

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE
Service de la Production hydraulique

Travaux récents de la Division Technique Générale

Introduction

Les aménagements hydroélectriques d'E.D.F. sont gérés par des Unités régionales. Toutefois, certains *contrôles* et *mesures* sur le matériel ou les ouvrages, ainsi que certains travaux de *prévision* ou *d'optimisation* sont groupés, du fait de leur caractère particulier, sous la responsabilité d'un organisme unique spécialisé : la Division Technique Générale (D.T.G.), dont le siège est à Grenoble.

Forte de 250 personnes parmi lesquelles une cinquantaine de cadres, ses activités se divisent principalement entre :

- mesures hydrauliques et essais spéciaux;
- contrôles mécaniques et métallurgiques;
- contrôles sur les alternateurs ou sur les régulateurs des groupes;
- auscultation des barrages;
- recensement et analyse des ressources en eau : mesure des débits, prévision d'apports, valorisation de l'énergie;
- construction d'appareils spéciaux au service des activités précédentes.

En outre, la D.T.G. assure l'auscultation des ouvrages nucléaires, et des mesures de température en rivière.

Elle publie régulièrement des fiches techniques (*); quatre d'entre elles sont présentées ci-après.

(*) Autres derniers titres parus :

En 1974

- n° 52 : *Auscultation des grands ouvrages de Génie Civil : fréquencemètre pour témoins sonores.*
- n° 51 : *Télécouplemètre.*
- n° 49 : *Calcul du productible journalier de l'ensemble des centrales hydrauliques; le modèle J. 10.*
- n° 48 : *Turbines Kaplan ou Bulbe : Optimisation de la conjugaison entre l'ouverture des pales et celle du vannage, le critère étant le rendement du groupe.*

En 1973

- n° 47 : *La mesure des contraintes résiduelles à l'aide d'une rosette extensométrique.*
- n° 46 : *Contrôle périodique des performances d'un aménagement par débitmètre à ultrasons.*
- n° 45 : *Utilisation d'un analyseur harmonique pour le contrôle de l'état vibratoire des groupes hydroélectriques.*
- n° 44 : *Mesures périodiques de rendement des turbines au moyen d'un appareillage thermodynamique installé à poste fixe.*

En 1972

- n° 43 : *Mesure de débit dans un réseau de tuyauteries par utilisation de traceurs radioactifs.*
- n° 42 : *Appareillage automatique pour déterminer la puissance électrique au moyen des compteurs d'énergie de tableau.*
- n° 41 : *Action d'une retaille de roue sur les érosions par cavitation d'un arbre de turbine Francis double.*

CONTROLES EN EXPLOITATION DES PERFORMANCES DES TURBINES A RÉACTION PAR SURVEILLANCE DE LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE FOURNIE A CERTAINES OUVERTURES, SOUS CHUTE CONSTANTE

(Fiche n° 53)

Parmi l'ensemble de moyens qui sont actuellement à la disposition des responsables de l'exploitation des aménagements, le contrôle de l'évolution de la puissance électrique fournie par un groupe, à des ouvertures déterminées sous chute constante, constitue une méthode de surveillance périodique des performances particulièrement simple.

Les mesures permettent d'obtenir le résultat avec précision et fidélité en utilisant un matériel simple, et sont aisées à réaliser.

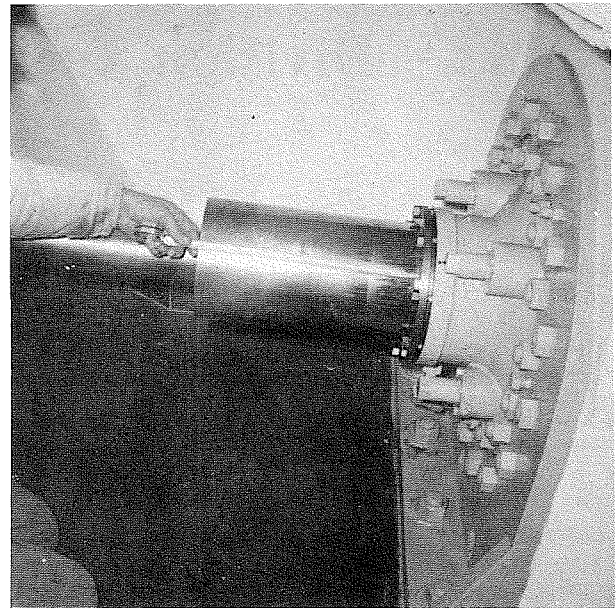
EXECUTION DES MESURES

Elles comportent :

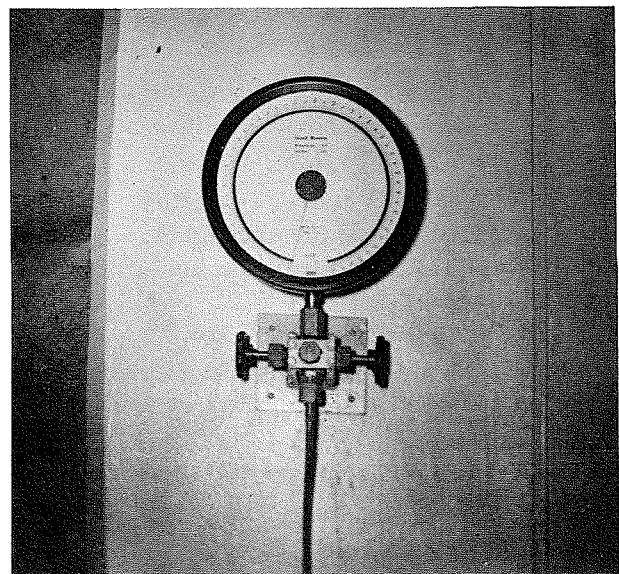
— *Le repérage précis des ouvertures du vannage.* Quelques valeurs des ouvertures auxquelles seront réalisés les contrôles sont prédéterminées. L'origine doit toujours être prise vannage fermé, servomoteur en pression pour éliminer l'effet des jeux éventuels. Le repérage peut s'effectuer sur diverses parties de la commande du vannage mais est, en général, plus précis sur la course du piston du servomoteur. La précision nécessaire dépend de la course : elle est en général de 1 mm ; pour les faibles courses, elle est de quelques dixièmes de mm.

