Remarquons que :

$$b = \frac{a}{\Omega} = \frac{R_2}{L_2\Omega}$$

II. *Caractéristique mécanique rapportée à ω'.* — Un changement intuitif d'axes donne cette nouvelle caractéristique mécanique.

(*A suivre.*) L. Barbillion et F. Claret.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE

LES TURBINES A VAPEUR

DESCRIPTION ET CLASSIFICATION

A la fin de l'année 1910, on pouvait compter comme turbines à vapeur en fonctionnement : près de 1 000 turbines Rateau ou du genre Rateau, telles que les turbines Oerlikon et les turbines Zoelly ; presque autant de turbines de la Société d'électricité A. E. G. de Berlin ; et un nombre un peu plus grand de turbines Brown-Boveri-Parsons.

Le nombre total des turbines, établies suivant le système Parsons, dépassait à cette date 2 500 unités.

Sans compter les turbines de Laval, très répandues actuellement mais ne représentant que des machines d'assez faible puissance, on peut dire qu'il est déjà sorti des usines de construction de l'Europe seulement plus de 5 000 turbines à vapeur.

A ce chiffre, il faudrait ajouter les turbines marines qui sont déjà très répandues puisque, pour le système Parsons seulement, la puissance des turbines, employées à la propulsion des navires, dépasse actuellement 4 300 000 HP.

Ces chiffres sont assez éloquents par eux-mêmes et montrent suffisamment le développement considérable pris ces dernières années par les turbines à vapeur.

Presque toutes ces machines sont de grande puissance et la plupart peuvent donner plusieurs milliers de chevaux. Les turbines de 10 000 HP sont actuellement de construction courante et celles de 20 000 HP ne sont pas rares. Nous avons eu l'occasion, l'année passée, d'en voir quelques-unes en montage dans les ateliers de la Société A. E. G., à Berlin. Elles étaient destinées à une grande Centrale du Sud de l'Afrique qui devait recevoir sept unités de 20 000 HP pour fournir la force motrice à toutes les mines du Transvaal. Au moment de notre visite, les Ateliers de l'A. E. G. avaient à l'étude une turbine de 30 000 HP pour une puissante Centrale de Berlin.

Cependant, toutes les turbines Rateau, Zœlly, Brown-Boveri, A. E. G., Curtis, etc., sont postérieures à 1900. Avant cette date, on ne connaissait guère que les turbines Parsons et celles de Laval.

La Maison Sautter Harlé a commencé la construction des turbines Rateau vers 1897-1898 et les premières turbines essayées ont été des machines marines. Mais ce n'est qu'en 1902 que M. Rateau a mis en marche, aux Mines de Bruay, sa première turbine à terre, qui est restée célèbre parce qu'elle était également la première utilisant la vapeur d'échappement d'une machine à piston. Le fonctionnement de cette turbine fut d'ailleurs des plus satisfaisants.

Au commencement de 1905 seulement, sortirent des Ateliers Escher Wyss, à Zurich, les premières turbines étudiées par M. Zœlly, directeur de ces Ateliers. Ces turbines, qui sont en principe semblables à celles de M. Rateau, se sont répandues rapidement grâce à leur excellente fabrication. Elles sont actuellement construites en France par MM. Schneider et Cie, au Creusot, la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques et la Société de l'Horme et de la Buire.

MM. Brown-Boveri et Cie n'ont obtenu la licence, pour la construction des turbines Parsons, qu'en 1900, et les premières turbines construites à Baden datent du début de 1901.

Enfin, la Société d'Electricité A. E. G., de Berlin, ne commença à s'occuper des turbines à vapeur que vers 1902-1903 et construisit d'abord les turbines des professeurs Riedler et Stumpf qu'elle ne tarda pas à abandonner pour adopter exclusivement son type actuel qui date de 1904. C'est pendant cette même année qu'elle acheva, à Berlin, l'aménagement de sa grande fabrique de turbines qui occupe actuellement plus de 3 500 ouvriers travaillant jour et nuit en trois équipes.

Depuis longtemps, les inventeurs ont étudié les turbines à vapeur, et en particulier, dès 1853, l'ingénieur français Tournaire donnait d'une façon très précise les règles à suivre pour établir une turbine à réaction ; mais ce sont surtout quatre ingénieurs, dont il est à peine besoin de rappeler ici les noms : Parsons, de Laval, Rateau et Curtis, qui ont contribué à rendre ces machines vraiment industrielles.

Les difficultés à surmonter ont été considérables et, malgré tout le talent et la ténacité des inventeurs précédents, il n'aurait pas été possible de parvenir aux résultats actuels sans les progrès récents de la mécanique et surtout de la métallurgie.

Il est bon d'observer aussi que le succès des turbines à vapeur est dû en grande partie à l'électricité et que, sans elle, les applications des turbines auraient été assez restreintes, surtout pour les grandes puissances. Il est juste de remarquer également que les électriciens ont eu à résoudre alors des problèmes au moins aussi difficiles que ceux que les constructeurs de turbines sont parvenus à solutionner.

Pour les turbo-alternateurs et surtout pour les turbo-dynamos, les électriciens, en effet, ont eu bien souvent, c'est le cas de le dire, du fil à retordre. Cela se conçoit facilement. Les machines électriques sont composées des matières les plus diverses : acier, cuivre, isolant, et leur manque d'homogénéité donne lieu à des difficultés certainement beaucoup plus grandes, à cause de la force centrifuge, que dans le cas des turbines à vapeur. Si l'on ajoute à cela que ces machines, devant fournir une très grande puissance sous un faible volume, chauffent souvent beaucoup plus qu'on ne le voudrait et que les échauffements successifs déterminent des déformations que rendent difficiles à éviter le manque d'homogénéité de l'ensemble et surtout la présence des isolants, on s'explique alors facilement pourquoi les éclatements des machines électriques ont été plus fréquents que ceux des turbines et pourquoi ces éclatements sont actuellement encore plus à redouter pour les alternateurs et les dynamos que pour les turbines. Aussi, ne peut-on que trouver très justifiée la sage précaution, prise par certains constructeurs comme la société A. E. G. et la Maison Siemens Schuckert, d'installer des locaux spéciaux, ordinairement souterrains et garnis de solides madriers, dans lesquels les machines essayées à l'emballement peuvent éclater tout à leur aise sans gêner personne.

Actuellement, les turbo-alternateurs sont construits d'une façon courante par un grand nombre de maisons et l'on parvient normalement à établir des machines très puissantes tournant à très grande vitesse. Il est possible, par exemple, de faire des turbo-alternateurs de 3 000 et même 3 500 kilo-

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1912020

volts-ampères, tournant à 3 000 tours par minute, ou bien de 7 500 K. V. A. fonctionnant à une vitesse de 1 500 tours.

Quant aux turbo-dynamos, les difficultés rencontrées sont encore plus considérables et c'est à peine si actuellement en Europe quatre ou cinq constructeurs peuvent montrer plusieurs de ces machines en fonctionnement satisfaisant.

Dans les turbines à vapeur, la source des principales difficultés provient de la vitesse énorme prise par la vapeur en se détendant.

De la vapeur à 10 kgs de pression, surchauffée à 250°, s'écoulant par une tuyère dans un condenseur où l'on peut très facilement obtenir une pression absolue de 0,1 kg., acquiert une vitesse de 1 200 mètres par seconde.

Les vitesses considérables de la vapeur exigent des roues tournant avec une très grande rapidité et donnant lieu à une puissance perdue par frottement importante puisque cette perte est proportionnelle au cube de la vitesse de la vapeur.

Turbines à action

Turbines à plusieurs étages de vitesse

Pour utiliser l'énergie cinétique de la vapeur, on peut n'employer qu'une seule roue, comme dans les turbines de Laval, mais on est obligé alors de la faire tourner jusqu'à 30 000 tours par minute et d'admettre des vitesses tangentielles qui dépassent 400 mètres par seconde.

