

LA TÉLÉTRANSMISSION DES MESURES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES
ET LES BESOINS DE L'AGENCE FINANCIÈRE DES BASSINS
SEINE - NORMANDIE

p a r

Jacques CALLEDE
Ingénieur-Hydrologue

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

SERVICE HYDROLOGIQUE

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 32.803 ex

Cote : **B**

DECEMBRE 1980

LA TELETRANSMISSION DES MESURES HYDROMETEOROLOGIQUES
ET LES BESOINS DE L'AGENCE FINANCIERE DES BASSINS
SEINE - NORMANDIE

Par lettre en date du 5 Décembre 1979, la Sous-Direction "Ressources en Eau" de l'Agence Financière des Bassins SEINE-NORMANDIE demandait au Service Hydrologique de l'ORSTOM d'étudier l'application des techniques de télétransmission au réseau hydrométéorologique situé dans le périmètre de compétence de l'Agence.

Il était demandé d'étudier les problèmes techniques et financiers posés par le codage de l'information, le stockage de cette information, la télétransmission par fil ou par système radio-électrique (classique ou par satellite), et l'utilisation éventuelle en temps réel. Une étude financière était demandée pour de 5 à 300 points de mesure, avec un cas particulier concernant les réservoirs SEINE (16 points de mesure).

Cette note est le résultat de notre étude.

1. - TECHNIQUE ET BUTS DE LA TELETRANSMISSION

Par définition, la télétransmission des mesures hydrométéorologiques consiste à transmettre à distance la valeur des paramètres mesurés à une station.

Lorsqu'un observateur téléphone au Service hydrologique la hauteur d'eau qu'il vient de lire sur l'échelle hydrométrique de sa station, il effectue en quelque sorte une télétransmission. A la limite, la transmission par voie postale de la feuille mensuelle des relevés de hauteur d'eau est un procédé de télétransmission, tout comme un limnigraphe, par son enregistrement graphique, pourrait être considéré comme une station automatique, car l'information y est stockée.

Mais dans ce qui suit, nous nous occuperons seulement des procédés de télétransmission ayant les caractéristiques suivantes :

- prélèvement automatique de l'information suivant un rythme bien défini,
- stockage éventuel de l'information dans la station de mesure,
- transmission de l'information sur un site central,
- visualisation directe de l'information au site central,
- conservation de l'information sur un support informatique et introduction de l'information dans le fichier hydrométéorologique soit en temps réel, soit en temps différé.

En effet, les buts de la télétransmission vont être :

- a) - de contrôler au site central, par la visualisation de l'information, la bonne marche du système et de pouvoir avertir les brigades hydrologiques en cas de défaillance (puits du limnigraphe bouché, par exemple). Ceci permettra d'assurer une meilleure exploitation du réseau hydrométéorologique, associée à une économie certaine sur les frais de tournées hydrologiques (tant pour l'entretien du réseau que pour les mesures de débit);

- b) - de donner l'alerte, dans le cas d'un réseau d'annonce de crue, lorsque les paramètres dépassent un seuil préalablement fixé.
- c) - d'effectuer la mise à jour des fichiers informatiques sans aucune reprise mécanographique manuelle de l'information. Seul un contrôle est à effectuer pour éliminer d'éventuelles erreurs de transmission.

2. - ORGANISATION D'UN RESEAU DE TELETRANSMISSION

La figure n°1 donne l'organigramme d'un réseau de télétransmission.

La station de mesure a été volontairement plus détaillée, car dans bien des cas l'hydrologue aura à assembler lui-même les différents constituants, tandis que le système de réception est un ensemble électronique homogène, adapté à la configuration du site central.

L'ensemble capteur-codeur (figuré en hachuré sur le dessin) est indépendant du système de transmission choisi.

3. - L'ENSEMBLE CAPTEUR-CODEUR

Contrairement à ce que l'on pourrait supposer, l'ensemble capteur-codeur destiné aux hydrologues répond à des besoins et à des caractéristiques strictement spécifiques et pour lesquels aucun des matériels adoptés par la Météorologie Nationale ne peut convenir.

3.1.- Mesure et codage de la hauteur d'eau des rivières

3.1.1.- Capteur

Tous les limnigraphes actuellement en service sur le périmètre de l'Agence, qu'ils soient pneumatiques ou à flotteurs, traduisent une variation de hauteur d'eau par une rotation d'un axe. Cette rotation est facile à mesurer et à coder. Le limnigraphe étant un appareil robuste et bien au point, son utilisation en télétransmission consistera en une simple adjonction d'un codeur.

