

## **La télétransmission par satellite en hydrométrie: historique de son développement à l'Orstom de 1972 à 1994**

**J. CALLEDE**

*Orstom, CP 09747, 70001-970 Brasília, Brésil*

**M. GAUTIER**

*Orstom, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina Faso*

**Résumé** La télétransmission par satellites des données hydrométéorologiques a vu le jour en 1972 avec la possibilité d'utiliser le projet Eole. Elle a réellement débuté avec l'apparition des satellites Météosat puis Tiros-N (système Argos), en 1977-1978. Ces débuts ont été très prometteurs, l'évaluation effectuée sur le terrain au Sénégal en 1978 ayant montré tout l'intérêt de cette technique. Après cinq années de réelle improvisation, l'apparition de grands projets (Hydroniger, OMS-Onchocerose, Amazonie brésilienne, etc.) ont permis des réalisations « industrielles » qui donnent toute satisfaction. Aujourd'hui la télétransmission par satellite est un outil indispensable à la réalisation des grands projets hydrologiques. Cette technique est devenue banale pour l'hydrologie Orstom. La transmission des données en temps réel est un outil idéal pour la gestion des réseaux hydrométriques. Tout d'abord il rend possible, au jour le jour, la vérification du bon fonctionnement des stations hydrométriques. La connaissance immédiate des niveaux et des débits permettra le suivi du comportement hydrologique de la rivière. Ce qui se traduira par une meilleure qualité de la prévision des crues et des étiages, une amélioration de la gestion des ouvrages hydroélectriques, etc.

### **Satellite remote sensing in hydrometry: a history of its development at Orstom from 1972 to 1994**

**Abstract** Remote sensing of hydrometeorological data via satellites started in 1972 with the opportunity to use the Eole project. But it really made advances with the appearance of the Météosat and Tiros-N (Argos system) satellites in 1977-1978. These were promising beginnings, however the evaluation of the methodology which was undertaken in the field in Senegal in 1978 caused much more interest to be taken in this technique. After five years of improvisation, the appearance of large projects (Hydroniger, OMS-Onchocerose, Brazilian Amazonia, etc.) allowed large-scale experiments to be undertaken that showed the capabilities of satellite systems. Today, remote sensing via satellite is an indispensable tool for achievement of large hydrological projects. The use of this technique has become commonplace for hydrology at Orstom.

## **INTRODUCTION**

Gestionnaires des réseaux hydrométriques africains pendant plus de 20 années, les hydrologues de l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en

coopération (Orstom) se sont intéressés très tôt aux problèmes de télétransmission en temps réel. Mais jusque vers 1970, les seuls moyens étaient le téléphone (puis le télex) et la radiotéléphonie: ils n'étaient guère employés que pour des liaisons bien spéciales entre quelques stations (réseau radio du Service de navigation du Congo et de l'Oubangui, par exemple).

En 1970, l'apparition des satellites civils de météorologie allait ouvrir de nouvelles perspectives. En plus de leur dispositif d'observation de la Terre, ces satellites sont équipés pour la collecte de données. Ils peuvent recevoir les émissions en provenance des multiples stations au sol (mais qui devront être obligatoirement situées en visibilité optique des satellites) et les retransmettre à leurs Centres de réception. Le satellite se comporte comme un relais hertzien.

Comme la liaison sol/satellite utilise la bande des ondes métriques, la puissance nécessaire à l'émission est faible, d'environ 0,5-5 W. La durée d'émission est courte, souvent inférieure à 1 s. Suivant le genre de satellite, cette émission a lieu soit toutes les 200 s, soit toutes les 3 h. De ce fait la consommation moyenne en énergie électrique est d'environ 50 mW.

## **LA PREMIERE EXPERIMENTATION: RAPPEL DU PROJET « EOLE » ET DE SON APPLICATION A L'ORSTOM**

Le 16 août 1971, le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) lançait Eole, premier satellite météorologique français. Il était destiné à l'étude des mouvements de l'atmosphère dans l'hémisphère sud. Environ 500 ballons dériveraient en haute altitude et transmettraient leurs mesures météorologiques au satellite qui, en même temps, déterminerait leurs positions géographiques à 1 km près.

Un accident imprévu entraîne la destruction de près de la moitié de ces ballons. Ce qui conduit le CNES à réaliser, de mai 1972 à mars 1974, une expérience Post-Eole. Il est alors proposé à divers organismes — dont l'Orstom — de réaliser des expériences de localisation ou de collecte de données en profitant de la présence du satellite et des équipements au sol (électroniques de transmission) devenus disponibles.

Les hydrologues en poste au Congo et en Guyane ont ainsi bénéficié de cette offre. Ils ont réalisé les premiers tests de télétransmission par satellite, étant assurés de l'appui technique des Centres CNES de Brazzaville et de Kourou (Chartier, 1973; Molinier *et al.*, 1974) (Figs 1 et 2).

Au Congo, le cumul pluviométrique et la hauteur d'eau d'une rivière sont télétransmis. Après test en laboratoire à Brazzaville, le matériel a été installé sur le terrain, à 150 km de là.

En Guyane, seule la limnimétrie est télétransmise. Les hydrologues ont dû improviser le circuit électronique d'interface (c'est-à-dire le circuit transformant l'information des capteurs en un signal directement assimilable par l'émetteur) avec les composants disponibles à l'époque. Des difficultés sont apparues pour corriger les dérives de température.

Dans les deux cas, les données sont reçues par télex, 24 h plus tard, soit à Brazzaville soit à Cayenne.

Vingt ans plus tard, les résultats de ces deux expériences peuvent paraître techniquement bien dérisoires. Ce n'est pas vrai.

