

L'ÉTALONNAGE DES MOULINETS AU LABORATOIRE DE BEAUVERT ⁽¹⁾

La SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE (2) possède, à Grenoble, un Laboratoire très important d'essais hydrauliques. Depuis sa mise en marche, qui date d'une quinzaine d'années, il a déjà inscrit à son actif, d'une part sur la demande de son Comité Technique, d'autre part en collaboration avec l'ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, des expériences d'intérêt général d'une grande portée pratique. Il a exécuté pour l'Industrie privée de nombreux essais de toute nature portant sur des turbines, pompes, conduites forcées, cheminées d'équilibre, etc., etc., ainsi que sur l'hydraulique fluviale; ces derniers ont trait à l'étude des capacités de débit des canaux, d'ouvrages d'évacuation et également aux affouillements à l'aval des barrages.

Pour ce qui concerne l'origine du Laboratoire, sa mission, son outillage, ses travaux, le lecteur voudra bien se reporter à la Notice spéciale (3) éditée à cet effet. Il ne sera en effet question, dans ce qui suit, que de l'équipement d'une Installation moderne de tarage des moulinets hydrométriques dont s'est récemment accru l'outillage du Laboratoire de Beauvert, et dont nous allons indiquer les principaux éléments.

I. — DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE TARAGE DES MOULINETS.

Le canal de tarage a 2 mètres de largeur et 1,20 mètre de profondeur, sa longueur est de 90 mètres.

Un chariot en duralumin portant l'appareil à tarer se déplace sur des rails posés de part et d'autre du canal (fig. 1).

Des colliers de serrage permettent de fixer, d'une façon très rigide, soit une seule perche-support de moulinet dans l'axe du canal, soit deux perches convenablement éloignées à la fois l'une de l'autre et des parois; un jeu de formes en bois s'adaptant à ces colliers permet d'y fixer les perches correspondant aux différents profils pratiquement utilisés.

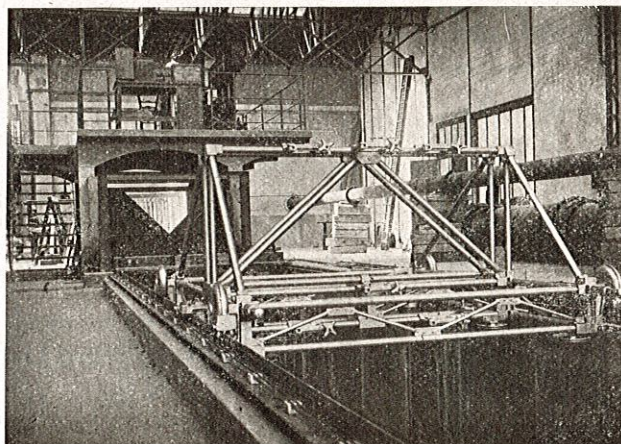


Fig. 1.

Un système spécial de galets prévu au voisinage des roues assure au chariot un déplacement parfaitement rectiligne, sans vibrations et le protège en même temps contre tout déraillement.

Le chariot porte un siège qui permet à un observateur, s'il y a lieu, de se déplacer avec l'appareil expérimenté pour en observer le fonctionnement.

Six barres de cuivre isolées, réparties en deux groupes de trois le long de chaque rail, relient le chariot électriquement, par l'intermédiaire de contacts glissants portés par celui-ci aux appareils enregistreurs situés sur la plateforme de commande; quatre de ces barres sont affectées aux quatre moulinets qu'il est possible d'étalonner simultanément, la cinquième transmet l'enregistrement des distances parcourues, la sixième assure le retour commun à la batterie d'accumulateurs génératrice du courant.

(1) Communication faite à la séance du 5 juin 1936 au Comité Technique de la SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE.

(2) L'organisation d'ensemble de la S.H.F. a été récemment exposée par M. Jean LAURENT dans le N° 2 de la Revue Générale de l'Hydraulique (p. 83 et suivantes).