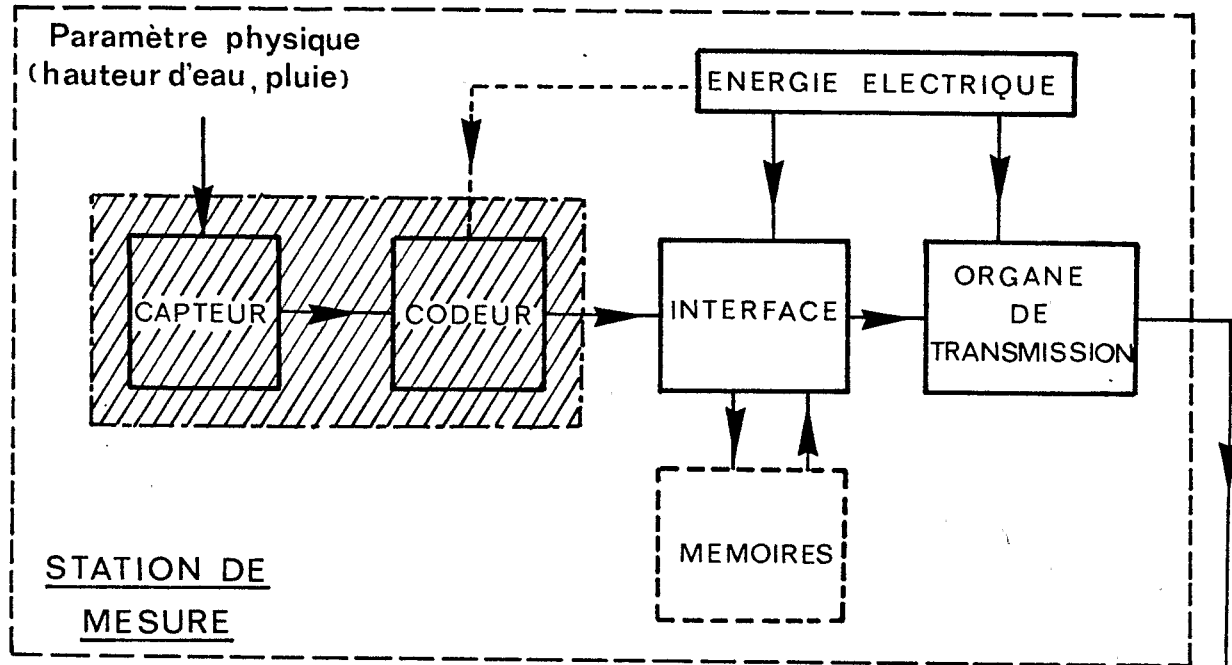
3.1.2.- Codeur

Le procédé employé, il y a une quinzaine d'années, consistait à adjoindre au limnigraphe un potentiomètre linéaire multitours. Cette solution s'est avérée assez décevante, d'autant plus qu'elle est de coût identique à celle employant un codage digital.

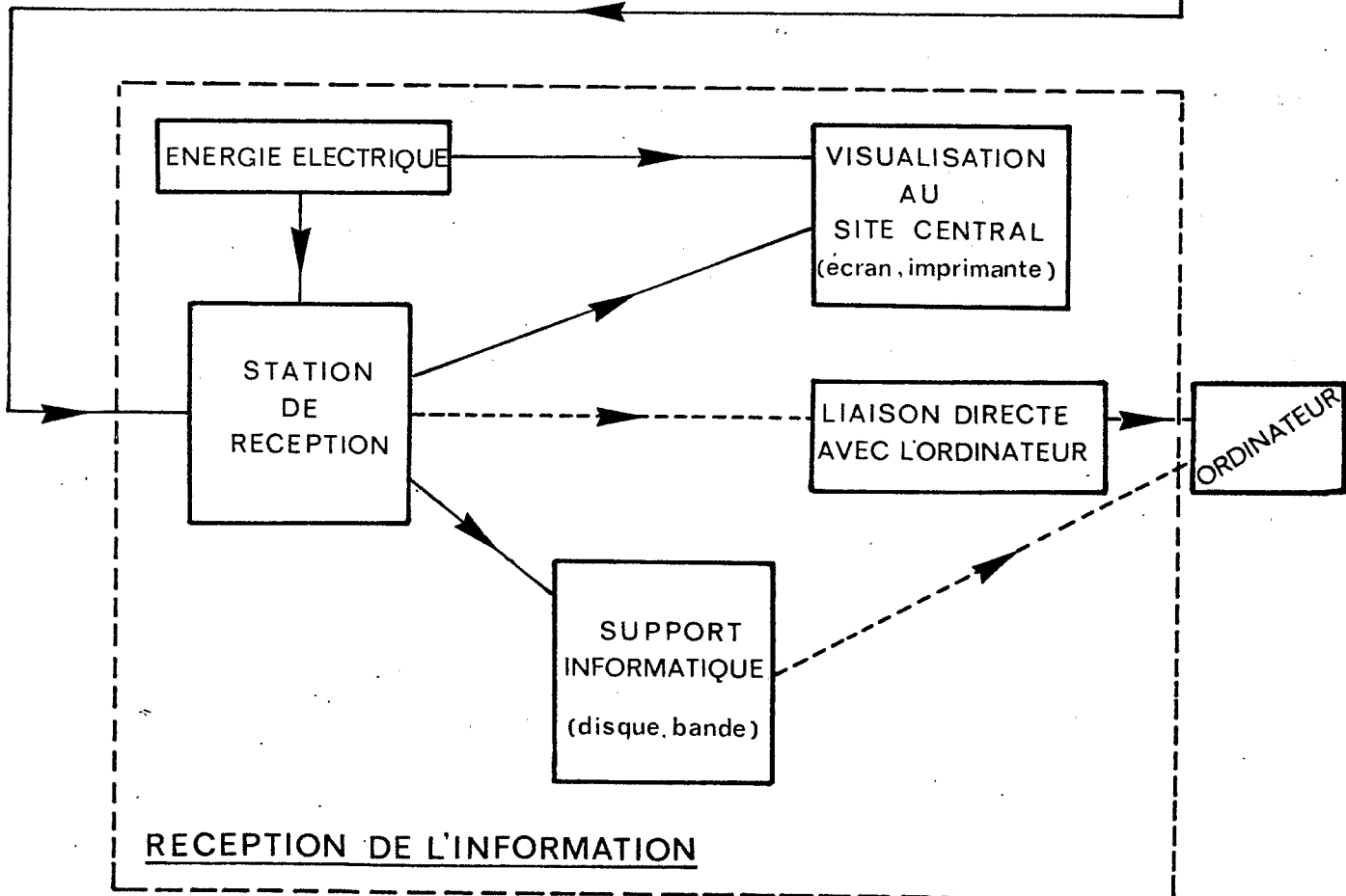
En effet, un codage "analogique" présente les inconvénients suivants :

- si l'on désire une amplitude de mesure assez grande (0 à 5 m par exemple) assurant la précision du cm, la linéarité doit être garantie à 10^{-3} au moins. Ceci pose des problèmes au niveau du contact frotteur/résistance surtout si l'on désire un couple de frottement le plus réduit possible;
- l'utilisation de l'analogique implique, au niveau transmission, une transformation analogique/digital ou analogique/analogique (fréquence, en général). Cette transformation implique des circuits parfaitement insensibles (à 10^{-3} aussi) aux variations de l'environnement (température en particulier);
- le contrôle du calage limnigraphe/analogique ne peut se faire que par l'intermédiaire d'un ensemble électronique.

ORGANISATION D'UN RESEAU DE TELETRANSMISSION EN HYDROMETEOROLOGIE



MOYEN DE TRANSMISSION (FIL, RADIO)



A part quelques installations anciennes (Port autonome de Bordeaux) la solution analogique est abandonnée. La rotation de l'axe du limnigraphe, en fonction de la hauteur d'eau, actionne un codeur qui donnera directement la hauteur d'eau en cm. Le code employé peut être soit le binaire pur, soit le décimal codé binaire, soit plus généralement le binaire réfléchi (code GRAY).

