

# LA HOUILLE BLANCHE

ÉDITIONS B. ARTHAUD, Succ<sup>r</sup> de J. REY, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France . . . . . 40 francs } Le Numéro · 7 francs  
 { Étranger . . . . . 50 francs }

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

## SOMMAIRE

**HYDRAULIQUE.** — Expériences sur les moulinets pour de faibles vitesses, par E. MONTAGNE, ingénieur, ancien élève de l'Institut polytechnique de Grenoble.

**ÉLECTRICITÉ.** — Les dangers du courant alternatif basse tension, par M. DESCHAVANNES. — L'électrification de la ligne de Modane, par Marcel JAPIOT, ingénieur en chef adjoint du matériel de la traction des chemins de fer P.-L.-M. — Les machines électriques à vitesse variable (*suite*).

**LÉGISLATION.** — Le remboursement du capital dans les Sociétés, spécialement dans les Sociétés concessionnaires de l'Etat, des Communes. Notions et considérations fiscales, par Paul BOUGAULT, avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

**DOCUMENTATION.** — Huiles et graisses industrielles (*suite*). — Nouveau moulinet hydrométrique Ott, etc., etc.

**BIBLIOGRAPHIE.**

## HYDRAULIQUE

### Expériences sur les moulinets pour de faibles vitesses

par E. MONTAGNÉ, Ingénieur, Ancien élève de l'Institut Polytechnique de Grenoble.

Les hydrauliciens paraissent maintenant d'accord pour admettre que la courbe de tarage d'un moulinet, en déplaçant celui-ci d'une vitesse uniforme, en eau calme, coïncide avec la courbe de tarage obtenue en eau courante. Un certain nombre d'expériences et en particulier celles de MM. Camichel, Escande et Ricaud en mouvement non turbulent et d'autres faites à l'étranger, ont montré que le tarage en eau calme est parfaitement correct.

Nous avons déjà exposé (1) que le paradoxe de Dubuat n'était pas applicable aux moulinets et que, en conséquence, il ne pouvait y avoir aucune différence entre le tarage en eau calme et le tarage en eau courante.

Indépendamment d'autres recherches, nous avons voulu nous rendre compte si les courbes de tarage étaient identiques pour de très faibles vitesses (de l'ordre de quelques millimètres par seconde) dans le cas spécial de frottements pratiquement nuls.

Une circonstance fortuite et même, pouvons-nous dire, une idée fautive, nous a conduit à vérifier expérimentalement la cause de l'existence du terme *a* de la formule générale des moulinets :

$$V = a + b n.$$

dans laquelle *V* est la vitesse en mètres/seconde, *n* le nombre

de tours du moulinet par seconde, *a* et *b* deux constantes à déterminer

On sait que, pour des moulinets bien construits, dont les frottements sont très faibles et les ailettes très minces, *a* se réduit à quelques millimètres. Dans l'application aux jaugeages des cours d'eau, on peut négliger *a* et la formule de tarage devient

$$V = b n.$$

La recherche d'une formule compliquée pour les faibles vitesses n'est d'aucune utilité pratique, puisqu'il est possible de tracer la courbe de tarage à grande échelle, et d'obtenir ainsi les vitesses cherchées pour diverses valeurs de *n*. Cependant, l'utilité théorique de la recherche des causes principales de l'existence de *a*, et même d'autres termes qui devraient rentrer dans la formule pour que cette dernière puisse rendre fidèlement compte des expériences, est certaine et a préoccupé divers spécialistes.

La documentation qui a été très obligeamment mise à notre disposition par le docteur Ott, le fabricant bien connu d'appareils de précision, nous a montré tout d'abord, en dehors de la mise au point des méthodes de jaugeage, la préoccupation de la recherche de l'influence des frottements (1) sur le fonctionnement des moulinets.

Le docteur Staus a mesuré les couples nécessaires pour

(1) La mesure des débits et l'aménagement des usines hydrauliques.

(1) Docteur Staus · *Die hydraulischen Einrichtungen des Maschinen Laboratoriums der Staatl. Berlin 1925.*

faire tourner les hélices en eau calme à des vitesses déterminées. La figure 1 montre l'un des résultats obtenus.