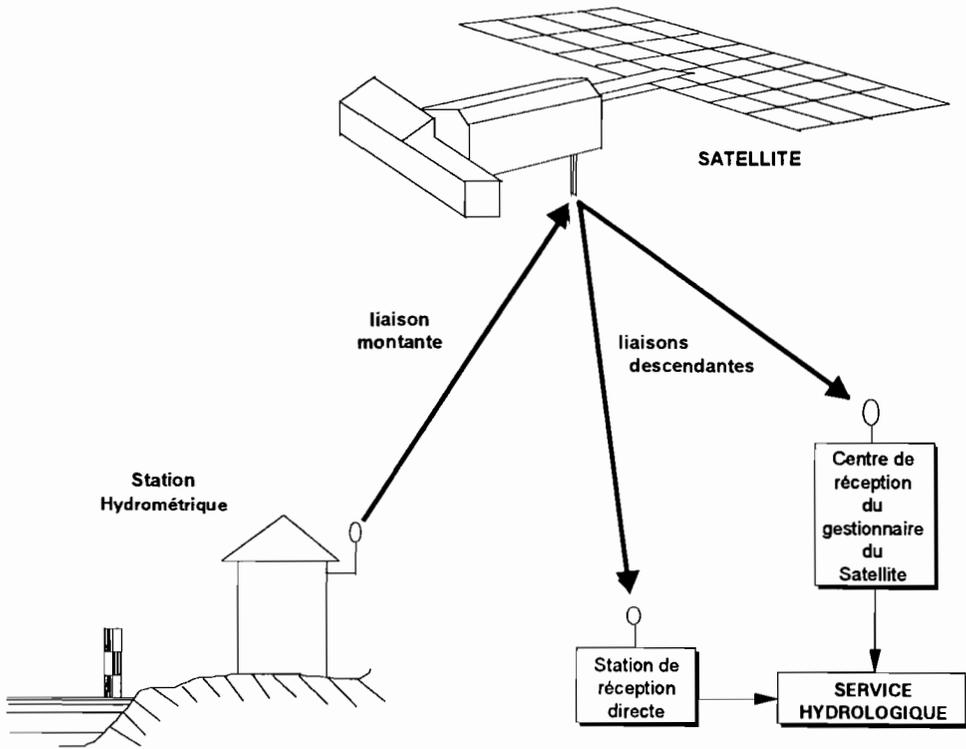


Fig. 1 Organisation de la télétransmission par satellite.

Car en tout premier lieu il a été montré que la télétransmission par satellite était une réalité. Que quelques petites modifications mineures allaient la rendre parfaitement opérationnelle à bref délai, même dans les conditions difficiles de la zone intertropicale. Son utilisation n'entraînerait que de rares travaux d'infrastructure tandis que l'alimentation en énergie électrique serait possible avec des piles ou un panneau solaire.

Déjà il apparaissait que pour les besoins de l'hydrométrie il fallait éviter à tout prix de travailler avec une information électrique analogique, trop sensible aux dérives causées par les variations de température. Il était nécessaire de transmettre directement un signal numérique binaire, pratique qui a largement été confirmé par la suite.

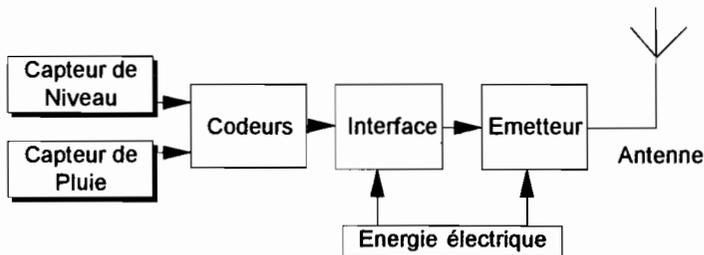


Fig. 2 Synoptique d'une station de télétransmission.

## **L'APPRENTISSAGE: LA MISSION AU QUEBEC (1977)**

Il faudra attendre 1978 pour voir, avec le système Argos, la suite du projet Eole. Mais en août 1977, un hydrologue de l'Orstom est invité à suivre, au Québec, l'installation opérationnelle des cinq premières stations hydrométriques québécoises équipées pour ce mode de télétransmission.

Cette mission se déroule dans d'excellentes conditions (Callède, 1977). Les stations à équiper sont toutes situées dans le Grand Nord québécois, aux alentours de Fort-Chimo. Totalement différentes de celles d'Afrique intertropicale, les conditions d'environnement (froid, solitude) y sont aussi sévères.

Le satellite utilisé est le géostationnaire américain GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), premier des cinq satellites qui seront déployés autour de la Terre dans le cadre du GARP (Global Atmospheric Research Programme) par l'Organisation Météorologique Mondiale. Un message est envoyé, de 3 en 3 h, vers le satellite. Le retour des données s'effectue sur Québec par télex, quelques heures plus tard.

L'installation sur le terrain n'a posé aucun problème: il était prévu 10 jours de terrain pour installer ces cinq stations mais en 3 jours le travail est terminé!

Le signal numérique binaire du codeur est retransmis sans erreur à Québec. Cette mission a permis de découvrir qu'outre-Atlantique la télétransmission par satellite des données hydrométriques était parfaitement opérationnelle en 1977. Les entreprises spécialisées en instruments de mesure ou en électronique de télétransmission avaient déjà, en catalogue, des matériels destinés à cette technique. Ces matériels, simple d'emploi, étaient avant tout conçus pour des utilisateurs n'ayant reçu aucune formation spéciale en électronique.

Elle a aussi montré les quelques difficultés dans l'emploi du satellite géostationnaire. Au Québec l'orientation de l'antenne vers le satellite peut poser quelque problème si l'on utilise une boussole, à cause de la proximité du Pôle magnétique. Mais, surtout, qu'il est nécessaire d'initialiser l'horloge qui va commander l'émission avec une grande précision: quelques secondes de tolérance seulement. Le créneau d'émission n'est que de 1 min, avec une durée de transmission d'environ 30 s et il ne faut surtout pas émettre dans les créneaux voisins. En 1977, les montres à quartz sont encore rares et chères.

## **RECHERCHE D'UNE TECHNOLOGIE EN TELETRANSMISSION: L'EXPERIENCE DE 1978 AU SENEGAL**

La suite logique à cette mission québécoise est de faire la même chose en France et en Afrique.

D'autant plus que le satellite géostationnaire Météosat, de l'Agence Spatiale Européenne (ASE) est mis sur orbite le 23 novembre 1977. C'est un des cinq satellites du GARP: il offre toutes les possibilités de collecte entrevues au Québec.

Egalement en novembre 1977, le CNES présente son système Argos, suite logique du projet Eole. La faible consommation des émetteurs au sol autorise une émission même si le satellite n'est pas en visibilité de la station terrestre. Le système Argos est prévu pour un début de fonctionnement en octobre 1978.

L'Agence Spatiale Européenne accepte de prêter, pour quelques mois, un émetteur destiné à travailler avec Météosat. De même, le CNES confie à l'Orstom un émetteur pour tester la collecte via le système Argos.

