

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 51 (1925)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Evolution des théories relatives au fonctionnement des turbines  
**Autor:** Cayère, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-39551>

#### **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:** 15.01.2026

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

sont emmagasinés en 4 silos, dont 2 pour le gravier et un pour chacune des deux qualités de sable.

De ces silos, le sable et le gravier sont pris en proportions déterminées et transportés par des vagonnets jaugeés auprès des bétonnières installées au pied des piles 2, 3, 4 et 5. Le malaxage étant achevé, le béton est versé dans les bennes des ascenseurs qui sont installées et disposées convenablement par rapport aux piles mentionnées. Les bennes sont arrêtées aux hauteurs voulues et déversent leur contenu dans un système de tuyaux répartiteurs qui amènent le béton confectionné aux lieux des travaux de bétonnage.

Les clichés des figures 1 et 2 ont été obligamment mis à notre disposition par M. Bühler.

Réd.

## Evolution des théories relatives au fonctionnement des turbines

par M. P. CAYÈRE, ingénieur en chef des Etablissements Neyret, Beylier et Piccard, à Grenoble.

*Sous le titre : « Les progrès, l'état actuel et les tendances de la construction des turbines hydrauliques » M. P. Cayère a publié dans les numéros de juillet et août 1925 de la Revue Arts et Métiers (Paris) une remarquable étude dont l'extrait reproduit ci-dessous intéressera certainement nos lecteurs.*

Nous écarterons avec soin tout l'appareil mathématique dont on enveloppe en général ces théories ; il est utile pour les applications, mais non pour l'exposition des principes, ceux-ci étant définis aussi clairement par le langage ordinaire que par leur traduction algébrique dans les équations de l'hydrodynamique.

### Théories à 1, 2 et 3 dimensions.

Dans les anciennes turbines centrifuges et centripètes, les aubes du distributeur et de la roue étaient disposées entre des plans parallèles normaux à l'axe, l'écoulement de l'eau se faisait dans des plans parallèles à ces plans limites et l'écoulement pouvait être considéré comme étant le même dans les différents plans A B, A' B', A'' B'' (fig. 17).

De plus le nombre des aubes était élevé, afin d'assurer un guidage de l'eau parfaitement défini et facile à connaître.

Tous les filets liquides pouvaient donc être considérés comme ayant le même mouvement et il suffisait d'étudier le mouvement de l'eau le long d'une trajectoire pour connaître parfaitement toute la turbine.

L'étude de ces turbines pourrait donc se faire à l'aide d'une théorie relativement simple, qu'on pourrait désigner sous le nom de *théorie à une dimension*.

Dans les *turbines parallèles*, genre Fontaine ou Jonval, on était cependant amené à une étude un peu plus compliquée en raison du fait que les différents filets liquides abordaient la roue mobile en des points situés à des dis-

tances différentes du centre et animés par suite de vitesses différentes (fig. 18).

Les triangles de vitesse n'étaient donc pas les mêmes pour les filets s'écoulant en A B, en A' B' et A'' B''. Cependant la méthode d'étude de ces turbines se rattache à la théorie à une dimension, parce que l'on peut, dans ces turbines, étudier chaque filet comme s'il était seul, la présence des filets voisins n'influence pas ses conditions d'écoulement.

Dans les premières turbines mixtes genre Francis, dont le mode de fonctionnement est centripète à l'entrée et axial à la sortie, on conserva tout d'abord cette conception de l'indépendance des filets liquides et les ouvrages qui traitent de l'étude de ces turbines exposent généralement la théorie à une dimension dans laquelle la turbine est décomposée en turbines élémentaires que l'on étudie chacune isolément sans se préoccuper de l'influence des filets voisins sur ses conditions d'écoulement.

Par suite de cette conception, on était amené à faire la décomposition de la turbine en turbines élémentaires par des cloisons de révolution définies par des lignes d'écoulement telle que a b c a' b' c' a'' b'' c'' (fig. 19), qui étaient tracées en considérant que, puisque chaque turbine élémentaire débite le même débit élémentaire, il est logique de donner à toutes les turbines élémentaires en des points correspondants, la même section de passage et de faire  $S_1 = S_2 = S_3 = S_4$ ;  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4$ ;  $s_1 = s_2 = s_3 = s_4$ .

Il résultait de ce mode de tracé que le long d'une ligne orthogonale, B b' b'' B, perpendiculaire en chaque point au filet liquide qui passe en ce point, la composante méridienne de la vitesse de l'eau était considérée comme constante.

Or, il est facile de voir que cela ne peut pas être.