(3) Cette notice sera adressée à toute personne en faisant la demande soit au Siège social de la SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE, 7, rue de Madrid, à Paris, soit au Laboratoire de la S.H.F., rue Paul-Verlaine, à Grenoble.

Indication des distances. — Un levier basculant porté par le chariot ferme un circuit électrique chaque fois qu'il vient rouler sur de petites cornières placées le long de la voie; ces cornières sont espacées de façon à donner un contact tous les deux mètres ou tous les dix mètres à volonté.

Pour les faibles vitesses un commutateur à main met hors circuit le levier précédent que remplacent trois segments sur la jante d'une roue du chariot dont la circonférence mesure 60 cm et qui donnent ainsi un contact tous les 20 cm.

L'entraînement a lieu par un câble tracteur qui s'enroule sur des poulies portées par le chariot; un autre jeu de poulies montées également sur le chariot, compense automatiquement les variations de longueur du câble dans la partie tractrice et dans la partie tirée et permet ainsi, par la suppression des à-coups, le déplacement à vitesse parfaitement uniforme.

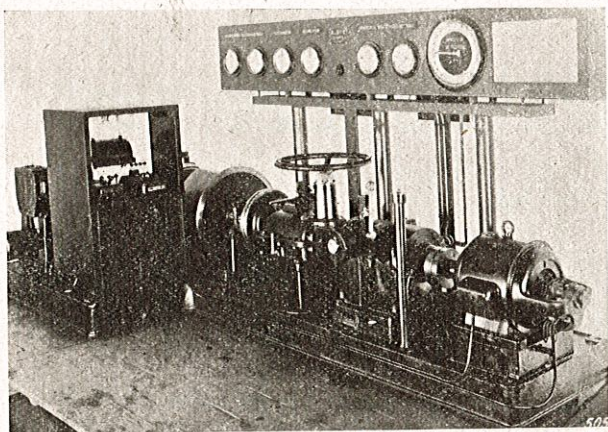


Fig. 2.

Machinerie de commande. — Un moteur asynchrone d'environ 20 chevaux (fig. 2) entraîne un « variateur de vitesse » comprenant les deux organes suivants dans un même carter étanche :

- 1) Une pompe rotative à huile,
- 2) Un récepteur de construction semblable, formant turbine, alimenté par la pompe précédente.

Une commande à main, par volant gradué, agit sur un tiroir réglant les orifices d'admission de l'huile dans la pompe et d'évacuation de la turbine. Par exemple on augmente la vitesse de rotation en tournant à droite le volant à main, ce qui, simultanément augmente le débit de la pompe et diminue la section de sortie de la turbine.

La marche en sens inverse s'obtient en renversant le sens de l'écoulement de l'huile dans les deux organes semblables du variateur de vitesse.

Ce dernier actionne directement un train d'engrenages qui divise les vitesses précédentes soit par 2 pour la

marche rapide, soit par 20 pour les déplacements ne dépassant pas la vitesse d'un mètre environ.

L'ensemble précédent permet ainsi d'obtenir une vitesse quelconque bien régulière depuis 5 centimètres, jusqu'à environ 5 mètres par seconde.

Entre le train d'engrenages et la poulie à gorges d'entraînement du câble sont interposés successivement :

- un accouplement électromagnétique
- un volant régulateur
- un second accouplement électromagnétique

Les accouplements électromagnétiques sont alimentés par une petite commutatrice; le premier, dit, de sécurité, débraye en cas de panne de cette dernière; le deuxième, dit d'entraînement embraye la poulie à gorges actionnant le câble tracteur lorsque, la vitesse de rotation de la machinerie étant préalablement réglée on veut entraîner le chariot.