En binaire réfléchi, l'incréméntation d'un nombre se traduira par un changement d'état (0 ou 1) d'un seul digit. Ceci permet de réduire le couple de frottement (pour les codeurs mécaniques) et surtout de lever l'ambiguïté lorsque le codeur est à cheval entre deux valeurs successives. Par contre le codeur binaire réfléchi doit avoir une capacité nettement supérieure à l'intervalle de variation du niveau de l'eau, car il est pratiquement impossible de connaître la valeur réelle du capteur en cas de dépassement de capacité.

Prenons, en effet, un codeur à 4 digits et voyons la représentation des valeurs décimales

<u>Décimal</u>	<u>Binaire pur</u>	<u>Binaire réfléchi</u>
0	0	0
1	1	1
2	10	11
3	11	10

10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

Tant que le codage s'effectue dans la plage 0 - 15, il n'y a pas d'ambiguïté. Mais supposons un dépassement de capacité, avec toujours un codeur à 4 digit:

<u>Décimal</u>	<u>Binaire pur</u>	<u>Binaire réfléchi</u>
16	0 c'est-à-dire 0	1000 c'est-à-dire 15
17	1 "	1001 "
18	10 "	1011 "
19	11 "	1010 "

Tandis que le codeur "binaire pur" revient à zéro, puis s'incréménte au fur et à mesure, le codeur "binaire réfléchi" va indiquer des valeurs symétriques par rapport au maximum de capacité. Cela veut dire qu'il sera très difficile et bien souvent impossible d'employer un codeur en code binaire réfléchi s'il y a risque de dépassement de la capacité du codeur. Dans la pratique, les codeurs auront 9 ou 10 digits (permettant de mesurer un marnage de 5, 12 m ou 10, 24 m), exceptionnellement 8 digits -un octet- pour un marnage n'excédant pas 2,56 m.

Remarquons également que les codeurs actuels ignorent les nombres signés le codage s'effectue toujours en positif.

Il existe sur le Marché européen un bon nombre de codeurs pouvant satisfaire les besoins de l'hydrologue. Ces codeurs sont soit mécaniques, soit opto-électroniques.

Les codeurs mécaniques sont robustes et ne nécessitent aucune énergie électrique, mais ils ont un couple de frottement inhérent à leur principe. Les codeurs opto-électroniques n'ont aucun couple de frottement appréciable, mais ils consomment de l'énergie et sont chers.

FABRICANTS :

- Compagnie des Signaux et Entreprises Electriques
17, Place Etienne Pernet - 75015 PARIS
(Monsieur DELMASSES)

Codeurs SYGTAYCOD, type 11 SC 62, capacité 1024 unités (16 tours à raison de 64 unités par tour). Ce codeur mécanique miniature, très fiable, convient particulièrement pour transformer les appareils déjà en place, y compris le OTT X. Inconvénient : le codeur est aveugle et il faut une boîte de contrôle (très simple à construire) pour caler le codeur sur le limnigraphe. Prix (montage compris) environ 5 000 F. Sortie parallèle 10 digits + commun (pôle négatif).

- NEYRTEC
Boite postale 61 X - 38041 GRENOBLE
(Monsieur DELAGE)

La Société NEYRTEC fabrique toute une série de codeurs mécaniques très simples (binaire pur, décimal codé binaire, binaire réfléchi) ayant une capacité variant entre 9 et 16 digits. Ces codeurs, qui frottent un peu, sont bien adaptés aux limnigraphes pneumatiques de cette Société (LAG 3, LAH 2). Attention, le TELELIMNP ne peut pas être équipé. Prix environ 2 500 F (codeur nu) + montage dans le limnigraphe.

- O T T
Postfach 21 20 - D 8690 KEMPTEN (R.F.A.)

Suivant sa tradition, la Société OTT fabrique un très beau codeur opto-électronique pouvant équiper les limnigraphes R16 et R20, mais d'un prix en conséquence (14 000 F.).

D'autres codeurs peuvent peut-être convenir (MCB, SEBA, etc...), mais ils n'ont pas encore été essayés par le Service hydrologique de l'ORSTOM. Un prototype construit par M. DUPOUYET (Service hydrologique centralisateur de Toulouse), utilisant l'effet HALL, paraît très intéressant : il permettrait même d'équiper le TELELIMNP et de coder les hauteurs négatives.

3.2.- Mesure et codage de la pluviométrie

3.2.1.- Capteur

Le capteur classique reste l'auge basculeur, équipé d'un contacteur à mercure générant une impulsion à chaque basculement. La transformation d'un pluviographe classique est très bon marché : 100 F. environ.

3.2.2.- Codeur

Le codage de l'information "pluie" peut se concevoir de deux façons :

- soit que l'on totalise le nombre de basculements entre deux intervalles de temps (pas de temps fixe ou variable),

- soit que l'on code l'instant (heure, minute) du basculement.

La seconde solution correspond, dans l'esprit, au couple heure-pluie en dépouillement manuel des pluviogrammes.

3.2.2.1.- Encombrement en mémoire

Les critères de l'information pluviométrique peuvent être fixés à :

- pluie mesurée au 1/10 de mm (bague de 2 000 cm²),
- précision en temps : 1 minute,
- intensité maximale : 6 mm/minute,
- pluie maximale observable en 3 heures : 150 mm,
- intervalle de transmission : 3 heures,

(ceci d'après les averses des 16-19 Juillet 1972, observées dans la région de Montmorency où il était tombé 115 mm en 2 heures, et des travaux de Grisolle).

a) - Couple heure-pluie :

Si l'on code le temps en heure et minutes (exemple : 21.47), il faut 11 digits (5 pour l'heure, 6 pour les minutes).

Pour une pluie de 150 mm, il y aura 1 500 basculements, donc un message de $1\ 500 \times 11 = 16\ 500$ bits, ce qui est énorme et incompatible avec les techniques actuelles de télétransmission.

b) - Pas de temps 1 minute

Il faudra transmettre $3 \times 60 = 180$ fois le nombre de basculements. En 1 minute, nous admettons 6 mm de chute de pluie : soit 60 basculements. Un compteur à 6 digits est suffisant et l'encombrement du message est : $180 \times 6 = 1\ 080$ bits.