— *La mesure de la puissance électrique active aux compteurs,* par simple chronométrage du temps mis par le disque pour réaliser un nombre de tours donné. Afin que les conditions électriques de fonctionnement de la machine soient parfaitement définies, la fourniture d'énergie réactive est maintenue à zéro pendant ce contrôle. Pour que la fidélité de la mesure soit assurée, il est nécessaire que le compteur utilisé soit en parfait état et périodiquement contrôlé (au cas où la qualité du comptage ne serait pas suffisante — écarts de tarages successifs de 1 % et plus — l'emploi de compteurs étalons montés spécialement pour la mesure pourrait être nécessaire).

— *La réalisation et le contrôle de conditions hydrauliques données.* Les conditions hydrauliques à réaliser sont dépendantes du schéma hydraulique de l'Usine et sont à définir dans chaque cas : cela pourra être un niveau amont à maintenir dans une fourchette donnée et des puissances fournies par les groupes voisins définis. Le contrôle de la chute est indispensable dans tous les cas : manomètre de précision à l'amont, mesure d'un niveau dans le canal de fuite à l'aval. Les écarts constatés par rapport à la chute réalisée à la première mesure doivent rester faibles (inférieurs à 3 %) et introduisent une correction de la puissance électrique mesurée, à tirer d'un tableau établi une fois pour toutes.



Repérage d'une ouverture
sur le piston du servo-moteur



Manomètre de précision
pour contrôle de la pression amont

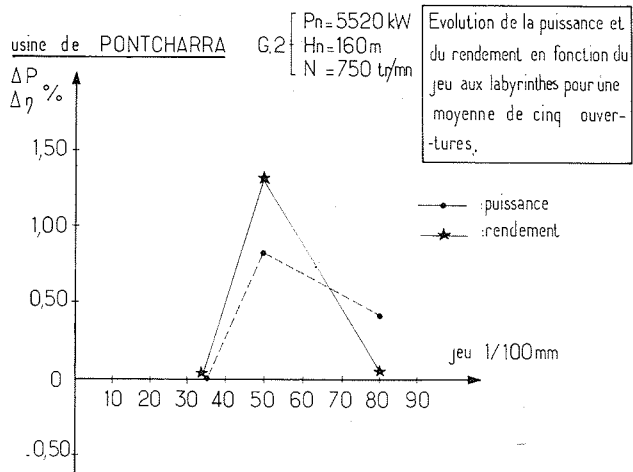
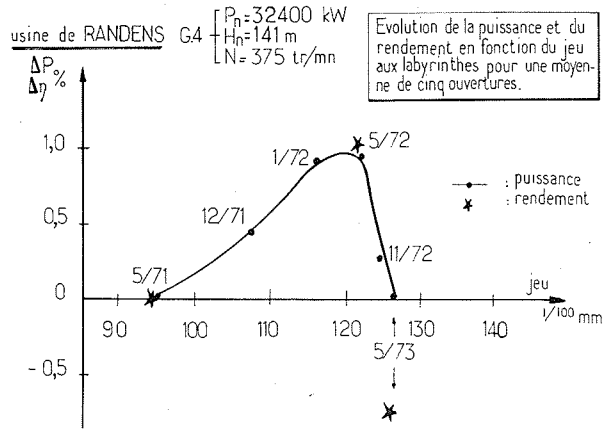
INTERPRETATION DES RESULTATS

La constatation d'une évolution, dans le temps, de la puissance électrique (à ouverture donnée et après correction due aux écarts de chute) est l'indice d'une évolution de l'état du matériel.

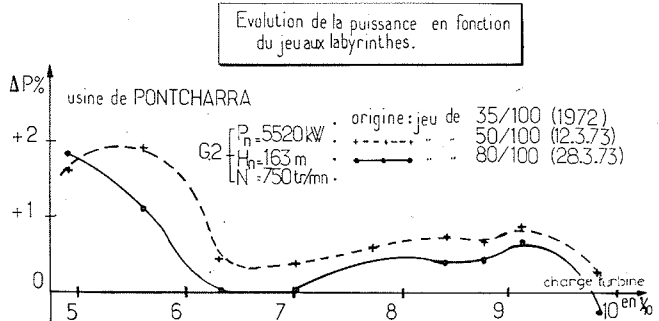
— L'absence d'évolution de la puissance fournie doit être interprétée comme un indice de l'absence d'usure ou de modifications susceptibles de provoquer des évolutions de rendement, avec une forte présomption. Compte tenu de la précision des contrôles, on admettra qu'il n'y a pas d'évolution si deux contrôles, effectués à des périodes successives, donnent des résultats différents de moins de 0,5 à 1 % suivant les cas.

