Communication
présentée au Comité technique
de la Société Hydrotechnique
de France
le 20 mars 1969

MESURE DES DÉBITS A L'AIDE DE DIAPHRAGMES LORS DES ESSAIS DE RÉCEPTION DES TURBINES A VAPEUR

PAR J. ROY *

Introduction

En France, jusqu'en 1945, les équipements de production thermique fonctionnaient suivant des cycles relativement simples; les turbines ne comportaient pas de postes de réchauffage de l'eau d'alimentation ou bien, si elles en comportaient un, la vapeur soutirée à la turbine se condensait dans les réchauffeurs, et les condensats retournaient en « cascade » au condenseur de la turbine.

La puissance des turbines ne dépassait pas à cette époque 60 MW, soit un débit de vapeur à l'admission de la turbine de l'ordre de 250 t/h, et la mesure du débit pouvait être réalisée au moyen de bâches peseuses, ou jaugeages, car la totalité du débit se retrouvait sous forme d'eau froide à la sortie du condenseur.

Après 1945, une nouvelle génération d'équipements thermiques a fait son apparition; les cycles thermiques sont devenus plus complexes, notamment toute l'eau provenant des condensats des soutirages vapeur alimentant les réchauffeurs d'eau d'alimentation ne retourne plus, en totalité, au condenseur, mais est réintroduite dans le circuit par l'intermédiaire d'une capacité (bâche alimentaire ou dégazeur); cette fraction du débit de vapeur à l'admission ne revenant pas au condenseur atteint 30 à 40 % et doit être nécessairement mesurée par d'autres méthodes que la pesée ou le jaugeage. De plus, les puissances des turbines ont augmenté d'une façon considérable : 100 MW, 125 MW, 250 MW et maintenant 600 MW.

Il devint alors nécessaire pour ces raisons d'utiliser, pour la mesure du débit vapeur à l'admission

des turbines, des appareils déprimogènes (diaphragmes, tuyères ou venturis). Pour des raisons de facilité d'installation et de prix, le choix s'est porté sur les diaphragmes en mince paroi. Cet organe, interposé dans une tuyauterie où s'écoule un fluide, crée une différence de pression statique entre l'amont et l'aval du diaphragme : de cette différence de pression on peut déduire la valeur du débit du fluide.

Au début de l'utilisation des diaphragmes pour la mesure des débits de vapeur à l'admission des turbines, on s'est efforcé d'étalonner, en eau froide, les diaphragmes placés sur les circuits mêmes d'utilisation. Cette opération nécessitait la mise en œuvre d'un matériel coûteux (bâches peseuses et bacs jaugeurs de grande capacité) de grande précision, la réalisation de dispositions spéciales des circuits, des modifications de tuyauteries, la pose de vannes, joints pleins... Après quelques expériences, on s'est aperçu que la précision de ces étalonnages était, pour diverses raisons, inférieure à la précision annoncée pour les appareils normalisés. A la suite de ces constatations, il fut décidé de n'employer exclusivement que des diaphragmes normalisés, non étalonnés, mais strictement installés et utilisés selon les spécifications des normes.

Il fut convenu de plus :

1. De mesurer un même débit par deux ensembles de mesure distincts, ceci pour s'assurer de l'étanchéité du circuit, et aussi pour comparer les indications fournies, indépendamment les unes des autres, par les deux ensembles de mesure;

2. De munir les diaphragmes de deux jeux de prises de pression reliées à des manomètres différentiels indépendants, ceci pour mettre en évidence les fautes éventuelles d'installation ou d'emploi de l'ensemble du dispositif.

* Ingénieur à la Direction des Etudes et Recherches, E.D.F.

Objet du présent article

Dans cet article, nous passons successivement en revue les diverses normalisations françaises et étrangères et les recommandations internationales concernant les débits de fluides par diaphragmes, en comparant leurs principes généraux et en faisant ressortir leurs analogies et leurs différences, puis nous indiquons les sujétions d'installation de l'orifice, les méthodes de mesures et enfin la précision qu'il est possible d'obtenir dans la mesure des débits de fluides par diaphragmes.

Circonstances générales des mesures

Choix des diaphragmes. Normes.

