

Emploi des satellites à orbite polaire pour la collecte des mesures effectuées aux stations hydrométéorologiques: bilan de quatre années d'utilisation

JACQUES CALLÈDE

*Service Hydrologique, ORSTOM, 70-74 route
d'Aulnay, 93140 Bondy, France*

RESUME Depuis la mise sur orbite de METEOSAT I (novembre 1977), puis du premier satellite du système Argos (octobre 1978), le Service Hydrologique de l'ORSTOM a utilisé et évalué la technique de collecte de données par satellites. Ceci s'est concrétisé par des expérimentations ou des réalisations pratiques au Sénégal, au Canada, au Soudan, en France et au Brésil. Le télétransmission employant les satellites à défilement du système Argos s'est montré particulièrement bien adaptée à la gestion des réseaux hydrométriques. Le nombre de collectes par jour est de quatre, au moins, pour une station située sur l'Equateur, et le taux de messages correctement transmis est supérieur à 98%. Il est apparu que les pannes de fonctionnement des stations provenaient essentiellement de défauts d'alimentation en énergie électrique. A l'exploitation, une station de réception directe s'avère vite indispensable. Enfin, le système Argos présente quelques inconvénients d'exploitation liés au fait que la mission "collecte" reste secondaire par rapport à la mission "localisation". L'importance des projets (bassin du Fleuve Niger, bassin du Fleuve Amazone, Organisation de la Lutte contre l'Onchocercose en Afrique, etc.), dont certains entrent en phase de réalisation, amène à imaginer, pour la prochaine décennie, un système de satellites à vocation essentiellement hydrologique. Dans cet esprit, un système de satellites à orbite équatoriale basse, tel que prévu par le Brésil, serait des plus utiles pour la collecte des relevés hydropluviométriques de la Zone intertropicale.

*Use of polar orbiting satellites for data collection of
hydrometric stations: evaluation after four years*

ABSTRACT The ORSTOM Hydrological Service has used and evaluated the satellite data collection system since the launching of METEOSAT I in November 1977, and that of the first Argos satellite in October 1978. This has led to experiments or developments in Senegal, Canada, Sudan, France and Brazil. Remote data transmission through the Argos system on NOAA orbiting satellites has been particularly suited for managing hydrometric networks. Data are collected at least four times a day at the Equator and more than 98% of messages are duly transmitted.

Any platform failures were related to faulty power supplies. A weak link in the system is the delay in receiving data from a central receive station. This delay can be eliminated if an agency has its own ground station to receive satellite transmissions directly. Finally it is difficult to use the Argos system because the "location" mission prevails over the "collecting" mission. The importance of projects such as the Niger River basin, the Amazon River basin and the Organization for the Control of Onchocerciasis in Africa, etc., some of which are under way, leads to think about a system of hydrologically oriented satellites for the next 10 years. For this purpose, a system of low equatorial orbit satellites, as foreseen by Brazil, would be very useful to collect rainfall data in the intertropical zone.

INTRODUCTION

La collecte automatique des données hydrométriques, par l'intermédiaire d'un satellite artificiel, n'a commencé - pour les hydrologues de l'ORSTOM - que vers 1970 avec le projet Eole. Il a fallu attendre 1978 pour effectuer les évaluations du système METEOSAT (le satellite METEOSAT I ayant été lancé en novembre 1977), et du système Argos (le premier satellite, Tiros-N, ayant été mis sur orbite en octobre 1978). Rappelons ici que METEOSAT est un satellite géostationnaire, tandis que le système Argos utilise des satellites à défilement, à orbites polaires.

Cette évaluation nous a montré que les satellites à défilement étaient bien adaptés pour la collecte de données hydrométriques - et même pour la prévision - lorsque deux ou trois relevés par jour sont suffisants pour décrire avec précision l'hydrogramme d'une rivière. De ce fait, le système Argos a été employé par l'ORSTOM (ou pour des opérations où l'ORSTOM intervenait à titre de conseil), sur six opérations qui ont eu lieu de 1978 à 1982, toujours pour la collecte d'informations hydrométriques: ceci nous a conduit au Sénégal, au Soudan, au Canada, en France et, enfin, au Brésil (voir Fig.1).

