

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin technique de la Suisse romande
<b>Band:</b>	82 (1956)
<b>Heft:</b>	11
<b>Artikel:</b>	Première application en Suisse de la méthode thermodynamique à la mesure du rendement de turbines hydrauliques
<b>Autor:</b>	Chappuis, J.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-62064">https://doi.org/10.5169/seals-62064</a>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

**Abonnements:**  
 Suisse: 1 an, 26 francs  
 Etranger: 30 francs  
 Pour sociétaires:  
 Suisse: 1 an, 22 francs  
 Etranger: 27 francs  
 Prix du numéro: Fr. 1.60  
 Ch. post. « Bulletin technique de la Suisse romande »  
 N° II. 57 75, à Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnements, changements d'adresse, expédition à Imprimerie La Concorde, Terreaux 31, Lausanne

**Rédaction**  
 et éditions de la S. A. du Bulletin technique (tirés à part), Case Chauderon 475  
**Administration de la S.A.  
du Bulletin Technique**  
 Ch. de Roseneck 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président: R. Neeser, ingénieur, à Genève; Vice-président: G. Epitaux, architecte, à Lausanne; Secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg: MM. H. Gicot, ingénieur; M. Waeber, architecte — Vaud: MM. P. Chenaux, ingénieur; A. Chevalley, ingénieur; E. d'Okolski, architecte — Ch. Thévenaz, architecte — Genève: MM. Cl. Grosgrain, architecte; E. Martin, architecte — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte; R. Guye, ingénieur — Valais: MM. G. de Kalbermatten, ingénieur; D. Burgener, architecte.

Rédaction: D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration  
 de la Société anonyme du Bulletin technique : A. Stucky, ingénieur, président ; M. Bridel; G. Epitaux, architecte; R. Neeser, ingénieur.

## Tarif des annonces

1/1 page	Fr. 264.—
1/2 »	» 134.40
1/4 »	» 67.20
1/8 »	» 33.60

**annonces Suisses S. A.  
(ASSA)**



Place Bel-Air 2. Tél. 22 33 26  
 Lausanne et succursales

**SOMMAIRE :** Première application en Suisse de la méthode thermodynamique à la mesure du rendement de turbines hydrauliques, par J. CHAPPUIS. — Une méthode simple de calcul de l'absorption du son par viscosité seule, dans des fluides homogènes limités, par A. BOTTA, ingénieur E.P.U.L. — Union Internationale des Architectes (U.I.A.): Commissions de travail. — DIVERS : Exposition du Simplon. — NÉCROLOGIE : Georges Champrenaud, ingénieur. — BIBLIOGRAPHIE. — Société vaudoise des ingénieurs et des architectes : Comité 1956. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT. — DOCUMENTATION DU BATIMENT. — INFORMATIONS DIVERSES.

## PREMIÈRE APPLICATION EN SUISSE DE LA MÉTHODE THERMODYNAMIQUE À LA MESURE DU RENDEMENT DE TURBINES HYDRAULIQUES

par J. CHAPPUIS, Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey S. A., Vevey

### Introduction

Grâce à l'amabilité de l'exploitant et au concours du Service de la production hydraulique, division technique d'Electricité de France, il a été possible d'exécuter en avril 1955, à l'usine de Gondo, de l'Energie du Simplon S. A., une mesure de rendements par la méthode thermométrique, dénommée actuellement thermodynamique.

La centrale de Gondo, équipée de deux groupes Pelton, développant 19 000 kW sous 477,0 de chute a été décrite dans le *Bulletin technique Vevey* n° 1, 1952 (réf. 1).

Ces essais sont particulièrement intéressants, car bien que cette méthode ait été proposée en 1914 déjà par M. Poirson (réf. 2), son développement pratique par les Services techniques d'Electricité de France pour la mesure des rendements de turbines hydrauliques est relativement récente. Il s'agissait de plus de la première

application qui en était faite en Suisse, et l'une des premières applications en dehors de France.

Rappelons que, dans cette méthode, on utilise le fait que pratiquement les pertes de toute nature au travers de la turbine se retrouvent sous forme de chaleur dans l'eau turbinée, d'où résulte une expression très simple des pertes, soit :

$$p = j \cdot c \cdot Q (\theta_s - \theta_e)$$

où :  $Q$  = débit turbiné

$c$  = chaleur spécifique de l'eau

$\theta_s$  = température de l'eau à la sortie de la turbine

$\theta_e$  = température de l'eau à l'entrée de la turbine

$j$  = équivalent mécanique de la chaleur

Ces pertes étant connues, il est facile de calculer le rendement de la turbine sous la forme (réf. 3), par exemple

$$\eta = 1 - p/Q \cdot H_n = 1 - \frac{j \cdot c (\theta_s - \theta_e)}{H_n}$$

$H_n$  = chute nette.

