Zeitschrift:	Bulletin technique de la Suisse romande	
Band:	88 (1962)	
Heft:	18: Comptoir Suisse, Lausanne, 8-23 septembre 1962	
Artikel:	Étude de l'écoulement à la sortie d'une roue Francis (suite et fin)	
Autor:	Kazan, N.	
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-771848	

## 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. <u>Mehr erfahren</u>

## **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. <u>En savoir plus</u>

## 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. <u>Find out more</u>

# Download PDF: 16.08.2025

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

Nº 18

# **BULLETIN TECHNIQUE** DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

#### ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.) de la Section genevoise de la S.I.A. de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne) et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole	Vacat Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique » Tirés à part, renseignements Avenue de Cour 27, Lausanne
polytechnique federale de Lunch) COMITÉ DE PATRONAGE Président: + J. Calame, ing. à Genève	l an Suísse Fr. 28.— Etranger Fr Sociétaires » » 23.— » Prix du numéro » » 1.60
Membres: Membres:	Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse rom: Nº II 57 75, Lausanne
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch. Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgurin, arch.; E. Martin,arch. JC. Ot, ing. Neuchâtel: I. Bérmin, arch.; R. Guve, ing.	Adresser toutes communications concernant abonnement, chang d'adresse, expédition, etc., à : Imprimèrie La Concorde, Terre Lausanne
<ul> <li>Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.</li> <li>Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;</li> <li>M. Renaud, ing.; JP. Vouga, arch.</li> </ul>	ANNONCES Tarif des annonces:
CONSEIL D'ADMINISTRATION de la Société anonyme du «Bulletin technique » Président: D. Bonnard, ing. Membres: Ed. Bourquin, ing.: G. Boyet, ing.: M. Bridel: L. Fayre.	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
arch.; A. Robert, ing.; JP. Stucky, ing. Adresse: Avenue de la Gare 10, Lausanne	Adresse: Annonces Suisses S. A. Place Bel-Air 2, Tél. (021) 22 33 28, Lausanne et succurseles

RÉDACTION n et Editions de la S. A. du «Bulletin technique » part, renseignements de Cour 27, Lausanne EMENTS Suisse Fr. 28 .--. . . . . . es . . . . . numéro . . . 23.-10 10 » 23.-» 1.60 postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », 75. Lausanne r toutes communications concernant abonnement, changements e, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, CES annonces: Fr. 320.— > 165.— B B 85.-42.60

#### SOMMAIRE

Etude de l'écoulement à la sortie d'une roue Francis, par M. N. Kazan, Dr ès sciences techniques de l'EPUL (suite et fin). Actualité industrielle (23).

Bibliographie. - Les congrès. - Organisation, formation professionnelles. Documentation générale. - Nouveautés, informations diverses.

## ÉTUDE DE L'ÉCOULEMENT À LA SORTIE D'UNE ROUE FRANCIS (Suite et fin)

par M. N. KAZAN, Dr ès sciences techniques de l'Ecole polytechnique de Lausanne

### 4. Variation de $\gamma, \, \epsilon, \, \, h_{pd}, \, \eta_d$ et $\eta$ en fonction de $\phi ~ a ~ \psi$ constant

En examinant la figure 9, nous constatons d'abord que la valeur de q pour laquelle y est maximum correspond exactement à celle pour  $\varepsilon = 0$ , c'est-à-dire là où la circulation moyenne est nulle. Les pertes dans le diffuseur diminuent quand y augmente, mais pour la valeur maxima de y où la circulation est nulle, les pertes augmentent et le rendement du diffuseur, qui varie généralement dans le même sens que y, baisse brusquement. Ceci s'explique par le fait que, pour le bon fonctionnement du diffuseur, il faut une petite composante périphérique de la vitesse de l'écoulement, sans quoi l'écoulement décolle des parois du diffuseur et celui-ci remplit mal son rôle de transformation d'énergie.

Pour la roue B et pour  $\phi/\phi_{h} = 0.8$ , le rendement du diffuseur est égal à 72,6 % et tombe à 41,7 % pour  $\varphi/\varphi_{\Lambda} = 0.9$ . Pour  $\varepsilon = 0$ , la roue C accuse un rendement du diffuseur plus faible que les deux autres roues. En

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique nº 17 du 25 août 1962.

effet, cette roue C, contrairement aux deux autres, débite essentiellement au centre, ce qui influence défavorablement la récupération par le diffuseur, d'où haisse de rendement. Cette augmentation de la perte  $h_{rd}$ pour  $\varepsilon = 0$  se répereute sur le rendement total  $\eta$  par un léger rehaussement de la courbe (1 — ŋ) à cet endroit.

