

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 43 (1917)
Heft: 18

Artikel: Turbines à vapeur multiples à action
Autor: Colombi, Ch.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-33181>

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: 23.08.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.
2, Valentin, Lausanne

Paraissant tous les
15 jours

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE. — *Turbines à vapeur multiples à action*, par Ch. Colombi, ingénieur. — Concours d'idées pour l'établissement d'un plan général d'extension de Leysin. — La Houille blanche et la Métallurgie, par G. Flusin, professeur à l'Université de Grenoble. — Association des anciens élèves de l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne. — Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.

Turbines à vapeur multiples à action

par CH. COLOMBI, ingénieur,
professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

La théorie des turbines multiples à action fit déjà l'objet de nombreuses recherches à la base desquelles se trouvent presque toujours, sous une forme plus ou moins nettement accusée, les études fondamentales que M. le professeur Stodola a exposées sur cet argument dans son ouvrage classique « Die Dampfturbinen ». Les phénomènes, même d'importance secondaire, dont ces machines sont le siège, ont été examinés et mis en leur juste lumière dans les études que nous venons de mentionner ; aussi, en reprenant ce problème, nous ne prétendons nullement modifier les résultats acquis. Notre but est tout autre. Nous estimons d'une part qu'il peut être intéressant de résumer ici les idées fondamentales qui régissent le calcul des turbines à vapeur multiples, car ces machines, d'une importance pratique capitale, sont généralement mal connues dans leur ensemble. D'autre part, nous voulons montrer que certaines relations générales, très importantes pour la détermination rapide des dimensions principales des turbines multiples et considérées souvent comme des données empiriques, peuvent se calculer au moyen de déductions absolument rigoureuses. C'est donc à un exposé de l'ensemble de la question que nous allons nous appliquer en premier lieu en résumant les considérations qui se trouvent à la base des études sus-mentionnées, puis, quittant ce domaine connu, nous chercherons à mettre en évidence certains facteurs qui influent sur le rendement des turbines dont nous nous proposons l'examen, et finalement nous rechercherons les relations générales dont nous venons de parler et en ferons quelques applications.

Rappelons que l'on nomme turbine multiple à action une machine constituée, comme le montre le schéma de la fig. 1, par une série d'éléments comprenant chacun une partie fixe, ou distributeur, muni d'un certain nombre de tuyères — dans lesquelles la vapeur se détend d'une pression initiale déterminée à une certaine pression finale — suivie d'une roue mobile aux aubes de laquelle la vapeur ne fait que céder sans se détendre une partie de l'énergie cinétique acquise. La pression de la vapeur est donc la même en amont et en aval de

la roue mobile. Nous avons complété le schéma de la figure 1 par l'indication de différentes courbes. La première de ces courbes donne l'allure approximative des variations de la pression le long de la turbine ; nous avons tracé sur le même diagramme une portion d'une autre courbe donnant l'allure des variations de volume de la vapeur, courbe que nous avons désignée par la lettre v . Le second diagramme contient des courbes se référant à la variation de la chaleur totale contenue dans la vapeur le long de la turbine. Nous avons désigné par H_2 ces quantités de chaleur totale que nous aurons l'occasion de définir bientôt. Finalement un troisième diagramme renseigne sur les variations de la vitesse du fluide dans les différents étages de machine. Nous tenons à faire remarquer que les courbes tracées dans ces différents diagrammes ne sont destinées qu'à donner une idée des variations le long de la turbine des quantités qu'elles représentent et qu'elles n'ont nullement la prétention de montrer quantitativement les phénomènes qui ont lieu en réalité dans ce type de machines. D'ailleurs, le schéma de machine que nous avons adopté ne correspond pas à une construction moderne de turbine à vapeur à action, mais c'est à dessein que nous l'avons choisi ainsi. Dans les turbines de construction récente, on rencontre généralement un diamètre moyen unique des roues le long de toute la machine ; nous avons par contre indiqué un diamètre relativement faible pour les éléments de la haute pression et un diamètre relativement fort pour ceux de la basse pression. Ceci dans le but de conférer aux raisonnements qui vont suivre un caractère plus général ; nous reviendrons du reste sur cette question.