On note la disparition du débit  $Q$  dans cette expression, grandeur qui est difficile à mesurer avec exactitude. C'est cette particularité qui a incité les chercheurs à développer la méthode malgré les difficultés rencontrées dans la technique des mesures.

En fait, les mesures absolues des températures nécessaires pour le calcul du rendement sur la base d'une expression telle que celle ci-dessus sont assez difficiles à exécuter avec une précision suffisante. En développant la méthode, l'Electricité de France a donc été amenée à compléter les bases théoriques en faisant intervenir les modifications d'énergie interne de l'eau qui accompagnent un changement de son état de pression. Il est alors possible d'introduire une mesure de zéro des températures bien plus facile à exécuter avec précision et c'est sous cette forme que la méthode a été appliquée à Gondo.

Remarquons, sous réserve de justification de l'hypothèse faite au sujet des pertes dans la turbine, qu'en vertu du principe de la conservation de l'énergie, on peut écrire que l'énergie utile à l'arbre de la turbine  $W$  est égale à la différence des énergies totales à l'entrée et à la sortie de la turbine,  $U_e$  et  $U_s$ . Si l'on introduit et mesure les énergies totales au sens de la thermodynamique, somme des énergies cinétiques, de pression, de position et de l'énergie interne de l'eau fonction de sa température et de sa pression, on prend automatiquement en compte les phénomènes thermiques accompagnant un changement de l'état de pression de l'eau. C'est d'ailleurs ce qui justifie le nom de « thermodynamique » qui qualifie actuellement la méthode. Il vient :

$$(1) \quad \eta = \frac{U_e - U_s}{Q \cdot H_n}.$$

L'hypothèse au sujet des pertes implique que seule l'énergie transmise à l'arbre de la turbine est soutirée du système et par conséquent les conditions pour que des mesures sur ces bases puissent être valablement exécutées sont :

Absence de changements d'état de l'eau ou de réactions chimiques dans l'eau.

Absence d'échanges thermiques avec l'extérieur.

Permanence du régime.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il apparaît que ces conditions sont normalement réalisées d'assez près pour que des mesures thermodynamiques puissent se comparer avantageusement avec les autres types classiques de mesures, pour autant que les chutes en cause dépassent 100 à 200 m. Ce résultat tient également au fait que le développement des sondes de mesure des températures et leur appareillage annexe est suffisant pour qu'il soit possible de comparer des températures, sinon de mesurer leur valeur absolue, au  $1/1000$  de degré près.

Avant de décrire les essais effectués à Gondo, nous croyons utile de rappeler ci-après les grandes lignes du développement qui fixe les conditions de mesures, en renvoyant nos lecteurs pour une étude détaillée aux

articles cités dans la bibliographie figurant à la fin de notre exposé et particulièrement à l'article de MM. G. Willm et P. Campmas (réf. 4).

#### Expression du rendement sur la base des énergies à l'entrée et à la sortie de la turbine

Considérons une turbine hydraulique telle que représentée sur la figure 1, avec son système d'adduction et

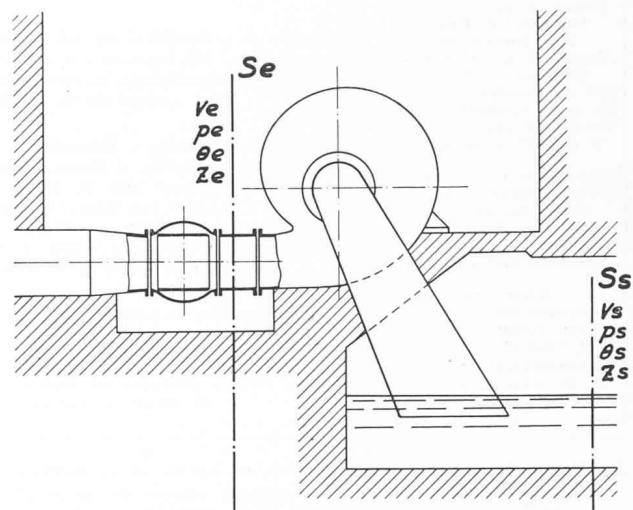


Fig. 1.

son canal de fuite, et plus particulièrement, le domaine  $F$  limité par deux sections  $S_e$ ,  $S_s$ , immédiatement à l'amont et à l'aval de la machine. Nous admettrons pour l'instant que les conditions de validité citées précédemment sont réalisées. D'une façon générale, les indices  $e$  et  $s$  s'appliquent respectivement à des grandeurs mesurées dans les sections  $S_e$  et  $S_s$ .