A partir du moment où il a été décidé de ne plus déterminer expérimentalement le coefficient de débit du diaphragme dans les conditions de son montage sur le circuit, le choix de la norme ou de la recommandation à utiliser s'est posé.

En ce qui concerne l'exécution de la plaque diaphragme, il n'y a pratiquement aucune différence d'une norme à l'autre : il est dit simplement que cette plaque doit avoir ses deux faces planes, de faible rugosité, et parallèles entre elles; si l'orifice doit être chanfreiné, l'angle du chanfrein doit être compris entre 30 et 45°. Les normes définissent les limites d'épaisseurs à donner à la plaque, elles indiquent également les critères du contrôle de qualité de l'usinage de l'orifice et des surfaces.

En fait les normes ne diffèrent entre elles que par la position des orifices de prises de pression à l'amont et à l'aval du diaphragme.

On peut classer les prises de pression en trois catégories :

- prises de pression « dans les angles » ;
- prises de pression « *vena contracta* » ;
- prises de pression « à la bride » .

Les normalisations et recommandations se rapportent, en général, plus particulièrement à l'une de ces catégories :

- prises de pression « dans les angles » : l'ancienne norme française NF X 10-101, la norme allemande VDI (DIN-1952), la norme anglaise « British Standard » (635-1042);
- prises « *vena contracta* » : règles américaines ASME (American Society of Mechanical Engineers). Ces règles publiées dans le document « Fluid Meters » ont fait également l'objet d'un document d'applications pratiques (PTC - 19-5 Flow Measurement).

A ces normes et à ces règles s'ajoute la « Recommandation Internationale ISO », qui a été reprise en France par l'AFNOR, et publiée sous la rubrique Norme expérimentale X 10-102 : elle traite non seulement des mesures par diaphragmes, mais également par tuyères et tubes de Venturi; les trois types de prises de pression y sont normalisés.

Les figures 1 et 2 représentent la position des prises dans chacun des types de prises par rapport

au diaphragme. A noter que la position de la prise aval dans le type en « *vena contracta* » dépend du rapport entre le diamètre du tuyau et le diamètre de l'orifice; cette position est, bien entendu, définie par les normes.

Après ce qui vient d'être dit, le choix ne repose en fait que sur celui du type de prises de pression à adopter. Ce choix est guidé par certaines considérations :

- le rapport entre les débits minimal et maximal que l'on veut mesurer : c'est-à-dire, dans le cas de mesure du débit vapeur à l'admission d'une turbine, il faut définir, *a priori*, la limite inférieure de la puissance pour laquelle les connaissances des conditions de fonctionnement sont intéressantes. Si ce rapport n'est pas inférieur à 1/4, on peut utiliser n'importe quel type de prises de pression; si au contraire ce rapport est inférieur à 1/4 et si l'on veut conserver à la mesure sensiblement la même précision, quelle que soit la valeur du débit, on est amené à changer le diamètre d'ouverture du diaphragme (donc de diaphragme) et dans ce cas il est préférable d'adopter le type de prises « dans les angles » ou « à la bride » puisque les positions de ces prises restent inchangées quelle que soit l'ouverture du diaphragme; au contraire pour le type « *vena contracta* », si le rapport d'ouverture change, la position de la prise aval est modifiée et cette nouvelle position n'est pas toujours comprise dans la zone de tolérance donnée par la norme et il faut faire une autre prise;
- les facilités d'installation sur la conduite : le diaphragme le plus simple à installer, c'est celui allant avec le type de prises « *vena contracta* » : il suffit de pouvoir écarter deux brides d'une valeur un peu supérieure à l'épaisseur du diaphragme et des joints (soit 10 à 15 mm), et dans certains cas les prises peuvent être faites sans démontage des tuyaux. Pour le diaphragme à prises « dans les angles », les prises de pression sont toujours des chambres annulaires pour les diamètres de tuyauterie rencontrés dans les installations turbines, et l'écartement des brides doit pouvoir être d'au moins 50 à 60 mm;
- la précision pouvant être obtenue : les expériences qui ont été faites ont fait ressortir une meilleure précision avec le type prises à la « *vena contracta* »; ceci semble provenir du fait que les coefficients donnés pour ce type de prises ont été établis après des expériences beaucoup plus nombreuses; ils sont donnés en fonction du nombre de Reynolds réel et non pas pour un nombre de Reynolds « suffisamment grand » mais non défini, etc.; de plus la position des prises donne une plus grande stabilité à la pression différentielle par suite de l'absence d'interférence d'ondes de pression.