Différentes pertes affectent la production du travail mécanique dans l'ensemble de la turbine et, naturellement, dans chaque élément de celle-ci. Nous les mentionnons comme suit pour mémoire :

a) pertes dues aux frottements de la vapeur dans les organes distributeurs de chaque turbine élémentaire, dont l'effet est de diminuer la vitesse du fluide à la sortie de chaque distributeur par rapport à la valeur qu'elle aurait théoriquement (c'est-à-dire si ces pertes n'existaient pas) ;

b) pertes dues aux frottements de la vapeur dans les aubes mobiles de chaque élément, dont l'effet est de diminuer, dans chaque élément, la vitesse relative d'écoulement du fluide ;

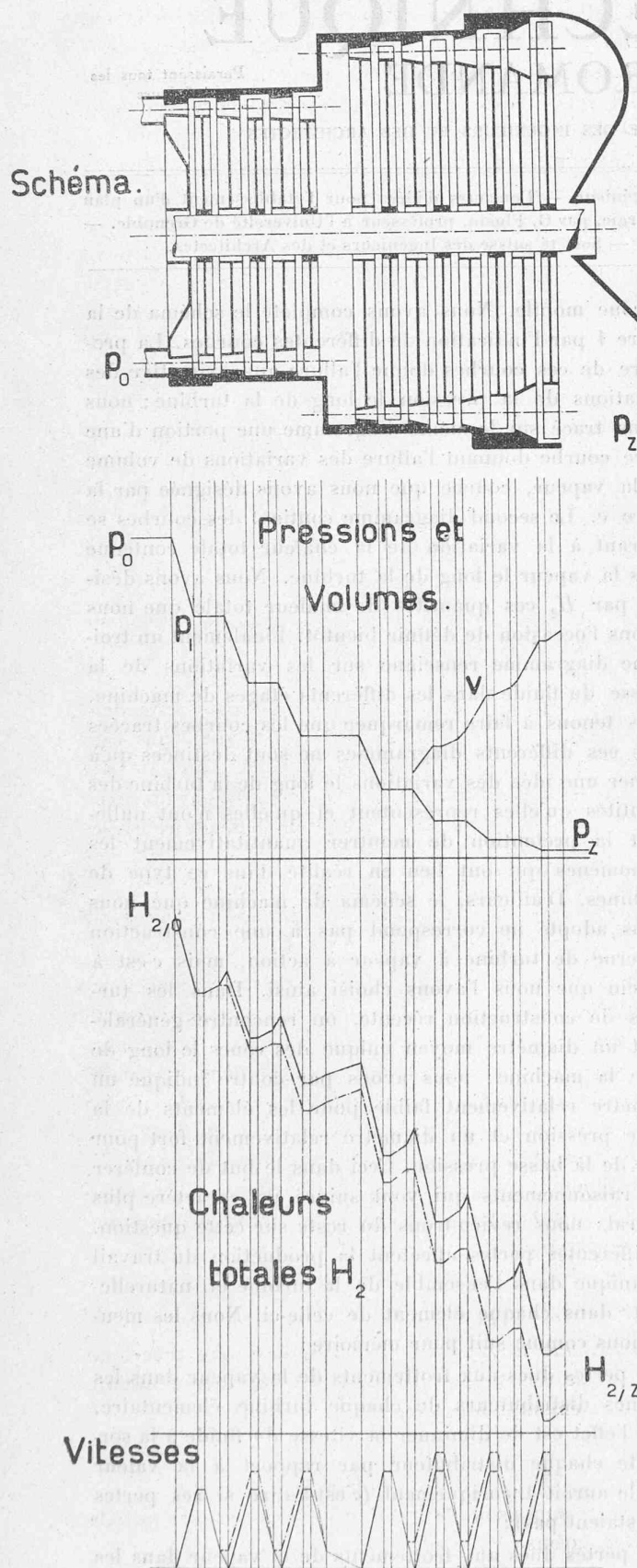


Fig. 1. — Schéma de turbine multiple à action et courbes approximatatives de fonctionnement.

c) pertes par choc à l'entrée de la vapeur dans les roues mobiles ;

d) pertes par vitesse restante dues au fait que la vapeur à la sortie de la roue mobile de chaque élément est animée d'une certaine vitesse absolue et possède par conséquent une certaine énergie cinétique ;

e) pertes dues aux frottements des disques dans la vapeur, de densité différente selon les éléments, dans laquelle ils tournent, et aux effets de ventilation provoqués par les ailettes qui ne sont pas traversées par le jet de vapeur ;

f) pertes d'ordre purement mécanique et pertes provenant de défauts d'étanchéité.

