

DOCUMENT 2.3.

**TÉLÉTRANSMISSION PAR SATELLITE
DES DONNÉES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES
L'EXPÉRIENCE DE L'ORSTOM AU SÉNÉGAL**

Jacques CALLÈDE

*Responsable du Programme d'Évaluation
de la Télétransmission par Satellite de l'ORSTOM*

SUMMARY

The Hydrology Department of ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer), specialized in the study of river regimes in the intertropical zone, is particularly interested in the possibilities offered by the satellites telemetry.

Two stations have since been installed in Senegal :

- *the first at Saint-Louis, to experiment the METEOSAT geostationary satellite,*
- *the second at Kaolack, to experiment the ARGOS System.*

The aims of the experiment are :

- *to define the possibilities of the satellites for hydrological studies,*
 - *to test and select hardware (sensors, encoders, energy sources, etc.),*
 - *to determine the cost of transforming a conventional hydrology station.*
-

RÉSUMÉ

Le Service Hydrologique de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), spécialisé dans l'étude des régimes hydrologiques en zone intertropicale, s'intéresse de très près aux possibilités offertes par la télétransmission par satellites.

A cet effet, deux stations ont été installées :

- *l'une à Saint-Louis, pour expérimenter le satellite géostationnaire METEOSAT,*
- *l'autre à Kaolack, pour expérimenter le Système ARGOS.*

Les buts de l'expérience étaient :

- *définir les possibilités en hydrologie,*
 - *éprouver et choisir les matériels (capteurs, codeurs, source d'énergie) les plus appropriés,*
 - *évaluer le coût de la transformation à partir d'une station hydrométrique classique.*
-

1. CADRE DE L'EXPÉRIENCE

La transmission à distance des mesures hydrologiques a toujours intéressé le Service hydrologique de l'ORSTOM. Des expériences ont été menées au Tchad puis en Guyane pour la collecte de l'information pluviométrique en utilisant des moyens classiques (liaison radioélectrique, liaison fil).

Le premier emploi d'un satellite artificiel comme station-relais remonte à 1970, lorsque le Centre National d'Études Spatiales (CNES) nous allouait quelques canaux de transmission lors du Projet EOLE : deux expériences ont alors été effectuées, à Brazzaville et à Cayenne.

La mise sur orbite des cinq satellites géostationnaires destinés au Programme de recherche sur l'atmosphère globale (GARP) ouvrait de nouvelles possibilités, car ces satellites étaient équipés de 66 canaux radioélectriques spécialement destinés à la télétransmission des mesures météorologiques ou hydrométéorologiques. Dès la mise en place du premier satellite appelé Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) qui couvrait l'Amérique, les Services hydrologiques des États-Unis et du Canada ont commencé à équiper des stations hydrométriques pour la transmission automatique des données. En Europe et en Afrique, il a fallu attendre la mise sur orbite de METEOSAT, satellite géré par l'Agence Spatiale Européenne (ASE), qui a été lancé le 23 novembre 1977.

Actuellement, nous évaluons les possibilités de METEOSAT, conjointement avec un second satellite, TIROS-N, qui lui est un satellite à orbite polaire. En effet, le Projet EOLE se continue avec le système ARGOS, qui est le fruit d'une collaboration franco-américaine entre le CNES, la NASA et la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Si l'objectif principal du système ARGOS demeure, avant tout, la localisation des émetteurs (installés dans des ballons, des bouées dérivantes, etc.), il demeure possible d'utiliser son satellite TIROS-N pour la collecte des mesures hydrométriques. Le satellite TIROS-N a été lancé le 13 octobre 1978 et déjà les résultats sont très prometteurs.

2. LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS DE LA TÉLÉ-TRANSMISSION PAR SATELLITES

2.1. Avantages

Quels sont donc les avantages apportés par cette nouvelle technique ?

(a) Le système est entièrement automatique, de jour comme de nuit.