— L'existence d'écarts plus élevés ou d'une évolution faible mais se poursuivant sur une longue période doit, après vérification de la permanence des tarages du compteur d'énergie et du manomètre, être interprétée comme le signe d'une modification de fonctionnement à mettre en relation avec différents phénomènes possibles : usure, détérioration, obstruction, augmentation de la rugosité, etc, dans une partie de l'installation contrôlée.

La relation entre variation de puissance et variation de rendement, à ouverture et conditions hydrauliques données, est très complexe car une évolution de la puissance peut être due à une évolution du débit, à une évolution du rendement, ou à une évolution du débit et du rendement.

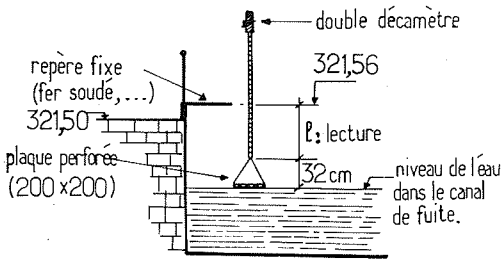


Exemple d'évolution

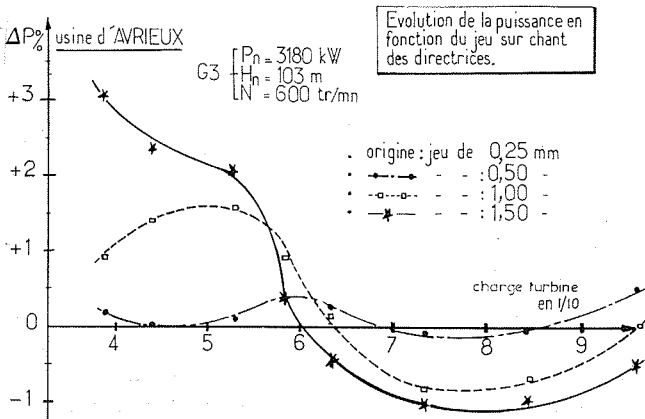


Mesure du niveau aval

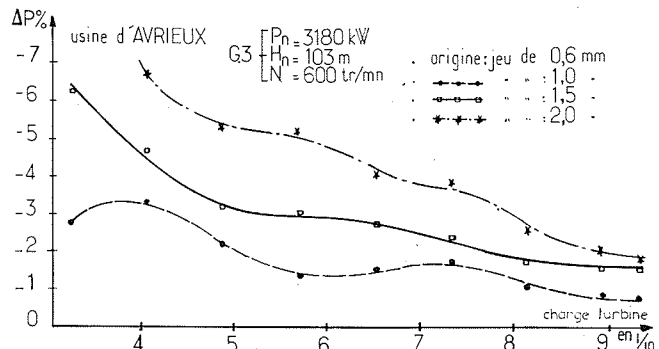
(schéma de la mesure à l'Usine de RANDENS)



Exemple de mesure du niveau aval



Exemple d'évolution



Exemple d'évolution

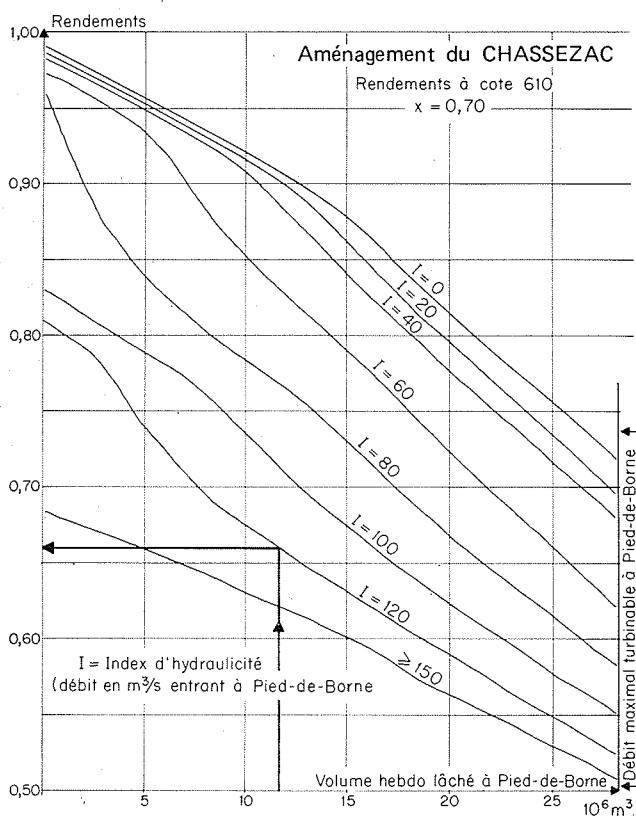
GESTION OPTIMALE DES RÉSERVOIRS HYDROÉLECTRIQUES

LE PROGRAMME P1

(Fiche n° 55)

Le programme de calcul P1, établi par la D.T.G. pour le compte du Service des Mouvements d'Énergie d'E.D.F., est destiné à fournir les éléments de base pour la gestion optimale des réservoirs hydroélectriques. A l'intérieur du S.G.E.P. (système de gestion énergétique prévisionnelle de l'ensemble des moyens de production et de transport) il fait partie de la "chaîne P" dont le but est le calcul hebdomadaire des programmes de lâchures des réservoirs saisonniers.

A la demande du Service des Mouvements d'Énergie (S.M.E.), les résultats du programme P1 appliqué à chaque réservoir ont été rassemblés sous la forme d'un fascicule intitulé "Rendement énergétique des vallées", à raison d'un fascicule pour chaque réservoir.