Quelques remarques au sujet de ces différentes pertes s'imposent. Leur effet immédiat et pratiquement le plus important est celui de diminuer le travail mécanique fourni par chaque élément de la machine et, par conséquent, par la turbine dans son ensemble, par rapport au travail théorique que l'on obtiendrait si la détente de la vapeur se faisait d'un bout à l'autre de la machine sans échange de chaleur et d'une façon réversible, si donc cette détente était adiabatique et réversible ou, autrement dit, isentropique. Mais cet effet immédiat n'est pas le seul qui nous intéresse. On sait que les frottements provoquent des dégagements de chaleur ; nous pouvons donc conclure par intuition que la chaleur contenue dans une quantité déterminée (l'unité de poids par exemple) du fluide moteur à l'extrémité aval d'une tuyère, ou à la sortie d'une roue mobile, sera plus grande que celle que le fluide même posséderait — toutes choses égales d'ailleurs — si les pertes spécifiées sous *a* et sous *b* ne se produisaient pas, soit si la transformation subie par le fluide moteur était isentropique. Un effet analogue résulte de la perte citée sous la lettre *e*. Par contre nous supposons que les pertes par choc mentionnées sous *c* sont nulles, ce qui revient à dire que nous admettrons que les aubes de chaque turbine élémentaire sont construites avec des angles d'entrée correspondant à ceux donnés par le diagramme des vitesses. Nous ne nous occuperons pas non plus des pertes mécaniques et des pertes par défaut d'étanchéité, pas plus d'ailleurs que de celles provenant du frottement des disques et de la ventilation des ailettes, dont les effets ont été rappelés ci-dessus, ce qui signifie que les recherches que nous allons faire se borneront au travail fourni aux aubes de chaque élément par la vapeur, par suite au rendement de la machine calculé aux aubes (et non sur l'arbre). Une perte au sujet de laquelle nous n'avons encore fait aucune remarque et qui cependant est d'une importance capitale pour ce qui concerne nos déductions est celle que nous avons désignée sous le nom de perte par vitesse restante et mentionnée à la lettre *d*. Il est évident que pour ce qui concerne un élément de la turbine examiné seul et sans tenir compte d'aucune relation avec les éléments voisins, l'énergie cinétique représentée par la vitesse restante est complètement perdue. Si nous désignons par

c_{th} la vitesse théorique d'écoulement de la vapeur en m/sec. — celle que l'on obtiendrait dans la section de sortie de chaque tuyère, à supposer que la construction de ces éléments soit convenablement établie et que les frottements y soient nuls — et par c_2 la vitesse absolue de sortie de la roue mobile, un élément pris seul sera toujours affecté, par kilogramme de vapeur qui le traverse, d'une perte $\frac{c_2^2}{2g}$ et son travail mécanique sera réduit, toujours par kilogramme, de $\frac{c_{th}^2}{2g}$ à $\frac{1}{2g} (c_{th}^2 - c_2^2)$ ou bien, si nous exprimons les travaux et les pertes en calories, à $\frac{A}{2g} (c_{th}^2 - c_2^2)$ avec $A = 1/427$. Mais cette énergie cinétique, si elle est complètement perdue pour l'élément seul, n'est par contre pas nécessairement convertie en chaleur par remous, tourbillons, etc. et nous pouvons la retrouver intégralement ou partiellement encore sous forme d'énergie cinétique à l'entrée du distributeur de la turbine élémentaire faisant suite à celle examinée. Il ne rentre pas dans le cadre de ce rapide exposé d'étudier comment il est possible d'éviter la transformation en chaleur de tout ou partie de l'énergie cinétique définie par $\frac{A}{2g} \cdot c_2^2$. Notons seulement que des dispositions constructives *ad hoc* facilitent certainement cette forme de récupération — il ne s'agit somme toute pas d'autre chose — et que le lecteur trouvera un exemple de poursuite systématique de ce but dans la construction de la nouvelle turbine multiple des *Ateliers Oerlikon*¹.

Cette notion de la récupération de l'énergie cinétique restante de chaque élément *sous forme d'énergie cinétique* ainsi établie nous nous proposons d'examiner quelle est son influence sur le rendement global aux

aubes d'une turbine multiple en considérant deux cas limites, à savoir celui pour lequel cette énergie cinétique est utilisée complètement comme telle et celui pour lequel cette même énergie est intégralement convertie en chaleur.