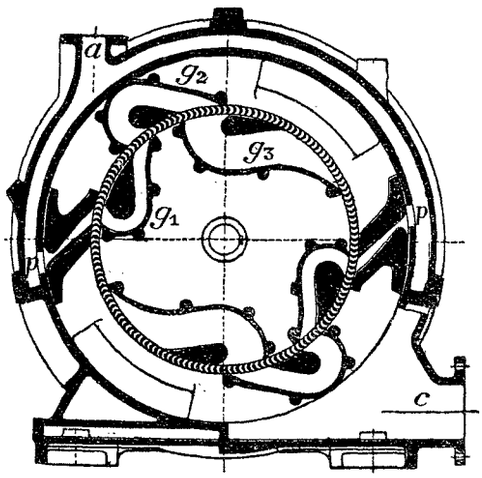


Fig. 1. — *Turbine Electra*
a. Arrivée de la vapeur.
p. Tuyères pour la détente de la vapeur.
g_1, g_2, g_3 Clarinettes ramenant la vapeur sur la roue
c. Ecnappement au condenseur.

Il est possible de réduire la vitesse de rotation de la turbine en faisant agir la vapeur successivement sur plusieurs roues, ainsi que le proposait Curtis dans un brevet pris en 1895. On peut également obliger la vapeur à revenir plusieurs fois sur la même roue comme dans les turbines Riedler et Stumpf, construites autrefois par l'A. E. G., ou comme dans la turbine Electra, imaginée par l'ingénieur Kolb, de Karlsruhe, et construite en France par la Compagnie Générale Electrique de Nancy. Dans cette turbine, le retour de vapeur se fait au moyen de pièces fixes en forme d'U appelées clarinettes, qui ramènent jusqu'à trois fois la vapeur sur la même roue.

De telles turbines sont dites *à étages de vitesse*.

Turbines à plusieurs étages de pression

Mais les grandes vitesses de vapeur ne sont admissibles que pour les faibles puissances parce qu'elles conduisent à de trop fortes consommations de vapeur à cause des pertes par frottement.

Lorsqu'on aborde les grosses unités, pour pouvoir lutter avec les machines à piston si perfectionnées à l'heure actuelle, on est obligé de limiter la vitesse de la vapeur et, pour cela, de faire des détentes successives.

On est donc conduit à employer en quelque sorte plusieurs turbines élémentaires calées sur le même arbre, ou même séparées par groupe, et n'utilisant chacune qu'une petite chute de pression.

Ainsi, au-dessus de 100 HP et jusqu'à 300 HP, la Maison Breguet, qui construit la turbine de Laval, divise la chute de pression en deux parties et fait agir la vapeur sur deux roues différentes. La première roue, par exemple, utilisera une chute de pression de 12 kgr. à 2 kgr. et la seconde de 2 kgr. à la pression du condenseur. Il en est de même des turbines Electra entre 50 et 1 000 HP et des turbines de moyenne puissance des Ateliers Oerlikon, de la Société A. E. G., etc...

Mais deux chutes de pression ne sont admissibles que pour les moyennes puissances, et au-delà il est indispensable de diviser davantage la détente de la vapeur et d'augmenter ce que l'on appelle les étages de pression, d'autant plus que, si l'on admet pour chaque turbine élémentaire la même puissance à produire, la vitesse de la vapeur ne se trouve pas divisée par le nombre d'étages de pression, mais par la racine carrée de ce nombre d'étages.

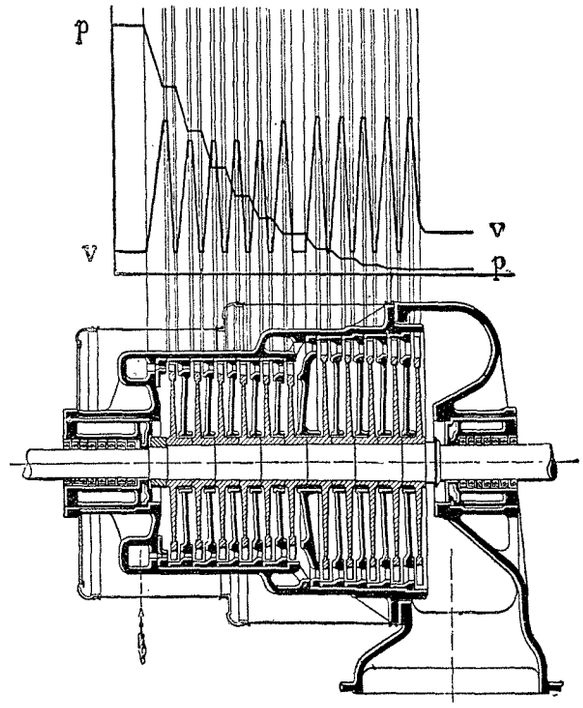


Fig. 2. — *Turbine Rateau*
p. Pression de la vapeur dans les différentes parties de la turbine.
v. Vitesse de la vapeur.

Ainsi, en adoptant 9 étages de pression, pour passer de 10 kgr. à 0,1 kgr., la vitesse de la vapeur, au lieu d'être de 1 200 mètres comme pour une détente unique, serait environ de $1\,200 : \sqrt{9} = 400$ mètres pour chaque étage.

Dans les turbines Rateau et Zœlly, par exemple, les vitesses de vapeur ne dépassent pas en général 350 à 400 m.

On voit donc que si l'on veut obtenir des vitesses de vapeur relativement faibles, il est nécessaire d'augmenter beaucoup le nombre d'étages de pression. Ce nombre d'étages sera d'autant plus grand que la puissance sera plus considérable. Ainsi, les turbines Zoelly possèdent ordinairement :

10 étages de pression	de 200 à 1 300 HP	pour	3 000	tours,
16 —	— jusqu'à 5 000 HP	—	1 500	—
20 —	— de 5 000 à 8 000 HP	—	1 000	—

A chaque turbine élémentaire, c'est-à-dire à chaque étage de pression, pourra ne correspondre qu'un seul étage de vitesse si l'écoulement de la vapeur n'est pas trop rapide par suite de l'adoption d'un grand nombre d'étages de pression.

C'est le cas de la turbine Rateau et des turbines semblables Oerlikon et Zoelly.

Mais si l'on veut, pour simplifier la turbine, n'admettre qu'un petit nombre d'étages de pression, on est alors obligé, pour ne pas avoir de trop grandes vitesses de rotation, d'employer plusieurs étages de vitesse par chute de pression. C'est ce qui a lieu pour les turbines Curtis, construites principalement en Amérique par la General Electric Company et en France par la Compagnie Thomson-Houston.

Il est prudent, cependant, de ne pas trop réduire le nombre des étages de pression parce que les consommations de vapeur peuvent devenir exagérées ; bien des constructeurs ont dû, après expérience, admettre ensuite un nombre d'étages de pression supérieur à celui qu'ils avaient d'abord choisi dans le but de réduire le prix de leurs turbines.

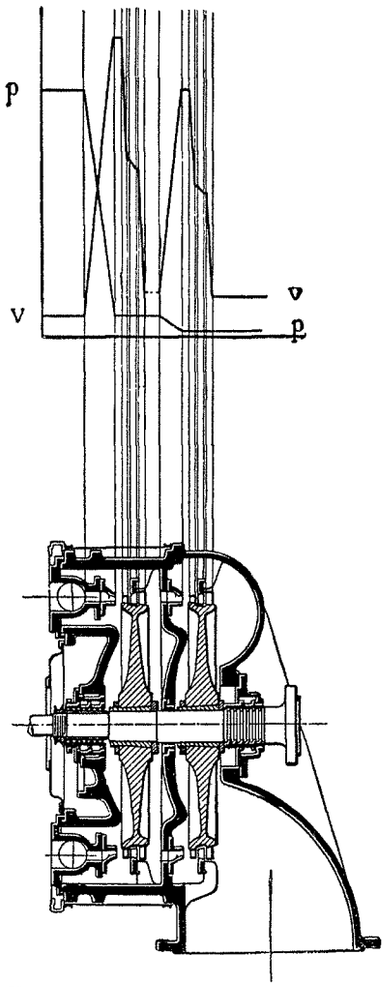


Fig. 3. — *Turbine du Type Curtis*
A 2 étages de pression et à 2 étages de vitesse par étage de pression.
p. Pression de la vapeur.
v. Vitesse de la vapeur.