L'énergie totale reçue dans l'unité de temps par  $F$  à la section d'entrée  $S_e$  est exprimée par l'équation suivante :

$$(2) \quad U_e = \left( \frac{\nu_e^2}{2g} + \frac{p_e}{\gamma} + Z_e \right) g \cdot Q + u_e(\theta_e, p_e) Q$$

et l'énergie totale cédée par  $F$  au canal de fuite à la section  $S_s$  par :

$$(3) \quad U_s = \left( \frac{\nu_s^2}{2g} + \frac{p_s}{\gamma} + Z_s \right) g \cdot Q + u_s(\theta_s, p_s) Q$$

Dans ces relations, nous avons :

$\nu$  = vitesse d'écoulement

$p$  = pression

$Z$  = cote d'altitude

$\gamma$  = poids spécifique de l'eau

$u$  = énergie interne de l'eau au sens de la thermodynamique, fonction de la température et de la pression de l'eau

$Q$  = débit en masse, bien entendu en vertu du principe de continuité identique dans les deux sections  $S_e$  et  $S_s$

$\theta$  = température de l'eau

$g$  = accélération de la pesanteur

Suivant les hypothèses exprimées plus haut, le seul échange d'énergie entre le système  $F$  et l'extérieur est représenté par l'énergie utile  $W$ , transmise à l'arbre de la turbine, dans l'unité de temps, ce qui s'écrit en vertu du principe de la conservation de l'énergie

$$(4) \quad W = U_e - U_s.$$

En remplaçant dans cette expression  $U_e$  et  $U_s$  par leur valeur (2) et (3), on peut obtenir une expression de l'énergie fournie à l'arbre de la turbine dans l'unité de temps et par unité de débit sous la forme suivante :

$$(5) \quad \frac{W}{Q} = \left( \frac{\nu_e^2}{2g} + \frac{p_e}{\gamma} + Z_e \right) g + u_e(\theta_e, p_e) - \left( \frac{\nu_s^2}{2g} + \frac{p_s}{\gamma} + Z_s \right) - u_s(\theta_s, p_s) = \left( \frac{\nu_e^2 - \nu_s^2}{2g} + \frac{p_e - p_s}{\gamma} + Z_e - Z_s \right) g + u_e(\theta_e, p_e) - u_s(\theta_s, p_s).$$

D'autre part, le rendement d'une turbine est défini par la relation suivante :

$$\eta = \frac{W}{g \cdot Q \cdot H_n} = \frac{W}{Q} \cdot \frac{1}{g \cdot H_n}$$

dans laquelle on retrouve l'énergie utile  $W/Q$  par unité de débit en masse, valeur que l'on peut remplacer par (5).

On obtient ainsi :

$$(6) \quad \eta = \frac{\left( \frac{\nu_e^2 - \nu_s^2}{2g} + \frac{p_e - p_s}{\gamma} + Z_e - Z_s \right) g + u_e(\theta_e, p_e) - u_s(\theta_s, p_s)}{g \cdot H_n}$$

ou en exprimant  $H_n$  par les valeurs mesurées dans la section  $S_e$  :

$$(7) \quad \eta = \frac{\left( \frac{\nu_e^2 - \nu_s^2}{2g} + \frac{p_e - p_s}{\gamma} + Z_e - Z_s \right) g + u_e(\theta_e, p_e) - u_s(\theta_s, p_s)}{\left( \frac{\nu_e^2 - \nu_s^2}{2g} + \frac{p_e - p_s}{\gamma} + Z_e - Z_s \right) g}$$

Cette expression permet de déterminer le rendement d'une turbine hydraulique sur la seule connaissance des valeurs figurant dans l'expression des énergies totales à l'amont et à l'aval de la machine. On remarque en particulier que la puissance utile exprimée par  $W$  et le débit  $Q$  ne figurent plus dans le calcul.