1/ Exemple : Pour une hydraulicité représentée par $I = 120$, une lâchure hebdomadaire de 12 millions de m^3 a un rendement de 66 %.

Contenu du P1

La vallée est définie comme l'ensemble d'un réservoir et de toutes les usines susceptibles de turbiner à l'aval les lâchures de ce réservoir.

En fonction du *volume hebdomadaire lâché* par le réservoir et de l'*hydraulicité des affluents aval* (ou "encombrement aval") le programme P1 donne :

— le "rendement" de la lâchure, défini comme le rapport de la valeur de l'énergie totale produite par la lâchure à celle qu'on obtiendrait si toute la lâchure était turbinée sur toute la chaîne en heures de pointe (voir graphique n° 1).

— la production d'énergie sur trois postes (voir graphique n° 2).

- heures de pointe,
- heures pleines
- heures creuses

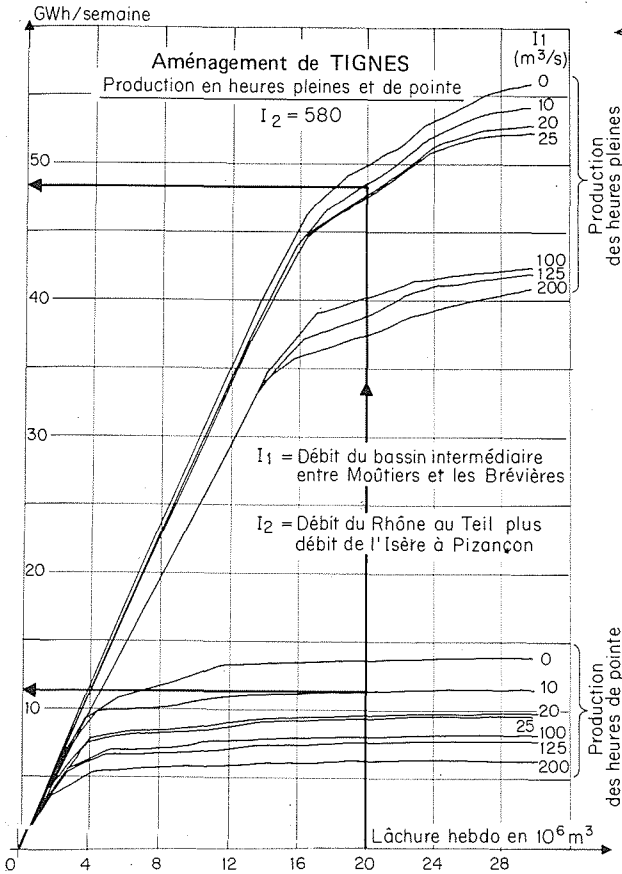
— pour chacun des trois postes, le *coefficient de retournement* (ou de répercussion aval) qui est le rapport de l'énergie produite par la lâchure dans toute la vallée à l'énergie produite dans l'usine de lac seule (ce coefficient varie avec la cote du réservoir, voir graphique n° 3).

Applications

L'utilisation principale du P1 est de définir les fonctions "valeur de la lâchure" que le S.M.E. fait entrer dans le programme P2 de calcul de placement par semaine de l'énergie de chaque lac saisonnier.

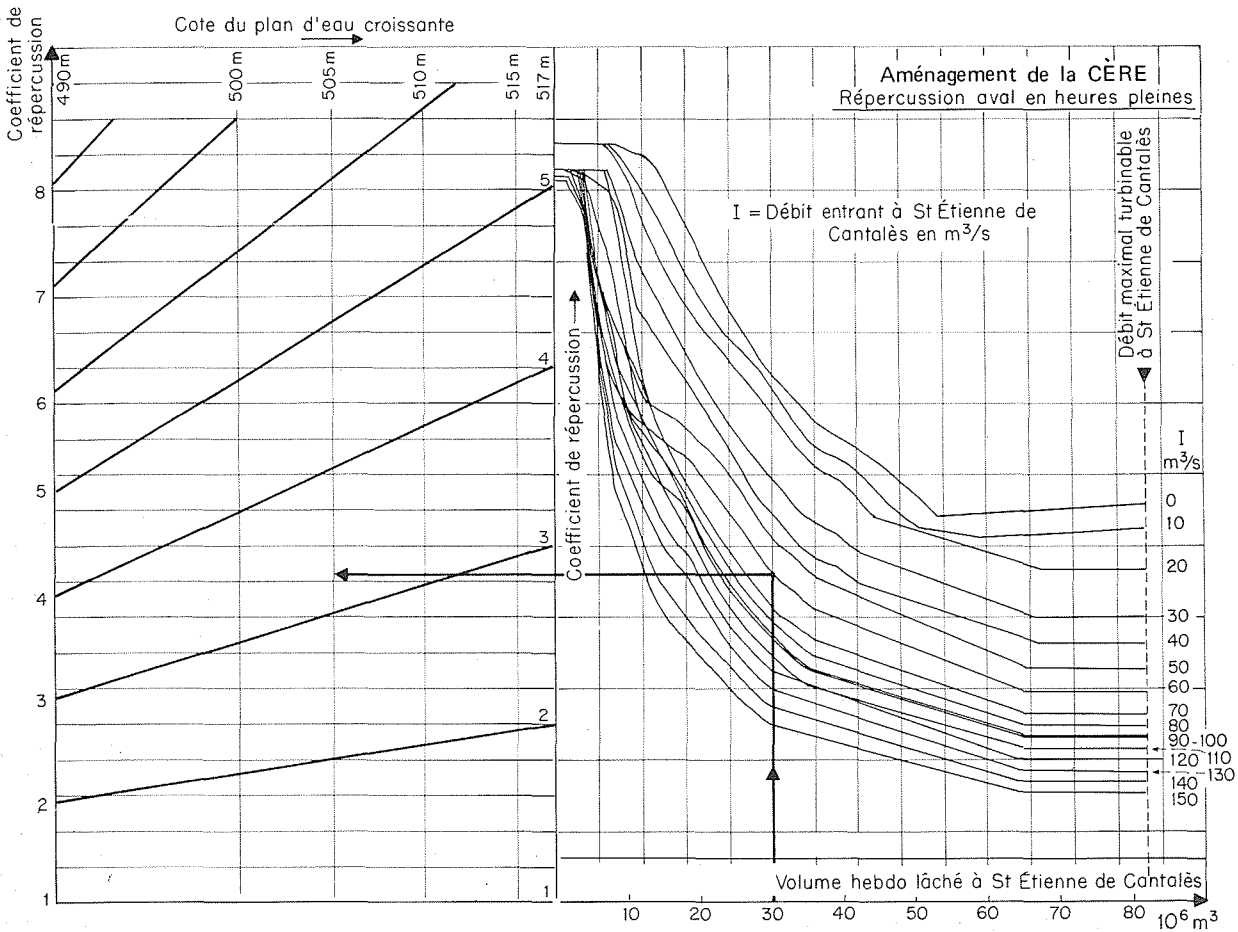
Ces courbes peuvent être également consultées avec profit par l'*exploitant*, car elles mettent en évidence l'influence de l'encombrement aval sur la valeur de la production engendrée par une lâchure et peuvent aider à juger de l'opportunité de travaux entraînant l'indisponibilité temporaire de l'une ou l'autre des usines de la chaîne.