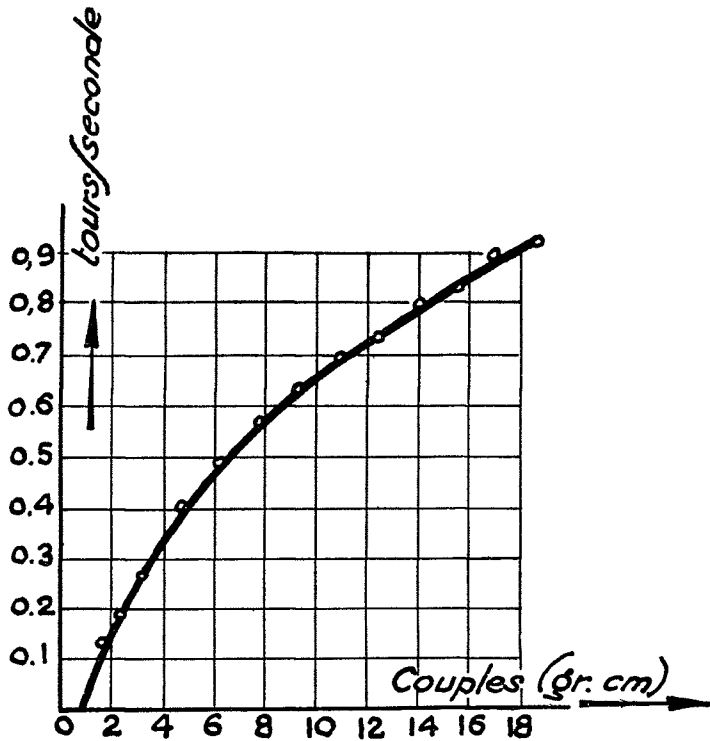


Fig 1.

Puis, il a monté sur le chariot de tarage ou chariot de traînage, un dispositif qui lui a permis de mesurer à l'aide de contre-poids suspendus à l'extrémité d'un fil qui, par l'intermédiaire de poulies, venait s'enrouler sur l'axe du moulinet, les vitesses de rotation pour différentes vitesses de traînage. Les courbes de la figure 2 ont été obtenues ainsi. On remarque tout de suite qu'il existe pour chaque courbe une zone comprise entre  $\pm 3$  cm/s environ pour laquelle le sens du déplacement relatif n'exerce aucune influence. Les frottements ne sauraient être mis en cause puisqu'ils sont largement compensés par le couple moteur dû aux contre-poids. Sans penser tout d'abord au brassage complexe de l'eau au voisinage de l'appareil, brassage qui a pour cause la vitesse de rotation relativement élevée, nous avons songé à rechercher si le frottement des filets d'eau sur les ailettes et la viscosité ne s'ajoutaient pas au couple antagoniste pour retarder, aux faibles vitesses, le mouvement de rotation de l'hélice

Quand nous avons pu nous rendre compte de l'influence, non appréciable en raison de la rusticité de nos appareils de mesure et de contrôle, de la viscosité de l'eau, l'intérêt de nos premières recherches nous les a fait continuer.

Ces premières expériences ont eu pour objet la mesure des couples dans l'air pour de faibles vitesses de rotation, avec et sans roue dentée. Il a été ainsi facile de voir pour quelle valeur du couple le mouvement était entretenu, et pour quelle valeur le démarrage était possible. Les couples paraissant assez élevés, la comparaison des frottements d'un moulinet et d'un disque de planimètre monté sur pointes a été faite.

Les tableaux ci-dessous donnent les diverses valeurs des couples mesurés. L'hélice du moulinet a été, au préalable, bien équilibrée. Dans le cas contraire, les résultats seraient faussés. Le défaut d'équilibrage est l'une des causes pour lesquelles certains appareils ne démarrent pas pour une vitesse relativement élevée.

