

DOCUMENT 2.5.

**LA TRANSMISSION PAR SATELLITE
DES MESURES DE LA COUCHE DE NEIGE**

Pierre GUILLOT

*Chef du Service Ressource en Eau
Division Technique Générale
Électricité de France
Grenoble, FRANCE*

SUMMARY

Satellite relayed VHF transmission looks suitable for the alpine snow measuring sites, which are isolated and surrounded by high mountain ranges. «Electricité de France» plans to equip, as a first experiment hopefully during next winter, two of his automatic profiling snow gages with the Argos 256 binary digits platform, which looks capable to transmit density of each decimeter of the upper 4 meters of the snowpack. A thorough comparison should be made of the probable future ability of 3 VHF transmission techniques - satellite, ground relays, meteor burst - to meet the low cost, fast delivery requirements.

RÉSUMÉ

La transmission par satellite paraît bien adaptée pour les points de mesure de l'enneigement de haute montagne, qui sont très isolés et encaissés dans le relief. EDF prévoit, au cours de l'hiver 79-80, de réaliser un premier essai en équipant 2 de ses nivomètres à «faisceau horizontal mobile» avec la plate-forme d'émission ARGOS à 32 octets, qui paraît capable de transmettre le profil complet de densité des 4 mètres supérieurs de la couche de neige. Une comparaison approfondie de l'avenir probable de 3 solutions de transmission en ondes décimétriques - satellite, relais terrestres, réflexion sur les débris des météores - devra être faite quant aux coûts et délais de diffusion.

01. A première vue, dans un territoire peuplé et doté d'une infrastructure de télécommunications comme la France, et vu la dimension modeste de la plupart des bassins versants qui intéressent la production d'énergie et l'annonce des crues, le système ARGOS n'est pas d'un intérêt évident pour la transmission des mesures hydrologiques :

02. Si le but est la prévision des variations des débits, le délai ARGOS de plusieurs heures (période de passage du satellite, plus délais de répercussion du message) est rédhibitoire pour des bassins versants dont le temps de réaction est le plus souvent inférieur à 6 heures : la crue arriverait avant qu'elle soit annoncée. Au contraire, les moyens existants de transmission, sur support fil ou radio, peuvent être utilisés selon une procédure adaptée à la rapidité d'évolution des débits : enquête à périodicité ajustable selon les circonstances hydrométéorologiques, alarme déclenchée par le capteur en cas de dépassement d'un seuil, ou enfin télémessure permanente. Les progrès rapides du réseau téléphonique automatique français permettent d'ailleurs d'espérer des solutions particulièrement économiques, et bien adaptées aux besoins de l'hydrologie, sous la forme d'enregistreurs et répondeurs automatisés, ceci suppose bien entendu une bonne fiabilité du réseau téléphonique public en cas de perturbations atmosphériques mais là aussi l'Administration des Postes et Télécommunications travaille pour nous.

03. Si le but est l'exploitation à périodicité hebdomadaire ou mensuelle du réseau de mesure, aux fins de prévisions mensuelles ou d'études a posteriori, l'acheminement postal des documents d'enregistrement (bulletins, diagrammes, cassettes), complété éventuellement par la collecte téléphonique des dernières observations du mois, paraît suffisant : nous joignons en annexe une notice qui présente les solutions d'enregistrement ou de transmission que nous utilisons pour les diverses données hydrologiques (cf. p. 159 et 160).

04. Il existe cependant un domaine de mesures hydrologiques pour lequel le système ARGOS, s'il tient ses promesses, peut venir occuper un créneau, c'est celui des mesures d'enneigement dans les emplacements isolés et difficiles d'accès, spécialement dans les régions de haute montagne au relief accidenté qui crée des masques difficiles à franchir par les liaisons radio haute fréquence.

05. Certains pourront s'étonner qu'on ait besoin de télémessure urgente pour des données qui servent à calculer des prévisions des *apports saisonniers* de fonte. Mais pour être effectivement traduite en décision de vidange de nos lacs hydroélectriques, c'est-à-dire en production d'énergie d'hiver de grande valeur, l'information quantitative sur les stocks neigeux doit être fournie dans le délai le plus court possible, c'est-à-dire dès que les chutes de neige ont eu lieu. En effet, c'est pendant les semaines de plein hiver et le plus tôt possible avant la fonte (*) que les lâchures de lac ont leur plus grande valeur.