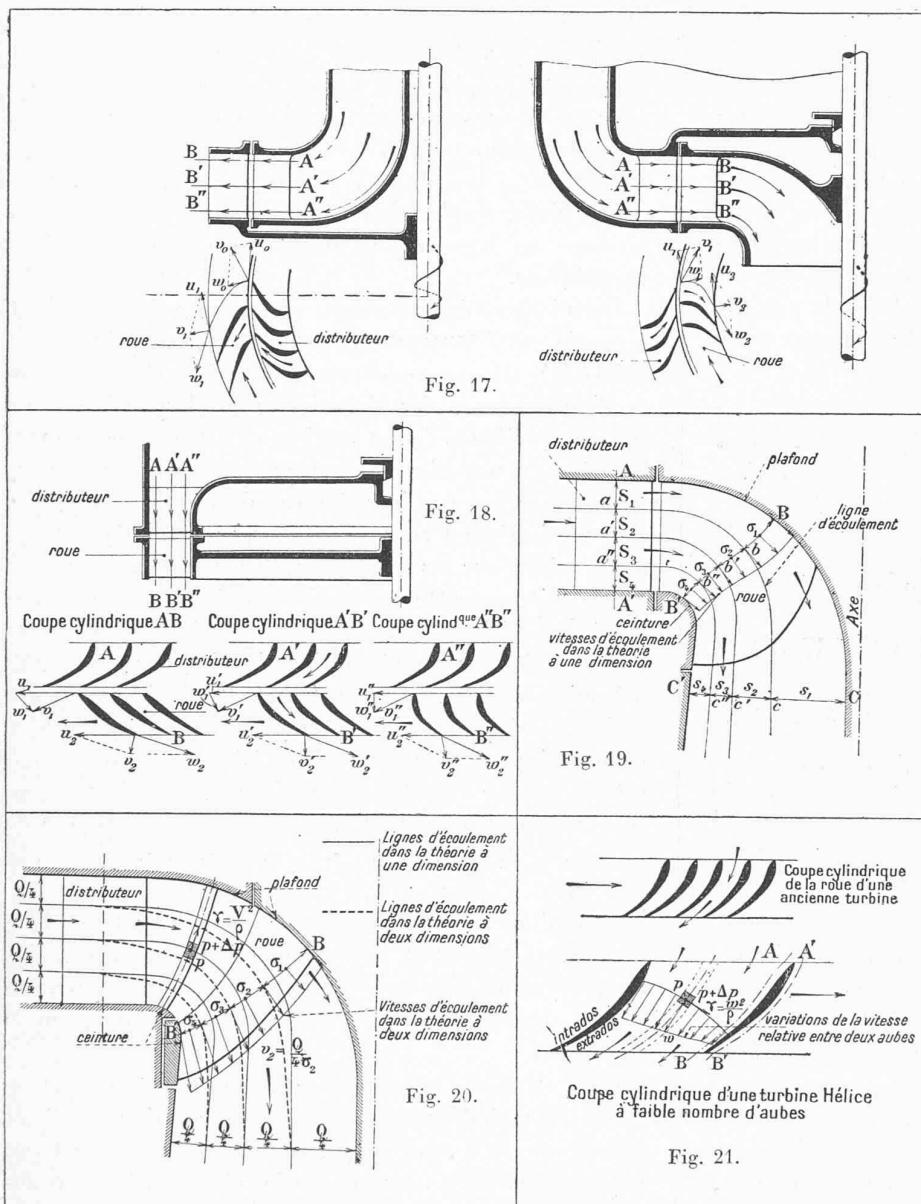
En effet, indépendamment de la rotation de l'eau autour de l'axe qui engendre des efforts centrifuges radiaux, dont il est tenu compte dans les équations d'écoulement de l'eau le long d'un filet, la forme courbe des lignes d'écoulement (les lignes d'écoulement étant les méridiennes des surfaces de révolution le long desquelles l'eau s'écoule) engendre des efforts centrifuges qui présent les filets de la ceinture vers les filets du plafond (fig. 20).

De ce fait, la pression de l'eau est nécessairement plus grande au plafond qu'à la ceinture et, par suite, en raison du théorème de Bernouilli, la vitesse d'écoulement à la ceinture est plus grande qu'au plafond.

On est ainsi conduit à considérer une théorie dite à deux dimensions, dans laquelle on tient compte de cette influence des diverses turbines élémentaires les unes sur les autres.

Les lignes d'écoulement qui divisent le débit total en débits élémentaires égaux sont donc plus rapprochées de la ceinture qu'on ne l'admettait dans la théorie à une dimension (fig. 20).

Dans les anciennes turbines Francis, l'entrée et la sortie de la roue se faisaient dans les régions où la différence



entre les deux tracés est faible, c'est-à-dire avant et après la partie courbe des lignes d'écoulement.

De plus, la courbure de la ceinture était généralement faible et enfin, dans beaucoup de cas, les lignes d'écoulement étaient matérialisées par des cloisons destinées à renforcer la solidité de la roue ou à assurer un meilleur guidage de l'eau dans la roue ou encore à améliorer le rendement aux charges partielles dans les turbines à tiroir et ces cloisons empêchaient la réaction des divers filets les uns sur les autres.