Par rapport à la transmission radio-électrique, plus besoin d'opérateurs, plus de vacations à assurer.

(b) Le système est économique.

Par rapport à une station radio-électrique BLU, le coût de la station d'émission est de même ordre de grandeur, surtout s'il faut prévoir une alimentation autonome du BLU. Les relais hertziens sont inutiles avec le satellite.

La consommation électrique est très faible : 50 à 100 mW pour le Système ARGOS, 350 mW pour MÉTÉOSAT (émetteur électronique Marcel DASSAULT), qui autorise l'emploi de piles sèches ou même de panneaux solaires.

Par rapport à une liaison fil, pas de raccordement à une ligne téléphonique ni de paiement de redevances téléphoniques.

- (c) La liaison radio-électrique, qui s'effectue sur la fréquence des 402 MHz (UHF), est toujours possible lorsqu'il y a liaison optique entre l'émetteur et le satellite : plus de problèmes de propagation ionosphérique de choix de fréquences.
- (d) Encombrement réduit des stations. Piles et électronique peuvent contenir dans l'abri du limnigraphe.
- (e) Possibilité, pour les satellites géostationnaires, de transmission automatique de messages d'alerte (mais cette technique ne semble pas avoir été utilisée) lorsqu'un seuil de mesure est atteint.
- (f) La retransmission des mesures, depuis la station de réception jusqu'à l'utilisateur, peut emprunter le réseau international des télécommunications météorologique, à condition que ces mesures soient codées dans un des formats officiels adoptés par l'Organisation Météorologique Mondiale.

2.2. Inconvénients

Après les avantages, quels en sont les inconvénients ?

- (a) L'inconvénient majeur est la nécessité de disposer d'un satellite. Un satellite n'ayant qu'une durée de vie limitée (trois à quatre ans), convient-il donc de s'assurer que le satellite sera remplacé en fin de vie par un autre travaillant dans des conditions identiques.
- (b) L'emploi du satellite n'est pas forcément gratuit : une redevance risque d'être demandée par le gestionnaire du satellite.
- (c) Si l'on veut demeurer indépendant de la station de réception du gestionnaire, le coût d'une station de réception individuelle reste assez élevé (de 300 000 à 3 millions de francs).

3. METEOSAT ET TIROS N, SATELLITES DISPONIBLES POUR L'HYDROLOGIE EN EUROPE ET EN AFRIQUE.

Comme nous l'avons vu plus haut, deux satellites sont disponibles pour la télétransmission des mesures hydrologiques : ce sont METEOSAT et TIROS N.

3.1. Météosat

Ce satellite est géostationnaire. Ses coordonnées sont :

- latitude 0°
- longitude 0°
- altitude 36 000 km.

Les avantages de METEOSAT sont :

- (a) Le satellite est toujours visible (Europe et Afrique). Par conséquent, la cadence des émissions peut être librement débattue avec le gestionnaire.
- (b) Il est possible d'émettre des messages d'alerte, sous certaines conditions.
- (c) Le message émis peut être de longueur importante (5 192 bits) : il permet de transmettre un nombre important de paramètres.
- (d) En principe, la durée de ce type de satellite n'est pas limitée, chaque satellite étant remplacé tous les trois ou quatre ans.

Les inconvénients sont :

- (a) La station d'émission est plus chère que pour TIROS N à cause de la nécessité d'avoir une fréquence à l'émission très précise (tolérance d'environ 300 Hz pour une fréquence de l'ordre de 402 MHz) et très stable, d'une part ; de la nécessité de déclencher l'émission avec une horloge ne dérivant pas plus de 30 secondes par an (ce qui impose une horloge à quartz de haute qualité), insensible aux variations de température, d'autre part.
- (b) L'installation de la station est plus délicate, à cause de la nécessité de caler l'horloge d'émission à quelques secondes près, d'une part ; de caler l'antenne d'émission (qui présente un diagramme de rayonnement le plus directif possible), en site comme en azimut à quelques degrés près, d'autre part.
- (c) La station de réception, si l'on veut être indépendant de celle de l'Agence Spatiale Européenne située à Darmstadt, est onéreuse. L'antenne doit être située au foyer d'un miroir parabolique de dimension notable et un calculateur doit être associé au récepteur pour décoder, séparer et re-formater les messages. Avec la réception de l'image, un tel ensemble coûte environ 3 millions de francs
- (d) Dans les régions de latitude élevée ou dans des vallées encaissées, le relief peut masquer la vue directe de METEOSAT et par conséquent interdire la liaison.