POUR MOULINET DANS L'AIR :

POIDS EN GRAMMES	COUPLES EN GR./CM.	OBSERVATIONS
Sans roue dentée :		
0,77	0,2	Mouvement entretenu
0,93	0,24	Ne démarre pas
1,05	0,26	Démarre parfois
1,2	0,30	Démarre
Avec roue dentée :		
1,13	0,29	Mouvement
à	à	
1,20	0,30	Entretenu
1,40	0,35	Démarre

POUR DISQUES DE PLANIMÈTRE :

POIDS EN GRAMMES	COUPLES EN GR./CM.	OBSERVATIONS
0,52	0,052	Mouvement non entretenu
0,68	0,068	Mouvement entretenu
1,12	0,12	Ne démarre pas
1,27	0,127	Démarre

On voit qu'un disque muni d'un axe monté sur pointes, exige un couple moteur cinq fois plus faible qu'une hélice de

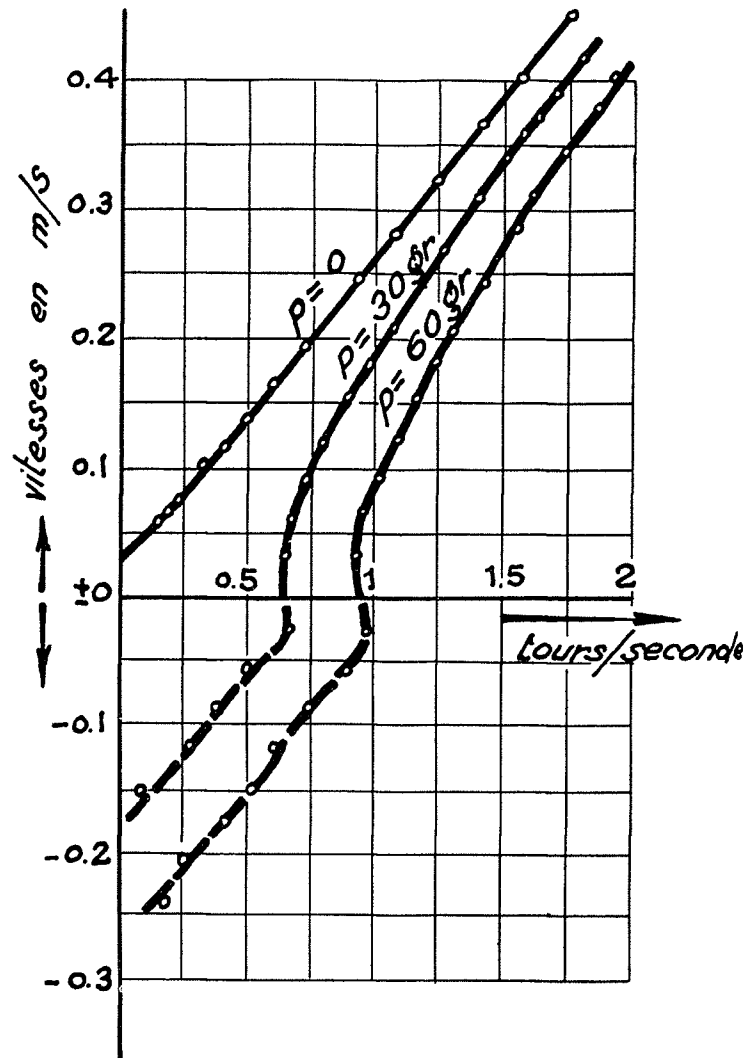


Fig. 2.

moulinet munie de sa roue dentée. Cette importante différence provient des difficultés de construction. Un appareil de jaugeage est, en effet, soumis à des conditions d'emploi qui demandent

une construction robuste et, dans ce but, il est bon de monter sur l'axe des pierres dures qui frottent sur des pointes arrondies. D'autre part, il serait coûteux d'équilibrer l'appareil aussi rigoureusement qu'un disque plein.

On remarque, par contre, pour ce moulinet équilibré statiquement, que le couple de démarrage n'est pas très différent du couple qui entretient le mouvement.