On peut également, on verra dans la suite pour quelle raison, admettre de fortes chutes de pression et par suite de grandes vitesses de vapeur dans la partie à haute pression de la turbine et n'avoir ainsi, au début, qu'un petit nombre d'étages de pression possédant chacun plusieurs étages de vitesse. On réduit ensuite dans la partie basse pression la vitesse de la vapeur en adoptant un grand nombre d'étages de pression ne possédant chacun qu'un étage de vitesse.

C'est ce que fait la Société A. E. G., qui construit une turbine à action, à nombre réduit d'étages de pression, chacun d'eux pouvant contenir, suivant les besoins, plusieurs étages de vitesse dans la partie haute pression.

La turbine A. E. G. est en réalité une turbine Curtis dans la partie haute pression et se rapproche de la turbine Rateau pour la partie basse pression.

Inconvénient des turbines à plusieurs chutes de pression Turbines à disques et turbines à tambour

En employant ainsi plusieurs petites turbines élémentaires, correspondant chacune à une chute de pression, on gagne bien l'avantage de réduire considérablement la vitesse de la vapeur et, par suite, les pertes par frottement, mais cet avantage est compensé, en partie, par quelques inconvénients.

Tout d'abord, la machine est plus compliquée et plus coûteuse puisque, au lieu de ne faire qu'une seule roue, on doit en réalité construire plusieurs petites turbines.

D'autre part, la pression étant différente dans chaque petite turbine élémentaire, on est obligé de prévoir des presse-étoupes à chaque étage de pression pour éviter les fuites de vapeur d'une turbine dans l'autre, fuites qui peuvent augmenter considérablement la consommation de vapeur.

Dans les turbines du genre Rateau, plusieurs disques munis d'ailettes sont calés sur le même arbre et correspondent chacun à un étage de pression. Entre ces disques mobiles se trouvent des disques fixes ou diaphragmes en fonte ou en acier à la périphérie desquels sont percés des orifices pour faire écouler la vapeur et former distributeur. Ces diaphragmes entourent l'arbre avec un jeu très faible et des canelures de façon à jouer le rôle de véritables presse-étoupes

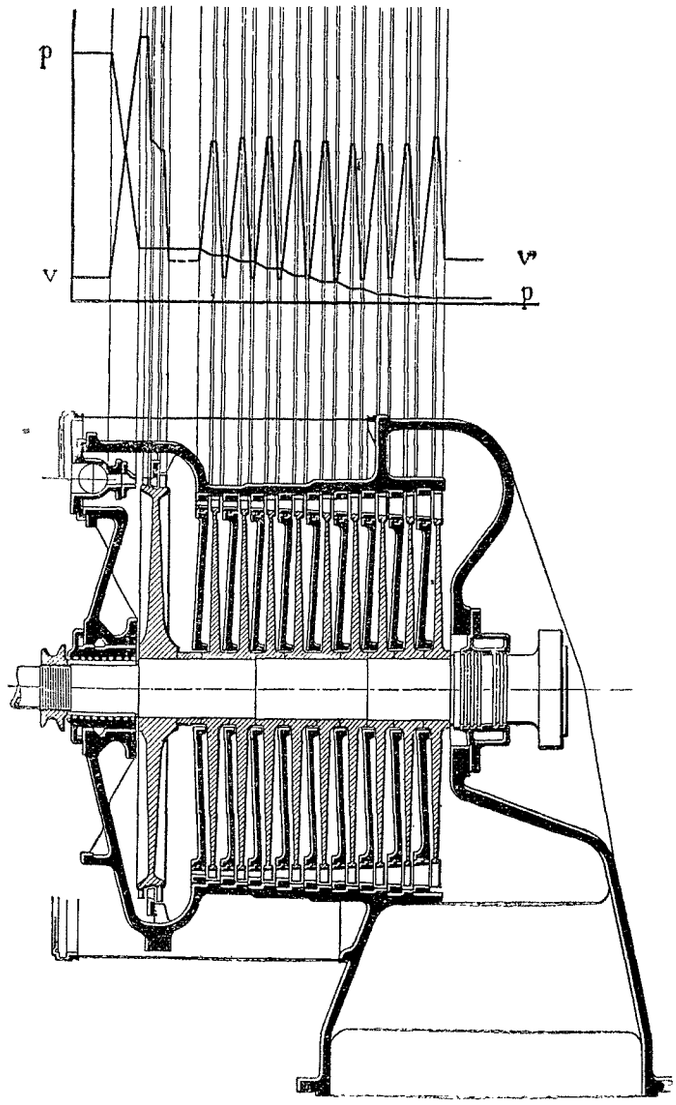


Fig. 4. — *Turbine A.E.G.*
p. Pression de la vapeur. — *v*. Vitesse de la vapeur.

mais sans partie frottante. Entre les deux faces de ces disques, à cause de la détente de la vapeur dans le distributeur, il existe une différence de pression qui détermine des efforts considérables pouvant faire voiler ces disques et qui donne lieu à des fuites de vapeur au passage de l'arbre.

Avec l'emploi d'un très grand nombre d'étages de pression, on a également l'inconvénient d'augmenter les surfaces de frottement de la vapeur et, si les pertes dues au frottement de la vapeur dépendent de la vitesse, elles sont aussi proportionnelles à la surface. En outre, les disques tournant dans la vapeur, donnent lieu à des pertes par frottement très sensibles et ces pertes qui sont proportionnelles au poids spécifique de la vapeur sont d'autant plus importantes que la pression est plus élevée.

Afin de réduire ces pertes et aussi pour simplifier la construction des turbines, on a proposé de disposer toutes les aubes fixes et mobiles sur deux cylindres concentriques. C'est pour ces raisons que les Maisons Breguet et Dujardin de Lille ont adopté cette disposition. Leurs turbines sont du genre Rateau, c'est-à-dire à étages de pression avec un seul étage de vitesse par étage de pression, mais les disques mobiles sont remplacés par un tambour muni d'ailettes tournant à l'intérieur d'un tambour fixe portant également des ailettes destinées à former distributeur.

Si l'on peut éviter ainsi les inconvénient des disques, l'on a par contre d'autres désavantages. D'abord les fuites de vapeur sont relativement beaucoup plus importantes parce que, au lieu de se produire autour de l'arbre, elles ont lieu à la surface d'un tambour, c'est-à-dire sur une plus grande

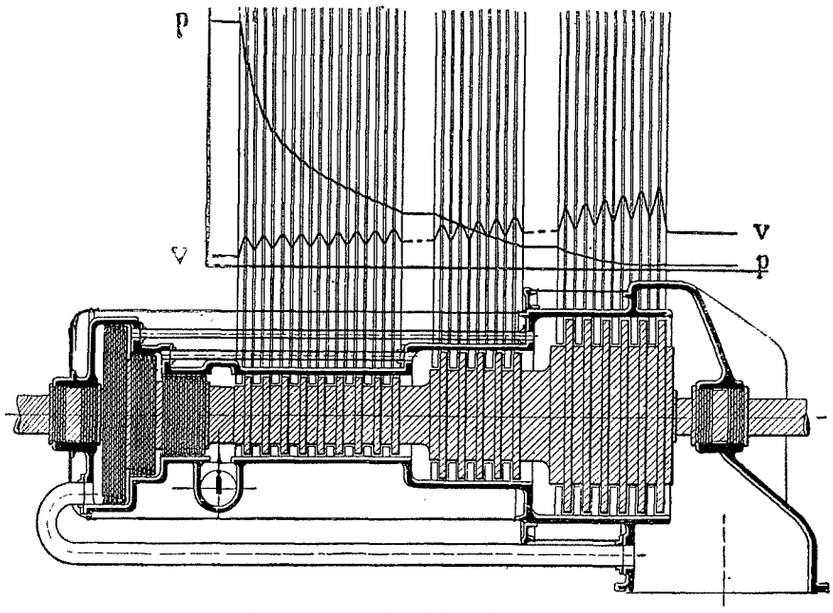


Fig. 5. — *Turbine Parsons*
p. Pression de la vapeur — *v*. Vitesse de la vapeur.