La condition de précision étant prédominante, notre choix s'est porté sur les diaphragmes à prises « *vena contracta* ».

Conditions générales de validité des mesures.

1. NATURE DU FLUIDE.

Le fluide, eau ou vapeur dans notre cas, doit être homogène physiquement et thermiquement. Les

valeurs des coefficients indiquées par les normes ne sont pas valables pour des mélanges (exemple : vapeur humide, eau contenant des particules en suspension ou une quantité importante de bulles gazeuses...).

2. ECOULEMENT DU FLUIDE.

Le débit doit être constant ou varier peu et lentement en fonction du temps. Si le débit est pulsatoire, les indications des normes énumérées ci-dessus ne sont pas applicables.

Le fluide doit s'écouler dans une tuyauterie de section circulaire, le diaphragme étant dit « noyé », c'est-à-dire qu'une longueur droite amont et une longueur droite aval, de dimensions définies par les normes, doivent exister.

La tuyauterie doit être complètement remplie par le fluide considéré. Dans le cas d'un écoulement à l'air libre, il faut disposer à l'aval du diaphragme une longueur de tuyauterie suffisante pour répondre aux conditions des normes et, s'il s'agit d'eau, il faut prévoir un col de cygne pour être certain du remplissage de la tuyauterie.

3. OUVERTURE DU DIAPHRAGME.

L'ouverture est le trou percé dans le diaphragme et dont la réalisation est normalisée; la valeur du diamètre est choisie en fonction de plusieurs critères :

- la pression différentielle créée ne doit pas excéder les possibilités de l'échelle de l'appareil de mesure destiné à la mesurer; ne pas créer une perte de charge pouvant être nuisible au bon fonctionnement du circuit, en surchargeant par exemple les pompes (la perte de charge étant toujours inférieure à la pression différentielle par suite d'une récupération de l'énergie cinétique au col du diaphragme);
- la détente du fluide au passage de l'orifice du diaphragme ne doit pas créer de changement d'état. Ainsi, si l'on doit mesurer un débit d'eau à une température assez voisine du point de saturation, on s'assurera, au moyen des tables de vapeur, que le point de saturation n'est pas atteint après détente, supposée isotherme. Il faudra bien entendu tenir compte d'une marge de sécurité;
- la pression différentielle créée doit être inférieure à celle correspondant à la détente critique, lorsque l'on se trouve en phase gazeuse (cas des mesures sur la vapeur soutirée pour alimenter les réchauffeurs d'eau).

4. TUYAUTERIE.

La validité d'une mesure de débit dépend également de l'état de la tuyauterie dans laquelle on place le diaphragme :

- elle doit être rectiligne en amont et en aval du diaphragme, être en acier ou en un autre métal présentant une rugosité analogue à celle en acier de qualité industrielle;
- sa surface interne doit être propre, sans incrustation, piqûre ou dépôt;
- au voisinage du diaphragme, toute bavure ou tout creux, toute bague support ou tout cordon doivent être parfaitement éliminés; des précau-

tions sont à prendre lors de la soudure, sur la tuyauterie, des brides entre lesquelles le diaphragme est placé;

- sur les longueurs droites en amont et en aval du diaphragme, dont les valeurs minimales sont indiquées par les normes, la tuyauterie de mesure ne doit comporter aucun obstacle intérieur (bavure, creux, bague support, cordon de soudure, discontinuité du type changement de section...); elle ne doit pas davantage comporter de dérivation, même si, dans ces dérivations, le fluide ne s'écoule pas pendant les mesures. Toutefois, si des purges servant à la mise en route ou à l'arrêt de l'installation sont installées sur les longueurs droites prévues, il faudra s'assurer qu'elles répondent aux caractéristiques dimensionnelles indiquées dans les normes et que, lors des mesures, elles sont fermées et étanches;
- la section de la tuyauterie doit être circulaire dans son ensemble; une tolérance est donnée, mais les valeurs de la tolérance sont plus serrées sur une certaine longueur de part et d'autre

1/ Diaphragme normal. Prises de pression dans les angles.
Standard orifice plate with corner tappings.