Le système Argos, rappelons-le, utilise deux satellites à orbite polaire (le système peut très bien fonctionner avec un seul satellite). Sa mission principale est la localisation, en coordonnées géographiques, des stations au sol. Un système assez compliqué transmet les données recueillies par les satellites sur le Centre Argos de Toulouse où elles sont traitées, puis disséminées vers les utilisateurs. Les stations au sol (appelées "balises") émettent à intervalles réguliers (40 s lorsqu'il y a localisation, 200 s lorsque seule la collecte est demandée), que le satellite soit en visibilité ou non. Si le satellite est en visibilité, il y a collecte de l'information-sol. Le nombre de fois par jour où le satellite est en visibilité demeure fonction de la latitude du lieu: quatre à cinq fois à l'Equateur, 28 fois aux Pôles (pour deux satellites). En comparaison, le géostationnaire est toujours en visibilité de la station-sol. Une autre différence réside dans la longueur du message de collecte: 256 bits pour le système Argos, c'est-à-dire 20 fois moins que le message METEOSAT (et GOES).

Malgré ces contraintes, l'emploi du satellite à défilement s'est

★ Emplacement des expériences.

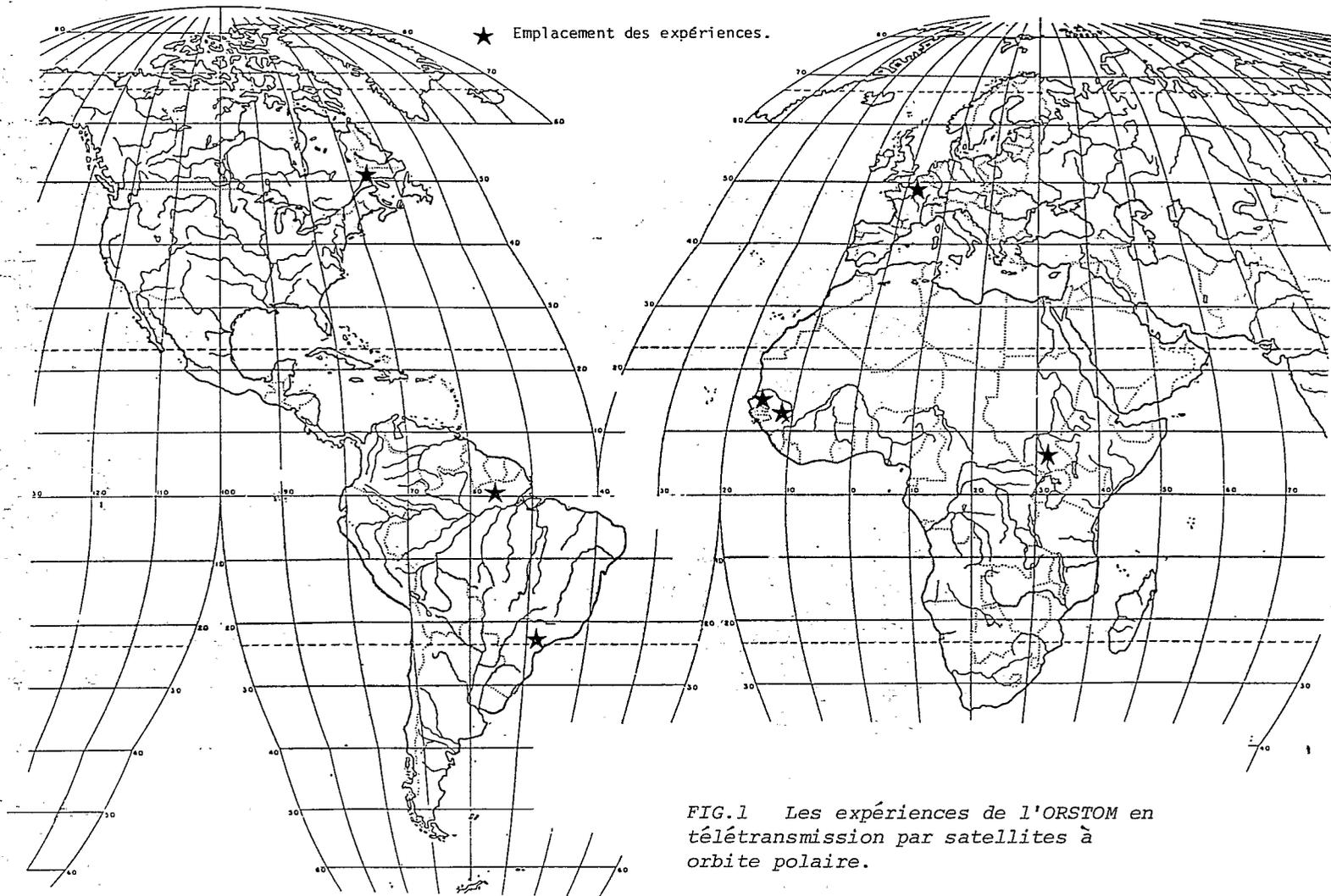


FIG.1 Les expériences de l'ORSTOM en télétransmission par satellites à orbite polaire.

révéle très prometteur, comme la pratique nous l'a montré.