3.2. Satellite TIROS N (système ARGOS)

Ce satellite a une orbite polaire.

Il sera visible à une station un nombre de fois fonction de la latitude de la station : 4 fois à l'Équateur, 38 fois aux Pôles.

Par rapport à MÉTÉOSAT, ses avantages sont les suivants :

- (a) Station d'émission plus simple, donc moins chère (20 000 F. pour TIROS N 30 000 F. pour MÉTÉOSAT).
- (b) Mise en œuvre plus simple, pas de calage de l'horloge, pas de calage de l'antenne.
- (c) La station de réception indépendante est moins onéreuse (si l'on désire s'affranchir du Système ARGOS) : environ 300 000 F.

Par contre les inconvénients sont :

- (a) Durée du Système ARGOS limitée à huit ans.
- (b) Les messages transmis ne peuvent pas dépasser 256 bits.
- (c) Aux basses latitudes, le nombre de passages de TIROS N peut être insuffisant.
- (d) Le retour des données n'est pas immédiat : les mémoires embarquées ne se vident qu'en vue des stations de réception situées à Wallops Island (USA), Gilmore Greck (Alaska - USA) et Lannion (France), et l'ensemble des messages transite par Suitland (USA) avant d'atteindre Toulouse où ils sont traités.

A première vue, il semblerait que :

- (a) MÉTÉOSAT soit bien adapté aux problèmes d'annonce et de prévision de crues.
- (b) TIROS N soit mieux adapté aux problèmes courants d'hydrologie opérationnelle.

4. LE RETOUR DES MESURES HYDROMÉTRIQUES TÉLÉTRANSMISES

Après réception (à Darmstadt pour MÉTÉOSAT, à Toulouse pour TIROS N), les messages sont traités en calcul automatique pour les séparer, les décoder (transcription binaire en décimal, par exemple) et, éventuellement, les transcoder en code HYDRA qui est le code adopté par l'Organisation Météorologique Mondiale, pour la transmission des mesures hydrométriques.

L'utilisateur peut recevoir les messages par téléphone, telex, ou même par lettre. Il lui est également possible d'employer le GTS : alors les messages arriveront sur les télécriteurs du Centre Météorologique Régional (avec possibilité de relais sur les stations synoptiques météorologiques).

Le Système ARGOS crée en plus un fichier «utilisateur» sur bande magnétique. Cette disposition est très intéressante. Les stations de réception indépendantes permettront également de créer des fichiers sur bandes magnétiques et j'ose espérer que cela sera bientôt possible à Darmstadt.

Ainsi, la technique de télétransmission va permettre :

- Grâce aux messages reçus par le GTS (ou par telex) de connaître avec quelques heures de retard le niveau de l'eau de la rivière, et de contrôler ainsi le bon fonctionnement de l'installation. Ce rôle de «sonnette» est important et peut, à lui seul, justifier l'emploi de la télétransmission.
- Grâce aux fichiers-utilisateurs, de mettre à jour les fichiers-stations sans aucune nouvelle saisie mécanographique (un contrôle demeure quand même indispensable, contrôle qui peut être réalisé par dessin automatique du limnigramme).

Il n'est pas impossible d'imaginer, avec une station de réception indépendante, une réinjection directe de l'information télétransmise dans un modèle mathématique de prévision de crue ou d'étiage, permettant ainsi une prévision en conditions bien proches du temps réel.