La mise en route et le freinage en fin de course du chariot sont rendus automatiques par un groupe de contacts et de relais. L'accouplement électromagnétique d'entraînement est commandé par simple pression sur une touche dite « de départ »; lorsque le chariot arrive en fin de course, il agit sur un contact qui, par l'intermédiaire d'un relais, débraye l'accouplement d'entraînement et laisse en même temps, se resserrer sur la poulie du câble (laquelle est aménagée à la fois en poulie à gorges et poulie-frein) les mâchoires d'un frein très puissant. Il est d'ailleurs possible d'obtenir également l'arrêt du chariot en un point quelconque de son parcours par pression sur une touche dite « d'arrêt » produisant un effet tout semblable à celui du contact de fin de course.

Appareil enregistreur. — Les principaux organes coopérant à l'enregistrement automatique

- du temps,
- des distances parcourues,
- des contacts des moulinets,

sont les suivants :

- a) une batterie d'accumulateurs, à 4 volts
- b) un pendule battant à volonté la seconde ou la demi-seconde
- c) un chronographe.

Ce dernier comporte 6 électro-aimants portant chacun un stylet inscripteur; le premier indique les temps contrôlés par le pendule, le second les distances parcourues; les quatre autres inscrivent les contacts de chacun des quatre moulinets tarés simultanément (ce qui est exceptionnel, du reste) contacts qui se produisent, le plus souvent, tous les 20 ou 25 tours du moulinet. La bande de papier qui reçoit les six enregistrements précédents se déroule, à volonté, soit à la vitesse de 5 mm: seconde, soit à la vitesse de 30 mm: seconde suivant qu'il s'agit d'une petite ou d'une grande vitesse de déplacement du chariot.

Cette description, quoique très succincte, permet cependant de dégager les caractéristiques de l'installation de tarage de Beauvert.

Grâce à la transmission hydraulique interposée entre le moteur et le train d'engrenages et au système compensateur porté par le chariot, on obtient non seulement une *échelle continue* des vitesses, mais un déplacement du chariot à vitesse parfaitement constante, *sans à-coups* et *sans vibrations* de la perche supportant le moulinet; c'est là un point de la plus grande importance.

Les manœuvres, comme on le voit, sont réduites au minimum : mise en route de la machinerie et des appareils enregistreurs puis pression sur la « touche de départ ». L'opérateur devient alors un simple observateur et toute possibilité d'erreurs personnelles disparaît.

II. — DETERMINATION DE LA FORMULE D'ÉTALONNAGE D'UN MOULINET.

De la partie de la bande enregistreuse comprise entre la fin du démarrage et le commencement du freinage on déduit, pour cette région où la vitesse de déplacement du chariot est parfaitement constante, le nombre de tours n du moulinet correspondant à cette vitesse V ; on répète ce calcul pour chacune des vingt à vingt-cinq expériences exécutées; on porte n en abscisses et V en ordonnées et on aurait ainsi la courbe de tarage cherchée

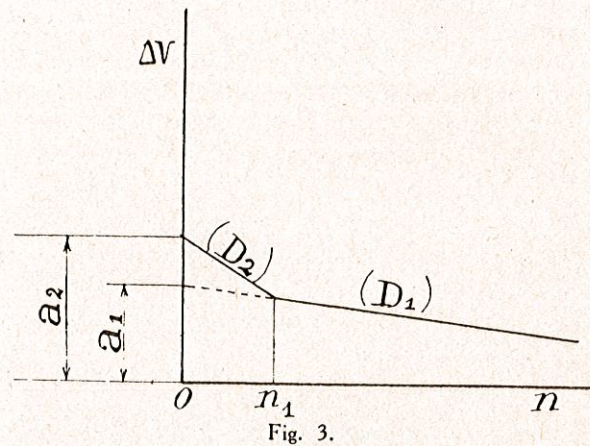
$$V = f(n)$$

si le tarage en eau calme, dans un canal, ne présentait pas la singularité suivante :