circonférence. Pour réduire ces fuites, on est obligé d'adopter un nombre d'étages de pression relativement plus considérable que dans le cas des turbines à disques. D'ailleurs, les constructeurs des turbines à tambour emploient aussi parfois à l'entrée de leur turbine, dans la partie à haute pression, le système à disques lorsque, le débit de la vapeur étant faible, il est nécessaire de réduire les fuites au minimum possible.

D'autre part, comme la vapeur au début de la turbine est sensiblement à la pression de la chaudière, tandis qu'à l'extrémité elle se trouve être à la pression du condenseur, il existe donc entre les deux faces du tambour une très grande différence de pression produisant, suivant l'arbre, une forte poussée qu'il faut pouvoir équilibrer. Cette poussée peut d'ailleurs, dans certains cas, être avantageuse, comme par exemple dans les turbines marines où elle est utilisée à contrebalancer la réaction des hélices ; aussi, beaucoup de constructeurs adoptent-ils la forme en tambour pour la partie basse pression de leurs turbines marines.

Dans toutes les turbines précédentes, la vapeur agit par impulsion. Les chutes de pression se produisent entièrement dans des distributeurs fixes d'où la vapeur s'échappe avec toute sa vitesse pour venir frapper les aubes mobiles qui tournent dans un milieu à pression constante.

Ces turbines sont dites *à action*.

Turbines à réaction

Dans le but de réduire encore davantage la vitesse de la vapeur afin de diminuer les pertes par frottement et supprimer toute usure des aubes, on peut, au lieu de faire détendre la vapeur par étages dans les distributeurs seulement, admettre également une chute de pression dans les aubes mobiles et réaliser ainsi dans toute la turbine une détente progressive et continue de la vapeur depuis la chaudière jusqu'au condenseur.

En se détendant dans les aubages mobiles, la vapeur agit alors par *réaction*. Parsons, on le sait, est le premier qui soit parvenu, après bien des efforts, à mettre au point la turbine à réaction qu'il étudiait depuis 1884. Il a créé, pour cela, des dispositifs qui sont restés classiques.

Avec le système à réaction, la vitesse de la vapeur peut être très réduite et, dans les turbines Parsons, elle ne dépasse pas ordinairement 100 mètres par seconde ; la vitesse tangentielle des aubes mobiles peut donc être relativement faible. Par contre, on se trouve en présence de très grosses difficultés provenant surtout de ce que, la détente de la vapeur se faisant dans les aubes mobiles, il existe une différence de pression entre les deux côtés de ces aubes et il en résulte : Une poussée suivant l'arbre ; Des fuites de vapeur se produisant entre les aubes mobiles et la partie fixe ; L'obligation d'employer l'injection totale pour éviter les pertes trop grandes qui se produiraient inévitablement dans les aubes mobiles avec l'injection partielle par suite des fuites et du tourbillonnement de la vapeur.

La *poussée suivant l'arbre*, qui était au début un des gros inconvénients des turbines à réaction, est à l'heure actuelle facilement contrebalancée soit par les pistons équilibreurs bien connus, imaginés par Parsons (fig. 5), soit plutôt maintenant par l'emploi de turbines doubles (fig. 7 et 8), ou par l'inversion du sens d'écoulement de la vapeur lorsque celle-ci passe à la partie basse pression (fig. 6), ou par la disposition du tambour mobile qui est prévu de telle

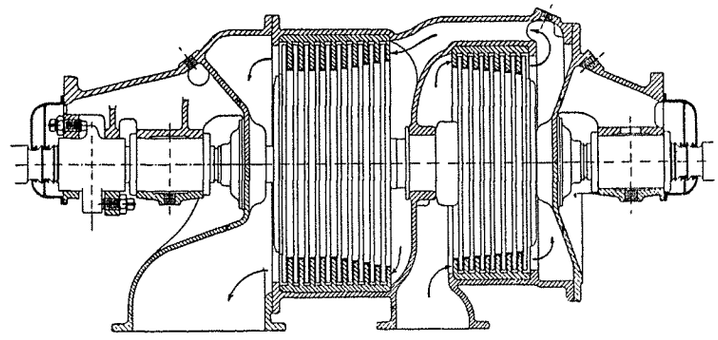


Fig. 6. — *Turbine à tambour Bréguet*
Avec inversion du sens d'écoulement de la vapeur.

façon que la vapeur, agissant sur le fond de ce tambour, puisse équilibrer la poussée de la vapeur sur les ailettes (Brown-Boveri), ou au moyen d'un piston contre lequel agit de l'huile sous pression (Sulzer), ou enfin par un simple palier de butée qui peut être suffisant dans les turbines mixtes ou combinées.

De même que pour les turbines à action, la poussée suivant l'arbre peut être utilisée pour équilibrer la réaction des hélices et la Société A. E. G., par exemple, emploie

exceptionnellement dans ce but le tambour à réaction pour la partie basse pression de ses turbines marines.

Les *fuites de vapeur avec les turbines à réaction* se produisent aussi bien entre les arbres mobiles et le cylindre fixe que dans le distributeur entre les ailettes fixes et le tambour mobile. Ces fuites dépendent de la section offerte inutilement au passage de la vapeur, du rapport des pressions existant à l'entrée et à la sortie des aubes fixes ou mobiles et aussi du poids spécifique de la vapeur, de sorte qu'elles sont relativement moins importantes dans la partie basse pression de la turbine que dans la partie haute pression.

Pour *réduire la section de passage* correspondant aux fuites, on a été amené à n'admettre qu'un jeu très faible, ne dépassant pas parfois 4/10e à 5/10e de millimètre entre la partie fixe et la partie mobile. Il en est résulté, trop souvent, des contacts entre le rotor et le stator déterminant ce que l'on appelle *une salade d'ailettes*.

Afin de *diminuer le plus possible le rapport des pressions*, on a dû adopter un très grand nombre d'étages de pression. Les turbines Parsons renferment souvent plus de 160 rangées d'aubes fixes et mobiles disposées les unes à la suite des autres et représentant autant de chutes ou d'étages de pression. Avec un aussi grand nombre de rangées d'aubes, on ne peut songer évidemment à adopter les disques mobiles et les diaphragmes fixes des turbines du genre Rateau, aussi l'emploi du tambour est-il dans ce cas obligatoire.

L'importance des fuites dans les turbines Parsons a été exagérée et d'ailleurs celles-ci existent aussi dans les turbines à action. Avec les turbines mixtes ou combinées actuelles, les jeux entre les parties fixes et mobiles pouvant être suffisamment grands, les salades d'ailettes ne sont pour ainsi dire plus à craindre.

L'obligation de faire l'injection totale constitue certainement le plus grave inconvénient des turbines à réaction. Dans le cas, en effet, des faibles puissances, pour la partie haute pression, la vapeur n'exigeant qu'une section d'écoulement relativement très réduite, on est d'abord obligé de diminuer énormément la hauteur des aubes qui n'atteignent plus que quelques millimètres, ce qui, même avec de très faibles jeux, conduit à des fuites de vapeur relativement importantes, ensuite il est indispensable de n'adopter pour le tambour qu'un diamètre très petit ; il en résulte une faible vitesse tangentielle et par suite l'obligation d'admettre un grand nombre d'étages de pression pour que la vitesse de la vapeur ne soit pas trop grande par rapport à la vitesse tangentielle. La partie à haute pression de la turbine ne fournit donc que peu de puissance et dans des conditions assez mauvaises à cause de l'importance des fuites et des pertes par frottement.