En fait,  $Q$  apparaît implicitement dans le terme  $\nu^2/2g$ . Toutefois, pour les chutes qui entrent en ligne de compte pour la méthode thermodynamique, le terme  $\nu^2/2g$  ne représente qu'une fraction peu importante de la hauteur de chute totale et on peut donc accepter sur sa détermination une erreur assez importante, sans nuire à la précision du résultat. Il devient possible de mesurer  $\nu^2/2g$  par des prises de pression dynamiques placées dans les sections à étudier de façon à obtenir à la fois le terme  $p/\gamma$  et la valeur moyenne de  $\nu^2/2g$ . On élimine ainsi tout l'appareillage électrique nécessaire à la lecture de  $W$  et l'appareillage encombrant nécessaire

aux mesures toujours délicates du débit  $Q$ , et c'est là un des principaux intérêts de la méthode.

Le développement doit se continuer pour permettre le calcul des énergies  $u_e$  et  $u_s$  sur la base des grandeurs  $\theta$  et  $p$ , développement qui est donné dans l'article déjà cité par MM. Willm et Campmas. Rappelons simplement que ce calcul fait intervenir le coefficient de chaleur spécifique de l'eau, son coefficient de dilatation, sa compressibilité, valeurs qui apparaissent sous forme de coefficients déterminés par les données classiques de la physique de l'eau.

### Exécution des mesures

Pour calculer le rendement à partir de son expression (6), il est nécessaire de mesurer dans les deux sections  $S_e$  et  $S_s$  les valeurs  $\nu$ ,  $p$ ,  $Z$  et  $\theta$ . Pour les termes  $\nu$ ,  $p$ ,  $Z$ , on utilisera les méthodes classiques, c'est-à-dire, prises statiques, prises dynamiques et manomètre-presse. Remarquons que le manomètre-presse habituel a été perfectionné par Electricité de France, afin de le rendre pratiquement automatique et de faciliter sa lecture au maximum. La chute  $H_n$  sera également calculée suivant les normes habituelles.

Pour la mesure des températures  $\theta_e$ ,  $\theta_s$ , il a fallu attendre le développement de sondes de mesure suffisamment précises pour que les résultats puissent être valablement utilisés. Actuellement, on trouve dans le commerce des sondes à résistance avec spirale en platine qui, branchées sur un pont de Wheatstone, suivant montage spécial, permettent de réaliser ces mesures dans de très bonnes conditions.

Remarquons que la mesure des températures ne doit pas nécessairement être exécutée dans les sections  $S_s$  et  $S_e$  même. En effet, on peut dériver de ces deux sections une fraction du débit représentative des conditions moyennes, la faire circuler dans une enceinte de mesure spéciale et introduire dans les calculs les valeurs  $\nu_1$ ,  $p_1$ ,  $Z_1$ ,  $\theta_1$  relevées dans cette enceinte. Ceci est valable bien entendu pour autant qu'aucun échange thermique avec l'extérieur n'ait lieu durant le prélèvement, le transport et la mesure. La mesure de  $\nu$ ,  $p$ ,  $Z$  dans  $S_e$  et  $S_s$  reste nécessaire pour le calcul de la chute nette  $H_n$ .

En ce qui concerne  $\theta$  et  $p$ , deux méthodes de mesure peuvent être envisagées, soit :

1. Egalisation des pressions  $p_e$  et  $p_s$  par une détente complète, d'un échantillonnage d'eau soutirée de la section  $S_e$ , sans échange thermique avec l'extérieur. Cette détente sera réalisée dans une enceinte calorifugée éliminant tout échange thermique avec l'extérieur. On procédera ensuite à la mesure de la valeur absolue des températures et l'on pourra poursuivre le calcul, les termes  $p_e$  et  $p_s$  s'éliminant dans  $u_e - u_s$ . On retrouve dans ce cas le procédé des premières applications, dites thermométriques.
2. Egalisation des températures  $\theta_e$  et  $\theta_s$  par une détente partielle, sans échange thermique avec l'extérieur, d'un échantillonnage d'eau soutirée de la section  $S_e$ . La détente partielle sera également réalisée dans une enceinte calorifugée où l'on pourra effectuer une mesure de la valeur absolue de la pression de détente partielle  $p_{e1}$ . La pression  $p_{e1}$  est introduite dans les calculs et les termes  $\theta_e$ ,  $\theta_s$  disparaissent de  $u_e - u_s$  de (6). Ce procédé constitue la méthode thermodynamique proprement dite, dans laquelle la mesure des températures est réduite à une mesure de zéro relativement facile à exécuter avec précision. Un détendeur

calorifugé a été développé par l'Electricité de France pour l'application de cette méthode, détendeur qui permet d'amener un échantillonnage d'eau prélevée d'une façon continue à la section  $S_e$  à une pression partielle  $p_{e1}$  réglable, telle que la lecture au pont de Wheatstone donne  $\theta_e = \theta_s$ .