Nota : La D.T.G. applique par ailleurs des programmes d'optimisation et de simulation de l'exploitation des réservoirs (OPINE et SIMUSINE) qui utilisent les mêmes données de base que celles de P1 mais avec un pas de temps journalier, et non hebdomadaire, de façon à reproduire le comportement d'un exploitant capable de réviser en cours de semaine son programme de lâchures journalières pour l'adapter aux fluctuations de l'hydraulicité. D'autre part, dans ces programmes, on fait varier le prix journalier du kWh en fonction de l'époque de l'année et de la productibilité "fil de l'eau" de l'ensemble de la France (calculée par le programme J10).

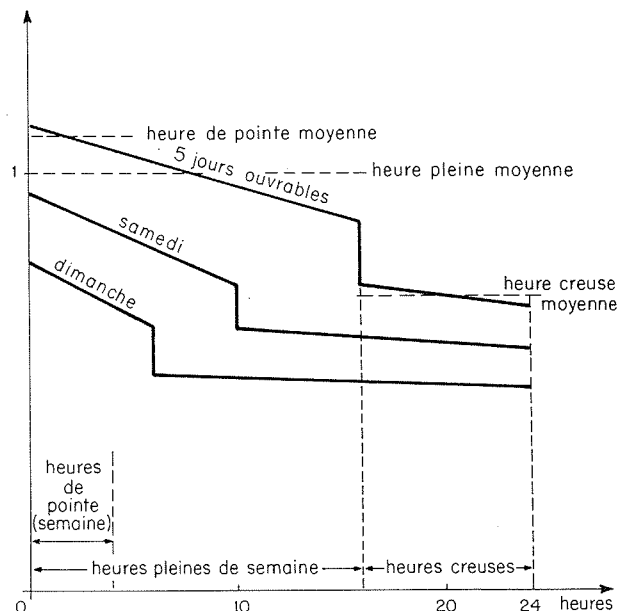


2/ Exemple : Une lâchure hebdomadaire de 20 000 000 m³ produira 11 GWh en heures de pointe et 48 GWh en heures pleines pour une hydraullicité représentée par $I_1 = 10$ et $I_2 = 580$.

3/ Exemple : Pour une hydraullicité représentée par $I = 60$, une lâchure hebdomadaire de 30 millions de m³ entraîne un coefficient de répercussion de 3,25 si la côte du réservoir est 505 mètres.



4/ Exemples d'une "monotone" (courbe de prix horaires de l'énergie classés, en valeurs relatives) de jour ouvrable, d'une monotone de Samedi, et d'une monotone de Dimanche.



Hypothèses admises

1) Le placement de l'énergie sur chacune des 168 heures de la semaine est considéré comme effectué optimalement, c'est-à-dire fournissant la plus grande valeur de la production. Cela implique une certaine dépendance des résultats vis-à-vis des hypothèses de valeur relative du kWh selon les postes horaires.

La monotone des prix horaires de l'énergie pour les jours ouvrables, le samedi et le dimanche, est définie par deux paramètres : (voir graphique 4).

- le rapport X du prix moyen du kWh d'heure creuse au prix moyen du kWh d'heure pleine de jour ouvrable.
- le rapport Y du prix du kWh d'heure de pointe la plus chère au prix moyen du kWh d'heure pleine de jour ouvrable.

Les résultats déjà publiés ont été établis avec les valeurs suivantes :

$$X = 0,70 \text{ et } 0,85 \quad Y = 1,12$$

Une modification très sensible des monotones de prix nécessiterait une révision des résultats du P1 à cause des modifications du placement de la lâchure hebdomadaire.