UTILISATION DU SATELLITE A DEFILEMENT (SYSTEME ARGOS) PAR LE SERVICE HYDROLOGIQUE DE L'ORSTOM

De 1978 à 1982, le Service Hydrologique de l'ORSTOM a procédé à des évaluations du système de télétransmission et à des travaux de gestion de réseaux hydrométriques utilisant cette technique.

- en 1978/1979, évaluation du système à la station hydrométrique de Kaolack (République du Sénégal) sur le Fleuve Saloum (Callède, 1979). Un codeur digital Sigstaycod était monté à l'intérieur d'un limnigraphe OTT X;

- en 1979/1980, participation en tant que conseil à l'évaluation du système au Canada (Province du Québec). La station hydrométrique était celle de la Malbaie, sur la Rivière Malbaie, affluent de rive gauche du Fleuve Saint-Laurent. Le limnigraphe pneumatique Leopold and Stevens était équipé d'un codeur Memomark, du même fabricant. Notons que c'est la même électronique (balise n° 50), fabriquée par Electronique Marcel Dassault, qui a servi pour ces deux évaluations;

- en 1980, équipement de trois stations dans le delta intérieur du Nil Blanc (Sud) au Soudan, pour une seule campagne de mesures. Le codeur Neyrtec était directement entraîné par un système flotteur-contrepoids (Callède, 1981);

- également en 1980, un dispositif identique a été installé sur deux stations hydrométriques de la Rivière Falémé, affluent du Fleuve Sénégal (Roche & Olivry, 1981);

- en 1981, le Service Hydrologique de l'ORSTOM a participé, comme conseil, à l'évaluation du système Argos pour la modernisation de l'exploitation des réseaux hydrométriques du bassin de la Seine. Nous en sommes venus à définir un nouveau type d'électronique de transmission équipé d'un système de mémorisation. Dans ce système, le limnigraphe est interrogé toutes les 30 minutes. Le codeur était un CSEE-Sigstaycod monté à l'intérieur d'un limnigraphe OTT X (Callède et al., 1982);

- c'est en 1982 qu'une démonstration a été effectuée au Brésil. Une station hydrométrique du Paraíba do Sul a été équipée pour la télétransmission via le système Argos. Un codeur Sigstaycod a été facilement monté à l'intérieur d'un limnigraphe Hidrologia SA type LNG-9. Cette station a fonctionné d'avril à octobre 1982. En Septembre, une seconde station a été installée à Boa Vista, sur le Rio Branco. Il n'y avait pas de limnigraphe: l'indication de la hauteur d'eau était rentrée dans la balise grâce à un clavier de commande actionné deux fois par jour par l'observateur de la station hydrométrique. Enfin, une station de réception directe a été installée pour deux semaines dans les locaux du Service Hydrologique Fédéral (DCRH) à Brasilia même (Callède, 1982).

Dispositions communes à ces expériences

Toutes ces expériences utilisaient des électroniques d'émission (appelées aussi "balises") fabriquées par la Société Electronique Marcel Dassault. Il est à remarquer que la même balise (portant

L'indicatif de transmission "50") a fonctionné successivement au Sénégal (1978), au Canada (1979), en France (1981) et enfin au Brésil (1982), sans la moindre défaillance.

L'antenne est généralement de type AV402 fabriquée par CIT-Alcatel. Elle se présente sous une forme particulièrement compacte.

L'alimentation en énergie électrique nécessitait une tension de 24 V pour une consommation moyenne de 72 mW (intensité en crête de 700 mA durant 0.3 s). Généralement une batterie de piles sèches, de 70 Ah de capacité, assurait une autonomie supérieure à deux ans. L'expérience brésilienne n'a pu que confirmer la nécessité de proscrire l'emploi des batteries d'accumulateur type "automobile": un tel système d'alimentation, même non connecté, se décharge complètement en trois mois.

Enfin, l'ensemble du matériel de télétransmission est suffisamment réduit pour, dans bien des cas, se loger dans les infrastructures existant déjà.

Dans la plupart des cas, la pluie était également mesurée. Un système à augets basculeurs, équipé d'un contacteur, génère une impulsion qui incrémente un compteur. C'est la valeur binaire de ce compteur qui est télétransmise.

Les résultats

Le service Argos annonçait un nombre de collectes/jour qui s'est avéré un peu pessimiste.