2/ Eloignement des prises de pression pour les diaphragmes.
Pressure tapping positions for orifice plates.

3/
Schéma récapitulatif des prescriptions relatives aux tuyauteries.
Summary of recommended pipe features.

4/ Exemple de montage d'un diaphragme non bridé entre brides sur tuyauteries haute température et haute pression.
Flangeless orifice plate assembly for high temperature and pressure pipes.

5/ Exemple de montage d'un diaphragme entre brides (montage normal pour fluide à basse température).
Flange-fitting orifice plate assembly for a low temperature fluid.

6/ Exemple de montage d'un diaphragme entre brides avec chambre annulaire, pour température ambiante. Coupe de l'ensemble monté.
Flange-fitting orifice plate assembly with an annulus for ambient temperature (cross-section).

5/

6/

7/

7/ Prises de pression. Exemples de montage sur tuyauteries.

Examples of pipe pressure tapings.

8/ Mesure d'une pression effective ou différentielle. Cas de l'eau.

Effective or differential pressure measurement for water.

9/ Mesure d'une pression effective ou différentielle. Cas de la vapeur d'eau.

Effective or differential pressure measurement for steam.

du diaphragme. Pour respecter ces valeurs, il est parfois nécessaire de tourner les tronçons de tuyauterie près des brides d'installation des diaphragmes, sur une longueur minimale de deux diamètres; le raccordement de la partie tournée avec le reste se fait par meulage pour éviter tout ressaut.

La récapitulation des prescriptions relatives à la tuyauterie sur laquelle sera installé un diaphragme est présentée, sous forme de schéma, à la figure 3.

5. USINAGE ET MONTAGE DES DIAPHRAGMES.

L'usinage des diaphragmes ne présente pas de difficulté particulière mais simplement beaucoup de soin : les diaphragmes utilisés lors des essais sont usinés, soit par des entreprises locales de mécanique générale, soit par les ateliers d'entretien

des centrales. La plupart des plaques sont en acier inoxydable, quelquefois en monel ou en acier ordinaire; leur épaisseur varie suivant le diamètre de la tuyauterie, de 2 à 10 mm, et on évite dans toute la mesure du possible de chanfreiner l'orifice.

Les diaphragmes sont montés entre brides, soit dans des encastrements spécialement usinés pour les recevoir, soit centrés par les boulons de fixation des brides. Dans certains cas particuliers, et notamment sur les circuits d'eau à haute pression et haute température, des montages spéciaux, permettant la libre dilatation différentielle du diaphragme par rapport aux brides, sont utilisés. (Les figures 4, 5 et 6 donnent des exemples de montage des diaphragmes; la figure 7, la réalisation des prises de pression; les figures 8 et 9, les tuyauteries de liaisons.)

10/

Manomètre différentiel
automatique très haute
pression.
P_{utilisation} ≤ 500 bars.

V.H.P.
automatic differential
manometer for up
to 500 kg/cm².

Mesures.

Au cours des mesures la puissance de la turbine est maintenue à une valeur aussi constante que possible, notamment par blocage mécanique des soupapes d'admission. Les régulateurs automatiques des niveaux des capacités (niveaux réchauffeurs, niveau condenseur, etc.) qui pourraient occasionner un pompage sur le débit sont mis hors service et les débits réglés manuellement. Malgré toutes ces précautions, la stabilité des débits individuels n'est pas absolument parfaite et de légères oscillations sont inévitables.

Les différences de pressions créées par les diaphragmes sont mesurées au moyen de manomètres différentiels, en général du type à une seule colonne à échelle non compensée. Ces manomètres sont, soit à lecture directe et munis de viseur antiparallactique, soit à lecteur automatique par suiveur optique ou électromagnétique (fig. 10).