Pour ces diverses raisons, la théorie à une dimension est restée suffisante dans les turbines Francis jusqu'à l'époque du développement des turbines à grande vitesse.

Dans ces turbines l'arête d'entrée se trouve placée dans la région où les lignes d'écoulement sont courbes, et par suite les conditions de fonctionnement de ces roues sont grandement influencées par la réaction des divers filets liquides les uns sur les autres et il faut utiliser la théorie à

deux dimensions, malgré les complications assez grandes qu'elle entraîne dans les calculs.

Enfin, jusqu'à ces dernières années, on adoptait, pour les roues mobiles et les distributeurs, des nombres d'aubes assez importants afin d'assurer un bon guidage de l'eau.

La vitesse relative de l'eau était alors bien définie, en valeur par le quotient  $\frac{q}{s}$  du débit par la section de passage, en direction par les aubes voisines.

Dans les turbines modernes, en vue de réduire l'obstruction et surtout les frottements hydrauliques, on tend à réduire le nombre d'aubes. Il en résulte que les filets liquides, séparés autrefois par les aubes, peuvent réagir les uns sur les autres et que la force centrifuge dans le mouvement relatif entraîne sur l'intrados une pression plus grande que sur l'extrados (fig. 21). Le filet liquide d'intrados A B n'a donc pas les mêmes vitesses que le filet d'extrados A' B', et l'étude de la turbine doit tenir compte de cette influence mutuelle des divers filets d'un même canal, ce qui conduit à utiliser la théorie dite à trois dimensions.

En résumé, l'ancienne théorie à une dimension qui considérait dans la turbine de petites turbines élémentaires indépendantes

les unes des autres, a dû être remplacée par la théorie à deux dimensions, qui tient compte de l'influence mutuelle de ces diverses turbines élémentaires les unes sur les autres.

Dans un avenir prochain, il y aura lieu d'utiliser la théorie à trois dimensions, qui va plus loin encore, et tient compte de l'influence mutuelle des divers filets d'un même canal de la roue les uns sur les autres.

On conçoit que ces progrès ne vont pas sans une complication assez sérieuse et obligent à aborder, pour l'étude de l'hydrodynamique appliquée aux turbines, des développements mathématiques fort ardu. Le concours de la théorie et de l'expérience a déjà donné des résultats très intéressants : mais il est probable que, pendant longtemps encore, on devra se contenter de demander à la théorie des solutions approchées, des méthodes générales et des indications qualitatives sur les phénomènes en réservant à des expériences méthodiques le soin de définir ceux-ci quantitativement.

*Insuffisance de la théorie.*

Malgré les progrès importants réalisés par la théorie des turbines, cette théorie ne peut, à l'heure actuelle, permettre une analyse complète du fonctionnement d'une turbine.

La théorie ne s'applique, en effet, avec toute son efficacité, qu'au fonctionnement qui correspond aux conditions de tracé de la roue, conditions pour lesquelles on s'impose de faire entrer l'eau dans la roue sans chocs et de la faire sortir de la roue soit avec une vitesse comprise dans un plan axial afin que cette vitesse soit aussi faible que possible, soit avec des vitesses giratoires telles qu'elles permettent une bonne récupération de l'énergie cinétique possédée encore par l'eau à la sortie de la roue.

Dès que l'ouverture du distributeur, la chute ou la vitesse ne correspondent plus aux conditions du tracé il y a choc à l'entrée de l'eau dans la roue et la vitesse à la sortie possède une composante de giration différente de celle prévue lors du tracé. Ces deux phénomènes, qu'il est actuellement impossible de faire intervenir d'une façon satisfaisante dans les équations de fonctionnement de la turbine, modifient à la fois le débit, la puissance et le rendement dans des proportions qu'il est impossible d'évaluer par le calcul.

Or, d'une part, il est très important de conserver un rendement aussi élevé que possible à toutes les ouvertures de la turbine, d'autre part il est également important, surtout dans le cas des basses chutes, que la puissance et le rendement ne soient pas affectés outre mesure par les variations de chute importantes que présentent les installations.

Enfin, comme il y a en principe une infinité de façons de réaliser une turbine pour des conditions de fonctionnement données, il est bien certain *a priori* que ces divers tracés, à peu près équivalents pour la charge de tracé, ne seront pas également satisfaisants au point de vue de la conservation du rendement aux ouvertures partielles ou sous chute réduite.

Il est donc d'un haut intérêt de pouvoir comparer comment se comportent, à ouverture réduite ou sous différentes chutes, des roues réalisées suivant ces divers tracés : la théorie, ainsi que nous venons de le dire, est impuissante à renseigner avec précision sur ce point. Il faut donc avoir recours à l'expérience, et c'est ce qui explique le rôle de plus en plus important joué par les laboratoires de recherches dans l'industrie de la construction des turbines.