On constate aussi que le maximum de y ne correspond pas au maximum de  $\eta$  (ou minimum de 1 —  $\eta$ ). Le rendement maximum de la turbine correspond toujours à un débit plus grand que celui de Ymax, là où la circulation est négative mais faible, à cause des pertes secondaires, fuites et brassage, qui ne sont pas proportionnelles à la puissance totale. Par rapport aux courbes des roues A et C, celles de la roue B sont nettement décalées vers les plus grands débits. Ceci correspond au fait que la roue B est spécifiquement plus rapide et par conséquent absorbe des débits plus importants.

Il est à remarquer aussi que la circulation restante à la sortie de la roue est une fonction quasi linéaire du débit :

$$\mathfrak{s} \cong k \, (\mathfrak{q}_{o} - \mathfrak{q}).$$





Fig. 9

262

## 5. Influence d'une coupure de l'aubage

5.1 Evolution des courbes  $c_m$ ,  $rc_u$  et  $\alpha = f(r^2)$ 

L'état  $B_1$  de la roue B est obtenu par une coupure linéairement variable le long de l'arête de sortie, nulle à la périphérie et maxima au moyeu (12 mm). Cette façon de couper a changé considérablement l'allure de la courbe  $c_m = j(r^2)$ , comme cela ressort de la figure 10. La roue, après cette première coupure, débite davantage vers le moyeu qu'auparavant. Le coefficient de débit  $\varphi$  correspondant au sommet de la colline a augmenté et passé de 0,285 à 0,310. L'angle de l'écoulement à la sortie de la roue a subi une diminution sur toute la section, ce qui a pour conséquence une augmentation, en valeur algébrique, de la circulation  $rc_v$ .

L'état de la roue  $B_8$  a été obtenu par une coupure uniforme le long de l'arête de sortie de la roue  $B_1$ . On voit, d'après la figure 10, que l'allure de la courbe  $c_m = f(r^2)$  n'a pas changé, par contre la valeur de  $c_m$  est devenue plus grande. Le coefficient de débit à rendement maximum ( $\varphi_h$ ) a augmenté à 0,340. Cette augmentation du débit est accompagnée d'une augmentation de la chute, ce qui n'a entraîné qu'une faible augmentation de la vitesse de rotation spécifique au sommet.

5.2 Variation de  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $h_{pd}$ ,  $\eta_d$  et  $\eta$  en fonction de  $\varphi$ 

Nous constatons, en général, figure 11, un déplacement de toutes les courbes dans le sens de l'augmentation de  $\phi$  en fonction des coupures.

Après la première coupure,  $\gamma_{\max}$  a diminué considérablement. Ceci reflète clairement l'effet du changement d'allure de la courbe  $c_m = f(r^2)$  constaté sur la figure 10. Le rendement du diffuseur accuse une diminution plus importante à l'endroit de  $\gamma_{\max}$ ; ceci est causé par une augmentation plus importante des pertes dans le diffuseur pour ce point de fonctionnement ( $\phi/\phi_A = 0.9$ ), du fait que  $c_m$  vers la paroi a diminué et que le décollement de l'écoulement dans le diffuseur s'est manifesté plus en amont. Le rendement total n'a pas subi une diminution sensible.

La deuxième coupure, par contre, accuse une diminution sensible du rendement total, l'aubage devenu trop court ne fonctionne plus aussi bien que dans le cas Bet  $B_1$ .

#### 6. La torche

On appelle « torche » l'espace occupé par le mélange d'air et de vapeur d'eau qui se forme en aval de la roue si la pression, qui est minima à cct endroit, est suffisamment faible pour que l'air dissous dans l'eau puisse se dégager et l'eau se vaporiser.

La présence de la torche en aval de la roue, pour autant qu'elle n'atteigne pas l'arête de sortie de l'aubage, ne modifie pas sensiblement l'écoulement dans la roue. La roue garde le même rendement qu'elle avait sans la présence de la torche. La torche cependant modifie l'écoulement à l'entrée du diffuseur et cause une augmentation de la vitesse à la périphérie.

### 6.1 Observation de la torche

Deux facteurs essentiels peuvent influencer la forme de la torche :

a) Le niveau de la pression statique à la sortie de la roue, soit le coefficient  $\sigma$  pour un point de fonctionnement ( $\phi$ ,  $\psi$ ) déterminé : La figure 12 montre deux sondages d'un même point de fonctionnement ( $\phi = 1,2$ ,  $\varphi_{\Lambda} = 0,30, \ \psi = \varphi_{\Lambda} = 4,9$ ) de la roue *C* (au niveau III, fig. 1, avec la sonde cylindrique), le premier avec  $\sigma =$ = 1,055, c'est-à-dire sans vide, le deuxième avec un vide portant le coefficient  $\sigma \ge 0,046$ . La torche qui apparaît occupe le 34 % de la section totale. Pour assurer le même débit, la vitesse méridienne augmente. La circulation ne change presque pas, ce qui cause un redressement des lignes de courant et diminue l'angle  $\alpha$ , qui se rapproche de 90°.