5. LES ESSAIS DE TÉLÉTRANSMISSION AU SENEGAL

5.1. Nature des essais

Dès le mois de juin 1978, le Service Hydrologique de l'ORSTOM a entrepris des essais de télétransmission par satellite, dans le but de tester et de choisir le matériel, d'évaluer le coût des transformations à apporter aux stations hydrométriques classiques et, enfin, de vérifier la bonne marche du retour des mesures à l'utilisateur.

Les deux systèmes de satellite sont utilisés.

Les paramètres mesurés sont : la hauteur d'eau de la rivière et la pluviométrie à la station.

5.2. L'équipement d'une station hydrométrique pour la télétransmission par satellite

Pour METEOSAT, comme pour TIROS N, le schéma d'équipement est le même. Nous trouvons :

- des capteurs,
- des codeurs,
- un interface codeurs-émetteur,
- un émetteur,
- une antenne,
- une alimentation.

(a) Les Capteurs

Pour la mesure du niveau de l'eau, cela peut être un simple limnigraphe.

Pour la mesure de la pluie, on peut employer un classique pluviographe équipé du non moins classique basculeur à mercure.

(b) Les Codeurs

La variations du niveau de l'eau entraînant, dans le cas du limnigraphe à flotteur, la rotation d'un arbre, cette rotation doit être mesurée par un codeur. A l'origine, on utilisait un potentiomètre de précision multitours : cette solution est à éviter car la transformation analogique-binaire est assez sensible aux variations de température, lorsque l'on exige une résolution d'au moins 10^{-3} . En outre, elle n'est guère moins chère que la solution digitale, fiable et précise. Avec cette solution, un codeur mesure la variation angulaire d'un arbre, en code binaire ou binaire réfléchi (code GRAY). Le codeur, pour une adaptation mécanique aisée, est multitours.

Les impulsions générées par le basculement des augets du pluviographe doivent, elles, être comptées.

(c) L'interface codeurs-émetteur

C'est une «boîte noire» qui rend électroniquement compatible les sorties codeurs avec les entrées émetteur.

6. L'EXPÉRIENCE DE SAINT-LOUIS DU SÉNÉGAL (SATELLITE METEOSAT)

6.1. L'installation de la station

En juin 1978, la station hydrométrique de Saint-Louis du Sénégal a été équipée pour essayer la télétransmission de la hauteur d'eau du fleuve Sénégal et de la pluie mesurée à la station. Le site avait été choisi en fonction de la sûreté du gardiennage (la station est dans l'enceinte de la Capitainerie du Port) et par les variations journalières importantes du niveau du fleuve, à cause de la marée. Enfin, Saint-Louis n'est qu'à trois heures de route de Dakar.

- L'antenne est une STAREC à haut gain, très directive.
- L'émetteur a été prêté par l'Agence Spatiale Européenne. Fabriqué par la Société française LCT, c'est avant tout un matériel de démonstration en laboratoire très sophistiqué, gourmand et par conséquent peu adapté aux besoins de l'hydrologue. A cette époque, c'était le seul matériel disponible...
- Bien sûr, il fallait un interface. Celui-ci nous a été prêté par la Société AERAZUR. Et cette «boîte noire» a été une vraie bête noire ! En effet, nous avons eu de multiples difficultés d'adaptation entre interface et émetteur, difficultés résolues grâce aux efforts des ingénieurs d'AERAZUR et de LCT.
- Le codeur des impulsions du pluviographe était contenu dans l'interface.
- Le codeur de la hauteur d'eau était, à l'origine, un NEYRTEC mécanique, et qui faisait également office de capteur (roue à picots avec ruban perforé, flotteur et contrepoids).
- Le pluviographe est un classique PRECIS-MECANIQUE.
- L'alimentation est assurée par des piles CIPEL.

La station a été mise en route le 20 juin 1978. En même temps, était testé le retour Paris-Dakar Yoff en employant le GTS (la liaison Darmstadt-Paris via le Centre Régional d'Offenbach n'était pas encore opérationnelle) avec des messages en code HYDRA.