Ces manomètres sont munis de cinq vannes, ce qui permet un contrôle du by-pass d'équilibrage. Les fluides manométriques employés sont, suivant

les dénivellations à observer : le mercure, le tétrabromoéthane, le tétrachloroéthane.

Les manomètres, dans leur version lecture directe ou lecture automatique, sont lus toutes les 30 ou 60 secondes pendant les 60 ou 120 minutes que dure l'essai. La valeur moyenne de la pression différentielle est définie comme la moyenne arithmétique des valeurs relevées.

Les pressions statiques d'eau ou de vapeur dans le circuit d'essais sont mesurées par manomètres à « poids mort » (cas particulier d'une balance hydrostatique), par manomètres à tube cintré (manomètre de Bourdon) ou encore par colonne de liquide. Dans la version « automatisation des mesures » on utilise essentiellement des manomètres « poids mort » automatisés, des manomètres différentiels à suiveur et éventuellement des capteurs de pression à potentiomètre, à quartz, à mutuelle induction (manomètre « poids mort » figure 11).

Les températures sont mesurées par couples thermo-électriques, par thermomètres à résistance de platine; dans la version « manuelle », les températures inférieures à 50 °C sont mesurées par thermomètres à colonne de liquide. Tous ces détecteurs de température sont étalonnés avant et après les essais.

Dans la « version automatique » des mesures, les valeurs mesurées par les capteurs de pression et température sont collectées par des « systèmes d'acquisition de données » qui transforment les signaux électriques reçus, impriment les grandeurs par l'intermédiaire de machines à écrire et perforent des bandes qui sont traitées par calculateurs électroniques numériques.

Tous les calculs de débits, à partir des valeurs relevées et des valeurs extraites des normes et des tables de constantes, sont conduits de manière à n'introduire aucune erreur atteignant 10⁻⁵.

Rappelons, pour terminer ce paragraphe, que l'équation qui lie la pression différentielle au débit-volume est de la forme :

$$Q = KS \sqrt{\frac{2gh}{\rho}}$$

dans laquelle :

- Q : est le débit-volume exprimé en m³/s;
- K : le coefficient de débit du diaphragme, dans les conditions de la mesure (extrait des normes);
- S : la section d'ouverture du diaphragme, dans les conditions de la mesure, exprimée en m²;
- g : l'accélération due à la pesanteur, en m/s²;
- h : la pression différentielle observée, exprimée en kg/m²;
- ρ : la masse volumique du fluide, dont on veut mesurer le débit, dans les conditions de la mesure (température et pression), en kg/m³.

Contrôle des mesures

Schéma d'un circuit de mesure.

Il n'est pas possible de représenter ici tous les schémas de mesure possibles; toutefois, à titre d'exemple, nous donnons figure 12 un schéma classique se rencontrant en totalité ou en partie dans de nombreuses installations. L'emplacement des

diaphragmes de mesure y est repéré par les lettres D1, D2, D3, etc.

Principe des contrôles des débits.

Il est toujours nécessaire que les circuits d'essais soient soigneusement isolés par des joints pleins ou par des vannes en série avec robinet de contrôle entre deux vannes. Toutefois, pour des tuyauteries de petit diamètre ouvertes à l'atmosphère, ou pour celles dont le contrôle peut s'effectuer par simple constatation de la température du métal, il peut être fait exception du dispositif de double vannage.

On procède également avant, et souvent après les essais, à une épreuve hydraulique des circuits et des faisceaux des échangeurs (réchauffeurs d'eau notamment).

Pour permettre un contrôle efficace des débits, il est également indispensable de jauger toutes fuites du circuit de mesure à l'atmosphère et de repérer les variations des niveaux des capacités intégrées dans le circuit entre le début et la fin de la période de mesure.

Lorsque toutes ces précautions ont été prises et toutes les valeurs nécessaires au calcul relevées, on peut appliquer les équations permettant le contrôle des débits mesurés par les différents diaphragmes d'un circuit.

A titre d'exemple et en se référant au schéma, on peut écrire :

$$D2 = D1 + D3$$

ou bien :

$$D9 = D5 + D4 + \frac{D3 + D2 + D1}{2}$$

11/ Balance hydrostatique (manomètre à poids mort).
Deadweight pressure gauge.