Turbines mixtes ou combinées à action et à réaction

La turbine à action, avec l'injection partielle est évidemment bien supérieure dans ce cas ; aussi les constructeurs de la turbine Parsons, notamment la Société Westinghouse d'Amérique, la première dès 1904, et MM. Brown-Boveri et Cie ensuite, ont-ils été amenés à adopter le système à action au commencement de leur turbine pour la partie à haute pression et à créer un type dit *mixte* ou *combiné*.

Ces constructeurs emploient même, comme partie à action, une roue Curtis, c'est-à-dire une roue possédant ordinairement deux et quelquefois trois étages de vitesse, afin de pouvoir réaliser, dès le début, une très forte chute de pression et amener immédiatement la vapeur dans la première chambre de la turbine à une pression relativement faible presque égale souvent à la pression atmosphérique. Le presse-étoupe du côté haute pression se simplifie alors beaucoup et, la température de la vapeur étant suffisamment abaissée par suite de la forte détente, on n'a pas à redouter, même dans le cas de fortes surchauffes de la vapeur, des dilatations dangereuses pouvant déterminer des contacts entre parties fixes et mobiles comme cela peut arriver lorsque, avec une faible détente de la vapeur au début de la turbine, il se produit de grands changements de température provenant des variations brusques de charge.

D'autre part, la roue à action, en supprimant un grand nombre d'étages de pression du tambour Parsons, permet de réduire sensiblement la poussée suivant l'arbre ainsi que la longueur de la turbine qui est relativement grande dans les turbines entièrement à réaction.

L'emploi de la roue Curtis dans la partie haute pression est d'autant plus justifiée, malgré les pertes assez fortes par frottement de la vapeur qu'elle peut occasionner, que la plus grande partie de la puissance contenue dans la vapeur peut être fournie par le tambour basse pression et qu'il est donc possible de sacrifier un peu le rendement dans la haute pression pour se rattraper ensuite dans la basse pression.

La Maison Brown-Boveri adopte encore exclusivement le système à réaction toutes les fois que le débit de vapeur est suffisamment considérable pour permettre d'employer des longueurs d'ailettes assez grandes. Ce sera par exemple le cas des turbines utilisant la vapeur à basse pression s'échappant des machines à piston ou des turbines à contre-pression dont la consommation de vapeur est relativement considérable. On voit ainsi que MM. Brown-Boveri et Cie n'hésitent pas à recourir uniquement au tambour à réaction toutes les fois que son emploi est pratiquement possible et qu'ils ne paraissent disposés à adopter la roue à action que si celle-ci présente des avantages incontestables.

Classification des principaux type de turbines à vapeur

D'après ce qui précède, il est possible, pensons-nous, d'établir le tableau suivant pour classer les principaux types des turbines construites actuellement d'une façon industrielle.

Il est bien difficile de dire quel est le type de turbine qui paraît remplir actuellement les meilleures conditions. Nous avons eu l'occasion de visiter les principales usines de construction de turbines à vapeur de l'Europe et d'interroger leurs ingénieurs. Presque tous nous ont avoué qu'au point de vue de la consommation de vapeur notamment, les divers types de turbines des grands constructeurs étaient à l'heure actuelle sensiblement comparables. Ce qui peut fixer le choix de l'acheteur, à notre avis, c'est beaucoup plus la valeur et le sérieux du constructeur ainsi que les références qu'il peut donner. (Voir tableaux page suivante.)

EMPLOI DES TURBINES DANS L'INDUSTRIE

Les avantages des turbines à vapeur sont actuellement bien connus et l'on ne discute plus la supériorité des turbines sur les machines à piston, notamment au point de vue encombrement, dépense d'huile, surveillance, entretien et même consommation de vapeur, surtout dans le cas des très puissantes unités. Les constructeurs des machines à piston eux-mêmes, ont fini par en convenir et la plupart se sont mis à faire des turbines.

Mais les turbines présentent surtout des avantages considérables dans certaines applications qui ne sont pas suffi-

samment connues des industriels en France. C'est à l'étude sommaire de ces applications que nous voulons nous borner ici, convaincus de l'intérêt considérable qu'elles peuvent présenter dans l'industrie.

Utilisation par les turbines de la vapeur à basse pression

Il existe un grand nombre de machines à vapeur à piston possédant une marche intermittente comme, par exemple, les machines d'extraction, les moteurs de laminoirs, les pilons, etc...

sance avec une chute de pression de 10 kgr. à 1 kgr., c'est-à-dire à la pression atmosphérique, que si la vapeur se détendait de 1 kgr. à 0,1 kgr., pression que l'on obtient très facilement avec les condenseurs actuels.

Plus exactement, si l'on prend 1 kgr. de vapeur d'eau saturée et sèche à la pression de 8 kgr. par centimètre carré et qu'on la détende jusqu'à la pression absolue de 1 kgr., la quantité de chaleur, théoriquement disponible sera de 82,5 calories et la consommation théorique de vapeur serait de 7,6 kg. par cheval-heure.

Turbines à Action

Un seul étage de pression	Un seul étage de vitesse.	De Laval (Puissances inférieures à 100 HP).	
	Plusieurs étages de vitesse	Electra (Puissances inférieures à 50 HP).	
Deux étages de pression	Un étage de vitesse par étage de pression	De Laval (de 100 à 300 HP).	
	Plusieurs étages de vitesse par étage de pression	Electra (de 50 à 1 000 HP.	
Plusieurs étages de pression	Un étage de vitesse par étage de pression Type Rateau	Rateau. Œerlikon. Zoelly.	avec disqnes
		Breguet. Dujardin. Turbines marines. Rateau.	avec tambour
(Le nombre d'étages de pression est variable suivant la puissance).	Plusieurs étages de vitesse par étage de pression Type Curtis	Curtis. (axe vertical). A. E. G. faibles puissances (axe horizontal).	
	Plusieurs étages de vitesse par étage de pression pour la haute pression (Type Curtis) Un seul étage de vitesse par étage de pression pour la basse pression (Type Rateau)	Curtis (grandes puissances). A. E. G. (moyennes et grandes puissances).	

Turbines à Réaction

Degré de réaction 1/2 — Turbines Parsons

Turbines mixtes ou combinées à action et à réaction

Roue Curtis pour la haute pression Tambour Parsons pr la basse pression	Westinghouse. (1) Brown Boveri. Sulzer. Tosi. A. E. G. (Turbines marines). Barbezat.
A action avec un certain degré de réaction	Gadda de Milan. Deux étages de pression et dans chaque étage une roue Curtis fonctionnant avec un certain degré de réaction.

Avec de telles machines, les condenseurs ont un fonctionnement défectueux et ne permettent pas de réduire la consommation de vapeur de plus de 15 à 25 % au grand maximum. L'installation des condenseurs étant coûteuse, on préfère souvent faire fonctionner ces machines à échappement libre.

L'énergie perdue ainsi est considérable et il est facile de s'en rendre compte en remarquant que la puissance que peut fournir la vapeur en se détendant dépend non de la différence des pressions existant avant et après la détente, mais plutôt du rapport des pressions, de sorte que l'on peut, théoriquement du moins, obtenir à peu près autant de puis-

(1) La Société Westinghouse construit, depuis quelque temps, les turbines Rateau.

Si maintenant, au lieu de ne pousser la détente que jusqu'à 1 kgr., on fait échapper la vapeur dans un condenseur ordinaire pouvant maintenir un vide de 0,1 kg. par centimètre carré, la quantité de chaleur disponible théoriquement sera de 155,5 calories et la consommation théorique de 4,07 kgr. par cheval-heure.