Le dispositif de la figure 3 a permis de comparer les couples dus

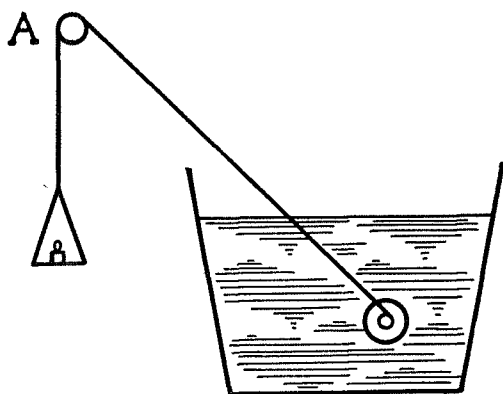


Fig. 3.

aux frottements, dans l'eau et dans l'air. Le couple de l'axe A étant constant et connu, nous avons obtenu 0 gr./cm. 52 dans l'air et 0 gr/cm. 74 dans l'eau. La différence est grande, mais elle provient probablement de l'impossibilité d'animer l'hélice d'un mouvement uniforme très lent à l'aide des contrepoids. Ou l'appareil démarre trop vite, ou il ne démarre pas, ou bien il s'arrête si on provoque le démarrage. Il en résulte une résistance de l'eau qu'il n'est pas possible de négliger.

Pour faire des mesures comparatives dans l'air et dans l'eau, nous avons suspendu l'hélice par son axe à un fil à coudre qui, par l'intermédiaire de deux petites poulies, portait à son autre extrémité un plateau de balance exactement taré (fig. 4).

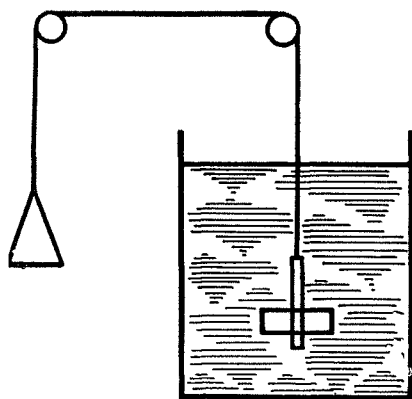


Fig. 4.

Dans l'air, le mouvement vertical de l'appareil est entretenu lorsqu'on ajoute au poids du plateau, 8 grammes.

Dans l'eau, il convient de déduire du poids nécessaire à l'entraînement, la poussée de l'eau. Le volume de l'hélice et de son axe étant de 3,3 cm<sup>3</sup>, et le poids nécessaire à l'entraînement de 4 gr. 5, on obtiendrait 7 gr. 8 au lieu de 8 gr.

Toutefois, dans la mesure faite dans l'eau, le couple moteur nécessilé par les poulies est moindre.

On peut donc dire que ce dispositif ne peut servir à la mesure comparative des frottements, mais qu'il est possible de déduire de cette expérience que le couple dû au déplacement dans l'eau à très faible vitesse est négligeable devant le couple dû aux frottements sur les pivots et sur la roue dentée.

Dans son mouvement vertical ascendant, l'hélice tourne régulièrement et ce mouvement de rotation, remarquablement uniforme, nous a montré l'utilité de comparer les couples antagonistes dus aux frottements sur pointes d'une part, et au fil à coudre d'autre part. Nous connaissons le premier, nous n'avons plus qu'à mesurer le couple dû à la torsion d'un fil à coudre, plus exactement d'un fil à faufiler, d'un mètre de longueur, au bout duquel nous suspendrons l'hélice par son axe.

Après avoir attendu l'arrêt du mouvement de rotation, provoqué par la tension du fil, il faut appliquer à l'hélice, à une distance déterminée de l'axe, une force horizontale juste suffisante pour assurer un lent mouvement de rotation.

Nous avons employé dans ce but un pendule dont le point de suspension était situé à 1 cm. du point de suspension de l'hélice. La masse du pendule était écartée de la verticale et venait s'appuyer sur une palette. En prenant toutes précautions utiles pour qu'une impulsion ne fausse pas les résultats, nous avons trouvé qu'un poids de 0 gr. 145, appliqué à 5 mm de l'axe, assurait le mouvement de rotation.

La force horizontale appliquée était sensiblement :

$$\frac{0,145}{400} = 0,00145 \text{ gr.}$$

et le couple

$$0,00145 \times 0,5 = 0,00072 \text{ cm./gr.}$$

c'est-à-dire :

$$\frac{0,00072}{0,3} = \frac{1}{400} \text{ environ du couple dû aux frottements du moulinet avec roue dentée dans l'air.}$$

Un ou deux tours ne modifient pas sensiblement le couple antagoniste et il devient ainsi possible de procéder à des mesures aux très faibles vitesses en ayant bien soin de laisser l'hélice au repos avant chaque mesure.

