	mouvements d'horlogerie OTT (réf. 950 001) permettant une autonomie d'un an des limnigraphes à flotteurs	1 200 000

Soit un TOTAL de 61 300 000 F. CFA

La comparaison de ces budgets montre sur cet exemple que l'implantation de la télétransmission permettrait de réduire de plus de la moitié le chapitre frais de tournées et de supprimer celui des lecteurs d'échelles.

En revanche, il entraîne des frais supplémentaires, tels que l'abonnement au système ARGOS, les contrats de maintenance et une majoration des frais de téléphone.

Bien sûr, l'investissement est important et beaucoup plus long à amortir que dans un cas particulier comme celui d'OCP. A cela il faut dire que cet investissement est réalisé par un financement extérieur, du même ordre de grandeur que celui qui aurait été rendu nécessaire par la réhabilitation d'un réseau hydrologique en matériel classique ou à peine supérieur.

Même dans ces conditions la rentabilité d'un réseau équipé de télétransmission paraît confirmée, et le serait encore plus si l'on faisait intervenir des paramètres plus subjectifs, tels que l'intérêt de la connaissance en temps réel de certaines données hydrologiques pour l'économie d'un pays, ou encore le gain en motivation du personnel qui pourra voir "vivre" le réseau hydrologique.

Dans l'avenir l'évolution de cette rentabilité devrait être favorable puisque les coûts de tournée iront croissant à l'inverse des coûts du matériel de télétransmission.

Ainsi, pour évaluer la rentabilité de ces investissements, il faudrait tenir compte à la fois :

- des économies réalisées dans le budget annuel (3,6 M. CFA). Il faut cependant souligner les nombreuses incertitudes qu'il comporte : notamment sur la fréquence des visites curatives et les coûts réels d'entretien des balises. Il semblerait que nous aurions plutôt surestimé ces postes ;
- de plus, la grande disponibilité du personnel qui pourra alors se consacrer à d'autres tâches. Cela devrait, par exemple, faciliter au sein du Service Hydrologie le développement d'un secteur "étude"; ce gain a été estimé à 3 M. CFA dans le cas du service hydrologique béninois.
- de l'amélioration de la qualité des données (plus de lacunes, étalonnages corrects) et du raccourcissement entre la collecte et la diffusion de ces données. Ce gain est difficilement chiffrable.

La généralisation du système ARGOS à l'ensemble du réseau serait donc amorti en moins d'une dizaine d'années.

CONCLUSION

Nous nous sommes ainsi efforcés de donner les bases d'une justification économique de l'introduction de la télétransmission satellitaire dans la gestion d'un réseau hydrologique, en nous appuyant sur quelques exemples précis.

Beaucoup des éléments pris en compte restent évidemment subjectifs et c'est par la multiplication des expériences réalisées dans des milieux différents que pourra être vérifiée la rentabilité de tels systèmes, déjà évidente dans les pays développés.

Nous croyons qu'avec l'apparition de nouveaux produits, fruits des technologies nouvelles, qui savent rester fiables dans les conditions extrêmes des pays en voie de développement, toutes ces techniques doivent se révéler encore plus rentables dans ces pays, puisque leurs qualités intrinsèques y seront mieux utilisées et mises en valeur.

BIBLIOGRAPHIE

BILLON B., POUYAUD B. Le projet HYDRONIGER : acquisition et télétransmission des données hydrologiques. SITEF. Toulouse. Octobre 1985.

COLOMBANI J. L'électronique au service des hydrologues. 2ème Rencontres Internationales Agropolis : Eau et Technologies Avancées. Montpellier, Octobre 1986.

LE BARBE L. Propositions pour l'amélioration du réseau hydrométrique national et de son mode d'exploitation. République Populaire du BENIN. ORSTOM Montpellier, Octobre 1986.

LE BARBE L., BADER J.C. Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'Onchocercose. Projet Pilote : "Télétransmission des données hydrologiques". OMS-OCP/ORSTOM, Janvier 1986.

POUYAUD B., 1986 Peut-on faciliter et améliorer la gestion des réseaux hydrologiques grâce à l'introduction de technologies nouvelles ? Journées Techniques du 13ème Conseil des Ministres du CIEH. Brazzaville. Février 1986.

POUYAUD B., LEBARBE L. Acquisition, Transmission and Automatic real time processing of hydrometric data (WHO Onchocerciasis Control Project, West Africa). Argos Users Conference. Genève, Octobre 1986.

POUYAUD B., LEBARBE L. Acquisition et télétransmission de données hydrométriques, suivi de traitements automatiques en temps réel, dans le cadre du projet OMS de lutte contre l'Onchocercose. 2èmes Rencontres Internationales Agropolis : Eau et Technologies avancées. Montpellier, Octobre 1986.