Au lieu de faire échapper à l'air libre la machine à piston, si l'on envoyait sa vapeur dans une excellente machine capable de bien utiliser le vide d'un bon condenseur, il serait possible de récupérer ainsi une puissance importante presque égale à celle de la machine à piston.

Seulement une machine à piston ne conviendrait pas du tout pour remplir ce rôle car elle utiliserait mal le vide du condenseur, la détente de la vapeur ne pouvant pas être complète dans les cylindres à moins de donner à ceux-ci des dimensions inacceptables qui conduiraient d'ailleurs à des pertes par frottement exagérées.

La turbine à vapeur est, au contraire, tout à fait indiquée dans ce cas puisque, avec des dimensions restreintes, elle permet l'écoulement d'une quantité considérable ou plutôt d'un volume énorme de vapeur et, d'autre part, la partie mobile tournant presque dans le vide, les frottements deviennent très faibles.

La turbine à vapeur fonctionnant à basse pression a d'ailleurs un meilleur rendement que la turbine à haute pression, ce qui est le contraire pour une machine à piston. Ainsi, dans une machine à piston compound, on peut admettre que le rendement, ou rapport du travail effectif sur l'arbre au travail théorique disponible, est pour le cylindre à haute pression de 70 à 80 % et de 30 à 40 % pour le cylindre basse pression, tandis que, dans le cas d'une turbine,

le rendement serait de 60 à 70 % pour la partie haute pression et de 70 à 80 % pour la partie basse pression.

M. Rateau est le premier à avoir eu l'idée d'utiliser les énormes quantités de vapeur d'échappement perdues ainsi par les machines à marche intermittente pour les employer à actionner des turbines à vapeur.

Afin de rendre régulier le fonctionnement de la turbine à vapeur, malgré les intermittences de marche des machines à piston, M. Rateau a imaginé un accumulateur de vapeur destiné à maintenir sensiblement constante la pression avant la turbine. Celui-ci, qui n'est autre chose qu'une chaudière à basse pression, est formé en principe d'un grand récipient en tôle garni intérieurement de ferraille ou d'augets remplis d'eau de façon à constituer une masse capable d'absorber la chaleur de la vapeur, de condenser en partie celle-ci pendant le fonctionnement des machines à piston et de la restituer ensuite pour la fournir à la turbine lorsque les machines à piston sont arrêtées.

Les turbines à basse pression ont pris à l'heure actuelle un grand développement, aussi bien en France qu'à l'étranger, mais il a fallu, pour les faire admettre, vaincre bien des oppositions. Il est bon de citer à ce sujet le passage suivant extrait du Mémoire de M. Rateau sur « Les turbo-machines multicellulaires et leurs récentes applications » (1).

« La première installation fut, comme on le sait, faite en 1902 aux Mines de Bruay avec une petite turbine de 300 chevaux de construction Sautter Harlé, actionnant une génératrice à courant continu. Ce système s'est ensuite développé à l'étranger beaucoup plus qu'en France, où la chose ne fut pas tout d'abord prise au sérieux. Ce n'est que lorsque le succès eut été constaté en Angleterre et en Allemagne que l'on se décida à l'adopter dans notre pays, et, depuis lors, les installations se sont multipliées avec une grande rapidité, à tel point que nous avons déjà 35 000 HP en France contre 250 000 à l'étranger ».

M. Rateau a montré en outre l'avantage très grand que l'on peut retirer, dans bien des cas, de l'emploi des turbines à basse pression même avec des machines à piston à marche continue.

« Si, en effet, dit M. Rateau dans le même Mémoire, les machines à piston donnent de bons rendements dans le fonctionnement à haute pression, il n'en est pas de même pour la basse pression. Elles ne permettent pas d'utiliser toute la chute de pression créée par le condenseur, car, pour cela, il faudrait donner aux cylindres des dimensions énormes et les pertes par frottements et condensations seraient exagérées. Il y a donc intérêt à achever la détente de la vapeur dans une turbine. Nous avons fait des installations de ce genre à la Centrale d'Edimbourg et, tout récemment, dans le peignage Allart et Rousseau, à Roubaix. Le bénéfice qu'on retire de telles combinaisons dépasse ordinairement 20 % et atteint jusqu'à 40 % dans les cas favorables ».

(1) Bulletin d'avril 1910 de la Société des Ingénieurs Civils de France.

Voici les résultats des essais effectués chez MM. Allart et Rousseau à Roubaix sur une machine compound à obturateur Corliss et détente Frikart fonctionnant d'abord seule sur un condenseur W. L. puis combinée avec une turbine à vapeur système Rateau à basse pression actionnant un alternateur triphasé de 450 kw. et échappant dans un condenseur W. L.

La machine a piston fonctionne seule (essai du 27 janvier 1910) :

Consommation de vapeur en kgr. et par heure mesurée d'après l'alimentation aux chaudières	7 504
Puissance totale en chevaux indiqués	904
Consommation de vapeur en kgr. par cheval indiqué et par heure	8,3

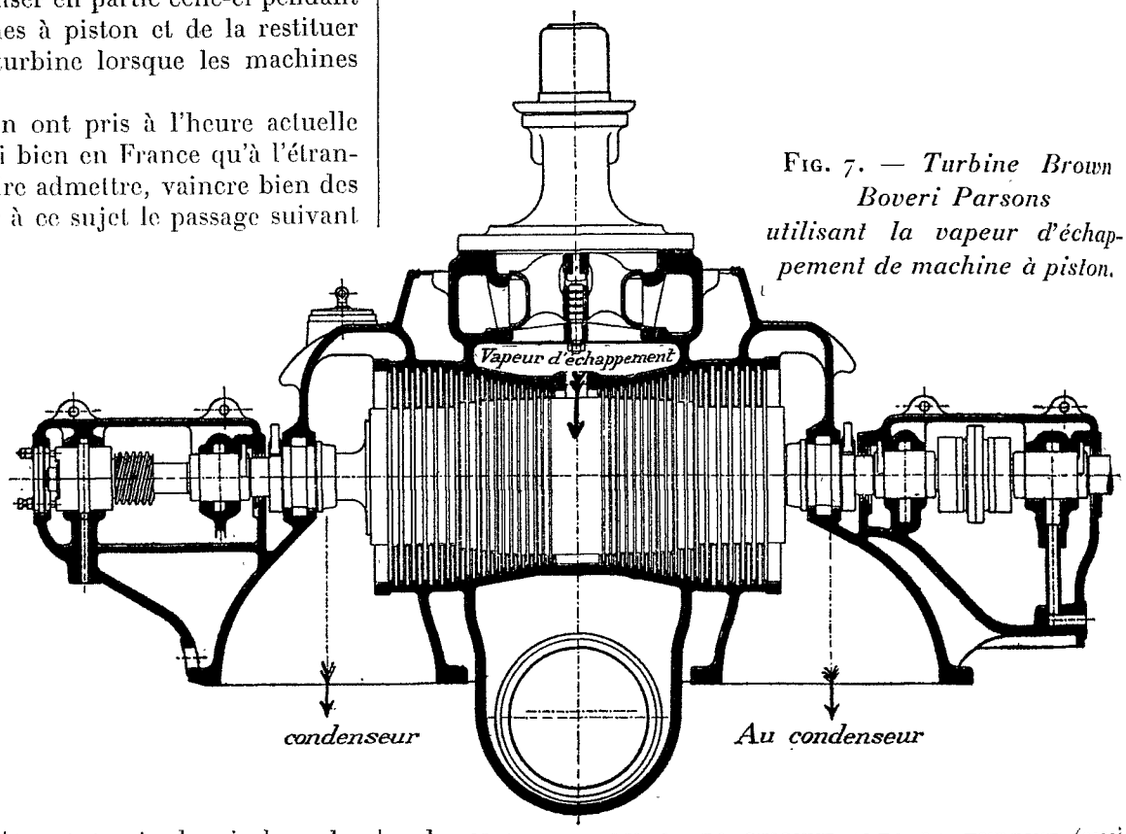


Fig. 7. — *Turbine Brown Boveri Parsons utilisant la vapeur d'échappement de machine à piston.*