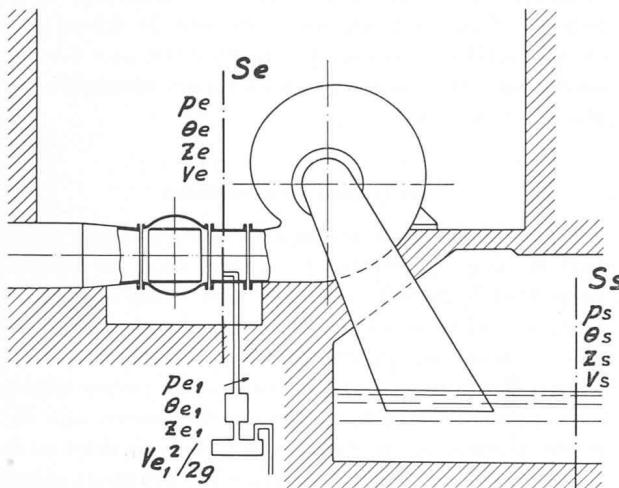


Fig. 2.

La figure 2 schématisse les différentes mesures effectuées dans ces conditions pour le cas le plus général. Le relevé des grandeurs relatives à l'eau turbinée se fait généralement directement dans le canal de fuite.

L'étalonnage indispensable des sondes de températures, consiste en un simple réglage de zéro du pont de Wheatstone avec les deux sondes thermométriques amont et aval, placées dans une enceinte calorifugée.

Aucune hypothèse n'a été faite en ce qui concerne les sections  $S_e$  et  $S_s$ . Aussi ces sections peuvent-elles être placées en principe aux points les plus favorables aux mesures. Toutefois, il y a lieu de faire une distinction entre le numérateur et le dénominateur de l'équation (6). Le dénominateur qui représente la chute nette de la turbine reste défini d'après les normes habituelles ; ainsi dans une Pelton la chute nette  $H_n$  se mesurera entre la ligne de charge à l'entrée de l'injecteur et le point d'impact du jet sur la roue. Le numérateur appelé parfois « chute utile »  $H_u$  peut par contre être relevé dans des sections quelconques (par exemple sur la conduite forcée et dans le canal de fuite) sans modifier le rendement mesuré, pour autant qu'entre ces deux sections l'énergie utile  $W$  soit la seule échangée entre le système et le milieu extérieur. On peut ainsi être amené à séparer les sections de mesure de la chute nette et de la chute utile.

#### *Remarques au sujet de la méthode de mesure par détente partielle*

Si dans l'équation (6), on fait abstraction des termes  $u_e$  et  $u_s$  que  $v_1^2/2g - v_s^2/2g$  soit négligeable, ce qui est généralement le cas, que l'enceinte de détente partielle soit à la cote  $Z_s$  d'où  $Z_e - Z_s = 0$  il vient avec  $p_s = \text{pression atmosphérique} = 0$ .

$$\eta = p_{e1}/\gamma \cdot H_n$$

$H_n - p_{e1}/\gamma$  est la fraction de la chute qu'il a fallu transformer en chaleur pour que  $\theta_{e1} = \theta_s$ . C'est la valeur  $p$  de la formule de la page 165, représentative des pertes dans la machine aux corrections thermiques de détente partielle près.

La relation ci-dessus montre que la mesure du rendement est réduite à une mesure de pression, corrigée pour tenir compte de l'influence des phénomènes thermiques de détente partielle en introduisant  $u_e$  et  $u_s$ .

#### *Conditions particulières des mesures*

Grâce aux techniques actuelles de mesures des pressions et températures, combinées avec un procédé d'exécution bien choisi (élimination de la mesure des températures absolues par exemple), la méthode thermodynamique s'est révélée remarquablement précise et se compare avantageusement avec d'autres types de mesures.