La courbe obtenue présente une bosse au voisinage d'une vitesse V égale à celle, $c = \sqrt{gH}$, de la propagation des ondes lancées dans le canal par le train mobile; nous ne nous étendons pas autrement ici sur cette particularité, appelée « pointe d'Epper » au sujet de laquelle le Laboratoire de Beauvert a entrepris et poursuit une série d'expériences assez laborieuses qui doivent faire l'objet d'une publication ultérieure; disons seulement que pour la détermination de la formule d'étalonnage on ne tient naturellement pas compte de cette partie anormale de la courbe et qu'on raccorde purement et simplement les points situés de part et d'autre de cette région. Par exemple pour une profondeur d'eau $H = 1,10$ m. donnant comme vitesse critique $c = 3,285$ m. on élimine les vitesses comprises entre 2,50 et 4,20 m/sec, pour ne conserver que les vitesses allant de 0,05 à 2,50 m. puis de 4,20 à 5,50 m; ce dernier intervalle, réalisable à Beauvert, évite les risques résultant de l'extrapolation au-delà des vitesses expérimentalement réalisées à l'étalonnage lorsque ces vitesses ne dépassent pas 2,50 m/sec environ.

Les expériences et les calculs, effectués par des techniciens avertis et bien au courant de la pratique de ces

opérations donnent une très faible dispersion des points figuratifs du graphique d'étalonnage (1); dans les tarages de précision effectués à Beauvert la dispersion des points — pour des moulinets de construction soignée — est pratiquement négligeable; elle correspond à des écarts relatifs de la vitesse qui sont de l'ordre de 3 à 4 millièmes pour les petites vitesses et diminuent progressivement



pour ne plus dépasser le millième qu'exceptionnellement dès qu'on atteint une vitesse de 2 à 3 m/sec.

L'établissement d'un graphique d'étalonnage a lieu comme suit :

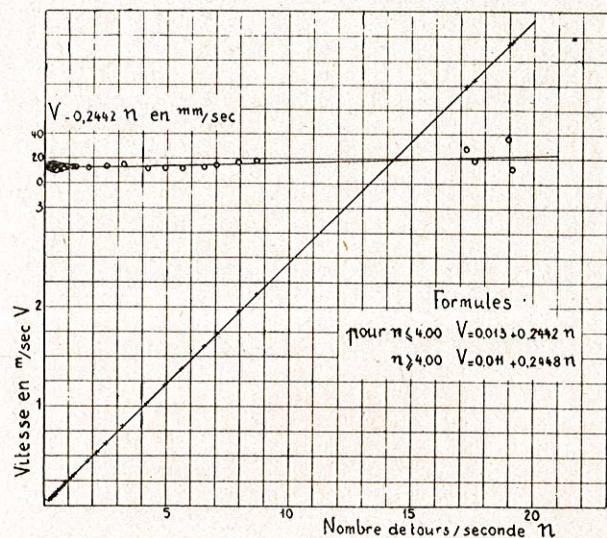


Fig. 4. — Etalonnage du Moulinet n° 6181 avec hélice n° 1 à 2 pales (sur perche 75×35)

La courbe $V = f(n)$ se remplace, avec une grande approximation, par une ou plusieurs droites, trois au maximum et ceci de la façon suivante (fig. 3 et 4).

(1) Pour donner un simple exemple des précautions à prendre, signalons que les deux premières expériences de chaque séance sont considérées comme nulles; elles donnent en effet des écarts supérieurs aux autres, attribuables à la non uniformisation de la température des diverses couches d'eau du canal d'où résulte une différence de viscosité de l'huile de graissage avec les opérations ultérieures.

Soit par exemple, $V = a + bn$ l'équation de la droite des grandes vitesses; B représentant, d'après ce premier graphique, une valeur approchée du coefficient angulaire b on porte en ordonnées, au lieu de V , la différence

$$\Delta V = V - Bn.$$

en vraie grandeur; on en déduit la droite (D_1) d'équation :

$$V - Bn = a_1 + b_1 n.$$

a_1 et b_1 étant relevées sur ce deuxième graphique.