Nous avons, en effet, obtenu:

- pour une latitude de 07°: 8.6 collectes/jour
alors qu'il en était prévu 7.5 par le Service Argos (donc 15% de mieux)
- pour une latitude de 23°: 10.4 collectes/jour
alors qu'il n'en était prévu que 8.5 (soit 20% de mieux)
- pour une latitude de 49°: 13 collectes/jours
alors qu'il en était prévu également 13.

Le taux de collectes exactes est remarquablement élevé. Pour une longueur de message de 32 bits, il évolue entre 98.8 et 99.9%. Pour une longueur de message de 256 bits il est de 97.6%. D'ailleurs la quasitotalité des collectes fausses proviennent d'une transmission effectuée dans de mauvaises conditions, lorsque le satellite est très bas sur l'horizon. C'est ce qui explique pourquoi le nombre de collectes/jour que nous avons observé est supérieur à ce qui avait été prévu par le Service Argos: cette prévision était basée pour des satellites ayant plus de 5° d'inclinaison au-dessus de l'horizon.

Ces résultats, associés au fait que le système Argos met en oeuvre simultanément deux satellites (l'un pouvant assumer seul la collecte en cas de panne inopinée de l'autre), permettent d'affirmer que le système Argos est parfaitement opérationnel malgré certains défauts de conception ou d'application.

Les incidents de fonctionnement

Dans l'ensemble, toutes les expériences ont fonctionné sans problème. Il suffisait de raccorder les connecteurs, de mettre sous tension

électrique, et tout commençait à transmettre.

Les seules pannes (qui se retrouvent, d'ailleurs, chez nos confrères canadiens qui utilisent la télétransmission par satellite) proviennent de l'alimentation en énergie électrique. Il faut faire énormément attention à l'installation des batteries et à leur raccordement électrique. Les batteries d'accumulateur pour automobiles sont à proscrire.

Nous avons eu, également, une panne de capteur.

Le retour des données sur l'utilisateur

Il apparaît que le retour des données, du satellite vers l'utilisateur, demeure le point faible de la chaîne de télétransmission (que ce soit pour un satellite à défilement ou pour un géostationnaire).

Dans le cas du système Argos, même en employant un accès direct aux fichiers, les délais sont bien souvent supérieurs à ce qui a été promis par le Service Argos. L'utilisation de l'accès direct, lors de l'expérience Seine (Callède et al., 1982) nous a montré que le matin, vers 0900 h, il n'était pas possible d'avoir les collectes plus récentes que celles du jour précédent vers 2100 h (soit 12 h de délais). De plus, ce système coûte cher: outre les frais de télex, il faut payer une redevance de 1800 francs par an et par balise (tarif 1982).

La solution employant le Système international des télécommunications météorologiques (GTS) n'est utilisable que pour quelques stations. S'il présente l'avantage d'être gratuit, il impose par contre des délais d'acheminement qui peuvent dépasser 24 h.

En employant une station de réception directe (recevant directement la retransmission immédiate, par le satellite, des messages des balises) les délais deviennent nuls puisque les messages sont captés à chaque passage. Cette station, qui est équipée d'une antenne fixe omnidirectionnelle, est entièrement automatique. Une liaison RS232C permet un raccordement éventuel sur un ordinateur. Fabriquée par la Société CEIS-Espace, son coût raisonnable (250 000 francs) en fait la solution idéale lorsque le réseau hydrométrique équipé pour la télétransmission dépasse une dizaine de stations. Cette station a été essayée avec succès à Paris et à Brasilia: nous avons constaté que la portée pratique de la station était de l'ordre de 3500 km et la portée maximale d'environ 5500 km.

Cependant, l'emploi d'une station de réception directe va se traduire, par rapport au circuit normal du système Argos, par une baisse du nombre de collectes/jour: il faut, en effet, que le satellite soit à la fois en visibilité directe de la balise et de la station de réception (Callède, 1982; Callède et al., 1982).

Nous avons utilisé, enfin, le retour en différé des fichiers créés à Toulouse par le Service Argos (fichier DISPOSE). Une fois par mois nous recevons une bande magnétique contenant la totalité de la collecte. Ce système est particulièrement précieux pour l'établissement des fichiers de hauteur d'eau. Il est simplement à regretter que le format de ce fichier n'ait pas mieux été conçu pour la fonction "collecte". De plus, l'emploi d'un calendrier pseudojulien est particulièrement incommode.

PROJETS ACTUELS

Les projets actuels du Service Hydrologique de l'ORSTOM incluent les suivants:

(a) *En France*, le projet de modernisation des réseaux hydro-métriques du bassin de la Seine est entré en phase exécution. Une première tranche de 20 stations hydrométriques va être installée en 1983, de même que la station de réception directe. Il en est de même pour le bassin de la Loire.