Cette solution, bien meilleure, doit être retenue.

3.2.2.2.- Codeurs disponibles

Les impulsions seront totalisées puis codées.

Il existe deux types de codeurs. Les premiers sont mécaniques : ce sont des codeurs angulaires qui tournent d'un angle correspondant à 1 unité de compteur, et ils ne consomment seulement de l'énergie qu'à chaque basculement. Ils sont externes à l'électronique, tout comme les codeurs de limnimétrie.

Le second type de codeur correspond aux compteurs d'impulsion électroniques. Ils présentent l'inconvénient de consommer de l'énergie continuellement, même s'il ne pleut pas, mais avec les technologies C-MOS cette consommation est de l'ordre du 1/10 ou du 1/100 de milliwatt, donc négligeable. Ils peuvent être intégrés dans l'interface de l'électronique de transmission.

Pour les motifs évoqués au paragraphe 3.1.2., le code employé est le binaire pur.

- NEVRTEC

C'est un codeur mécanique. Un dispositif électro-aimant/noyau plongeur assure le pas-à-pas. La sortie est en parallèle, 9 ou 12 digits. L'alimentation du pas-à-pas s'effectue en 12 V continu. Prix : 5 800 F.

- ELECTRONIQUE MARCEL DASSAULT

Le compteur d'impulsion (12 digits) est électronique. Il est contenu dans l'interface d'une balise ARGOS. (Prix de l'interface : environ 4 500 F.).

D'autres compteurs électroniques se trouvent sur le Marché français (ACIR ZIVY, par exemple).

4. - LES TECHNIQUES DE TELETRANSMISSION

En 1980, les techniques de télétransmission pouvant être employées en hydrométéorologie sont :

- la télétransmission par fil,
- la télétransmission par ondes hertziennes.

Avant d'aborder l'examen de ces deux systèmes, il convient de bien définir une notion fondamentale, celle du temps réel.

- Le temps réel :

En informatique, on appelle "travailler en temps réel" lorsqu'il y a dialogue, à une fraction de seconde près, entre l'utilisateur -par sa console- et l'ordinateur.

Par extension, il a été souvent appelé "travail en temps réel" une application faisant appel à l'électronique et pour laquelle les résultats étaient transmis à l'utilisateur dans un bref laps de temps après le lancement du travail.

En hydrologie, le travail en temps réel prend toute son importance pour la gestion des barrages et surtout pour l'annonce des crues ou des étiages. Mais là, nous voyons que la grandeur du "bref laps de temps" peut varier suivant les caractéristiques du bassin versant et suivant le but cherché.

Pour vérifier si les stations hydrométriques fonctionnent correctement, une télétransmission journalière est suffisante.

De même, pour l'annonce ou la prévision des crues de la SEINE à Paris, 1 ou 2 relevés par jour suffisent. Il n'en sera pas de même pour la crue de l'YONNE à Auxerre ou, encore pire, pour celle de l'Oued ZEROUD à Kairouan où le délai d'alerte se compte en minutes.

Ainsi donc les délais de télétransmission, pour les applications hydrologiques varieront de 10 minutes à 24 heures. Il en résulte :

- un système offrant un délai de télétransmission très bref sera adapté à la majorité des stations du réseau;
- par contre ce système sera plus onéreux qu'un autre qui proposera des délais plus importants.

Examinons maintenant les techniques de télétransmission.

4.1.- La Télétransmission par fil

Dans nos régions où le fil téléphonique est partout présent, il paraît normal d'envisager tout d'abord son emploi pour la télétransmission.

En effet, le fil permet une liaison à tout instant entre le poste central et la station hydrométrique. De plus, le délai de télétransmission est pratiquement nul. Il existe deux systèmes :

- celui utilisant le réseau téléphonique standard (réseau commuté),
- celui utilisant des lignes spécialisées.

La télétransmission par fil est employée en hydrologie en FRANCE depuis une vingtaine d'années. Des stations hydrométriques ont été équipées de limniphones SAREG. (Prix : 40 000 F.) et sont branchées sur le réseau commuté.

Cette solution paraît convenable pour connaître, au moment de l'appel téléphonique de l'utilisateur, la hauteur d'eau de la rivière. D'une façon générale, la télétransmission par fil paraît techniquement bien adaptée à la gestion des réseaux hydrométriques. Par contre -et ceci peut apparaître étonnant à première vue- ce n'est pas une technique sûre. En Septembre 1977, les crues catastrophiques du GERS et des autres affluents de la GARONNE ont emporté les lignes téléphoniques et l'alerte n'a été lancée que par les liaisons radio-électriques du réseau de la Gendarmerie Nationale. De même, en 1969, les crues de l'Oued ZEROUD ont emporté en premier lieu les lignes téléphoniques qui auraient permis de donner l'alerte à Kairouan. En 1978, la submersion du câble téléphonique entre l'aéroport de Dakar-Yoff et la station de réception de télétransmission par satellite a entraîné la mise en court-circuit des fils et a stoppé pendant plusieurs jours l'acheminement des messages.

En outre, le réseau commuté est mal adapté en FRANCE à la télétransmission. Si au QUEBEC l'ordinateur du Ministère de l'Environnement peut être directement relié sur celui du Centre de réception de la NOAA à Suitland (près de Washington) c'est parce que la qualité de la ligne permet une transmission correcte à 1 200 bauds sur plus de 1 000 km de distance. Par contre en FRANCE, la transmission sur le réseau commuté s'effectue à 300 bauds, sans contrôle de parité (contrôle qui permettrait de vérifier l'exactitude de la transmission, chiffre par chiffre). Le seul moyen de contrôle, en FRANCE, consiste en une télétransmission redondante du message, ce qui limite sa longueur à 8 ou 16 bits.

Seul le réseau spécialisé (qui peut être commuté comme dans les réseaux TRANSPAC ou CADUCE) permet de garantir la télétransmission par fil.