Sur la figure 13, nous avons représenté une série de photos prises pour un même point de fonctionnement ( $\phi \simeq 0.28$ ,  $\psi \simeq 5.3$  correspondant à un point de fonctionnement de l'exécution), montrant l'évolution de la torche en fonction de  $\sigma$ . Sur la photo (*a*), la torche est inexistante ; la photo (*b*) montre deux traces hélicoïdales formées de bulles d'air instables. En diminuant davantage la pression, la torche proprement dite apparaît et se développe de plus en plus.

b) Le débit à chute et  $\sigma$  constant : Comme on peut le démontrer, dans un écoulement de révolution à circulation périphérique, la pression statique varie en fonction de la composante périphérique de la vitesse suivant la relation :

$$dP = \mu \frac{C_u^2}{R} dR$$

ce qui, avec l'existence de  $C_u$  positif ou négatif, cause la diminution de la pression vers l'axe de l'écoulement.

Pour un faible débit,  $\alpha$  est faible,  $C_u$  est positif et relativement important, d'où apparition d'une torche, figure 14a. Avec l'augmentation du débit,  $\alpha$  augmente et  $C_u$  diminue ; on arrive ainsi à une vitesse sans composante périphérique ( $C_u = 0$ ) d'où pression constante dans la section considérée. Si  $\sigma$  n'est pas exagérément faible pour que la cavitation soit généralisée, la torche disparaît, figure 14c. En augmentant encore plus le débit,  $\alpha$  augmente,  $C_u$  devient négatif, mais augmente en valeur absolue et par conséquent  $C_u^2$  d'où réapparition de la torche, figure 14d.

#### 7. Triangles de vitesses à l'arête de sortie de l'aubage

Pour déterminer les triangles de vitesses le long de l'arête de sortie de la roue, on établit les lignes de courant à partir des résultats de sondages à trois niveaux différents (I, II et III). On procède de la façon suivante ;

Pour chaque niveau de sondage, on détermine graphiquement la courbe

$$\int_{a}^{r^2} c_m^* \Delta r^2 = f(r^2).$$

On divise l'ordonnée maxima, soit la valeur

$$\int_{0}^{1} c_m^* \, \Delta \, r^2 \simeq 1$$

par le nombre des turbines partielles choisi (6 dans notre cas) et, en recourant à la courbe

$$\int_{0}^{r^{2}} c_{m}^{*} \Delta r^{2} = f \langle r^{2} \rangle,$$

on détermine les abscisses  $r^2 = \left(\frac{R}{R_c}\right)^2$ 





Fig. 12



correspondant aux filets liquides séparant les turbines partielles. Connaissant la direction de  $c_m$  en chacun de ces points, on peut tracer les lignes de courant. Ces lignes de courant rencontrent l'arête de sortie de l'aubage en des points où on mesure les rayons correspondants, figure 15, ce qui permet de calculer  $u_2$  pour chaque filet.

On détermine  $c_{u2}$  en admettant que la circulation en ces points conserve sa valeur moyenne de  $rc_u$  le long de chaque filet. En effet,  $rc_u$  reste constant tant qu'il n'y a pas d'échange d'énergie entre l'eau et son voisinage. En fait, il y a une légère variation de la circulation due à la turbulence et à l'imprécision de mesure.

Quant à  $c_{m2}$ , on détermine sa valeur moyenne pour chaque turbine partielle à l'endroit de l'arête de sortie par le procédé habituel en considérant le squelette de l'aubage, car il s'agit de grandeurs évaluées pour des points se trouvant immédiatement après la sortie de l'aubage.

L'angle  $\beta_2$  sera calculé par l'équation :

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{u_2 - c_{u2}}{c_{m2}} \cdot$$

La figure 16 montre la variation de  $c_{m2}$  et de l'angle  $\beta_2$  le long de l'arête de sortie de l'aubage, ainsi que la courbe de  $\beta_2$  calculée d'après le tracé de l'aubage.

Sur la figure 17, nous avons tracé les triangles de vitesses correspondant à l'arête de sortie pour les trois filets (1, 3 et 5) et les triangles de vitesses pour les mêmes points prévus par le tracé de l'aubage.

Les angles  $\beta_2$  sont plus grands que ceux prévus par le tracé ; ceci semble dû au fait que le fluide, en quittant

0.145

0,181

0,205

0.292



l'aube, se décroche par rapport à la direction donnée par l'aubage et ceci dans le sens de l'intrados vers l'extrados. La raison de ce décrochement est que la pression à laquelle sont soumises les particules quittant l'aube, est plus grande sur l'intrados que sur l'extrados (couple moteur et nombre limité d'aubes). Les particules quittant l'aubage du côté intrados prennent une composante en direction du gradient négatif de la pression, et augmentent ainsi l'angle  $\beta_2$  figure 17b. Cette augmentation n'est d'ailleurs pas excessive, puisqu'elle ne dépasse pas 4 degrés pour  $\phi/\phi_{\text{A}}=0.8$  et 5 degrés pour  $\phi/\phi_{\Lambda} = 1$ .

ROUE B







Fig. 17