6.2. Les difficultés rencontrées

Le 11 juillet, la station était modifiée : l'interface AERAZUR et le codeur NEYRTEC étaient remplacés par un limnigraphe OTT type XX, codeur opto-électronique OTT et interface OTT. Ce dispositif n'a pas fonctionné, l'interface n'étant pas adapté à l'émetteur. La station a été provisoirement arrêtée. Elle devrait refonctionner dans quelque temps avec le même limnigraphe OTT type XX, codeur OTT, interface modifiée, émetteur Électronique Marcel DASSAULT et antenne STAREC directionnelle. La compatibilité codeur-interface-émetteur a déjà été vérifiée en laboratoire, après une tentative infructueuse qui a obligé le fabricant à modifier l'interface.

Il ressort de cette expérimentation :

- que tout interface doit être réalisé par le constructeur même de l'émetteur, avec intégration - si possible - dans le boîtier de l'émetteur. L'hydrologue n'est pas forcément un électronicien et s'il sait se servir d'un contrôleur universel, il ignore généralement l'emploi d'un oscilloscope à mémoire.
- que le retour direct par le GTS n'est pas évident. L'emploi de système des télécommunications météorologiques, s'il est autorisé aux hydrologues, reste prioritaire pour les messages météorologiques synoptiques et l'envoi des facsimilés. Certes, nos messages sont très courts, mais ils risquent - si les stations se multiplient - de saturer le système ou d'être acheminés avec une dizaine d'heures de retard.

7. LA STATION DE KAOLACK (SATELLITE TIROS N)

7.1. La mise en service des installations

A l'origine, le satellite TIROS N devait être testé dans la même station de Saint-Louis. L'annonce faite par Électronique Marcel DASSAULT de nous confier un émetteur pour METEOSAT, le fait aussi que le site du port de Saint-Louis ne se prêtait guère à l'implantation d'une antenne omnidirectionnelle, nous ont conduit à choisir une seconde station. Le SALOUM à Kaolack a également des variations journalières dues à la marée et Kaolack n'est qu'à deux heures de voiture de Dakar. Là aussi, la station a été installée dans l'enceinte du port, en remplacement d'un vieux limnigraphe BRILLE, désaffecté. La station mesure la hauteur d'eau du SALOUM et la pluviométrie. Elle a été réalisée pour être tout à fait opérationnelle. Le capteur de niveau est un limnigraphe OTT type X. Il est équipé d'un codeur digital SYGTAYCOD, fabriqué par la CSEE. Le capteur de pluie est le même pluviographe PRECIS-MECANIQUE, avec basculeur à mercure. Son codeur est un NEYRTEC pas à pas.

- L'émetteur est fabriqué par Électronique Marcel DASSAULT. L'interface est inclus dans le coffret de l'émetteur et fabriqué par cette Société.

- L'antenne est omnidirectionnelle, l'alimentation est assurée par des piles CIPEL.
- Le tout, sauf le pluviographe, est contenu dans un abri de dimensions 1 m x 0,4 m x 0,4 m.

La station a été installée le 10 août 1978. Grâce à un banc de test prêté par le Système ARGOS, nous avons pu vérifier le bon fonctionnement de la station. Aussi, dès le lancement de TIROS N (13 octobre 1978), nous avons pu mettre la station en route et le 21 octobre le Système ARGOS nous annonçait que les messages étaient correctement reçus à Toulouse. Le décodage des messages et le transcodage automatique n'ont posé aucun problème : nous avons pu le vérifier au transit à Paris, à la Météorologie Nationale, lors du réacheminement sur Dakar-Yoff.

7.2. Le retour des données

Les données télétransmises reviennent à l'utilisateur sous deux formes : messages et fichier informatique.