Les capteurs seront ceux utilisés le plus couramment par les hydrologues de l'Orstom (limnigraphe OTT et pluviographe Précis-Mécanique) qu'il faudra équiper de codeurs fournissant une information en numération binaire à l'interface.

Il convient de faire, comme les constructeurs américains, un matériel simple, dont la mise en oeuvre ne nécessitera aucune connaissance en électronique. Il faut également que ce matériel supporte les contraintes climatiques de la zone intertropicale. La consommation en énergie électrique devra être la plus faible possible. Et il faudra s'efforcer de faire bon marché ...

Un tour d'horizon des constructeurs français montre qu'il existe alors une fabrication de haute qualité, correspondant aux besoins de la télétransmission. Seule une adaptation aux autres éléments est nécessaire. Ce qui a été fait.

En mars 1978, tout est prêt pour commencer sur le terrain, avec bon nombre de matériels prêtés par les constructeurs (OTT, Neyrtec (aujourd'hui Hydrologic), Compagnie des Signaux et Entreprises Electriques (CSEE), etc.) qu'il convient de remercier ici.

L'expérimentation qui se fera au Sénégal où à Dakar offre des possibilités techniques certaines et les contacts avec les responsables sénégalais sont très bons.

L'expérience Météosat est réalisée à Saint-Louis du Sénégal, ville proche de Dakar, tandis que le système Argos est testé depuis Kaolack, également proche de la capitale (Callède, 1978).

L'alimentation est réalisée avec des piles sèches.

Le retour des données télétransmises s'effectue via le GTS (Global Transmission System) c'est-à-dire par le réseau mondial de transmission des informations météorologiques.

Cette évaluation durera jusqu'au second trimestre de 1979.

## **LE SEMINAIRE SUR LA TELETRANSMISSION (MAI 1979)**

Les résultats de l'évaluation sénégalaise sont suffisamment bons pour les divulguer à nos partenaires de la zone intertropicale.

En mai 1979, sous le patronage de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), l'Orstom organise avec le Cefigre (CENTre de Formation Internationale pour la Gestion des Ressources en Eau) un séminaire sur la télétransmission par satellite. Il se tiendra à Sophia-Antipolis (Centre de recherche situé près de Nice).

Les gestionnaires des satellites indiquent les possibilités offertes par Météosat et le système Argos. Les participants entendent les exposés des premiers utilisateurs (ministère des ressources naturelles du Québec, Orstom) et peuvent se documenter sur un emploi futur de cette technique.

Une exposition du matériel destiné à la télétransmission leur permet d'avoir une idée de la technologie à employer.

Ce séminaire est bien le point de départ des applications opérationnelles de la télétransmission par satellites dans la zone intertropicale.

## LES PREMIERES APPLICATIONS OPERATIONNELLES

Après avoir évalué les possibilités de la télétransmission par satellite, défini les matériels nécessaires et montrés à nos partenaires la viabilité de la technique, il était nécessaire de la développer avec quelques applications sur le terrain.

L'évaluation du Sénégal a permis de se rendre compte de la grande facilité d'emploi du système Argos: pas d'horloge à régler et à surveiller comme pour Météosat. La télétransmission commence dès connexion de l'alimentation électrique. C'est un avantage précieux dans les pays d'Afrique, où les déplacements sont longs et difficiles pour se rendre aux stations hydrométriques.

Dans de nombreux cas, la faible longueur du message Argos (256 bits) est quand même largement suffisante, de même que les six collectes par jour à l'Equateur.

Le système Argos a bien résolu le retour des données par le GTS, surtout quand la liaison se résume au tronçon Toulouse-Paris. Le fichier « Dispose » permet d'obtenir des données directement transférables sur le terminal du Service hydrologique de l'Orstom sans aucune saisie manuelle, toujours source d'erreur.

Enfin la possibilité d'utiliser sa propre station de réception directe rendra la réception des messages encore plus facile et instantanée.

Aussi, jusqu'en 1984, seul le système Argos sera utilisé par les hydrologues de l'Orstom.

Début 1980, deux applications de la télétransmission par satellite voient le jour: l'une avec le BRGM, l'autre avec le PNUD.

Le retour des données se fait par le GTS et par le fichier « Dispose ».

### Le projet BRGM-Falémé

Deux stations hydrométriques sont équipées pour la télétransmission sur la Falémé, affluents de rive gauche du fleuve Sénégal, près de la frontière Sénégal/Mali (Roche & Olivry, 1981).

### Le projet Soudan (PNUD)

Trois stations, installées dans le « Sudd » (partie orientale du vaste marécage du Nil blanc, dont la partie occidentale est le « Bahr el Gazal ») complètent un dispositif de mesure des apports en eau (pluies, débordements du Nil) dans le marécage (Callède, 1981).

Ces deux petits projets, qui ne dureront qu'une dizaine de mois, se soldent par de belles performances en télétransmission, confirmant les choix technologiques.

Des demandes, comme consultant, complètent ces débuts:

- Electricité de France pour équiper ses nivomètres (mesure de la hauteur de neige) en montagne;
- Service de la Navigation de la Seine pour moderniser son dispositif d'annonce des crues, dans un projet englobant les ministères de l'Agriculture, de l'Environnement et de l'Équipement. Il s'avère qu'une station de réception directe est indispensable: les temps de réponse soit par le GTS, soit directement par le Service Argos, sont

trop longs pour la prévision. En outre, la taille des bassins versants impose une mémorisation de l'information limnimétrique (Callède *et al.*, 1982).

Citons aussi le travail avec la Météorologie Nationale pour une expérience de télétransmission via Météosat, en Guyane. Le limnigraphe Orstom de Saint-Laurent du Maroni est relié à un émetteur Météosat, avec retour des données via le GTS.

## LA TELETRANSMISSION PAR SATELLITE AU BRESIL

Le Brésil, et plus particulièrement l'Amazonie, est un pays qui, vu ses dimensions et son faible réseau de voies de communication, se prête particulièrement bien à la télétransmission par satellite.

Une démonstration de faisabilité est effectuée par l'Orstom en 1992. Une PREMIERE station est installée sur le Rio Paraíba du Sud, à Resende, ville située entre Rio de Janeiro et São Paulo. Les messages sont reçus à Brasília, via le GTS, sans problème aucun (liaison Toulouse/Paris/Washington/Brasília).