Néanmoins, il peut être intéressant d'étudier les causes d'erreur qui peuvent se présenter dans son application et auxquelles il sera nécessaire de prêter attention. On peut les grouper sous les points suivants :

##### 1. Dégagement de gaz et changement d'état de l'eau.

L'eau subissant une diminution de pression importante lors de son passage dans la turbine, les gaz dissous peuvent se dégager. Par suite des modifications de l'énergie interne de l'eau que cela comporte, des mesures erronées de température peuvent se présenter si les gaz dissous existent en quantités importantes. En fait, les quantités présentes ne sont normalement pas suffisantes pour avoir une influence sensible. Un changement d'état de l'eau, par exemple une vaporisation par cavitation, amène également une modification de l'énergie interne de l'eau par suite de la chaleur de vaporisation et peut donc produire les mêmes effets. Cependant, dans le cas de la cavitation, l'erreur commise s'élimine d'elle-même dès que l'on se trouve dans une section où la cavitation a disparu. Sous ce titre, il faudrait également inclure d'éventuelles réactions chimiques.

##### 2. Echanges thermiques avec l'extérieur

soit au travers du bâti de la turbine, soit dans les appareils de mesure. Les échanges thermiques au travers du bâti ne sont pas mesurables ; un calcul approximatif cependant montre que cette influence reste probablement faible. Les échanges thermiques au travers des appareils (particulièrement le détendeur) seront réduits à un minimum grâce à un calorifugeage soigné et l'efficacité de ce calorifugeage sera contrôlée, en cas de doute, en relevant un même point avec des débits de soutirage différents.

##### 3. Irrégularités de répartition de la température dans les sections de mesure, par exemple si la section aval est placée trop près de la roue de la turbine et qu'une homogénéisation des températures de l'eau n'ait pu se produire. Il suffira pour éliminer ce point de choisir convenablement les sections de mesure.

##### 4. Variation de la température de l'eau dans la conduite d'amenée telle qu'elle se présente par suite d'une variation d'exposition solaire sur les ouvrages amont ou d'une variation de la température extérieure.

En effet, un certain volume d'eau est compris entre les sections de mesure amont et aval, et, par conséquent, une variation de température dans la section amont n'est mesurée dans la section aval qu'un instant plus tard. On se rend compte que si le gradient

de température est suffisamment grand, que la constante de temps des sondes de mesure n'est pas identique, des erreurs sensibles peuvent résulter de cet état de choses. Le cas échéant, on effectuera donc les mesures durant les périodes de stabilité que l'on rencontre toujours durant le cycle généralement quotidien des températures amont ou du moins avec un gradient de température suffisamment faible.

D'autre part, on a pu faire le reproche à la méthode thermodynamique de ne pas tenir compte des pertes dans les paliers, dans les labyrinthes périphériques des turbines Francis, ni des pertes par ventilation des Pelton. Faisons les quelques remarques suivantes à ce sujet.

Le débit d'eau et l'élévation de température du circuit de réfrigération d'un palier sont faciles à mesurer et permettent sans difficultés de calculer les pertes et éventuellement de les prendre en compte dans le calcul des rendements. Cette opération n'est même pas nécessaire dans le cas où l'eau de réfrigération est injectée dans le tuyau d'aspiration suffisamment en avant de la section de mesure de  $\theta_s$ .

L'eau s'écoulant au travers des labyrinthes de roues Francis est très généralement renvoyée au tuyau d'aspiration et les pertes correspondantes sont mesurées puisqu'elles provoquent un échauffement de l'eau passant dans la section de mesure aval. Rappelons que cette section est choisie de façon à correspondre à une homogénéisation convenable des températures. Si l'eau de fuite n'est pas renvoyée au tuyau d'aspiration, les pertes aux labyrinthes peuvent être mesurées par la méthode thermométrique même, cette mesure ayant constitué l'une de ses premières applications pratiques (réf. 5).

La fosse d'une turbine Pelton constitue un excellent échangeur de chaleur puisque l'eau qui sort des augets est pulvérisée dans son atmosphère, qu'elle entraîne partiellement sur une certaine distance dans le canal de fuite. Il est donc clair qu'en définitive les pertes par ventilation échauffent l'eau sortant de la roue motrice et sont prises en compte à la charge de la turbine par la mesure thermométrique.

#### Mesures à la centrale de Gondo

La figure 3 représente une coupe à travers l'axe des turbines de la centrale de Gondo. La prise de pression dynamique amont a été placée entre l'injecteur et la vanne de garde du groupe. Une mesure de pression statique a de plus été effectuée dans l'injecteur lui-même. Le terme  $v^2/2g$  dans la section  $S_s$  aval étant très faible, a été négligé, et seule une mesure de température et de niveau devenait nécessaire à cet endroit. Deux sondes furent introduites dans une section située 6,0 m en aval de la turbine, et bien que cette section soit relativement près de la roue motrice, il n'a pas été constaté d'hétérogénéité de température susceptible de nuire à la précision exigée des mesures.