$S = \text{section piston + jeu} = \pi \left(R_1 + \frac{\epsilon}{2} \right)^2$
 $p_0 = \text{poids équipage mobile.}$
 $\epsilon = \text{jeu d'alésage piston cylindre.}$
 $R_1 = \text{rayon piston.}$

12/ Schéma d'un poste de réchauffage d'eau d'alimentation.
Feed water heating unit.

13/ Poste de mesure de pressions différentielles par manomètres automatiques à colonne de liquide.
Automatic differential liquid column manometers.

14/

Poste de mesures de pressions
par manomètres
à poids mort automatiques
(Essai de réception
d'un groupe turbo-alternateur).
*Turbo-alternator acceptance tests.
Automatic deadweight gauges.*

Précision d'une mesure de débit par diaphragme dans le cas des essais de turbine

M. Stolz a présenté sur ce sujet, d'une part une communication au « Symposium on flow measurement in closed conduits » tenu en septembre 1960 à Glasgow, et d'autre part a fait paraître cette communication dans la revue *Mesures* de mai 1961.

Son étude a porté sur 246 diaphragmes presque tous installés spécialement pour des essais de réception de groupes turbo-alternateurs; 243 de ces diaphragmes avaient des prises de pression « *vena contracta* »; 3, des prises « dans les angles »; 182 appareils étaient utilisés et servaient à des mesures de débits « principaux »; 160 mesuraient des débits d'eau; 22 des débits de vapeur d'eau. L'eau était toujours sous-refroidie et la vapeur toujours surchauffée; 138 appareils mesurant des débits principaux étaient équipés de deux jeux de prises de pression.

Tous les appareils étaient utilisés en stricte conformité avec les spécifications de la norme (Recommandations ASME dans tous les cas).

Les conclusions essentielles que M. Stolz a tirées de cette étude sont les suivantes; elles se rapportent aussi bien au contrôle des débits effectué sur les circuits « basse pression » ($P \leq 30$ bars; $\theta \leq 150$ °C) qu'au contrôle des débits des circuits « haute pression » ($P \geq 220$ bars; $\theta \geq 250$ °C) :

— même si la moyenne générale des écarts systématiques par rapport à la moyenne des valeurs calculées est très faible, cela ne signifie pas que le système des coefficients de débit, publiés par la norme utilisée, permet d'évaluer la précision absolue des coefficients de débit publiés par rapport aux étalons de masse et de temps. Toutefois, les mesures semblant montrer la cohérence des coefficients, il suffirait de relier quelques-uns seulement des coefficients aux étalons pour établir la précision absolue de l'ensemble.

A cet égard, trois des contrôles BP étudiés donnent quelques informations sur la validité des valeurs données par la norme utilisée; l'un correspond à un étalonnage direct d'un diaphragme, les deux autres comparent le total d'un débit mesuré par des bâches-peseuses de haute précision (75 %) et de débits mesurés par diaphragmes (25 %) à un débit

Discussion

Président : M. G. RÉMÉNÉRAS

entièrement mesuré par diaphragmes (100 %). Les résultats de ces trois mesures sont les suivants, si l'on prend comme référence le débit mesuré avec une très grande précision par les bâches-peseuses : l'écart systématique moyen par rapport à zéro a, pour chacun des essais, les valeurs $+0,10\%$, $0,00$, $+0,12\%$.

— L'écart systématique moyen par rapport à zéro pour une série d'essais a une probabilité égale de prendre n'importe quelle valeur comprise entre $-0,2\%$ et $+0,2\%$, et il y a très peu de chances pour qu'il soit extérieur à cet intervalle, de sorte que : « si l'on effectue un contrôle, on ne doit pas accepter, sans en rechercher les causes, des valeurs absolues de cet écart qui excèdent $0,2\%$ » ;

— en ce qui concerne les prises de pression, il y a lieu de rechercher les causes des écarts entre les débits indiqués par des manomètres différentiels montés sur un même diaphragme au moyen de prises de pression séparées si les écarts par rapport au débit moyen dépassent $0,1\%$ pour l'eau et $0,15\%$ pour la vapeur d'eau ; en effet les mesures de débit vapeur sont plus affectées par les incertitudes d'installation que les mesures de débit d'eau et doivent être l'objet d'encore plus de soins.