(a) Les messages

Le Système ARGOS, après décodage du message reçu de TIROS N, réécrit l'information sous la forme d'un message en code HYDRA, code officiel adopté par l'Organisation Météorologique Mondiale pour la transmission des données hydrologiques. Les messages en code HYDRA sont alors injectés sur le réseau international des télécommunications météorologiques (GTS) et ils sont alors reçus sur les téléscripteurs du Service Météorologique de l'aéroport de Dakar-Yoff, via Paris.

La chaîne de décodage, codage et transmission, est entièrement automatique.

La qualité de la transmission est excellente. Elle a pu être vérifiée à partir du fichier informatique (établi à Toulouse) et des messages reçus à Dakar-Yoff.

(b) Délais de réception

Nous disposons, en retour de Dakar, d'un lot de 83 messages émis entre le 18 novembre et le 7 décembre. Les délais s'écoulant entre la réception de l'information (en provenance de la station de Kaolack) et l'arrivée du message HYDRA au Bureau Central des Télécommunications de Paris-Météo (c'est-à-dire lors du transit vers Dakar) s'établissant comme suit :

- 20 % sont reçus entre 1 et 3 heures après l'émission de Kaolack
- 40 % sont reçus entre 1 et 6 heures
- 80 % sont reçus entre 1 et 9 heures
- 100 % sont reçus entre 1 et 16 heures.

La valeur modale se situe aux environs de 6 heures de délais. A ce temps s'ajoutent les retards dans la transmission Paris-Dakar, les messages étant envoyés à 06, 12 et 18 heures TU, retards pour lesquels une évaluation est en cours.

(c) Le fichier informatique

Il est établi sur bande magnétique (9 pistes, 1 600 BPI), suivant la configuration du Système ARGOS.

Ces bandes sont reçues régulièrement au Bureau Central Hydrologique de l'ORSTOM à Paris. Elles sont alors traitées, comme le montre l'exemple ci-dessous, afin de faire apparaître en clair les hauteurs d'eau et la pluie.

JOURNEE DU 29 NOV 1978			
A	3 H	36 MN	HAUTEUR= 185
A	5 H	16 MN	HAUTEUR= 188
A	14 H	41 MN	HAUTEUR= 179
A	14 H	47 MN	HAUTEUR= 180
A	16 H	31 MN	HAUTEUR= 185

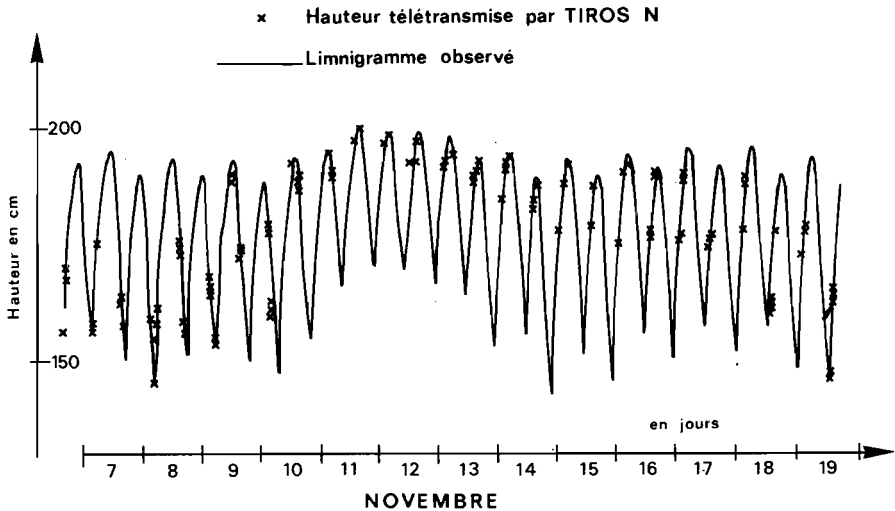
JOURNEE DU 30 NOV 1978				
A	3 H	19 MN	HAUTEUR= 179	PLUIE = 2.5
A	3 H	25 MN	HAUTEUR= 180	
A	5 H	2 MN	HAUTEUR= 187	PLUIE = 2.5
A	5 H	5 MN	HAUTEUR= 187	PLUIE = 0.5
A	14 H	30 MN	HAUTEUR= 175	PLUIE = 11.5
A	16 H	16 MN	HAUTEUR= 183	PLUIE = 0.5
A	16 H	20 MN	HAUTEUR= 184	

Il est évident qu'il est possible de transformer également ce fichier pour le ramener au format des fichiers hydrométriques utilisés à l'ORSTOM.