L'hydrodynamique théorique se contente de donner des indications, d'ailleurs précieuses, sur la façon d'exécuter les tracés de roues pour avoir le maximum de rendement dans des conditions de tracé données, mais elle ne peut fixer en valeur absolue la valeur de ce rendement, et permet encore moins de connaître comment se comportera la turbine aux ouvertures partielles ou sous des chutes variables.

L'expérience intervient alors pour sélectionner les divers tracés qui découlent de la théorie, et celle-ci fixe les méthodes d'essai, elle assure la coordination méthodique des résultats et leur utilisation aux cas concrets de la pratique.

**Le Ve Congrès de fonderie.**

*Nous résumons brièvement les principales communications présentées au Ve Congrès de Fonderie organisé à Liège, du 25 au 28 octobre dernier, par les Associations techniques de fonderie de Paris<sup>1</sup> et de Belgique.*

**Etude d'une fabrication de laiton au nickel-manganèse, par M. Le Thomas, ingénieur du Génie maritime français.**

Ce mémoire, de neuf pages, débute par un « rappel » succinct mais précis des « propriétés fondamentales des laitons » et « des facilités spéciales à leur fabrication » puis il rapporte les résultats des recherches exécutées par l'auteur en vue de « l'obtention des laitons au nickel-manganèse ».

« La formule qui paraît la meilleure, du point de vue des caractéristiques mécaniques, dit M. Le Thomas, est celle qui comporte 5 % de nickel et 3 % de manganèse et qui donne pour un titre fictif de 59/41, environ :

*Coulé :*

A 15° : résistance à la traction 47 kg./mm<sup>2</sup> ; limite d'élasticité 23 kg./mm<sup>2</sup> ; allongement 27 % ;

A 225° : résistance à la traction 44 kg./mm<sup>2</sup> ; limite d'élasticité 22 kg./mm<sup>2</sup> ; allongement 29 %.

*Forgeé :*

A 15° : résistance à la traction 50 kg./mm<sup>2</sup> ; limite d'élasticité 27 kg./mm<sup>2</sup> ; allongement 39 % ;

A 225° : résistance à la traction 46 kg./mm<sup>2</sup> ; limite d'élasticité 26 kg./mm<sup>2</sup> ; allongement 35 %.

(Barrettes de 13,8 mm. de diamètre, distance entre repères 100 mm.)

« On peut objecter que les formules recommandées comportent un élément cher, le nickel. La remarque est juste. Nous avons dit les raisons (excellentes caractéristiques mécaniques et haute résistance à la corrosion) de notre choix et montré, au surplus, que le laiton coûtait notablement moins que le bronze. Par ailleurs il ne faut pas se méprendre sur le coût relatif des diverses additions. Le nickel s'allie très facilement car il est soluble en toutes proportions dans le cuivre. D'autres corps d'addition, même de valeur intrinsèque infime, comme le fer, parfois employé, sont au contraire, difficiles à faire entrer dans l'alliage lorsque les taux d'addition sont élevés ; pour le fer, on doit avoir recours à un cupro-fer très difficile à préparer ou à un cupro-zinc qu'on trouve dans les cuves de galvanisation, mais qui est généralement impur et hétérogène. En définitive, l'addition du nickel ne coûte pas énormément plus cher que celle du fer. »

Il convient, en outre, de se rappeler que le nickel est le seul corps qui soit susceptible d'équivaloir à une certaine quantité de cuivre, métal cher, tous les autres corps d'addition équivalant à une certaine quantité de zinc, métal de prix bas.

Ces considérations sont corroborées par le tableau suivant :

**Prix de revient comparatif, aux 100 kg., de divers alliages cuivreux.**

PRIX DE BASE	le kg.	PRIX DES ALLIAGES	les 100 kg.
Cuivre . . . . .	7,50	Laiton à 4 % de manganèse . . . . .	641,23
Zinc . . . . .	3,80	Laiton à 2 % de manganèse et 2 % de nickel . . . . .	652,90
Nickel . . . . .	25,—	Bronze à 10 % d'étain et 1 % de zinc . . . . .	982,30
Cupro-manganèse	10,—		
Etain . . . . .	31,10		

« Le bronze coûte donc beaucoup plus cher que le laiton et ne présente aucune qualité supérieure, bien au contraire. »

**Notes sur les laitons à haute résistance, par M. Thibaud, directeur technique aux Etablissements Henri Gras (4 pages).**

De l'avis de l'auteur, le meilleur laiton à haute résistance sera celui qui se rapprochera le plus de la composition suivante :

<sup>1</sup> Siège social : Paris (9<sup>e</sup>), 15, Rue Bleue.