Et M. Stolz conclut que : « Les mesures de débit par diaphragmes normalisés peuvent être beaucoup plus précises qu'on ne le suppose habituellement mais que, pour obtenir une grande précision, il est nécessaire que les responsables des mesures soient convaincus dès l'origine de la possibilité d'atteindre cette précision et apportent à chaque détail le maximum de soin, tout au long de la méthode. »

M. le Président remercie M. Roy qui nous a montré que par un souci du détail concernant chaque appareil et chaque phase de la mesure, il était possible de jauger au moyen de diaphragmes normalisés, des débits d'eau avec une précision et une reproductibilité extraordinaires.

M. THIBESSARD pose la question suivante :

M. Roy a-t-il eu des difficultés provenant de la mesure du diamètre des diaphragmes ? De telles difficultés étaient apparues au cours d'un programme d'échange de tubes de Venturi — aux fins d'étalonnage — entre trois laboratoires ; l'écart des mesures géométriques était supérieur aux écarts d'origine hydraulique, malgré le soin extrême des expérimentateurs et l'emploi d'appareils de métrologie perfectionnés.

M. Roy observe qu'il doit être plus difficile de mesurer le diamètre au col d'un Venturi que l'alésage de l'orifice d'un diaphragme. En ce qui concerne ces derniers, la mesure se fait, après stabilisation de leur température, dans une salle climatisée, au moyen d'un comparateur étalonné au moyen de cales Johnson et d'un micromètre Solex. On procède à une dizaine de mesures effectuées parfois par des opérateurs différents ; celles-ci ne diffèrent guère que de quelques microns et on adopte pour les calculs de débit, la moyenne de toutes les mesures. Moyennant ces strictes précautions, aucune difficulté particulière n'a été signalée.

M. le Président demande si, du fait d'une « chaîne de mesure » plus longue, la dispersion des résultats obtenus avec des dispositifs semi-automatiques n'est pas supérieure à celle obtenue par des appareils à lecture directe bien étalonnés et bien exploités. M. Roy ne le pense pas en raison de la haute définition de l'appareillage employé ; elle est de l'ordre du dixième de millimètre pour les manomètres différentiels.

Abstract

Flow measurement by orifice plate in steam turbine acceptance tests

by J. Roy *

Until 1945 thermal plant power production equipment used to operate with turbo-alternators with comparatively simple cycles, no normal reheat system or of the type whose steam, drawn from the turbine to feed them, returned to the condenser after condensation. As no turbine output exceeded 60 MW in those days, the cold water at the condenser outlet could be weighed or gauged.

A new generation of equipment made its appearance after 1945. Due to the fact that unit outputs were steadily increasing (100 MW, 125 MW, 250 MW and 600 MW) and that much of the water from water reheater steam condensate was no longer returning to the condenser, alternative measurement methods were required. For various reasons, the choice fell on discharge measurement by sharp-edged orifice plates. Attempts were initially made to calibrate these under operating conditions, but this was found to require costly equipment which it was sometimes difficult to manufacture. It was found after a certain amount of experimentation that the calibration accuracy was not up to that laid down by the standard specifications for equipment built, installed and used in accordance with their recommendations.

This article states the reasons for the choice of the *vena contracta* tappings system which was adopted, and the precautions required in machining the orifice plates and installing them in the pipes, quality requirements to ensure accurate discharge measurement, and a brief description of instruments for measurement of the differential pressure across the orifice plate.

Discharge measurement control methods for complex circuits are mentioned, followed by a summary on a statistical study by Stoltz of a large number of flow orifice discharge data, showing the high accuracy this measurement method may be expected to provide ($\pm 0.2\%$), provided those using it are aware of the fact and exercise all the necessary care in its application.

* Ingénieur à la Direction des Etudes et Recherches, E.D.F.

Gravure extraite de *Architectura curiosa nova* par G. A. BÖCKLERN
(Nuremberg (1664))