L'égalité des températures des sondes amont et aval a été déterminée grâce au galvanomètre branché sur le pont de Wheatstone, effectuant une lecture différentielle de la résistance électrique des deux sondes, c'est-à-dire de leur température.

Une série de lectures était relevée pour des déviations successivement positives et négatives du galvanomètre,

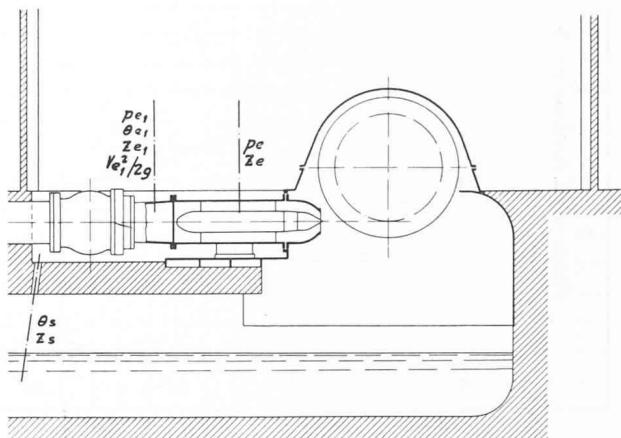


Fig. 3.

déviations obtenues en faisant varier la pression de détente partielle  $p_{e1}$  de l'eau. En portant ces déviations en fonction de la pression de détente, il devient facile de déterminer avec précision la pression correspondant à une identité de température des deux sondes, c'est-à-dire une déviation nulle du galvanomètre. À titre d'exemple, la figure 4 représente l'une de ces courbes et montre que la dispersion des points de mesures est extrêmement faible si l'on tient compte que la chute totale est de 470 m environ.

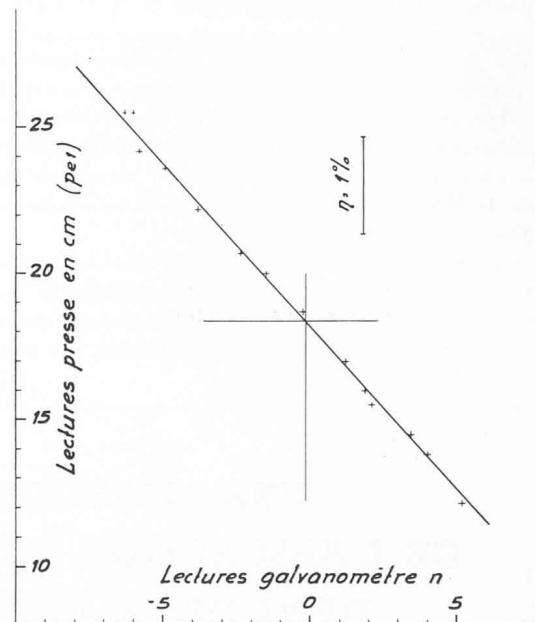


Fig. 4.

Un certain nombre de mesures ont été effectuées alors que le gradient de température dans la conduite forcée n'était pas négligeable. Une correction a été apportée aux calculs de ces points sur la base de la pente de la courbe de température et du temps de passage de l'eau d'une section de mesure à l'autre. Les points de rendements obtenus après cette correction s'alignent très bien avec les points correspondant au régime stable de

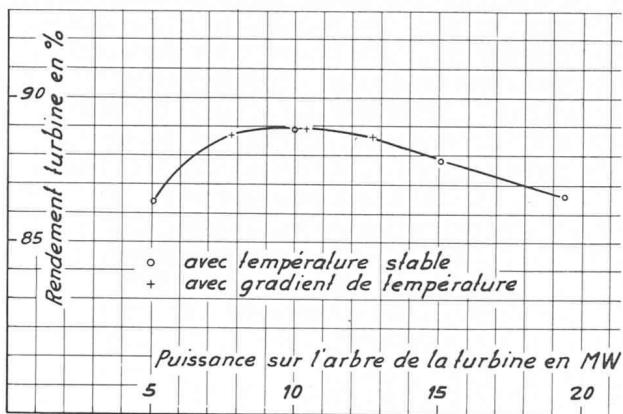


Fig. 5.

la température, ainsi que le montre la courbe de rendements représentée par la figure 5.