Enfin, le système par fil est aussi onéreux, sinon plus, qu'un système par radio. Même pour le réseau commuté, l'équipement à adjoindre à une station hydrométrique coûtera de 10 à 25 000 F. La station centrale, si elle est équipée d'un système d'appel automatique sur le réseau commuté, doit posséder tout un système de contrôles en cas de faux numéros... y compris un magnétophone diffusant un message d'excuses ! Le coût d'une station centrale sera de l'ordre de 150 à 250 000 F.

Le prix de la ligne est actuellement de :

- réseau commuté : 94 F par mois plus le coût des communications,
- réseau spécialisé : 1 700 F par mois;

ceci à la condition qu'il n'y ait pas de grosses difficultés de raccordement.

Le bilan de ce système peut être

AVANTAGES

- liaison immédiate en temps normal
- pas de station-relais extérieure

INCONVENIENTS

- système peu fiable en alerte
- réseau commuté mal adapté
- système aussi cher qu'un autre

CONSTRUCTEURS

- Société d'Etudes, de Fabrication et de Vente de Matériels Electroniques (SEVME Informatique)
13400 AUBAGNE

Equipement TRITON (ligne spécialisée), équipement NEPTUNE (réseau commuté).

- TECHNIPHONE
12, Place Jules Ferry - 69006 LYON

Système ATT 88.

- Société d'Equipements Electroniques
14, Avenue Gabriel Péri - 92120 MONTROUGE

Système TRIDENT.

- ENERTEC (SCHULMBERGER)
12, Place des Etats-Unies - 92542 MONTROUGE.

4.2.- Les Systèmes radioélectriques

Par rapport au système par fil, les systèmes radio-électriques permettent de s'affranchir de la contrainte que représente ce fil fragile et souvent peu adapté à la télétransmission.

Cette technique a été employée avec plus ou moins de succès, notamment en AFRIQUE, depuis 1955.

Au MAROC, en TUNISIE et au CAMEROUN, une solution semi-automatique a été employée : les observateurs transmettaient les hauteurs d'eau en radiotéléphonie (système à bande latérale unique - BLU/SSB).

Actuellement cette technique s'oriente vers des techniques entièrement automatiques. Ceci implique l'abandon de la transmission utilisant la réflexion des ondes sur les couches ionisées de la haute atmosphère. En effet, l'emploi de la réflexion imposait de disposer de 3 à 4 fréquences de trafic dont le choix était fonction de l'année et de l'heure, c'est-à-dire solution peu applicable sans opérateur humain.

L'emploi d'une fréquence unique implique soit une liaison "directe" le long de la terre, soit des stations-relais en vue optique de l'émetteur. La première solution n'est plus employée qu'en radiodiffusion (RADIO-LUXEMBOURG, EUROPE N° 1) car elle nécessite des puissances énormes à l'émission.

Seule la seconde solution est à employer. Dans ce cas, les stations-relais seront :

- des stations terrestres,
- des satellites artificiels.

4.2.1.- Emploi des stations-relais terrestres

Cette solution implique la mise en place de stations-relais nécessitant, probablement dans le Bassin Parisien, des infrastructures d'antenne, en élévation, assez importantes.

Ceci, associé au nombre de relais nécessaires, rend l'opération passablement onéreuse. Par exemple, pour la télétransmission hydrologique sur le bassin de la GARONNE, le coût de chaque station hydrométrique (il y en a 145 environ) est de l'ordre de 70 000 F (stations-relais comprises).

En outre, cette solution implique l'accord des Postes et Télécommunications, puis celui du Ministère de la Défense Nationale, pour l'obtention d'une fréquence de travail, ce qui nécessite un délai vraisemblablement supérieur à un an.

Par contre, avec une liaison de ce type, il est possible d'interroger les stations hydrométriques sans aucune contrainte, immédiatement et avec le maximum de sécurité.

Notons ici un projet, qui a reçu un début d'application dans l'ouest des ETATS-UNIS, et qui utilise la réflexion sur les poussières de météorites. L'application est effectuée par la WESTERN UNION, ce qui donne toute garantie sur le sérieux de ce mode de transmission.

4.2.2.- Emploi des satellites artificiels comme stations-relais

Cette technique est nouvelle : elle n'a commencé à rentrer en phase opérationnelle, en hydrométéorologie, que vers 1976 lorsque les ETATS-UNIS ont lancé leur premier satellite météorologique géostationnaire (GOES).

Elle est employée couramment aux ETATS-UNIS et au CANADA.

Actuellement, il existe deux systèmes opérationnels disponibles pour l'EUROPE : le satellite géostationnaire METEOSAT et le Système ARGOS.

La fréquence employée est 402 Mhz : c'est une fréquence attribuée internationalement à la Météorologie. Il faut impérativement que le satellite soit en liaison optique avec la station d'émission et la station de réception : le satellite joue le rôle d'une station-relais.

Actuellement, les systèmes de transmission sont entièrement automatiques. d'un coût identique -sinon moindre- à celui d'une station radio-électrique classique, et surtout ils ne consomment que très peu d'énergie (de 50 à 350 mW, suivant les systèmes).

L'inconvénient majeur, dans l'emploi du satellite comme station-relais, réside dans le fait qu'il faut disposer d'un satellite, que son remplacement tous les quatre ans doit être programmé avec l'obligation de conserver des équipements au sol identiques.

Un autre inconvénient provient du fait que l'on est tributaire du gestionnaire du satellite, notamment pour la réception des données. L'emploi d'une station de réception pallie cet inconvénient, mais cela est actuellement une solution onéreuse lorsque l'on travaille avec un géostationnaire.

4.2.2.1.- Le satellite géostationnaire METEOSAT
de l'Agence Spatiale Européenne

Lancé le 22 Novembre 1977, ses coordonnées géographiques sont :

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

Son grand avantage réside dans le fait qu'il est toujours visible depuis la FRANCE et que, par conséquent, un message peut théoriquement être envoyé à tout instant. Cette possibilité a été valorisée par la distinction entre canaux d'exploitation et canaux d'alerte. La transmission sur un canal d'exploitation s'effectue suivant un protocole débattu avec l'Agence Spatiale Européenne, et qui définira la fréquence exacte de transmission (il y a 66 canaux, espacés de 3 000 hz, entre 402,002500 et 402,197500 Mhz) et les horaires d'émission (généralement une transmission toutes les trois heures). La transmission sur le canal d'alerte est à caractère aléatoire : un court message (256 bits) sera émis trois fois de suite lorsqu'un paramètre dépassera une valeur préétablie.