Une seconde station est installée à Boa Vista, ville située à 500 km au nord de Manaus, au bord du Rio Branco. C'est un émetteur équipé d'un clavier qui transmet directement un message conforme aux codes OMM. L'observateur de l'échelle limnimétrique de Boa Vista frappe au clavier, deux fois par jour, la hauteur d'eau du Rio Branco.

Une station de réception directe fonctionne durant 15 jours à Brasília.

Les résultats (Callède, 1982) sont tels que le gouvernement brésilien présente une requête à l'Ambassade de France sollicitant l'aide de la France pour équiper un réseau de 23 stations en Amazonie. Cette requête est acceptée en 1983.

## LES GRANDS PROJETS: HYDRONIGER, OMS/ONCHO, AMAZONIE ET AUTRES

L'année 1984 est celle des grands projets, à l'échelle d'un pays ou même d'un continent, avec des réalisations complètement industrielles.

### Le projet Hydroniger

En 1982, l'OMM lance un appel d'offre pour équiper la totalité du bassin du fleuve Niger d'un réseau hydrométrique de 65 stations équipées en télétransmission.

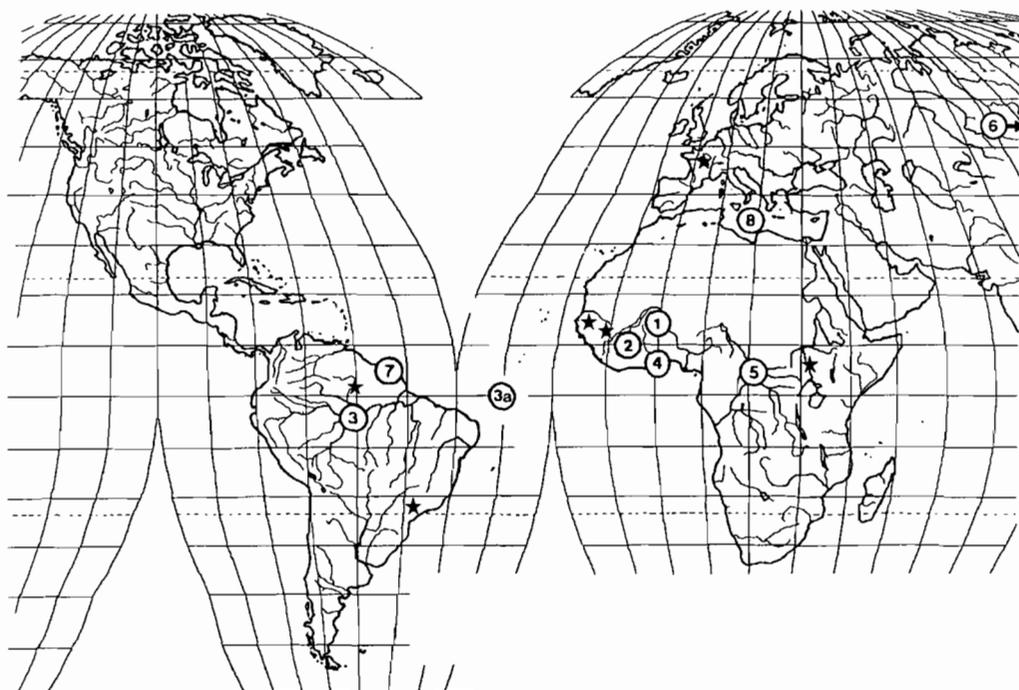
L'Orstom interviendra comme conseiller technique de la société CEIS-Espace, qui fabriquera les stations hydrométriques. Les premières stations sont installées début 1984 (Thiébaux & Manley, 1987). En 1995, ce réseau fonctionne toujours. Sur les 65 stations initiales, environ quarante continuent à émettre en automatique. Les données transmises ne sont plus toujours exploitables du fait du manque d'air comprimé aux limnigraphes pneumatiques mais la robustesse de la chaîne d'émission Argos et sa parfaite adaptation à ce type d'environnement sont bien montrées.

## Le projet OMS/Onchocercose

Depuis fort longtemps, les entomologistes médicaux de l'Orstom luttent pour l'éradication de l'onchocercose (maladie qui rend aveugle) en s'attaquant à son agent vecteur, *simulium damnosum*, lorsqu'il n'est qu'à l'état larvaire. Il leur faut connaître le débit de la rivière où ils vont déverser une dose d'insecticide dont la concentration dans l'eau sera suffisamment forte pour détruire les larves mais qui doit être sans danger pour les poissons.

En 1982, le projet d'éradication est devenu un gros projet OMS, avec avions et hélicoptères, pour traiter bon nombre de pays de l'Afrique occidentale. Mais l'imprécision dans la connaissance des débits des rivières conduit soit à surestimer la concentration d'insecticide nécessaire (d'où gaspillage onéreux de l'insecticide et danger pour les poissons) soit à sous-estimer, occasionnant là un traitement insuffisant (Le Barbé, 1982).

En 1983, un projet-pilote est décidé, utilisant la télétransmission: il aura lieu au Togo et comprendra cinq stations hydrométriques équipées pour la télétransmission via



- ★ Emplacement des évaluations et des premiers projets
  - Emplacement des grands projets:
- |  |                   |
|--|-------------------|
| 1: Hydroniger                              | 5: Météosat-Congo |
| 2: OMS-Oncho                               | 6: Fleuve Jaune   |
| 3: Amazonie brésilienne                    | 7: Petit Saut     |
| 3a: Rocher Saint-Paul                      | 8: Med-Hycos      |
| 4: Modernisation des réseaux hydrologiques |                   |

Fig. 3 Emplacement des évaluations et des projets de télétransmission par satellite réalisés par les hydrologues de l'Orstom.

Argos et une station de réception directe à Lama-Kara, d'où partent avions et hélicoptères assumant l'épandage de l'insecticide.

Ces cinq stations sont installées en juin 1984. Ce projet-pilote est un succès. L'OMS décidera de confier à l'Orstom le soin de concevoir et d'installer un réseau de 70 appareils sur l'ensemble des neuf pays de la zone traitée (Pouyaud, 1987). Comme pour le projet Hydroniger, les hydrologues de l'Orstom se tourneront vers la société CEIS-Espace. Ensemble, ils mettront au point un produit qui permettra de modifier d'une façon significative les méthodes de gestion des réseaux de mesures hydrologiques en Afrique. L'expérience de l'Orstom, acquise depuis 1980 dans le développement de nouveaux limnigraphes (en collaboration avec la société Elsyde), permet à ce moment de concevoir un ensemble capteur-centrale d'acquisition entièrement électronique. Son association à un émetteur Argos confère à cet équipement une autonomie, une sûreté et un suivi de fonctionnement encore impensables jusqu'alors (Gautier, 1988) (Fig. 3).