(*) C'est seulement après que la fonte ait largement entamé les franges du stock neigeux, c'est-à-dire pas avant la mi-mai dans les Alpes, que les images données par les satellites donnent une mesure de la surface couverte de neige qui est liée avec le volume d'apport de fonte. Pendant la période d'accumulation du stock, seules des mesures au sol peuvent servir pour les prévisions d'apports qui sont faites à partir du début de février, et même dès janvier dans les Alpes du Sud. Voir référence (1).

06. Or les sondages manuels, avec pesée d'échantillon de neige, réalisés en haute montagne, au prix de longs trajets à ski, ne peuvent être suffisamment fréquents, ni garantis à date fixe : ils sont obtenus «vers la fin du mois» mais avec des retards éventuels de plusieurs semaines vu la difficulté de circuler en montagne et les risques d'avalanche dans les jours qui suivent les fortes chutes de neige. C'est pourquoi nous nous sommes attachés à développer un appareil automatique qui mesure l'épaisseur et la densité de la couche de neige et transmet ces mesures par radio une fois par jour [cf. Réf. (2)].

07. L'EDF a ainsi entrepris d'équiper une sélection des meilleurs emplacements témoins d'enneigement, à raison de 20 dans les Alpes et de 10 dans les Pyrénées, avec le nivomètre à faisceau horizontal mobile, qui donne le profil complet de densité par décimètre jusqu'à une épaisseur de 6 mètres, d'où, par intégration, la valeur en eau de la couche de neige. Ce dispositif est le seul qui puisse donner une information complète sur la structure en densité de la couche, structure qui intéresse tous les usagers de la neige. Les autres dispositifs, «coussins à neige» (snow pillow) développés en Amérique du Nord, ou nivomètre vertical, n'indiquent que la valeur totale en eau, mais ni l'épaisseur ni la densité de la couche de neige. Or, cette information détaillée est importante pour suivre l'évolution et le mûrissement du manteau avant la fonte ; elle est aussi très utile pour juger des risques d'avalanche qui correspondent à l'épaisseur de neige poudreuse récente en surface, ou à la présence de strates relativement faibles qui subsistent souvent plusieurs semaines dans l'intérieur du manteau.

08. La capacité maximale du message de télémessure ARGOS, qui est de 32 octets, soit 256 bits, permet de transmettre la totalité du profil par décimètre jusqu'à une épaisseur de 4 mètres (40 fois 6 bits, plus 16 bits pour indiquer l'épaisseur et la valeur en eau totales) ; en cas d'épaisseur plus forte, on peut conserver la transmission du profil détaillé des 4 mètres supérieurs, qui sont les plus utiles à connaître et, de toute façon, l'épaisseur et la valeur en eau totales.

09. Nous avons donc récemment adhéré à l'organisation ARGOS pour la transmission de 2 de nos nivomètres haute montagne, 1 dans les Alpes, 1 dans les Pyrénées, choisis parmi les 15 que nous aurons en service l'hiver prochain.

L'expérience nous a paru intéressante à tenter à plusieurs titres :

- elle résout le problème des masques montagnoux, auquel nous nous heurtons avec la transmission radio 71,2 Mhz que nous avons utilisée jusqu'à présent ;
- elle résout de façon efficace la concentration et la diffusion à plusieurs organismes (EDF, Météo, Eaux et Forêts, ...) de l'information relativement volumineuse, et d'intérêt général, que représente le profil de densité complet du manteau neigeux ;
- elle nous oblige à faire un dernier effort de perfectionnement du nivomètre qui consiste à le doter d'un registre mémoire de stockage de l'information avant retransmission (quelle que soit la voie de transmission dans l'avenir, un message concentré dans une durée d'une seconde, au besoin répétitif, a de meilleures chances d'échapper aux aléas de transmission que s'il est étalé sur plusieurs minutes, comme nous le faisons jusqu'à présent en émettant un signal à chaque décimètre pendant le fonctionnement du capteur).

DÉVELOPPEMENT DE LA SAISIE ET DU TRAITEMENT DES DONNÉES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES

à ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - Division Technique Générale

Service « RESSOURCE EN EAU »

1 / GÉNÉRALITÉS

La disponibilité d'un ensemble cohérent de données hydroclimatologiques de qualité, relatives aux zones d'implantation des principaux centres de production d'énergie est une nécessité pour ELECTRICITÉ DE FRANCE qui y fait appel pour :

- les études d'aménagements nouveaux et de leur impact sur l'environnement
- la définition et l'application des clauses contractuelles propres à chaque aménagement
- la conduite des centres de production, en temps normal et en période de crue
- les études de valorisation de l'énergie des chaînes d'aménagement
- l'exploitation optimale, par le Service des Mouvements d'Énergie du parc d'usines hydrauliques.