2) L'hydraulicité de la vallée est représentée par un ou deux débits témoins qui servent d'index (les apports intermédiaires à chaque usine étant liés à l'index ou aux index, par des coefficients moyens, établis d'après les séries historiques des débits et introduits dans le programme).

3) L'hydraulicité est considérée comme la même sur les 7 jours de la semaine et ne varie pas à l'intérieur de chaque journée.

AMENAGEMENTS OU VALLEES POUR LESQUELS UN FASCICULE P1 A ETE ETABLI

Nom du réservoir ou de l'usine de tête

ALPES et JURA

- VOUGLANS
- TIGNES
- ROSELEND
- GIROTTE
- MONT CENIS - PLAN D'AVAL
- BISSORTE
- LE SAUTET
- MONTEYNARD
- LE CHAMBON
- SERRE PONCON
- CASTILLON
- SAINTE CROIX

PYRENEES

- ARTOUSTE - FABREGES - BIOUS
- CAP DE LONG (Pragnères)
- PORTILLON
- LANOUX
- NAGUILHES (Orlu)

MASSIF CENTRAL

- PEYRAT LE CHATEAU
- MONCEAUX
- AUZERETTE
- BORT-NEUVIC
- L'AIGLE

- MARCILLAC
- ENCHANET
- ST-ETIENNE CANTALES
- GRANDVAL
- SARRANS
- LARDIT
- PARELOUP (Le Pouget)
- MONTAHUT
- LE VINTROU
- LA RAVIEGE
- PIED DE BORNE
- MONTPEZAT
- LES FADES

MESURE DES TEMPÉRATURES EN RIVIÈRE THERMOMÈTRE NUMÉRIQUE AUTONOME

(Fiche n° 56)

Les mesures des températures de l'eau, en rivières, canaux ou conduites, fréquemment demandées à la D.T.G., correspondent aux trois problèmes principaux posés par l'exploitation des centrales thermiques :

- définition de l'état initial des rivières et de leur capacité de refroidissement, avant construction des centrales ;
- maintien des échauffements produits dans les limites autorisées par l'Administration, une fois les centrales en service ;
- contrôle du bon fonctionnement des condenseurs des centrales.

I — Originalité du thermomètre numérique autonome

L'appareil, décrit dans la présente notice, appelé *thermomètre numérique autonome* présente deux caractéristiques principales :

- a) il utilise une sonde à résistance de platine et délivre un signal de sortie sous forme d'impulsions électriques se prêtant aisément
 - soit à une collecte des données sur un support pouvant permettre un traitement automatique, en particulier sur les enregistreurs magnétiques digitaux séquentiels à minicassettes mis au point à la DIVISION TECHNIQUE GENERALE (*)
 - soit à une transmission à distance pour affichage en centrale.
- b) le fonctionnement est autonome et les caractéristiques d'utilisation sont prévues pour des conditions climatiques sévères (température, humidité), ce qui facilite l'installation des points de mesure dans la nature.

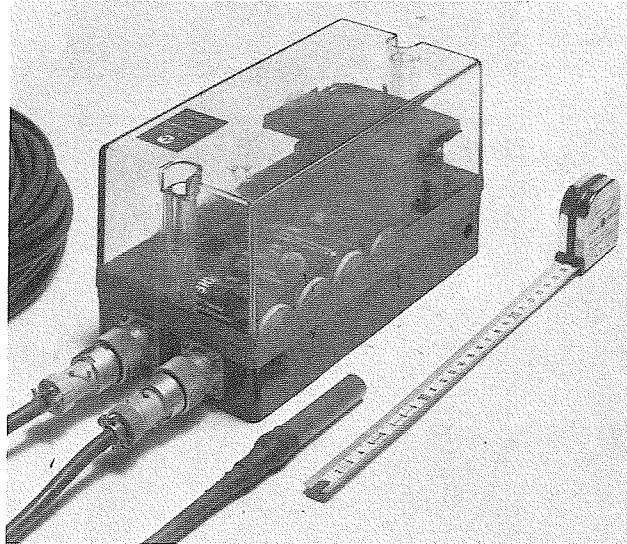
II — Principe

L'appareil utilise comme traducteur une sonde à résistance de platine de 100 Ω . La sonde est insérée dans un pont de WHEATSTONE que l'on cherche à équilibrer en commutant en parallèle sur la branche opposée des résistances successives.

Sur ordre, ces résistances, qui sont entre elles dans un rapport binaire, sont commutées par un compteur binaire déclenché par un générateur d'impulsions. En conséquence, la tension de déséquilibre du pont varie linéairement avec le nombre d'impulsions comptées.

Lorsque l'équilibre est atteint, le générateur d'impulsions est stoppé. Cet appareil a donc émis un nombre d'impulsions proportionnel à la variation de résistance de la sonde, donc à la température.

(*) Cf notice DTG 3755/10 du 26 juillet 1973 : "Enregistreur magnétique séquentiel codé sur minicassettes à grande autonomie pour collectes de données sur le terrain" ou la fiche d'information D.T.G. n° 50 publiée sous le même titre.



Thermomètre numérique, sonde, boîtier et cables de liaison ; pour enregistrement magnétique sur cassette ou pour téléaffichage.