L'équation définitive aux grandes vitesses est alors :

$$V = a_1 + (b_1 - B) n.$$

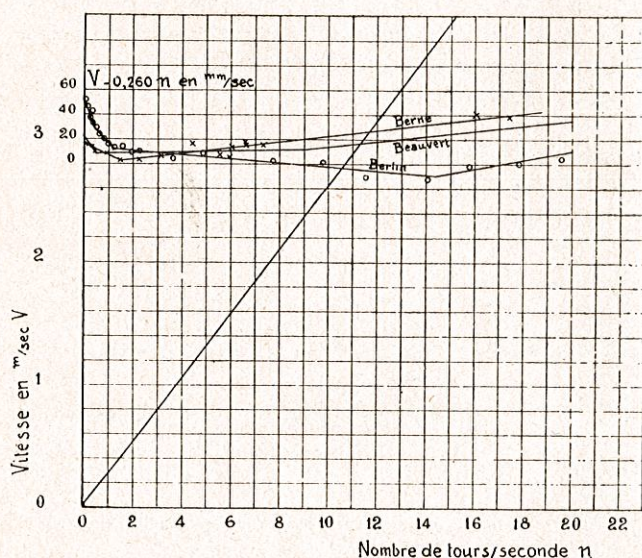


Fig. 5. — Comparaison des étalonnages effectués aux laboratoires d'essais de Beauvert, Berlin et Berne. — Moulinet n° 5732 avec hélice n° 1 à 2 pales (sur perche ronde 20 mm.).

On opère de même pour la droite (D_2) et pour une troisième (D_3) si nécessaire.

Le relèvement successif de ces droites dans l'ordre D_1 D_2 D_3 souligne l'influence croissante du frottement lorsque la vitesse diminue.

Ces frottements peuvent varier d'une façon importante suivant l'état du moulinet : serrage des pivots de l'axe de l'hélice avec plus ou moins de jeu, viscosité de l'huile de graissage, propreté du moulinet.

Précision des étalonnages. — Le tarage en eau calme opéré avec tout le soin nécessaire comporte, dans ses résultats, une précision naturellement en rapport avec le degré de perfection de l'appareillage utilisé. Nous avons déjà signalé précédemment la faible dispersion des points dans les graphiques établis au Laboratoire de la SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE : complétons ce point de vue en signalant que dans les tarages d'un même moulinet de bonne fabrication exécutés successivement à la Station de Berlin, à celle de Berne, et à Beauvert, le graphique de Beauvert s'est placé entre les graphiques des deux premières stations, alors que les écarts maximum entre celles-ci étaient inférieurs à un pour cent des vitesses de 0,20 environ (fig. 5).

Une méthode recommandable et que nous croyons devoir signaler en terminant consiste, dans les jaugeages exigeant une précision toute spéciale, à faire tarer le moulinet utilisé immédiatement après les mesures de jaugeage.

Recherches techniques. — Ainsi que nous l'avons dit le Laboratoire de Beauvert effectue actuellement des expériences importantes, tant au point de vue théorique que pratique, dont le but est d'analyser les phénomènes, assez complexes, qui se produisent dans le tarage des moulinets en eau calme; ces phénomènes sont dûs à l'onde solitaire résultant du déplacement du train mobile, laquelle provoque de petites vitesses antagonistes qui freinent la rotation de l'hélice; cette étude, qui paraîtra bientôt dans la REVUE GÉNÉRALE DE L'HYDRAULIQUE, apportera, pensons-nous, une utile contribution à la mise au point de phénomènes aussi intéressants qu'importants.

R. BOURGEAT

Directeur Intérimaire du Laboratoire
de la Société Hydrotechnique de France,
à Beauvert.