Dans ce cadre, la DIVISION TECHNIQUE GÉNÉRALE est chargée d'une part de la réception et de l'adaptation à ces problèmes spécifiques des informations prévisionnelles de la Météorologie Nationale et d'autre part de la sélection, de la saisie et du traitement des données hydroclimatologiques essentielles :

- précipitations, températures de l'air, état du stock neigeux
- débit et températures des rivières

Cette action est menée dans un contexte de contraintes propres à l'établissement :

. Situation des points de mesure dans des régions étendues et montagneuses (Alpes, Jura, Massif Central, Pyrénées).

. Nécessité de disposer de données de bonne qualité, dans un délai très court, pour pouvoir agir sur l'exploitation des centrales en fonction de l'évolution de l'hydraulicité.

. Recherche d'un nombre réduit de points de mesure de forte représentativité (d'une zone géographique ou d'une classe de phénomènes), qui joueront le rôle de Témoins, équipés de télétransmissions.

. Conception du système de Télémessures permettant simultanément la concentration systématique des informations vers un nombre limité de centres de décision (Dispatching du Service des Mouvements d'Énergie) et l'accès sélectif à ces informations depuis des centres dispersés (Équipes d'intervention, usine-pilote de groupement, centres régionaux de prévision, Direction de l'exploitation (G.R.P.H.) etc...).

. Les solutions que la D.T.G. s'est efforcée d'apporter, répondent aux impératifs actuels de gestion des réseaux de ce type :

. Recherche des moyens modernes de saisie permettant l'automatisation du traitement des données dans un centre de calcul.

. Standardisation maximale des matériels pour en faciliter la maintenance et rendre cohérent le système informatique de traitement.

- 1) - défini il y a plus d'un siècle par l'"Association Française pour l'avancement des Sciences", et composé d'un récipient tronconique avec bague de réception circulaire de 400 cm² placée à 1,50 m du sol.

2 / DÉVELOPPEMENTS DES MATÉRIELS

Les recherches poursuivies depuis environ 15 ans ont porté sur :

- les codeurs numériques des différentes données
- les enregistreurs sur bande magnétique en cassette
- les télétransmissions.

2.1. Les Capteurs-codeurs

2.1.1. Précipitations

Le réseau comporte 400 points de mesures dont 160 sont équipés, en plus du pluviomètre "Association" (1), d'un pluviographe à augets basculants (20 g) avec entonnoir de 2000 cm² et carter isolant à chauffage électrique. Un contact à mercure lié aux Augets change d'état à chaque basculement correspondant à 0,1 mm de précipitation.

On dispose donc d'un capteur codeur digital incrémental.

2.1.2. Niveau d'eau aux stations de jaugeage

Le réseau E.D.F. comporte environ 180 stations avec limnigraphe. Après de longues recherches, un codeur mécanique angulaire a été sélectionné, il est entraîné par le capteur de niveau qui peut être soit un flotteur soit l'arbre de sortie d'un limnimètre asservi à insufflation de gaz. Ce codeur, fabriqué par NEYRTEC (GRENOBLE) se compose d'une série de roues à cames et fournit sur 12 ou 15 contacts repos-travail en parallèle la valeur numérique de la mesure en code binaire réfléchi ou naturel ; il présente un faible couple résistant, ce qui permet avec un flotteur Ø 250 mm d'assurer son entraînement en même temps que celui d'un limnigraphe classique (SIAPE ou OTT) avec une sensibilité de 0,5 cm.

2.1.3. Température de l'eau et de l'air (2)

La D.T.G. a développé un thermomètre digital original pour disposer d'un capteur numérique précis, de faible consommation, de grande sensibilité : le senseur est une sonde à résistance de platine (100Ω à 0°C) insérée dans une branche d'un pont de Wheatstone ; sur ordre de l'enregistreur, le pont est équilibré par commutation successive de résistances de valeur décroissante dans un rapport 2. Le signal est composé d'un nombre d'impulsions proportionnel à la température en dixième de degré celsius et il est lisible en clair sur un afficheur digital incorporé - l'autonomie, assurée par 4 piles 1,5 v est compatible avec celle de l'enregistreur.

Ces capteurs sont tous étalonnés sur un banc de précision dont dispose la D.T.G. et offrent une précision réelle de 0,1°C.