*Tarage d'une hélice suspendue pour des vitesses de 2 à 10 mm/s* — Un moulinet idéal, sans aucun frottement, se déplaçant dans un fluide parfait, doit accomplir un tour chaque fois que son support avance d'une longueur égale au pas de l'hélice. Pour que cette condition soit réalisée, il importe que les ailettes satisfassent, pour chaque valeur  $r$  de leur rayon, à la relation :

$$a = \frac{r}{R} \quad (1)$$

$R$  étant le rayon de l'hélice,  $r$  le rayon au point considéré,  $a$  l'angle que fait l'ailette avec l'axe de rotation en ce point, et  $A$  l'angle d'inclinaison pour le rayon  $R$ .

On se rend facilement compte que la mesure précise du pas de l'hélice est de la plus grande importance dans la détermination de la formule de tarage théorique.

Il serait donc possible de calculer le pas d'une hélice qui répondrait à la relation (1)

Les appareils de fabrication courante ne répondent pas à cette relation, et voici comment on peut mesurer ce qu'il semble encore possible d'appeler le pas.

L'hélice est librement suspendue à un fil, de manière que les bords supérieurs des ailettes affleurent le niveau de l'eau contenue dans un vase  $V$  (figure 6). On place en-dessous de l'hélice un petit cylindre creux en bois, lesté. Ce petit cylindre a pour

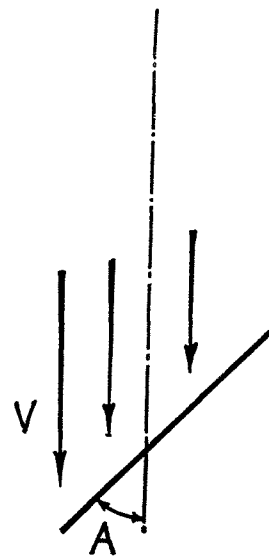


Fig. 5.

but de provoquer l'arrêt de l'hélice dans une position déterminée.

Quand l'hélice est bien au repos, on pose une règle sur les bords du vase en ayant bien soin que le biseau de la règle soit parallèle au bord supérieur d'une alette. On provoque alors la descente d'un mouvement bien uniforme, en quelques secondes.

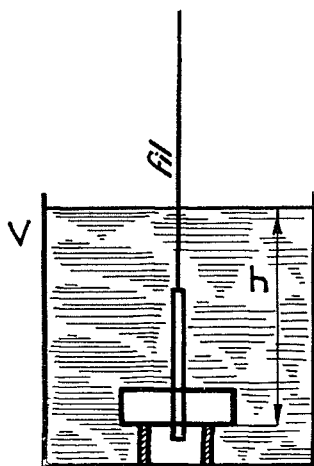


Fig. 6.

des. L'hélice tourne régulièrement et se pose sur le cylindre en bois. La position de la règle permet alors de se rendre compte si l'appareil a fait exactement un tour.

Il convient de noter qu'un mouvement de descente trop lent ne convient pas, mais la durée de ce mouvement peut varier sans inconvénient de une à huit secondes. Un mouvement varié fausse complètement les résultats. En outre, le fil de suspension doit être au repos et ne doit pas, dans le but d'éviter l'entrée en jeu du couple de torsion d'une longueur nouvelle de fil, se dérouler sur une poulie. Il est bon d'attacher le fil de suspension à un fil métallique fin qui se déroule sur un tambour.