Ces nouveaux équipements totalement libérés des contraintes des anciens éléments mécaniques (puits bouchés, enregistrements graphiques défailants, etc.) ont permis une souplesse d'utilisation correspondant aux impératifs de gestion du programme OMS-Oncho.

Dans le cadre de cette opération, une amélioration importante est aussi apportée dans le domaine de la réception directe. Un ordinateur de type PC IBM est couplé aux anciens récepteurs, ce qui rend les nouvelles stations de réception directe totalement autonomes. Ceci permet des transferts directs de données et le traitement automatique des messages reçus (calcul immédiat des doses d'épandage, par exemple).

A l'occasion de ce projet OMS-Oncho, un soin particulier a été apporté aux problèmes de maintenance et d'entretien de ces nouveaux types de réseaux. L'Orstom s'est attaché à former les agents de l'OMS pour leur permettre de devenir rapidement autonomes. Depuis 1987, le réseau est entièrement géré par les hydrologues de l'OMS et donne pleinement satisfaction. Les données sont utilisées en temps réel et plus de 50% des sites équipés devront rester opérationnels jusqu'en 2005.

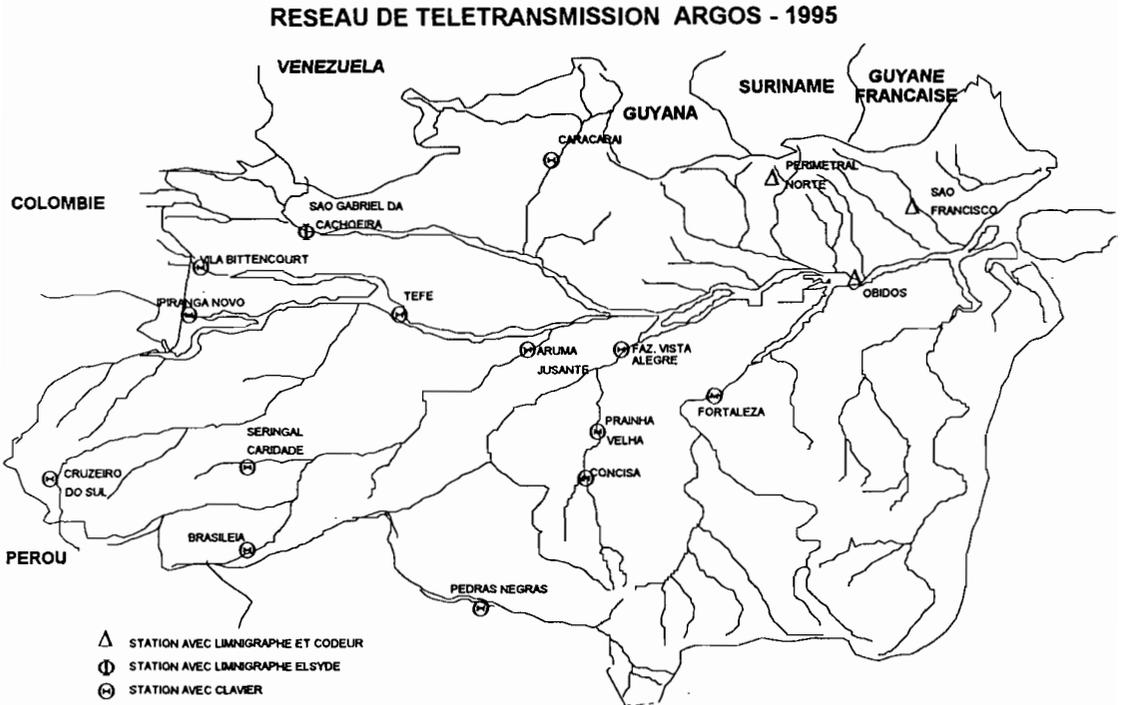
## **Le réseau amazonien**

Suite à l'évaluation des possibilités de la télétransmission par satellite, le gouvernement brésilien, avec l'aide de la France, décide d'installer un réseau de 23 stations hydrométriques avec télétransmission, toutes situées dans le bassin amazonien (Fig. 4). C'est l'Orstom qui est chargé de cette installation, en coopération avec la DCRH (Division de Contrôle des Ressources en Eau), travail qui s'achèvera en 1988 (Anonyme, 1987) pour reprendre en 1992.

**Période 1984-1988** Le projet a pris forme active dès mai 1984, date d'arrivée des premiers matériels.

Comme indiqué plus haut, le système Argos a été choisi à cause de sa facilité d'installation et d'emploi: pas d'horloge ultra-précise dans les émetteurs, messages de capacité suffisante et nombre, également suffisant, de collectes par jour. En outre, le futur projet de satellite brésilien à orbite équatoriale basse prévoit un canal compatible Argos.

La station de réception directe fonctionne depuis septembre 1984 et les premières stations hydrométriques sont installées en juin de la même année.



La station de réception directe fonctionne depuis septembre 1984 et les premières stations hydrométriques sont installées en juin de la même année.

Des matériels annexes sont construits à Brasilia (décodeurs, claviers simplifiés) et le réseau peut être considéré comme opérationnel en mai 1985, bien qu'il manque encore quelques stations.

Un effort particulier est fait du côté des logiciels de traitement des messages reçus par la station de réception directe. Dès mai 1985, ces messages sont validés (ou éventuellement corrigés) et transférables directement dans les fichiers de la banque de données hydropluviométriques du DNAEE (Direction Nationale des Eaux et de l'Énergie Électrique) (Callède, 1986).

Au 1 juin 1986, 20 stations fonctionnent:

- huit avec limnigraphe équipé d'un codeur;
- douze seulement équipées d'un clavier « simplifié » constitué par quatre roues codeuses. Chaque jour, l'observateur indique sur ce clavier le niveau de l'eau de la rivière.

Des difficultés sont rencontrées (Callède, 1988) dans l'électronique (circuits d'interface défectueux, pannes à la station de réception directe) et dans le changement des piles sèches.