7.3. Qualité des données télétransmises

Les hauteurs d'eau du fichier magnétique (fichier DISPOSE) ont été reportées sur le limnigramme que nous avons reçu de Dakar. La concordance s'avère très correcte.

Par contre, la variation rapide du niveau du fleuve, sous l'influence de la marée, est mal décrite malgré une moyenne de six télétransmissions par jour. D'une part, il faut dire que la station de Kaolack est une très mauvaise station hydrométrique à cause de l'influence de la marée : le choix de cet emplacement n'a pas été dicté par des raisons strictement hydrologiques, mais justement par cette fluctuation du niveau du fleuve qui permet de vérifier la bonne tenue du capteur et du codeur. D'autre part, il manque le second satellite.



Il faut noter, enfin, que sur 2 345 données télétransmises : une est fautive et deux sont douteuses. Un tel taux de fiabilité (99,9 %) demeure remarquable.

7.4. Premières conclusions sur l'emploi du Système ARGOS en Hydrologie

Ces quelques premiers mois d'emploi du Système ARGOS, comparativement à l'exploitation classique d'une station hydrométrique ou même à l'emploi de la télétransmission via METEOSAT (également testée au Sénégal à Saint-Louis), indiquent déjà combien cette technique est prometteuse :

(a) Pour les besoins du réseau hydrométrique

La fonction primordiale n'est pas tellement dans la transmission rapide des données, mais surtout dans la vérification, au jour le jour, de la bonne marche de la station. Ce rôle de «sonnette» est, pour l'hydrologue, très important.

Nous en avons fait la preuve depuis la mise en route de la station de Kaolack. Le 2 novembre, la hauteur d'eau restait, à chaque message, égale à 1,74 m. Ceci se reproduisait le 3. Aussi, J. LERIQUE envoyait-il une équipe à Kaolack : le puits du limnigraphe était obstrué par des coquillages !... Le 6 novembre, tout était remis en ordre.

Ce rôle est tellement important que les hydrologues québécois ont opté pour la télétransmission à cause des économies à réaliser sur les tournées hydrologiques de contrôle. D'après un rapport de M. DESRUISSEAU, l'équipement des stations québécoises serait amorti en quatre ans grâce à la réduction du nombre des tournées systématiques effectuées, certes en hydravion, pour vérifier le bon fonctionnement des limnigraphes.

Le fichier magnétique (fichier DISPOSE) est également une aide précieuse dans le sens qu'il va permettre d'établir (ou de mettre à jour) le fichier hydrométrique sans aucune intervention mécanographique manuelle. Il sera cependant obligatoire de vérifier, préalablement à toute manœuvre informatique, que la dérive en hauteur d'eau, entre celle du limnigraphe (et par conséquent codeur) et celle observée à l'échelle limnimétrique, reste dans des valeurs tolérables. De même, il faudra dans certains cas compléter le fichier DISPOSE en tenant compte des variations de hauteur d'eau observées sur le limnigraphe et qui ont échappé à la télétransmission, du fait qu'elles se sont produites entre deux collectes.

L'enregistrement graphique demeure indispensable. Pour la pluviométrie, il faudra trouver un système permettant de tester le bon fonctionnement du matériel (basculement manuel des augets ou injection d'une quantité d'eau dans l'entonnoir).