Pour compléter les indications relatives à la figure 1 remarquons que la courbe des chaleurs totales H_2 indiquée en trait plein se réfère au cas de la conversion en chaleur de l'énergie cinétique restante de chaque élément tandis que la courbe en traits-points se réfère au cas de l'utilisation de l'énergie cinétique de sortie de chaque élément comme énergie cinétique d'entrée dans l'élément suivant. Les mêmes conventions valent aussi pour les courbes relatives aux vitesses.

Rappelons maintenant quelques notions fondamentales indispensables à la compréhension de ce qui va suivre. Ce que nous avons désigné sous le nom de quantité de chaleur totale est défini par l'équation :

$$dH_2 = T \cdot dS + A \cdot v \cdot dp \dots (1)$$

dans laquelle

dH_2 = variation élémentaire de la quantité de chaleur totale;

T = température absolue ($273 + t^0$ cent.);

dS = variation élémentaire de l'entropie (cette dernière quantité pouvant être définie, sous certaines restrictions, par $dQ = T \cdot dS$ où dQ est la quantité de chaleur échangée par un corps subissant une transformation élémentaire réversible);

v = volume spécifique du corps considéré;

dp = variation élémentaire de la pression exercée sur le corps.

Cette équation est établie avec certaines restrictions bien déterminées dans l'énumération desquelles nous ne pouvons entrer ici. Ce qui nous intéresse par contre c'est que l'on démontre facilement que l'énergie cinétique acquise par un fluide élastique se détendant entre deux états définis par des valeurs de p et de T par exemple est donnée par la différence des valeurs de H_2 correspondantes à chacun de ces deux états. Si la transformation subie par la vapeur est isentropique nous avons simplement

$$dH_2 = A \cdot v \cdot dp$$

soit en intégrant $\Delta H_2 = A \int v \cdot dp$

ce qui donne la valeur de l'énergie cinétique théorique à la sortie des tuyères en supposant la vitesse initiale de l'écoulement nulle, donc

$$\Delta H_2 = \frac{A}{2g} c_{th}^2.$$

Si nous supposons le fluide doué d'une vitesse initiale c' nous aurons

$$\Delta H_2 = \frac{A}{2g} (c_{th}^2 - c'^2).$$

L'équation (1) montre en outre que pour représenter graphiquement les phénomènes qui se passent dans une

¹ Puisque nous avons été amenés à parler d'une exécution pratique de turbine à vapeur multiple à action, il nous semble intéressant de rappeler très rapidement que la première machine du genre fut étudiée par M. Rateau. Les *Ateliers de construction Oerlikon*, licenciés de M. Rateau, furent, pendant un certain temps, les seuls constructeurs suisses de turbines multiples à action, puis les *Ateliers Escher, Wyss & Cie*, à Zurich, se lancèrent aussi sur cette voie en réalisant la turbine conçue par leur directeur, M. Zölly, et connue sous le nom de son auteur. De nombreuses firmes se groupèrent en vue de développer rationnellement la construction de cette dernière turbine et constituèrent le syndicat connu sous le nom de « Syndicat Zölly » et auquel appartiennent de grandes Maisons d'un peu tous les pays. L'histoire de ce type de turbines comprend aussi une série de contestations au sujet de brevets sur lesquelles il est inutile d'insister ici. Il y a quelques années les *Ateliers Oerlikon*, abandonnant leur construction primitive, réalisèrent la turbine citée, dont l'apparition sur le marché donna lieu à de nombreuses polémiques et qui peut être caractérisée par la circonstance à laquelle nous avons fait allusion. Nous devons cependant noter que si la poursuite systématique de la récupération de c_2 sous forme de vitesse d'entrée n'est pas un caractère dominant des autres systèmes de turbines à action mentionnés, les résultats obtenus par leurs constructeurs ne semblent pas différer, pour autant que les comparaisons sont possibles, au point de vue consommation, de ceux obtenus par les *Ateliers Oerlikon* : nous ne pouvons pas nous étendre ici sur les considérations que pourrait inspirer cette dernière remarque.

turbine à vapeur simple ou multiple nous pouvons nous servir de diagrammes ayant comme coordonnées par exemple S et T ou H_2 et S^1 . Comme de coutume dans les études relatives aux turbines à vapeur nous nous servirons des deux diagrammes mentionnés en laissant de côté toute représentation dans un espace $p - v$ qui ne présente aucun intérêt pour ce genre de machines, si ce n'est à titre comparatif et d'explication élémentaire.