Un second avantage provient du fait que le message transmis peut atteindre 5192 bits.

La pérennité du système paraît satisfaisante : le programme est prévu opérationnel jusqu'en 1995 (METEOSAT 6) et, compte-tenu du fait que METEOSAT sert aussi à la prévision par la transmission des images de la terre toutes les 30 minutes, il paraît probable que ce genre de satellite continu à être lancé régulièrement au-delà de 1995.

Le principal inconvénient vient de ce que les messages retransmis par le satellite sont difficilement recevables autrement que sur une station équipée d'une antenne parabolique de 12 m de diamètre : ceci implique d'utiliser, dans la plupart des cas, la station de réception de l'Agence Spatiale Européenne installée près de Darmstadt (République Fédérale Allemande) et de recevoir les messages ensuite par une liaison téléx ou autre. Le coût actuel d'une station de réception indépendante est de l'ordre de 3 millions de francs. Le multiplexage des données collectées avec l'information-image, puis sa dissémination aux utilisateurs par le canal "dissémination image" est à l'étude et il est prévu que METEOSAT 3 (et les suivants) possède un canal de dissémination données.

Un autre inconvénient réside du fait que l'électronique de transmission au sol est assez sophistiquée (microprocesseur, horloge à quartz, etc...), donc assez onéreuse.

Constructeurs d'électroniques de transmission pour le satellite METEOSAT

Il n'existe pour le moment en FRANCE qu'un seul prototype réellement opérationnel construit par Electronique MARCEL DASSAULT. Malheureusement cet émetteur ne possède pas d'interface associé : il faut lui adjoindre une centrale d'acquisition de données du genre de celle mise au point par la Météorologie Nationale à Magny-les-Hameaux. Le prix de l'ensemble se situerait aux alentours de 50 000 F. Il n'y a pas de possibilité de transmettre sur le canal "alerte".

Une électronique, présentant les mêmes caractéristiques et d'un prix à peu près similaire, est fabriquée par DORNIER (République Fédérale d'Allemagne).

MacMICHAEL, en GRANDE-BRETAGNE, propose un système disposant d'une interface intégré permettant d'entrer jusqu'à 6 capteurs (entrées soit en parallèle 8 à 16 digits, soit en analogique tension ou intensité, soit impulsionnelle) avec une mémoire de 5 ou 10 kbits. L'émetteur transmet sur le canal de travail et, lorsque la valeur d'un capteur dépasse un seuil préétabli, sur le canal d'alerte. Cette électronique très complète, coûte malheureusement cher : 7 000 L.S. et la programmation du microprocesseur ne peut pas être faite par l'utilisateur.

Très employée aux ETATS-UNIS et au CANADA, l'électronique LaBARGE a des possibilités identiques à celles de MacMICHAEL. Les entrées admettent jusqu'à 4 capteurs en parallèle (16 digits) et 8 capteurs analogiques (en tension). La mémoire est de 7 kbits. Le coût de cet ensemble (antenne comprise) est de 3 500 dollars U.S.

4.2.2.2.- Le Système ARGOS

Suite logique du Projet EOLE le Système ARGOS, produit d'une coopération CNES/NOAA/NESS, vise en premier à la localisation des stations émettrices (bouées dérivantes, ballons, navires, etc...). Néanmoins, la collecte des données est également prévue.

Le Système fonctionne avec un ou deux satellites. Ceux-ci sont à orbite polaire : ils tournent autour de la terre en 101 minutes et se trouvent à 800 km d'altitude. Avec deux satellites, les plans de chaque orbite font un angle dièdre de 60°, angle qui va être porté à 90° lors du lancement du satellite n°4, de manière à ce que l'intervalle de temps entre le passage de chacun des satellites sur une station soit à peu près constant.

La station au sol émet son message toutes les 200 secondes, que le satellite soit en visibilité de la station ou non. Ce message est très bref : sa durée est de l'ordre de 1/3 de seconde. Le nombre de passages par jour du satellite en visibilité de la station dépend de la latitude de celle-ci : 4 passages à l'Équateur contre 28 aux Pôles. En FRANCE nous pouvons tabler sur 12 passages/jour, ce qui implique 1 passage toutes les 2 heures. Malheureusement, si l'on utilise le système de réception du gestionnaire, il faudra y ajouter 2 heures de délais supplémentaires relatifs à l'acheminement des messages sur Toulouse, à leur traitement et à leur dissémination sur le réseau télex. L'emploi d'une station de réception indépendante, d'un prix raisonnable (150 000 F) ramène le délai total à 2 heures, la retransmission étant immédiate en bande VHF (175 Mhz). Cette station indépendante recevra toutes les stations situées dans un rayon de 2 500 km.

Le principal avantage du Système ARGOS réside dans sa simplicité et sa grande fiabilité opérationnelle. Ceci nous a été confirmé en 1980 dans l'exploitation de cinq stations hydrométriques (trois au SOUDAN sur le NIL BLANC, deux au SENEGAL sur la FALEME). Le fait d'avoir continuellement deux satellites sur orbite n'entraînera, en cas de défaillance de l'un des deux, qu'une réduction de 50 % du nombre des collectes journalières. La simplicité du système de transmission autorise des électroniques au sol d'un prix abordable et la possibilité d'avoir sa propre station de réception est un avantage très appréciable.

Par contre, l'inconvénient majeur provient du système lui-même : avec deux satellites à orbite polaire, la couverture n'est pas permanente. Il y aura défaillance du système si notre "temps réel" est inférieur à deux heures (quatre heures, par sécurité, si l'on suppose un satellite en panne), et par conséquent le Système ARGOS risque de ne pas convenir pour l'annonce des crues. Un second inconvénient réside dans la longueur du message : 256 bits seulement.

En ce qui concerne la pérennité, il est certain que le système fonctionnera jusqu'en 1990. Le Directeur Général du CNES nous a donné, par écrit, l'assurance que la suite d'ARGOS sera réalisée en respectant les spécifications actuelles : les utilisateurs conserveront la même électronique jusqu'à l'an 2000. Dans l'état actuel des choses, l'accès au système est gratuit (mis à part la confection des fichiers de sauvegarde, soit 270 F/mois).