On relève ou l'on abaisse le niveau de l'eau, jusqu'à ce que

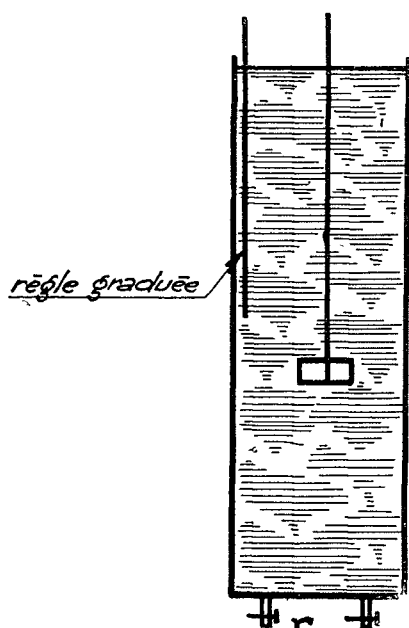


Fig. 7.

l'hélice fasse exactement un tour. Quand on a atteint ce résultat, la seule mesure de  $h$  donne le pas.

Ce procédé nous a donné pour la mesure du pas d'une hélice de  $d = 56$  mm.,  $h = 160$  mm.

L'irrégularité des inclinaisons des ailettes ne permettait pas de mesurer le pas par des mesures métriques.

Ensuite, l'hélice a été suspendue dans l'axe d'un cylindre rempli d'eau de 0,12 m de diamètre et de 1 m de hauteur (fig. 7). A l'aide de robinets 1, ce cylindre était partiellement vidé et nous avons admis tout d'abord que, pour une tranche d'eau de 18 à 20 cm. de hauteur, les différences de vitesses dues à l'abaissement graduel du niveau et pour des vitesses de quelques millimètres par seconde, étaient sans influence notable sur la vitesse de rotation de l'hélice.

Pour un tour de cette dernière, nous obtenions la vitesse moyenne en mesurant l'abaissement du niveau et le temps écoulé. Ces mesures exigent une pratique suffisante ou la présence de deux opérateurs, l'un qui mesure le temps nécessaire pour que l'hélice accomplisse un tour, et l'autre qui fait les lectures sur une tige graduée.

Comme pour la mesure du pas, il faut avoir bien soin d'attendre que l'hélice soit au repos, et il est, de plus, indispensable d'attendre quelques secondes avant chaque mesure, de manière que le démarrage soit franchement effectué.

La figure 8 montre que la courbe de tarage, pour des vitesses

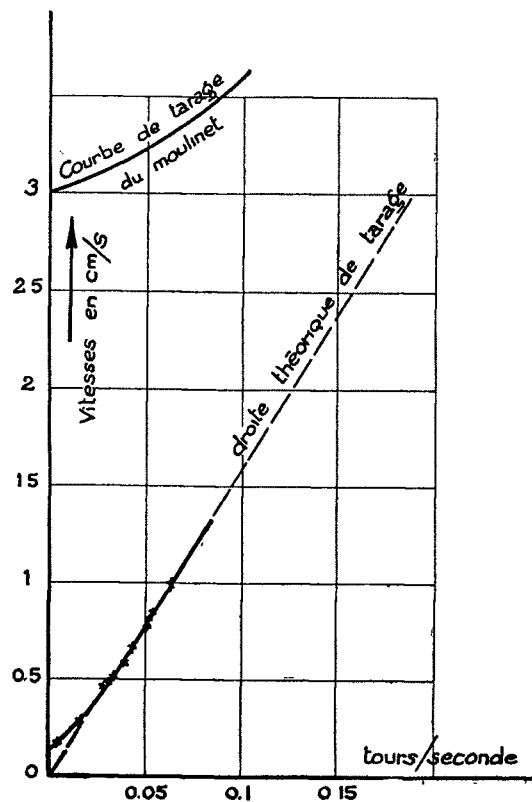


Fig. 8.

supérieures à 4 mm./s. coïncide pratiquement avec la droite théorique de tarage qui a pour équation :

$$V = 0,160 n.$$

Le dispositif employé n'a pas permis de faire des mesures pour des vitesses supérieures à 1,2 cm./s. En effet, dès que l'appareil atteint une vitesse de 1 tour en 10 secondes environ, il tend, par suite de son inertie, à conserver la vitesse qu'il a acquise pendant les premières secondes, vitesse supérieure à la vitesse moyenne mesurée.

Dans ces conditions, les points de la courbe de tarage sont situés un peu au-dessous de la droite théorique de tarage et de mesures correctes exigeraient une vitesse uniforme.