Ces quelques renseignements préliminaires sont, par la force des choses, bien incomplets et ne possèdent pas toute la rigueur voulue, mais nous ne saurions entrer dans plus de détails et insister encore sur ces questions, sans allonger outre mesure cette introduction déjà par trop longue à notre gré.

(A suivre).

Concours d'idées pour l'établissement d'un plan général d'extension de Leysin.

Rapport du Jury.

(Planche 14.)

Monsieur le Syndic et Messieurs,

Le concours d'idées pour l'établissement du plan général d'extension de votre commune a fait éclore douze projets qui, réserve faite de leur conception générale, témoignent pour la plupart d'une étude sérieuse de la part des concourants et présentent dans leur ensemble le plus grand intérêt.

Le Jury rend hommage au travail consciencieux accompli par la grande majorité des auteurs de ces projets dont quelques-uns sont présentés d'une façon remarquable; mais il doit constater qu'un certain nombre de concourants ont cru pouvoir s'abstenir d'envisager l'une ou l'autre des questions posées dans le programme de concours ou n'ont traité ces questions que d'une façon par trop sommaire.

C'est le cas, en particulier, en ce qui concerne les voies secondaires destinées à la dévestiture des terrains à bâtir, l'aménagement des quartiers, soit le groupement des constructions de même genre, l'emplacement des édifices publics et les installations d'utilité générale désignées sous chiffres 9, 10, 11 et 12 à l'art. 4 du programme de concours².

Cette circonstance a motivé l'élimination de quelques projets intéressants sous d'autres rapports.

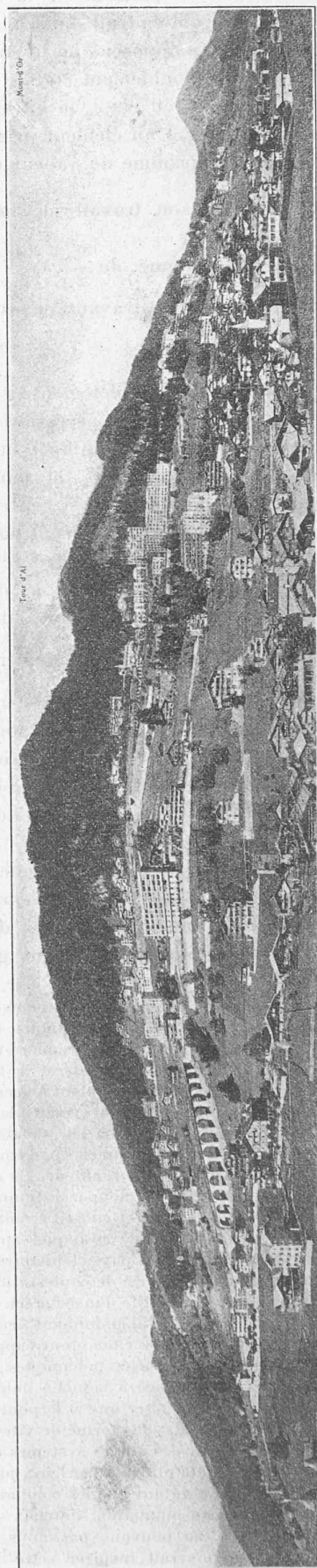
Le Jury a procédé tout d'abord à une vérification purement technique en examinant, l'un après l'autre, chaque projet, spécialement en ce qui concerne le tracé et le profil en long des diverses voies. D'une manière générale, ces profils en long ont été établis avec exactitude et présentent des pentes admissibles pour des routes de montagne.

Après cette vérification, le Jury a examiné à fond chaque projet en tenant compte, par ordre d'importance, des facteurs suivants :

- a) conception générale;
- b) étude du réseau des voies à construire ou à modifier;
- c) aménagement des quartiers;

¹ La quantité que nous avons désignée par H_2 est souvent notée dans la littérature technique par les lettres I ou λ ; nous avons adopté la notation H_2 uniquement parce que cette quantité rentre dans un système de 4 quantités jouissant toutes, au point de vue thermodynamique, de propriétés semblables et que nous désignons, en conséquence, toutes par H flanqué d'indices différents.

² Voir *Bulletin technique* du 27 janvier 1917, p. 22 et le plan de situation, page 178 du précédent numéro.



Vue de Leysin.