- Ils sont essentiellement utilisés pour la mesure des températures des cours d'eau, mais l'extension de leur emploi à la mesure des températures de l'air, notamment pour des télétransmissions est en cours d'étude.

- (2) - Voir fiche technique D.T.G. n° 56 "Mesures des températures en rivière".

2.1.4. Stock neigeux

Les recherches entreprises par E.D.F. il y a plus de 25 ans, pour la mesure automatique de la valeur en eau du manteau neigeux ont permis d'aboutir à un dispositif automatique de bonne fiabilité dont le développement est activement poursuivi.

La mesure est fondée sur l'atténuation du rayonnement d'une source radioactive, par les molécules d'eau. La source est constituée de Césium 137, le capteur est un compteur GEIGER-MULLER.

2 modèles sont utilisés suivant la hauteur maximum de neige à mesurer : ils disposent avec une batterie sèche de 40 A.h. d'une autonomie de 6 mois pour une mesure par jour.

Télenivomètre vertical - pour hauteur de neige jusqu'à 1,50 mètre.

C'est un appareil entièrement statique, comportant un portique d'environ 2 m de hauteur supportant, dans un contenant de sécurité une source d'environ 100 mCi dont le faisceau collimaté est dirigé verticalement vers le sol. Le capteur (compteur GEIGER), est placé dans le sol. La mesure, déclenchée par ordre de l'électronique, est constituée par le temps nécessaire au comptage d'un nombre fixe (2048) de désintégrations, elle est répétée 4 fois à chaque ordre.

Télenivomètre horizontal (1) - (pour toute hauteur de neige)

C'est un appareil à équipage mobile : 2 poteaux creux espacés de 60 cm sont reliés par une "tête" contenant l'électronique de commande et le moteur. La source (10 mCi) et le compteur se déplacent simultanément chacun dans un des poteaux. Le faisceau de la source est collimaté horizontalement. Le moteur, du type pas à pas, est alimenté par les impulsions reçues du compteur : l'équipage se déplace donc à une vitesse variable fonction de la densité de la neige sur une tranche horizontale.

Un signal est émis tous les 10 cm de course. La mesure est donc constituée par la succession des intervalles de temps séparant les signaux successifs.

L'arrêt de la mesure se fait automatiquement lorsque l'équipage mobile dépasse la surface de la neige, par détection d'un seuil dans le taux de comptage, et l'équipage retourne à sa position de repos dans le sol.

2.2. L'enregistrement local (2)

Le choix de la bande magnétique comme support d'enregistrement in situ pour les données hydro-climatologiques a été fait par la D.T.G. il y a environ 15 ans. Après une première réalisation menée à bien en étroite collaboration avec l'E.N.E.L. et la Société Italienne SIAPE (en utilisant une cartouche à bande sans fin), ce système a ensuite été développé par la D.T.G. et a conduit à un enregistreur autonome sur cassette digitale (3). Cet appareil, conçu pour fonctionner en ambiance sévère (-20°C + 50°C) utilise un code binaire bipiste et un format d'enregistrement sur 16 bits (11 bits de mesure, 4 bits de comptage cyclique du rang de la mesure, 1 bit séparateur) - il fonctionne sur 4 piles 1,5 v - son autonomie, qui correspond à celle d'une cassette, couvre 25 000 mesures environ - il comporte une base de temps interne, à quartz, permettant diverses cadences d'enregistrement (2 s à 30 mn).

Il offre la particularité d'une densité variable d'enregistrement et nécessite, pour la lecture des cassettes, un lecteur spécialisé. Le lecteur qu'a réalisé la D.T.G. est directement relié à l'ordinateur du Centre de Calcul (I.C.L. 1902 T) comme un périphérique. Il peut aussi être utilisé "Off line" pour examen particulier des enregistrements présentant des anomalies.

Cet enregistreur peut recevoir les mesures des capteurs décrits ci-dessus :

- Les précipitations laissent l'énergie produite par les alternateurs des centrales hydrauliques utilisées comme "Station de jaugeage") sont cumulées dans le compteur d'entrée pendant l'intervalle séparant 2 ordres de la base de temps.

- Les mesures de température sont commandées par l'enregistreur et traduites en code binaire.

- Les mesures de niveau, également commandées par l'enregistreur sont directement enregistrées.

D'autres utilisations sont possibles et plusieurs Services de l'E.D.F. l'utilisent comme enregistreur d'essais, avec des capteurs codeurs adaptés à divers grandeurs.