(b) *En Afrique*, un vaste projet englobant la totalité du bassin du Niger est lui aussi en cours de réalisation: 10 stations hydro-métriques et une station de réception directe seront installées en 1983. Le reste (56 stations hydrométriques et sept autres stations de réception directe) seront installées en 1984 et 1985.

(c) *Un projet-pilote* de huit stations hydrométriques et une station de réception directe va être mis en exécution en mars 1984. Il concerne une partie du réseau hydrographique traité par l'Organisation Mondiale de la Santé, dans le cadre du Programme de Lutte contre l'Onchocercose. La télétransmission devrait permettre, par la connaissance immédiate du débit des rivières, de mieux gérer l'emploi des avions et des hélicoptères épandeurs d'insecticide (Le Barbé, 1982).

(d) *Au Brésil*, il est prévu un premier projet de 23 stations hydrométriques et une ou deux stations de réception directe, concernant le bassin de l'Amazone.

(e) *En Guyane Française*, deux stations hydrométriques vont être installées.

Signalons également des programmes en cours d'étude concernant la Bolivie (bassin de l'Amazone), le Cameroun (réseau hydrométrique général), l'Indonésie (collecte pluviométrique) et le Sénégal (Office de mise en valeur de la vallée du Fleuve Sénégal).

CONCLUSIONS

L'emploi d'un système de télétransmission par satellite à défilement paraît particulièrement bien adapté, dans la plupart des cas, aux besoins de la gestion des réseaux hydrométriques. Dans certains cas seulement il serait nécessaire d'utiliser le géostationnaire, ce qui entraînerait des contraintes sur le terrain (contrôle des horloges) et un coût dans les équipements nettement plus élevé.

Actuellement, le seul système réellement opérationnel en Afrique et en Amérique du Sud (toujours en ce qui concerne les satellites à défilement) est le système Argos. Tel qu'il est il rend de bons services même si les hydrologues doivent s'adapter tant bien que mal à une organisation qui, manifestement, n'a jamais été prévue pour la collecte, ni pour l'hydrologie (alimentation des balises prototypes en 24 V, par exemple). Il est aussi bien regrettable que toute demande de modification mineure se traduise, aujourd'hui, par une incompréhensive fin de non-recevoir. Mais ce ne sont là que des critiques mineures pour un système remplissant son rôle et un service bien opérationnel. Je tiens à souligner ici l'efficacité du Service Argos qui nous a toujours aidés dans le développement de nos applications (notamment par le prêt de matériels).

D'après ce que nous constatons, le nombre de stations hydro-métriques employant le satellite à défilement ne va qu'augmenter. Il y en aura 57 pour lesquelles l'ORSTOM intervient, dès 1983. Une évaluation prospective indiquerait, pour 1986-1990, un chiffre de 500, établi sur tous les projets dont nous avons connaissance. Il est raisonnable de penser que vers 1992, année où se clôturera le système Argos, 1000 balises au moins serviront en collecte de données hydrologiques.

A ce stade nous pouvons souhaiter que les hydrologues soient enfin consultés pour que le système post-Argos réponde entièrement à leurs vœux. A moins que les mêmes hydrologues s'estiment capables de gérer eux mêmes leur propre réseau de satellites. Notons, à ce sujet, l'intérêt que représenterait un système de satellites à orbite équatoriale basse pour la couverture de la zone intertropicale (3000 km de part et d'autre de l'Equateur), ce qui permettrait une collecte toutes les 2 h avec un seul satellite. Ceci intéresserait une bonne partie de l'Amérique Latine, l'Afrique Noire et l'Indonésie.

Déjà à l'heure actuelle, le Brésil cherche à lancer un satellite de ce type qui possèderait un canal de réception compatible avec le système Argos. Nous savons que le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques est intéressé par ce projet. Souhaitons qu'il aboutisse.

REFERENCES

- Callède, J. (1979) Transmission par satellite des données hydro-métriques. Expériences de l'ORSTOM au Sénégal et esquisse d'une technologie. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.* XVI, No. 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.* ORSTOM, Paris, France.
- Callède, J., Rentière, 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. Dans: *Conférence Utilisateurs Argos* (Paris, France, avril 1982). Edité par le Service Argos, Toulouse, France.
- Le Barbé, L. (1982) *Analyse des Problèmes Hydrologiques Posés par les Opérations d'Épandage d'Insecticides Effectuées dans le Cadre du Programme de Lutte Contre l'Onchocercose.* ORSTOM, Lomé, Togo.
- Roche, M. & Olivry, J.C. (1981) *Construction de Barrages sur les Rivières Daléma et Koila-Kobé.* ORSTOM, Dakar, Sénégal.