III — Présentation — Différentes versions

L'appareil a été réalisé sous deux versions :

1. Thermomètre pour enregistreur magnétique séquentiel codé à cassette

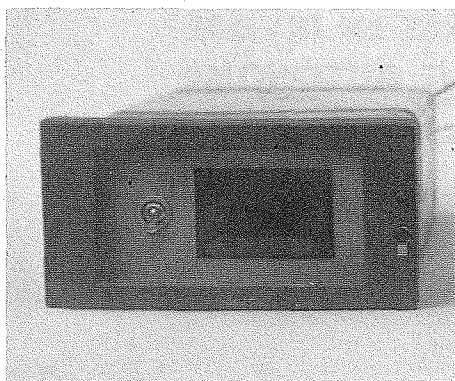
Le but est ici la surveillance de l'évolution de la température en un point donné placé dans la nature — dans l'air ou dans l'eau — avec enregistrement sur support magnétique ou téléaffichage à distance.

L'ensemble comprend (voir photo ci-dessus)

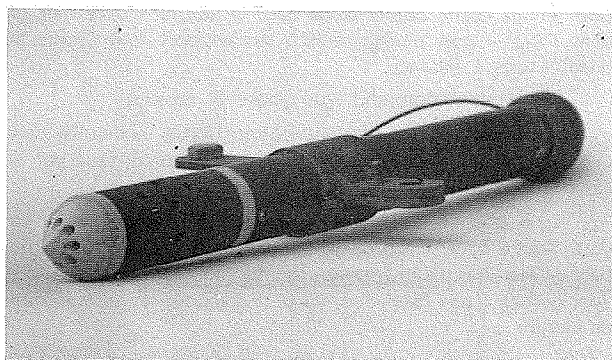
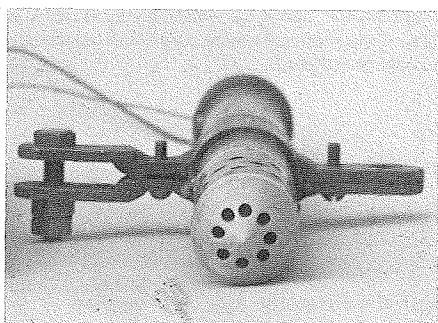
- une sonde de platine — immergeable — moulée dans une gaine métallique reliée au boîtier thermométrique par un câble à trois conducteurs,

- le boîtier thermométrique extérieur contenant le circuit électronique (tropicalisé par vernis à chaud) décrit plus haut et les piles d'alimentation (quatre piles Mallory MN 1300). Aux bornes d'une prise Souriau sont disponibles les impulsions de mesure.

La température peut à tout instant être contrôlée par affichage sur un compteur décimal incorporé.



Récepteur extérieur avec affichage (voir explications dans le texte)



"Saumon" (voir explications dans le texte)

Le boîtier est étanche à l'humidité — dimensions 210 x 130 mm x 130 mm.

Le thermomètre est relié par câble :

— soit à un enregistreur magnétique digital séquentiel à cassette (voir note citée); l'ensemble réalisant alors une station de faible coût et de grande facilité d'installation ;

— soit à un compteur situé à distance (par exemple : affichage en usine);

— soit aux deux dispositifs ci-dessus, montés en parallèle.

2 — Thermomètre numérique pour saumon (*)

Le but est ici d'adapter à la mesure des températures les facilités de manipulation des "saumons" de mesure de débit pour déterminer la "carte" des températures d'une section d'un cours d'eau ou d'un canal.

L'ensemble comprend :

— un bloc étanche, fixé sur le saumon, renfermant la sonde de platine et le circuit électronique actif. Ce montage permet la transmission du signal de mesure par les fils de liaison du saumon ;

— un récepteur extérieur (voir photo ci-dessus) qui comprend :

— un compteur numérique type décimal à trois décades en logique COS/MOS à haute immunité aux parasites et affichage statique à sept segments à diodes électroluminescentes,

— une alimentation dont la tension est comprise entre 10 et 14 volts. Sa capacité dépend du temps total de la série des mesures à effectuer, la consommation étant de l'ordre de 250 mA. Pour des raisons de commodité, on a préféré ne pas immerger les piles et transmettre l'alimentation par le câble electro-porteur du saumon.

L'ensemble est mis sous tension manuellement — la mesure vient alors s'afficher sur le compteur. Un dispositif de remise à zéro périodique (monostable) renouvelle la mesure toutes les 1,7 secondes environ.

IV — Caractéristiques

Gamme de mesure	0 — 40°
Sensibilité	0,1°C
Précision	0,3° sur toute l'étendue de la gamme de mesure
Température de fonctionnement.	— 30° à + 50°
Signal de sortie	Niveau logique codé ou impulsions à la fréquence de 2,5 kHz
Temps de réponse	0 à 250 mS
Traduction	Sonde à résistance de platine 100 Ω
Longueur du câble de liaison	50 m
Alimentation et consommation :	— Thermomètre numérique pour saumon : fonctionne sur 8 piles de 1,5 volt, soit 12/14 volt ; consommation 300 mA pendant la période de mesure. — Thermomètre numérique pour enregistrement magnétique : fonctionne sur 4 piles rondes 1,5 volt, soit 6 volt ; autonomie 100 000 mesures.

(*) Masse métallique profilée appelée "saumon", classiquement utilisée pour la mesure des vitesses en rivière par moulinet hydrométrique. L'appareillage, manipulé au moyen d'une trille téléphérique ou d'un treuil léger depuis un pont ou une embarcation, permet le relevé de "cartes" de températures dans les différentes sections du cours d'eau.

ENREGISTREUR MAGNÉTIQUE SÉQUENTIEL CODÉ SUR MINICASSETTE A GRANDE AUTONOMIE POUR COLLECTE DE DONNÉES SUR LE TERRAIN

(Fiche n° 50)

BUT

Les besoins de l'exploitation nécessitent l'enregistrement de nombreuses informations telles que hauteurs de pluie, niveaux d'eau, comptage d'énergie, températures, etc. Avec les enregistrements graphiques traditionnels, le dépouillement des données avant leur traitement est long et coûteux. L'automatisation des centrales rend même impossibles certains relevés effectués auparavant par le personnel.