Mais durant cette période, il a été facilement démontré qu'il était possible de réaliser en Amazonie, malgré tous les problèmes d'accès aux stations hydrométriques, un réseau de télétransmission simple et peu coûteux (Callède *et al.*, 1986). L'économie de temps et de déplacement des hydrologues, du fait du contrôle à distance du bon fonctionnement

des appareils, est loin d'être négligeable. Il en résulte, principalement, une diminution du coût de fonctionnement du réseau tout en assurant, en temps réel, le suivi du comportement hydrologique du plus grand bassin hydrographique du Monde.

En dehors de ce travail, une station de télétransmission de la pluviométrie est installée, en plein milieu de l'océan Atlantique, sur les rochers Saint-Pierre et Saint-Paul (Brésil) pour les besoins des océanographes de l'Orstom (projet Focal). Les difficultés d'accès imposent un fonctionnement parfait de la station durant une année sur un site uniquement habité par des crabes et des oiseaux. Installée en janvier 1987, la station a rempli sa mission jusqu'à fin 1989 (Morlière *et al.*, 1990).

**Période 1989-1992** Durant cette période, le réseau de télétransmission se dégrade progressivement. Le problème du changement des piles n'est pas résolu. Les circuits d'interfaces tombent régulièrement en panne. Une modification dans le format des messages émis par le satellite ne permet plus d'utiliser pleinement la station de réception de Brasília.

Aussi le DNAEE demande à l'INPE (Institut National de Recherches Spatiales) la remise aux nouveaux standards de la station de réception de Brasília et à l'Orstom un nouveau détachement d'un spécialiste en télétransmission. Ces deux demandes sont prises en considération.

**La situation depuis 1992** Le problème du changement des piles a été résolu en équipant toutes les stations de télétransmission en panneaux solaires et batteries étanches. Dans le cadre du programme-pilote de conservation de la forêt tropicale brésilienne, le ministère français des Affaires Etrangères a financé l'achat d'une seconde station de réception directe et de trois nouvelles stations hydrométriques modernes à capteur électronique de pression. Pour sa part l'INPE a remis en état la PREMIERE station de réception.

Fin 1994, 22 stations hydrométriques de la télétransmission sont en fonctionnement.

Les logiciels de traitements (issus de ceux réalisés en 1984-85) sont adaptés tant aux configurations des deux stations de réception qu'à celles des nouveaux limnigraphes électroniques. Ils permettent également le traitement des données reçues via le satellite brésilien SCD1, compatible Argos, et qui a été mis sur orbite le 7 février 1993.

Enfin un modèle de prévision des hauteurs d'eau du Rio Negro à Manaus est en cours d'élaboration par l'Orstom à Montpellier (Thépaut, 1994). Déjà, les hauteurs télétransmises sont communiquées chaque jour aux Services de la protection civile.

**Projets actuels et futurs** Un projet de développement du réseau, à l'échelle du Brésil a été présenté et accepté (Guimarães *et al.*, 1993; Brito *et al.*, 1994), avec comme conséquence une adjudication concernant l'achat de 200 stations. Ces stations sont destinées à travailler avec le satellite brésilien SCD1, puis avec les suivants.

Ceci, qui ne sera qu'une PREMIERE tranche d'équipements, concerne le Brésil tout entier, avec en priorité l'Amazonie, le Pantanal et le bassin du Rio São Francisco. Tous les réseaux anciens (réseaux téléphoniques, réseau du Rio Tocantins avec le satellite géostationnaire GOES) seront équipés de ce nouveau vecteur de transmission.

Avec bientôt 220 stations de télétransmission et son propre satellite de collecte, le Brésil va posséder un des réseaux les plus modernes au Monde. Ce sera surtout un réseau complètement indépendant, affranchi des « ukases » financiers imposés par les gestionnaires internationaux des satellites de collecte.

## Les autres grands projets

**La modernisation des réseaux hydrométriques nationaux** La réussite des nouveaux équipements de télétransmission satellitaire mis en place lors de l'expérience OMS-Oncho a incité un certain nombre de services hydrologiques nationaux à moderniser leur réseau. Ils ont équipé les plus importantes de leurs stations avec des plates-formes d'acquisition automatiques et transmission Argos.

En 1988, c'est le cas du Bénin, puis celui du Sénégal et du Mali dans le cadre du projet OMVS (Office de Mise en Valeur du fleuve Sénégal).

Egalement à cette même époque, les anciennes stations de réception directe Argos, qui équipaient les services nationaux des pays participants à l'opération Hydroniger, sont progressivement remplacées par des nouvelles. Ceci leur permet de recevoir, sans limitation de formats, les données de toutes les stations situées dans leur zone de visibilité. A partir de cette époque, le principe de la libre utilisation des données transmises par satellite est accepté par tous.

Tous ces équipements sont réalisés et financés dans le cadre de projets. Il en va de même pour la redevance Argos qui, à cette période, est de 2500F par an et par balise.

A l'heure actuelle une bonne partie de ces équipements a été volontairement arrêtée du fait du doublement du coût de la redevance Argos (5500 F an<sup>-1</sup> balise<sup>-1</sup>) et de la non-utilisation de la donnée en temps réel.

**L'expérience Meteosat-Congo** En 1989, le ministère de la recherche a confié à l'Orstom la mise au point d'une plate-forme hydrologique autonome adaptée aux conditions tropicales. Ceci s'inscrit dans le cadre d'une action incitative pour utiliser le satellite Météosat. Comme pour les autres projets antérieurs, les hydrologues de l'Orstom ont fait appel à la société CEIS-Espace qui en a assuré la réalisation. Ce nouveau type de matériel reprenait le volet « hydrométrie » des matériels utilisés par le programme OMS-Oncho. Il était complété d'un certain nombre de capteurs météorologiques, avec aussi la possibilité d'installer des capteurs de mesure de la qualité des eaux (Jacon & Gautier, 1991; Gautier, 1992).

En 1990, les deux premières plates-formes de ce projet ont été installées dans le bassin du Congo. La PREMIERE est sur l'Oubangui à Limassa, station hydrométrique située à 800 km en amont de Bangui et la seconde sur le Congo à Maluku-Trechot, en amont de Brazzaville. Deux stations de réception directe Météosat ont été installées l'une à Bangui, l'autre à Brazzaville. Le rythme d'émission adopté était de un message toutes les 6 h.