La machine a piston fonctionne avec la turbine (essai du 10 juin 1910) :

Consommation de vapeur en Kgr. par heure mesurée d'après l'alimentation des chaudières	7 250
Puissance en chev. indiqués à la machine à piston	715
Puissance aux bornes de la génératrice, 325 kw., soit en chevaux indiqués	603
Puissance totale en chev. indiqués de l'installation	1 318
Consommation de vapeur en Kgr. par cheval indiqué et par heure	5,5

Augmentation de la puissance de l'installation en chevaux indiqués :

$$\frac{1\,318 - 904}{904} = 45{,}7\ \%$$

Turbines mixtes ou turbines à deux vapeurs

Lorsque la machine à piston doit s'arrêter pendant longtemps, l'accumulateur peut devenir insuffisant pour fournir la vapeur nécessaire au fonctionnement de la turbine qui risque dans ce cas de s'arrêter.

Or, il est souvent indispensable que la turbine puisse continuer à assurer son service normal malgré l'arrêt des machines à piston.

On peut alors, comme M. Rateau l'avait fait aux Mines de Bruay pour sa première turbine, puiser de la vapeur directement à la chaudière lorsque la vapeur d'échappement vient à manquer et la détendre jusqu'à la pression de l'accumulateur de vapeur. Tout revient donc, dans ce cas, à remplacer la machine à piston par un détendeur.

Mais l'utilisation de la vapeur prise directement à la chaudière est dans ces conditions très mauvaise et le rendement de l'ensemble devient trop médiocre lorsque les machines à piston sont appelées à subir des arrêts fréquents et prolongés, cas de bien des installations.

Cet inconvénient peut être facilement supprimé car il suffit de remplacer le détendeur par une turbine ordinaire à haute pression qui vient ajouter sa puissance à la turbine basse pression et n'entre en jeu que lorsque la vapeur d'échappement devient insuffisante.

On a ainsi une turbine *mixte alimentée par deux vapeurs :* de la vapeur fraîche à haute pression et de la vapeur d'échappement à basse pression.

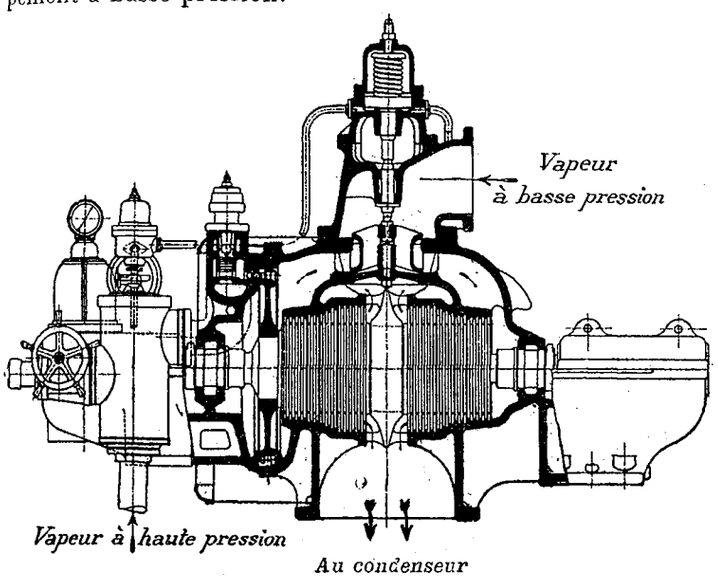


Fig. 8. — *Turbine mixte Brown Boveri Parsons.*

Un régulateur automatique commande sans difficulté l'arrivée de ces deux vapeurs pour maintenir constante la vitesse de la turbine et la pression dans l'accumulateur.

La turbine mixte fonctionnant avec de la vapeur à haute pression ne peut pas cependant avoir un aussi bon rendement qu'une turbine ordinaire. Pour obtenir, en effet, la même puissance avec la vapeur vive, le poids de vapeur consommé n'atteint guère que la moitié environ de celui qui est nécessaire avec la marche à basse pression. La pression absolue baisse alors de près de moitié à l'entrée de la turbine basse pression qui devient mal utilisée.

Dans le but d'éviter cette diminution de rendement, les Ateliers de Construction Oerlikon ont imaginé une turbine mixte, appelée *série parallèle*, qui fonctionne de la manière suivante :

La partie basse pression de la turbine est divisée en deux régions distinctes l'une de l'autre et pouvant fonctionner indépendamment. Pour séparer ces deux régions, les diaphragmes, c'est-à-dire les disques fixes, possèdent des nervures présentant un jeu très faible avec les disques mobiles et empêchant dans chaque étage de pression la vapeur de passer d'une région dans l'autre.

Lorsque la machine reçoit uniquement de la vapeur d'échappement, les deux régions basse pression fonctionnent *en parallèle*, mais, si la vapeur d'échappement venant à être supprimée, la turbine doit s'alimenter avec de la vapeur à haute pression, le débit de vapeur étant alors bien déterminé, une seule région de la partie basse pression est mise en service et se trouve disposée en *série* avec la partie à haute pression. On peut donc par ce moyen maintenir la pression constante à l'entrée de la partie à basse pression et obtenir un bon rendement lorsque la turbine reçoit de la vapeur vive.

Cependant, en tenant compte dans les calculs de la baisse de pression qui se produit à l'entrée de la partie basse pression et en établissant la turbine convenablement, il est possible d'obtenir des consommations de vapeur relativement très réduites sans recourir à aucun artifice entraînant toujours une certaine complication.

Pour le montrer nous croyons intéressant de donner ici les résultats des essais de consommation d'une turbine mixte ordinaire construite par la Société l'Horme et Buire de Lyon. Ces résultats sont très remarquables, étant donné surtout qu'ils ont pu être obtenus sur une turbine mixte de puissance relativement faible.

*Essais de consommation effectués le 13 novembre 1910 par l'*Association Lyonnaise des Propriétaires d'Appareils a Vapeur, *sur une turbine mixte (à deux vapeurs), système* Zoelly *avec régulateur* Rateau, *construite par la Société Horme et Buire et installée aux Mines de La Peronnière.*

Caractéristiques de la turbine :

Puissance	500 HP
Nombre de tours ..	2 400
Condensation par surface.	

Cette turbine utilise la vapeur d'échappement d'une machine d'extraction construite également par les Forges de l'Horme et elle actionne un alternateur de 360 kw. 3 000 v. 40 périodes, de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques.

Résultats des essais

Marche à basse pression

Puissance fournie aux bornes....	347 Kw.
Puissance fournie au manchon de la turbine	517,87 HP.
Nombre de tours	2 400.
Pression absolue avant la vanne d'admission	1,130 Kg. par cm².
Vide au condenseur	92 pour 100.
Consommation par kilowatts aux bornes	16,871 Kg. par heure.
Consommation par HP sur le manchon d'accouplement	11,324 Kg. par heure.

Marche à Haute Pression

Puissance fournie aux bornes	372 Kw.
Puissance fournie au manchon de la turbine	552,35 HP.
Pression avant le régulateur	8,766 Kg. par cm².
Vide	91,2 pour 100.
Consommation par kilowatts aux bornes	10,266 Kg. par heure.
Consommation par HP sur le manchon	6,914 Kg. par heure.

Les consommations de vapeur ont été calculées en déterminant la quantité d'eau condensée.

La puissance de l'alternateur était absorbée par un rhéostat liquide permettant d'obtenir une marche très constante.