3 / LE TRAITEMENT DES DONNÉES ENREGISTRÉES SUR CASSETTE (4)

Les cassettes sont regroupées par type de données enregistrées et après contrôle (sur le lecteur "Off line") de leur qualité, sont transférées en mémoire centrale de l'ordinateur et subissent les traitements habituels au moyen d'une chaîne de programme standard, comportant en général :

- Elaboration de valeurs moyennes horaires et journalières

- Transformation des hauteurs en débits, par l'intermédiaire des fichiers numériques d'étalement des stations

- Archivage en fichier de travail annuel

- Edition automatique sur imprimante de tableaux divers

- Graphes divers sur traceur de courbe.

4 / LES TELETRANSMISSIONS

Divers systèmes sont utilisés simultanément par E.D.F. :

- Répondeurs automatiques phoniques sur le réseau Téléphone Public (précipitations, niveau) (70 sont en service depuis parfois 20 ans)

- Transmissions numériques privées, à faible distance (\neq 5 km) sur paire téléphonique (température de l'eau, niveau)

- Transmissions numériques privées, longue distance, utilisant une ligne spécialisée téléphonique (entre capteur isolé et "poste" E.D.F.) et une liaison du type Emetteur-Récepteur cyclique privée reliant les centres de décision (dispatching, postes de commande centralisée) et les centres de Production ou de Transport. Ce réseau existant pour d'autres besoins E.D.F., effectue un "rafraîchissement" de l'information toutes les 10 secondes et peut être utilisé pour tous les types de capteurs

- Transmissions radio, avec codage "impulsion-temps" (valeur en eau de la couche de neige).

Les études en cours ont pour objet la définition d'un système standard de collecte centralisée, avec possibilité d'interrogation sélective depuis le pupitre central et accès possible, pour information rapide, à divers utilisateurs.

5 / PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT

- Un plan d'équipement systématique en enregistreur sur cassette, des postes fondamentaux est en cours. Il concerne environ 150 limniographes, 150 pluviographes, 50 thermomètres et 50 usines témoins et doit être achevé en 1982.

- A fin 1978, 50 thermomètres, 10 pluviographes, 10 usines et 5 limniographes sont équipés

- Ce plan prévoit également d'étendre de 15 à 35 le nombre de Télenivomètres et de doter les 2 "Centres Régionaux de Prévisions" d'un système de collecte automatique, à cadence et sélectivité variables, des informations des "stations Témoins".

(1) - Voir fiche technique dtg n° 23 et fiche MESUCORA 1976 "Télenivomètre à faisceau horizontal mobile".

(2) - Voir fiche technique DTG n° 50 "Enregistreur magnétique incrémental autonome".

(3) - Type PHILIPS.

(4) - Voir fiche technique DTG n° 63 "Matériel de dépouillement pour cassettes".

10. Nous espérons donc que l'hiver 79-80 nous apportera des résultats concluants quant à la fiabilité et aux délais de transmission. A nos yeux, l'intérêt de l'expérience ARGOS réside dans la mise au point de composants et de méthodes qui pourraient préfigurer un système définitif de transmission quasi immédiate par les satellites géo-stationnaires, particulièrement adapté à la desserte des régions montagneuses quasi désertes.

11. La réduction du délai est encore plus importante pour la connaissance des risques d'avalanche qui est un objectif de sécurité publique. Les progrès futurs des techniques de transmission en ondes décimétriques se traduiront sans doute par une compétition entre les solutions suivantes :

- utilisation des satellites,
- relais terrestres actifs ou passifs,
- réflexion sur les trains ionisés des météores (c'est cette dernière solution qui est mise en œuvre dans le système SNOTEL de transmission des mesures d'enneigement dans l'ouest des États-Unis) [cf. Réf. (3)].

RÉFÉRENCES

Réf. (1) MARBOUTY D., OBLED Ch., GUILLOT P.

Les images de satellite et les mesures de la couche de neige, Société Hydrotechnique de France, séance du 15 mars 1977

La Houille Blanche, n° 7/8, 1978.

Réf. (2) GUILLOT P., VUILLOT M.

Le télénivomètre à faisceau horizontal mobile

Bulletin de l'AISH, XIII, 4 - 12/1968, pp. 47-70.

Réf. (3) BARTON M., BURKE M.

SNOTEL : an operational data acquisition system using meteor burst technology.

Proceedings of the 45th Western Snow Conference, April 1977, pp. 82-87.