Dans le but de rendre automatique une partie de ces opérations, la D.T.G. a conçu un enregistreur magnétique sur minicassette qui répond aux conditions suivantes :

- simplicité de mise en œuvre par un personnel non spécialisé,
- fiabilité même dans des conditions climatiques sévères,
- support minicassette type PHILIPS et codage des informations compatibles avec les périphériques calculateurs du commerce,
- enregistrement suivant le code "bipiste 16 bits" retenu par le groupe d'action ponctuelle spécialisé de la Direction des Etudes et Recherches d'E.D.F.,
- grande autonomie de fonctionnement (de l'ordre d'un an),
- faible prix de revient.

09

PRINCIPES

Ces conditions ont pu être rassemblées autour de quelques idées de bases :

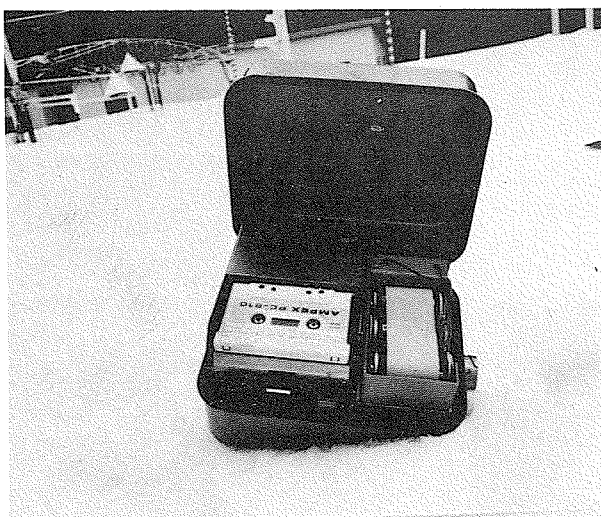
- dans un grand nombre de cas, on a à enregistrer une seule grandeur physique variant lentement avec le temps. L'appareil est donc "monovoie" (temps-mesure) et séquentiel (enregistrement suivant une séquence fixée par une horloge interne : entre deux séquences, l'appareil est à l'arrêt) ;
- l'enregistrement est codé binaire : transcription d'impulsions sur deux demi-pistes à faible densité (maximum 100 impulsions par cm) ;
- la mécanique, dépouillée à l'extrême, utilise les minicassettes type PHILIPS avec :
 - . utilisation d'un moteur sans collecteur du type "pas à pas" prévu pour fonctionner dans la gamme de température désirée,
 - . entraînement de la bande magnétique sans aucun dispositif à frottement ou glissement, par traction directe par la bobine réceptrice,
 - . diminution au maximum des accélérations sur la bande par démultiplication du moteur;
- les circuits de commande et l'horloge interne à quartz utilisent des logiques COS/MOS à très faible consommation.

FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement de l'appareil est du type start-stop. Sur



Figures 1 et 2 - L'appareil, fait pour l'extérieur supporte des températures sévères.



ordre de la base de temps interne il procède à l'enregistrement codé binaire sur 16 bits de l'information temps-mesure.

Le codage binaire à 16 bits est transcrit dans le sens longitudinal de la bande sous forme d'impulsions dirigées sur l'une ou l'autre des demi-pistes suivant qu'il s'agit de "1" ou de "0" sans jamais être en coïncidence.

Un mot comprend :

- 1 bit de coïncidence servant à l'identification
- 11 bits réservés au codage de la mesure
- 4 bits réservés au codage partiel du temps ou d'une adresse de la mesure.

Les débuts et les fins de mot sont détectés par un blanc entre les enregistrements.

Pour cela l'appareil possède deux entrées :

- l'une pour être utilisée en direct avec des capteurs de mesure délivrant une information déjà codée,
- l'autre possédant un interface de comptage et codage intégré pour être utilisée avec des capteurs délivrant l'information sous forme d'impulsions.

PERFORMANCES

- température d'utilisation : de -20 à +50°C
- autonomie d'alimentation sur piles : 1 an (3 piles rondes ordinaires 1,5 v)

- autonomie de cassette 25 à 30 000 mesures
- base de temps interne ajustable de 1, 5, 6, 10 minutes ... 1/2 heure, 1 heure ... 24 heures
- pertes d'impulsions ou impulsions parasites : inférieures à $\pm 10^{-4}$
- utilisation de cassettes "certifiées calculateur" préalablement effacées.

EXEMPLES D'UTILISATION

L'appareil peut être associé à un capteur de

- coups de foudre
- acidité forte de l'air
- énergie (wattmètres des usines)
- niveau (limnigraphes)
- température (en rivière, à l'aval des usines thermiques, voir article précédent)

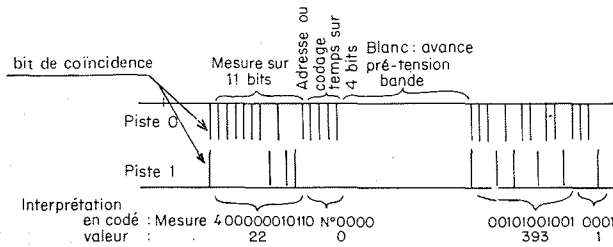


Figure 3 - Schéma d'enregistrement sur les deux pistes de la bande.