Constructeurs d'électroniques pour le Système ARGOS

Le seul constructeur français est Electronique MARCEL DASSAULT qui réalise un ensemble de grande fiabilité, car réalisé avec des composants de classe militaire. Sur les 23 bouées équipées de ces électroniques pour la Première Expérience Mondiale Globale (PEMG) avec des bouées dérivantes dans l'Hémisphère Sud, le taux de panne a été nul (seul, un capteur a été défaillant) tandis que le taux de panne des autres constructeurs (181 électroniques) était de 14 % (chiffres cités par GARP Newsletter n° 39, Mars 1979, Organisation Météorologique Mondiale, Genève). Naturellement cette qualité coûte cher.

Il existe actuellement deux types d'interface intégrés à l'émetteur :

- le premier admet 2 codeurs en parallèle, de 16 digits chaque, avec fourniture d'une tension de + 5 volts au moment de l'interrogation,
- le second admet 1 codeur 16 digits en parallèle (avec fourniture d'une tension de + 5 volts) et 1 entrée impulsionnelle pour le pluviographe.

Il n'y a pas de mémorisation, celle-ci étant possible en option.

Alimentation en 24 volts (12 volts possibles actuellement) avec une consommation de 50 mW en moyenne.

Le prix de l'électronique, incluant interface, boîtier étanche et antenne, est de l'ordre de 20 000 F.

Toutes les stations équipées par l'ORSTOM utilisent ce type d'électronique qui donne entière satisfaction.

4.3.- Conclusions sur les Systèmes de Transmission

De la revue des moyens actuellement disponibles pour assurer la télétransmission des données hydrométéorologiques pour les besoins de l'Agence de Bassins SEINE-NORMANDIE, il ressort :

- la liaison fil n'est acceptable qu'à partir de lignes spécialisées. Cette solution, chère à l'exploitation, permet une interrogation et une alerte à n'importe quel moment, mais ne pas oublier que le fil est bien fragile,
- la liaison radio-électrique terrestre classique est certainement la plus sûre. Elle est très cher et se heurte à des difficultés administratives.
- la liaison radio-électrique par relais satellite artificiel est d'application trop récente pour avoir été expérimentée en FRANCE autrement que par Electricité de France (DTG) pour la télétransmission de la couche de neige (Système ARGOS).

Cette solution, économique, paraît convenir aux besoins des hydrologues dans la mesure où il y aura toujours un satellite disponible.

4.4.- La Réception des données

Une fois transmises, les données hydrométéorologiques sont collectées au Bureau Central Hydrologique. Il faut distinguer :

- les collectes en temps réel destinées à vérifier le bon fonctionnement des stations ou à donner l'alerte. Ces données se présenteront sous forme d'états imprimés ou apparaîtront sur l'écran d'une console;
- les collectes en temps réel destinées à l'exploitation de modèles mathématiques de prévision. Elles se présenteront sous forme de fichiers sur support magnétique directement utilisables, après contrôle par l'hydrologue, par l'ordinateur;
- les collectes en temps différé destinées à la gestion du réseau hydrométrique, qui se présenteront également sous forme de fichiers sur support magnétique.

Chacun des systèmes de transmission étudiés est capable de réaliser ces trois types de collecte.

5. - CHOIX DU SYSTEME DE TELETRANSMISSION

5.1.- Aspect économique de chaque Système

Nous allons déterminer le prix de revient d'une station hydrométrique équipée pour la télétransmission. L'amortissement peut être fixé à dix ans. Sont compris les frais de fonctionnement (location de lignes spécialisées, frais de téléx, piles, etc...), mais les capteurs ne seront pas comptabilisés. Chaque station mesure la hauteur d'eau de la rivière et la pluie. Le calcul sera fait pour 1, 5, 10, 20 et 50 stations.

5.1.1.- Liaison par fil

Bases économiques :

- station de transmission et codeur	:	21
- ligne centrale	:	150
- ligne spécialisée	:	1,5/mois, soit 18/an (prix en kF)

<u>Nombre</u>	<u>Achat matériel</u>	<u>Location ligne</u>	<u>Prix de revient annuel</u> (kF)
1	171	18	35.1
5	255	90	23.1
10	360	180	21.6
20	570	360	20.9
50	1 200	900	20.4

5.1.2.- Liaison radio-électrique terrestre

Il est difficile de chiffrer le coût de ce système. Rappelons que dans le projet d'annonce des crues de la GARONNE, le prix de revient à l'installation est (stations relais comprises) de l'ordre de 70 000 F par station hydrométrique équipée.

Sachant que l'électronique de ces stations est de même ordre de grandeur que pour la solution "satellite", le coût et la consommation en énergie des stations-relais font que cette solution doit être plus chère que la solution "satellite".

5.1.3.- Liaison radio-électrique par satellite

5.1.3.1.- METEOSAT

Bases économiques :

Electronique LaBARGE et 2 codeurs = 40

Piles : 0,2/an

Retour téléx depuis Darmstadt

Bande magnétique : 5/an

(la location du téléx n'est pas comptabilisée).

<u>Nombre</u>	<u>Achat matériel</u>	<u>Frais téléx, bandes et piles</u>	<u>Prix de revient annuel (kF)</u>
1	40	5,5	9,5
5	200	7	5,4
10	400	9	4,9
20	800	12,7	4,7
50	2 000	34	4,7

5.1.3.2.- Système ARGOS

Bases économiques :

Electronique et 1 codeur : 26

Piles : 0,2/an

Retour Téléx depuis Toulouse

Bandes magnétiques : 3/an

Option station de réception indépendante : 150

(la location du téléx n'est pas comptabilisée)

<u>Nombre</u>	<u>Achat matériel</u>	<u>Frais téléx, bandes et piles</u>	<u>Prix de revient annuel (kF)</u>	
			<u>par téléx</u>	<u>Si station de réception</u>
1	26	3,5	6,1	17,8
5	130	5	3,6	5,8
10	260	7	3,3	4,3
20	520	10,7	3,2	3,5
50	1 300	32	3,2	3,1

5.2.- Aspects Techniques

Le tableau ci-après résume les possibilités des différents systèmes.