Ces deux stations ont fonctionné en autonomie totale pendant une année complète. La transmission des données de la station de Limassa a notamment permis au service des voies navigables de Bangui d'effectuer les prévisions de hauteurs d'eau sur le seuil de Zinga. La preuve a été faite que ce type de matériel était bien adapté aux conditions difficiles de ces régions. Les émetteurs de très bonne qualité n'ont dérivé en temps que de quelques secondes, donc sans aucune intervention de remise à l'heure durant toute la durée de l'expérience. Cette opération n'a pu continuer comme prévu du fait des problèmes d'insécurité rencontrés dans ces régions et du coût très élevé de la redevance satellitaire.

**Réseau Fleuve Jaune en Chine (1993)** L'Orstom, en association avec le Bureau de la recherche géologique et minière (BRGM) a initialisé, en 1987, un programme scientifique de recherche hydrologique en Chine sur le Fleuve Jaune. La YRCC (Yellow River Conservancy Commission) était la structure chinoise d'accueil et de collaboration. Au titre de ce programme, l'Orstom prévoyait d'installer du matériel hydrologique avec télétransmission via Argos sur le bassin du Fleuve Jaune.

Ce matériel devait être mis en oeuvre et suivi par un chercheur hydrologue Orstom qui aurait été en poste en Chine. Cette affectation ne s'est pas concrétisée. La réalisation du projet de télétransmission via Argos en a été retardée mais maintenue. Au titre de ce programme, l'Orstom a installé sur le fleuve Jaune deux pluviographes et deux limnigraphes équipés de télétransmission via Argos. Une station de réception directe a été installée à Zhengzhou.

Un ingénieur chinois a reçu une formation au Laboratoire d'hydrologie de Montpellier pour l'utilisation et la maintenance de ces nouveaux matériels. Les ingénieurs du Service des transmissions de l'YRCC ont été particulièrement intéressés par l'aspect « télétransmission via Argos », jamais encore utilisée en Chine avant cette date (Gautier, 1993).

**Projet Petit Saut en Guyane** Dans le cadre des études hydrologiques relatives à la construction du barrage de Petit Saut en Guyane, l'Orstom a installé, pour le compte de l'Electricité de France (EDF), un réseau de limnigraphes et de pluviographes équipés pour la transmission via Argos. Ce réseau, composé de 15 appareils, fonctionne depuis 1990. Depuis la mise en eau du barrage, les équipements en place sont utilisés désormais pour la gestion de la retenue.

**Projet WHYCOS (1994)** L'OMM, avec le soutien de la Banque Mondiale, a entrepris la promotion d'un système mondial d'observation du cycle hydrologique: WHYCOS (World Hydrological Cycle Observing System). En mai 1995, le Centre Orstom de Montpellier s'est vu confier la charge d'accueillir et d'animer le Centre Régional pilote du réseau Med-Hycos. A terme ce réseau sera constitué de 150 plates-formes, de collecte de données, utilisant le système de transmission Météosat réparties dans les différents pays riverains de la mer Méditerranée et de la mer Noire. L'expérience acquise depuis quinze ans par les hydrologues de l'Orstom dans le domaine des réseaux de mesures télétransmises par voie satellitaire sera un atout certain dans cette opération.

## CONCLUSION

En 15 ans, la technique de la télétransmission par satellite est passée rapidement du joyeux bricolage de l'expérimentation à la phase industrielle pour son emploi opérationnel. Ainsi les hydrologues de l'Orstom ont contribué à mettre au point un outil indispensable pour répondre aux nouveaux impératifs de gestion des réseaux hydrométriques modernes des pays tropicaux. Il permet la télésurveillance à faible coût des installations éloignées. Il est aussi utilisé pour la gestion et la prévision hydrologique en temps réel: c'est le cas des opérations Hydroniger, OMS-Oncho, Petit Saut et Amazonie. Il a permis à de nombreux Services hydrologiques nationaux de pays

tropicaux de se familiariser avec les matériels hydrologiques modernes. Ceux-ci permettent une approche plus rationnelle dans la gestion des réseaux par la mise à disposition de la donnée hydrologique en temps réel.

Si actuellement son utilisation principale reste la vérification du bon fonctionnement des stations hydrométriques qui en sont équipées, elle devrait permettre, bientôt, de modifier totalement la philosophie de la gestion des réseaux. La plupart des tournées hydrologiques ne se feraient plus en « aveugle » mais seulement pour remplacer un équipement défaillant (ce n'est pas parce qu'il y a « télétransmission » que les pannes vont disparaître!) ou pour effectuer des jaugeages à des cotes intéressantes. Il en résultera une gestion plus efficace et très certainement une diminution du coût global annuel des tournées. Dans des cas bien particuliers, elle est déjà utilisée pour des tâches plus ambitieuses: calcul des déversements d'insecticide pour le projet OMS-Oncho, future prévision de la hauteur du Rio Negro à Manaus (Brésil).

La grande ombre au tableau de son utilisation provient de la politique financière actuelle des gestionnaires des satellites de collecte (système Argos et Météosat) avec des taux de plus en plus élevés de la redevance à payer. Pour un certain nombre de pays, cette augmentation prohibitive a été un sérieux coup d'arrêt au développement de la télétransmission (et même parfois un arrêt total).

En ce qui concerne Météosat, c'est très simple: pour un pays non-membre de l'Agence Spatiale Européenne, l'achat d'une électronique de transmission Inmarsat-C coûte bien moins cher qu'une seule année de redevance Météosat!

Pour le Service Argos, le coût de la redevance annuelle est fixé arbitrairement par ledit Service. Comme nous l'avons évoqué au chapitre précédent, elle peut être augmentée du simple au double, sans appel. La planification à long terme des coûts d'exploitation d'un réseau de télétransmission Argos est devenue une gageure. L'ajustement des rythmes d'émission en fonction des besoins réels est une certaine façon de limiter les dégâts mais ce n'est qu'un pis aller.

Ceci expliquerait le brusque intérêt manifesté par des utilisateurs, échaudés ou non, pour le système privé Inmarsat-C. Pour le moment l'électronique de transmission est plus chère. Une augmentation du nombre des équipements ne pourra qu'accélérer la tendance à une diminution du coût du matériel. Là le montant de la redevance est fixé non plus de façon arbitraire mais par les autorités nationales des télécommunications des pays concernés, en référence aux tarifs téléphoniques classiques. Et avec une autre souplesse d'utilisation!