Les essais de Gondo ayant eu en partie un caractère démonstratif, il n'est pas possible de donner la durée des différentes opérations, montage, essai et démontage. Toutefois, les participants à ces essais ont pu se persuader de la grande simplicité du montage et des manœuvres nécessaires aux mesures, doublée d'une grande rapidité d'exécution.

#### Comparaisons des relevés obtenus par des mesures thermodynamiques avec des relevés obtenus par d'autres méthodes

Les essais effectués à l'usine de Gondo ne permettent pas d'établir une telle comparaison et ce n'est d'ailleurs pas leur but. Il s'agissait, dans le cas particulier, de contrôler les caractéristiques des machines après une modification destinée à en augmenter la puissance. Par contre, Electricité de France a publié un certain nombre de comparaisons entre les mesures thermodynamiques et des mesures aux moulinets ou au déversoir dans l'article de MM. Willm et Campmas qu'il est intéressant d'étudier.

On remarque d'une façon générale que les mesures effectuées par la méthode thermodynamique se comparent favorablement avec les autres types de mesure, tant en ce qui concerne la valeur absolue des rendements que la dispersion des points.

#### Conclusion

Non seulement une méthode de mesures de rendements, rapide et peu coûteuse, est utile aux constructeurs parce qu'elle peut leur permettre de vérifier leurs calculs et leurs essais en laboratoire plus fréquemment que ce n'est le cas actuellement, mais elle représente aussi un avantage certain pour l'exploitant. En effet, celui-ci peut effectuer lui-même et dans de bonnes conditions un contrôle périodique des rendements, déterminer ainsi l'état d'usure de ses machines et échelonner judicieusement ses campagnes de réparations.

Dans l'état actuel de la technique, la mesure de rendements par la méthode thermodynamique permet d'effectuer d'excellents relevés dans un temps très court et à peu de frais. Elle n'exige qu'un minimum d'appareillage et réduit les arrêts nécessaires pour la mise en place et le démontage des installations à des valeurs absolument négligeables. On se rend compte qu'il serait particulièrement intéressant de pouvoir effectuer des séries de comparaisons avec d'autres méthodes lors d'essais de réception, comparaisons permettant de définir le champ d'application pratique et de préciser la valeur des mesures thermodynamiques par rapport aux essais classiques. Ceci étant fait, il n'est pas impossible que la méthode thermodynamique constitue la méthode de mesure la plus favorable et la plus sûre dans le domaine des chutes moyennes et élevées.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. J. WEISS : *Les turbines de la centrale de Gondo*. Bulletin technique Vevey, n° 1, 1952.
2. *Méthode thermométrique pour la mesure du rendement des turbines hydrauliques*. Revue générale de l'Electricité, 26 novembre 1921.
3. L. BARBILLON : *Méthode thermométrique de mesure du rendement des turbines hydrauliques*. Revue générale de l'Electricité n° 13, 28 septembre 1929.
4. G. WILLM et P. CAMPMAS : *Mesure du rendement des turbines hydrauliques par la méthode thermométrique Poirson*. La Houille Blanche n° 4 et 5, juillet-octobre 1954.
5. E. FONTAINE et P. CAMPMAS : *Sur la séparation des pertes dans une turbine Francis*. La Houille Blanche n° 2, avril 1952.

534.845.08

## UNE MÉTHODE SIMPLE DE CALCUL DE L'ABSORPTION DU SON PAR VISCOSITÉ SEULE, DANS DES FLUIDES HOMOGÈNES LIMITÉS

par A. BOTTA, ingénieur E.P.U.L.

Voici une solution élémentaire du problème de la propagation des ondes acoustiques dans des fluides homogènes contenus dans certaines limites.

Les résultats simples mais non négligeables auxquels on est conduit, sont susceptibles d'être développés et employés dans les applications techniques.

D'autre part, le mot élémentaire justifie les simplifications introduites dans ce problème complexe et nous dispense d'y revenir, d'autant plus que ce genre de calculs est bien connu.

**Champ sonore dans un fluide homogène contenu entre deux demi-plans parallèles et parfaitement rigides, en l'absence de sources, sauf à une limite.**

Dans les champs sonores, la transmission de l'énergie mécanique se fait par vibrations « élastiques » des « particules » constituant le milieu continu.

L'énergie se dissipe aussi en se propageant, notamment du fait de la viscosité.

Un élément du fluide se déplace et se déforme autour