La transmission de la hauteur d'eau de la rivière est prévue sur 16 bits (la transmission de la vitesse de l'eau est aussi prévue sur 16 bits).

La pluviométrie nécessite un stockage en mémoire si l'on veut une information toutes les minutes, sauf si le seul total journalier suffit.

La fonction alerte est étudiée avec un "temps réel" de 4 heures et de 5 minutes.

X indique que la fonction est réalisable.

SYSTEMES	Hauteur d'eau	Vitesse de l'eau	P L U I E		Autres paramètres	Fichier magnétique	ALERTE	
			Journalière	Intensité en 1 mn			5 mn	4 h
FIL	X	X	X	X	X	X	X	X
Radio- électrique terrestre	X	X	X	X	X	X	X	X
Satellite METEOSAT	X	X	X	X	X	X	X	X
Système ARGOS	X	X	X		X	X		X

Il ressort que, Système ARGOS mis à part, tous les autres systèmes offrent la totalité des performances demandées.

5.3.- Conclusions

Par ses possibilités techniques et son prix de revient, la télétransmission radio-électrique via le satellite Géostationnaire METEOSAT paraît le mieux convenir aux besoins de l'Agence Financière de Bassins SEINE NORMANDIE.

Ce système permettra de transmettre, à heures fixes, la hauteur d'eau (en supplément éventuel : la vitesse de l'eau) de la rivière et la pluviométrie, l'intervalle d'échantillonnage pouvant descendre à 15 mn pour l'hydrométrie et 1 mn pour la pluviométrie. En outre, l'annonce des crues pourra se faire sur le canal alerte, au moment où un paramètre dépassera une certaine valeur.

La pérennité de METEOSAT est assurée jusqu'en 1995. Sa fiabilité devrait être excellente dès le lancement de METEOSAT 2 puisque METEOSAT 1 serait mis en position "veille" (rappelons que si METEOSAT 1 ne transmet plus d'images depuis Novembre 1979, il a toujours correctement collecté les données transmises). L'expérience effectuée en commun, de Mai à Septembre 1980 par la Météorologie Nationale et l'ORSTOM, a montré que le Centre de réception de Darmstadt était tout à fait opérationnel. Statutairement, l'usage du satellite est gratuit. Le délai entre l'émission et le retour sur Paris (GTS) est de l'ordre de 20 minutes en utilisation "normale".

L'inconvénient provient de l'inexistence actuelle d'un matériel électronique au sol disponible sur le Marché français. Deux solutions sont à envisager :

- épauler la Météorologie Nationale (E.E.R.M.) qui vient de lancer un appel d'offres pour la construction d'une dizaine d'électroniques, ce qui permettrait de faire baisser, certainement, les prix unitaires en partageant les frais d'étude sur un plus grand nombre d'exemplaires.

Ceci paraîtrait la meilleure solution, surtout côté maintenance.

- éventuellement, acquérir du matériel LaBARGE aux Etats-Unis, ce qui pose un problème de dépendance économique vis-à-vis de l'Etranger, et un autre côté maintenance (délais de réparation).

La solution Système ARGOS ne permet pas de collecter la pluie avec un pas de temps permettant la détermination fine des intensités des précipitations. Seuls les totaux pluviométriques, toutes les deux heures en fonctionnement normal (toutes les quatre heures avec un seul satellite) peuvent être obtenus. Il en est de même pour les hauteurs d'eau de la rivière : avec une station de réception indépendante, le délai d'obtention de l'information au Bureau Central est de deux heures avec les deux satellites. Cette station devient rentable, en exploitation normale à partir de 20 à 30 stations. Le Système ARGOS est une solution sûre, économique et fonctionnelle pour la gestion du réseau hydrométrique.

La Télétransmission par radiotransmission terrestre est à écarter de par son coût élevé et les formalités administratives. La liaison par fil est surtout à écarter par sa fragilité et son prix de revient.

5.4.- Recommandations

Afin de mieux connaître et vérifier les possibilités de la Télétransmission par satellite, il paraît opportun de pouvoir essayer ces matériels, sur le terrain même, en équipant une station hydrométrique.

- Une électronique, qui a servi à l'ORSTOM puis au Service Hydrologique du QUEBEC, se trouve actuellement à Toulouse et pourrait être mise gratuitement à la disposition de l'Agence par le Service ARGOS.
- De même, il serait peut-être possible de réitérer une évaluation de METEOSAT avec le matériel de la Météorologie Nationale (E.E.R.M.).
- Des contacts pourraient être pris avec les utilisateurs actuels en hydrologie, à savoir :
 - . en GRANDE-BRETAGNE, le "Department of the Environment, Water date Unit" à Reading (M. RODDA) qui évalue actuellement les possibilités de METEOSAT sur 5 stations hydrométriques et qui voudrait étendre ce réseau à 10 stations;
 - . au QUEBEC, le Ministère de l'Environnement, Service des Eaux de Surface (M. DESRUISSEAU) qui utilise le satellite géostationnaire depuis 1977 de façon opérationnelle (53 stations équipées) et la liaison fil (44 stations);
 - . le Service Hydrologique de l'ORSTOM, qui a utilisé 5 stations équipées pour le Système ARGOS en 1980 et qui participe au Projet UNDP/WMO du Bassin du NIGER (95 stations);
 - . Electricité de France-DTG (M. GUILLOT) à Grenoble, qui utilise le Système ARGOS pour ses nivomètres;
 - . le Service Hydrologique Centralisateur de la GARONNE (M. DUPOUYET) qui envisage un réseau de 150 stations pour l'annonce des crues.

Ainsi l'Agence pourrait commencer à évaluer réellement ces techniques nouvelles aux moindres frais, tout en effectuant des télétransmissions dans des conditions bien proches d'un système opérationnel. L'assistance des utilisateurs actuels permettra de réduire les hésitations tant dans la conception que dans la technologie elle-même.

L'estimation du coût de la télétransmission pour les réservoirs SEINE n'a pu être établie de par le fait que certaines stations n'étaient pas encore équipées en limnigraphe, ou mesureur de vitesse par ultra-sons. Une évaluation rapide reste cependant possible en interpolant les valeurs données au paragraphe 5.1.