Autre solution, adoptée par le Brésil: avoir son propre satellite de collecte (ce qui a été envisagé un moment par l'Orstom).

## RAPPEL DES SIGLES UTILISES

ASE	Agence Spatiale Européenne
BRGM	Bureau de la Recherche Géologique et Minière
CEFIGRE	CEntre de Formation Internationale pour la Gestion des Ressources en Eau
CGRH	Coordination Générale des Ressources Hydriques (ex- DCRH) (Brésil)
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
DCRH	Division de Contrôle des Ressources Hydriques (Brésil)

DNAEE	Direction Nationale des Eaux et de l'Energie Electrique (Brésil)
EDF	Electricité de France
FOCAL	Français Océan Atlantique tropical
GARP	Global Atmospheric Research Programme
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GTS	Global Transmission System (Réseau des télécommunications météorologiques)
INPE	Institut National de Recherches Spatiales (Brésil)
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OMVS	Office de Mise en Valeur du fleuve Sénégal
ORSTOM	Institut français de Recherches scientifiques pour le Développement en coopération
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
WHYCOS	World Hydrological Cycle Observing System
YRCC	Yellow River Conservancy Commission

## REFERENCES

- Anonyme (1980) *Actes du séminaire international sur la télétransmission par satellite des données hydrologiques appliquée aux pays en voie de développement*. CEFIGRE, OMM, Orstom, Sophia-Antipolis, France.
- Anonyme (1987) *Actes du colloque international sur la télémétrie et transmission des données hydrologiques*. Conférence WMO-Ministère français de l'Environnement et Service de la navigation de Toulouse (Toulouse, France, mars 1987), 1-609.
- Anonyme (1987) *Cooperação franco-brasileira na Amazônia. Instalação da rede de transmissão via satélite dos níveis de água do Rio Amazonas e seus afluentes*, 1-11. DNAEE et Ambassade de France, Brasília, Brésil.
- de Brito, J. S., de Benevides, V. F., Coimbra, R. M. & de Oliveira, E. (1994) *Rede de teletransmissão via satélite para coleta de dados hidrometeorológicos*, 1-212. Ministerio das Minas e Energia, Brasília, Brésil.
- Callède, J. (1977) *Techniques de télétransmission des mesures hydrométriques utilisées dans la province du Québec*. Orstom, Paris, France.
- Callède, J. (1979) Transmission par satellite des données hydrométriques. Expériences de l'Orstom au Sénégal et esquisse d'une technologie. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* **15**(1), 25-53.
- Callède, J. (1981) *Hydrology study of the Kongor area*. Orstom, Paris, France.
- Callède, J. (1982) Utilisation de la télétransmission par satellite pour le réseau hydrométrique brésilien. Rapport final, Orstom, Paris, France.
- Callède, J., Rentiere, J. & Rouquerol, Y. (1982) L'emploi des balises à mémoire et de la réception directe pour les besoins des Services hydrométriques du Bassin de la Seine. In: *Conférence Utilisateurs Argos* (Paris, France, avril 1982).
- Callède, J., Claudino, J. L. & Fonseca, V. (1986) Transmission par satellite des hauteurs d'eau de l'Amazone et de ses affluents. *Hydrol. Continent.* **1**(2), 95-110.
- Callède, J. (1988) *Rede de transmissão via satélite na Amazônia. Relatório relativo as operações de colocação e de exploração* (Convênio Orstom/CNPq de 1984 à 1988). DNAEE, Brasília, Brésil.
- Chartier, R. (1973) *Utilisation du satellite Eole pour la collecte et la transmission des données pluviométriques et limnimétriques*. Orstom, Brazzaville, Congo.
- Gautier, M. (1988) *Installation des limnigraphes de type Chloe C pour le programme OCP OMS en 1986-1987. Présentation aux journées hydrologiques de l'Orstom*. Montpellier, France, septembre 1988.
- Gautier, M. (1992) *Météosat ou Argos: que choisir? Note relative à la télétransmission des données par satellite destinée au Service des voies navigables du Congo*. Montpellier, France, avril 1992.
- Gautier, M. (1993) *Projet d'équipement télétransmis sur le fleuve Jaune en Chine. Note de présentation et de situation au 25 août 1993*. Montpellier, France, août 1993.
- Guimaraes, V. S., Cudo, K. J. & Callède, J. (1993) *Os avanços da gestão da rede hidrométrica brasileira através da telemetria por satélite*. DNAEE/CGRH, Brasília, Brésil.
- Jaccon, G. & Gautier, M. (1991) *Réalisation d'un système de télétransmission de données hydrologiques par le satellite Météosat* (Compte rendu de fin d'étude d'une recherche financée par le Ministère de la Recherche et de la Technologie). Montpellier, France.

- Le Barbe, L. (1982) *Analyse des problèmes hydrologiques posés par les opérations d'épandage d'insecticide effectuées dans le cadre du programme de lutte contre l'Onchocercose*. Orstom, Lomé, Togo.
- Molinier, M., Hoepffner, M. & Touchebeuf de Lussigny, P. (1974) Expérience de collecte de données hydrométriques et hydropluviométriques. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* **11**(3), 189-204.
- Morlier, A., Callède, J. & Servan, J. (1990) Une station pluviométrique automatique sur les Rochers St-Pierre et St-Paul. In: *Veille climatique satellitaire* (Lannion, France, 1990), **32**, 52-56.
- Pouyaud, B. (1987) La télétransmission au Service du programme de lutte contre l'Onchocercose en Afrique de l'ouest. In: *Télémesure et transmission des données hydrologiques* (conférence WMO, Ministère français de l'Environnement, Service de la Navigation de Toulouse, Toulouse, France, mars 1987), 497-501.
- Roche, M. & Olivry, J.-C. (1981) *Construction de barrages sur les rivières Dalèma et Kobé*. Orstom, Dakar, Sénégal.
- Thepaut, H. (1994) *Prévisions de crue de l'Amazone à Manaus*, 1-65. Publ. Enseehit, Orstom, Montpellier, France.
- Thiebaut, J. R. & Manley, R. E. (1987) Projet Hydroniger. In: *Télémesure et transmission des données hydrologiques* (conférence WMO, Ministère français de l'Environnement, Service de la Navigation de Toulouse, Toulouse, France, mars 1987), 445-455.