(b) Pour la prévision hydrologique

Là réside la seule faiblesse du système par rapport à un satellite géostationnaire. Car, en fait, la transmission des paramètres reste liée à la liaison optique - possible ou non - entre station et TIROS N.

Le Système ARGOS montre qu'actuellement il faut compter normalement 6 heures entre transmission et ré-injection sur le GTS. Par conséquent :

- Si une information, à 24 heures près, est suffisante (grands bassins versants) le Système ARGOS, via le GTS, est tout à fait valable.
- Aux latitudes intertropicales, compte tenu du nombre de passages par jour de TIROS N et des délais d'acheminement via le GTS, je ne pense pas qu'il soit possible d'obtenir l'information hydrométrique à mieux que 12-18 heures.

Le délai de mise à disposition de l'information sera nul si l'on dispose d'une station de réception autonome, recevant l'information *au même instant* qu'elle est transmise. A la latitude de Dakar, ceci permet d'obtenir l'information en temps réel au moins quatre fois par jour.

- Si une télétransmission toutes les 6 heures n'assure pas une précision suffisante, il faut alors se tourner vers METEOSAT... si cela est possible, ou employer les moyens classiques (fil ou radioélectriques).

7.5. Perspectives d'avenir

Déjà, tel qu'il est, le Système ARGOS s'avère bien utile pour l'hydrologue, et je tiens à souligner le fait, quand même exceptionnel, que tout a fonctionné dès la mise sur orbite de TIROS N. Le décodage puis le transcodage en code HYDRA, la transmission sur Dakar, le fichier DISPOSE, tout cela a fonctionné aussitôt. Ceci est une belle prouesse.

La seule ombre au tableau vient de ce que ARGOS ne vivra que huit ans, à moins qu'il n'ait de nombreux enfants et petits-enfants. Actuellement, la télétransmission via ARGOS intéresse bon nombre d'hydrologues, et, sauf les remarques faites plus haut en ce qui concerne la prévision hydrologique, l'ensemble du système me paraît parfaitement opérationnel : ARGOS répond entièrement aux désirs des gestionnaires de réseaux hydrométriques.

8. ASPECT ÉCONOMIQUE DE LA TÉLÉTRANSMISSION PAR SATELLITE

Chiffrons le coût de l'équipement d'une station hydrométrique : nous admettrons que la station existe et qu'elle est déjà équipée d'un limnigraphe.

8.1. Station Météosat

• Codeur CSEE	4 500 F.
• Émetteur METEOSAT	30 000 F.
• Antenne	4 000 F.
• Abri, câbles et divers	1 500 F.
	40 000 F.

L'alimentation peut être assurée par des panneaux solaires rechargeant une batterie 10 Ah, 24 V, avec un limiteur de tension en sécurité, ce qui représente un supplément de l'ordre de 1 000 F., ou par une batterie de piles (300 F/an).

8.2. Station TIROS N (système ARGOS)

• Codeur CSEE	4 500 F.
• Émetteur TIROS N	19 000 F.
• Antenne	300 F.
• Abri, câbles et divers	1 500 F.
	25 300 F.

Alimentation par panneaux solaires (1 000 F.) ou par piles (150 F/an).

8.3. Remarques

- L'interface est intégré à l'émetteur.
- En cas de transmission de la pluie tombée à la station, il faudrait compter un supplément allant de 1 000 F. (compteur d'impulsions intégré à l'émetteur) à 5 000 F. (compteur NEYRTEC pas à pas).
- Dans le cas d'un limnigraphe asservi, donc disposant d'un couple moteur important, le codeur CSEE peut être remplacé par un codeur NEYRTEC (3 000 F.).
- Les prix indiqués sont hors taxes.

9. CONCLUSIONS

La simplicité et la souplesse d'emploi de la télétransmission par satellites expliquent l'intérêt certain que les météorologues, les hydrologues, etc., portent à cette technique.

Ce nouveau système paraît très prometteur et devrait permettre d'améliorer considérablement la qualité de l'information hydrométrique.