Turbines fonctionnant à contre-pression pour permettre le chauffage par la vapeur

Un très grand nombre d'usines, comme les papeteries, les teintureries, les fabriques de produits chimiques, etc., utilisent de la vapeur à basse pression pour le chauffage.

Le plus souvent, encore maintenant, on se contente de prendre de la vapeur directement aux chaudières et de l'abaisser à la pression voulue au moyen de détendeurs.

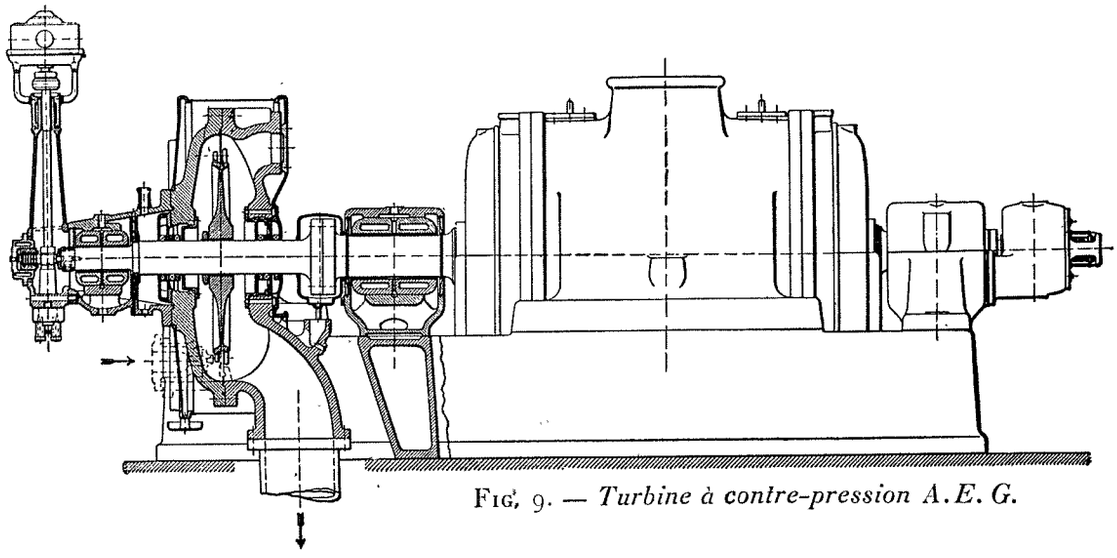


Fig. 9. — *Turbine à contre-pression A.E.G.*

Quelquefois, cependant, le détendeur est remplacé par une machine à vapeur à piston qui peut fournir dans ces conditions une force motrice importante presque gratuitement. Comme une calorie correspond à 426 kilogrammètres, la puissance engendrée par la machine à vapeur, faisant l'office de détendeur, ne correspond donc qu'à une diminution très restreinte de la chaleur contenue dans la vapeur que l'on peut employer ensuite très efficacement pour le chauffage.

Mais, avec les machines à piston, on a à craindre un inconvénient très grave dû à l'huile employée pour le graissage des cylindres qui, entraînée par la vapeur, s'introduit dans les appareils de chauffage, les encrasse et surtout s'oppose à la transmission de la chaleur en recouvrant les surfaces chauffantes d'une couche mauvaise conductrice de la chaleur.

Il existe bien de bons séparateurs d'huile permettant d'arrêter celle-ci à la sortie des machines à piston, mais ils ne parviennent que bien difficilement à purifier complètement la vapeur et dans bien des usines l'entraînement de l'huile a donné lieu à des ennuis sérieux.

Avec la turbine à vapeur, les paliers, qui nécessitent seuls un graissage, étant actuellement toujours disposés en dehors de la turbine même, on peut obtenir directement de la vapeur sans trace d'huile. C'est là un avantage très important.

On a vu que pour l'utilisation de la vapeur à basse pression la turbine était bien supérieure à la machine à piston ; il semblerait que dans le cas de l'utilisation de la vapeur à haute pression la machine à piston puisse enfin reprendre l'avantage tout au moins au point de vue du rendement. Il est incontestable que dans ce cas la machine à piston absorbera moins de vapeur ou plutôt, pour une quantité de vapeur donnée, fournira un peu plus de puissance, mais il convient de bien observer que la puissance supplémentaire perdue dans la turbine ne l'est pas entièrement puisqu'elle sert à réchauffer la vapeur qui a précisément le chauffage pour utilisation principale.

D'autre part, la turbine rendant possible une surchauffe plus grande que dans le cas d'une machine à piston, peut laisser échapper de la vapeur à une température plus élevée et permet ainsi d'éviter une condensation trop abondante dans les conduites à basse pression.

Turbines à prises de vapeur

Avec les turbines et les machines à piston à contre-pression la puissance produite se trouve évidemment liée à la quantité de vapeur à fournir. Si l'on doit chauffer beaucoup, on peut disposer d'une force motrice importante, mais, si l'on vient à réduire le chauffage, la puissance de la turbine diminue forcément à moins que l'on fasse échapper à l'air libre l'excès de vapeur que les appareils de chauffage ne peuvent absorber.

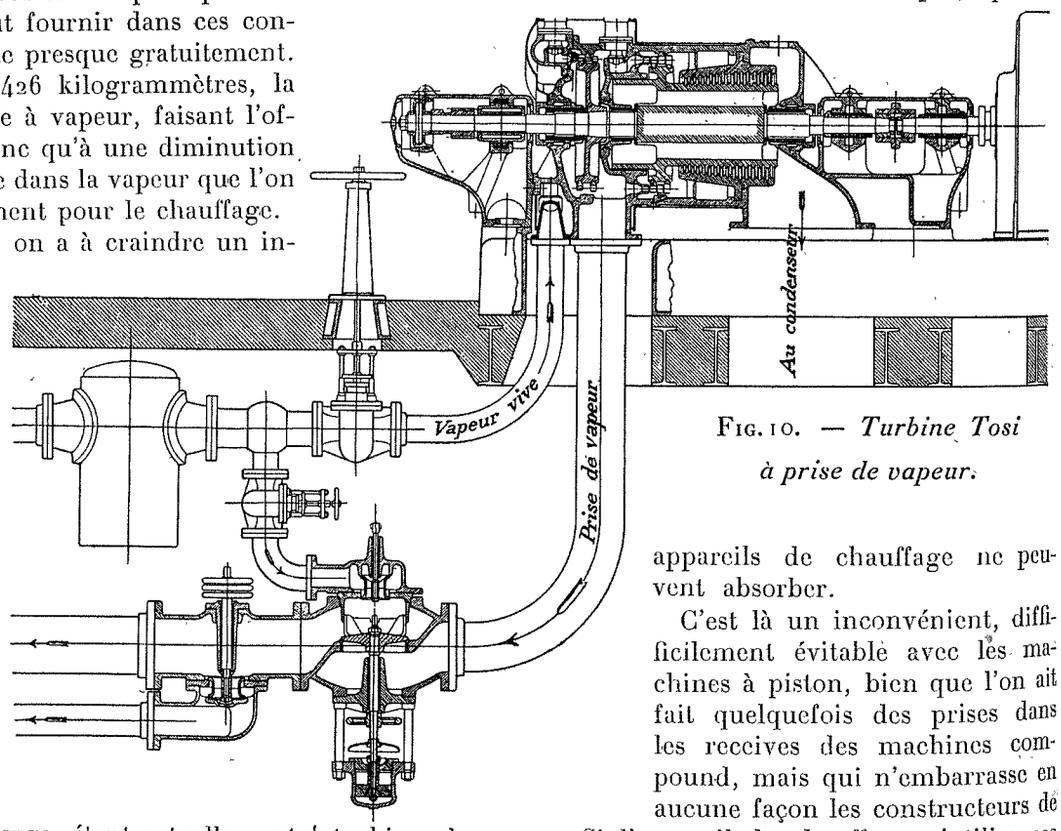


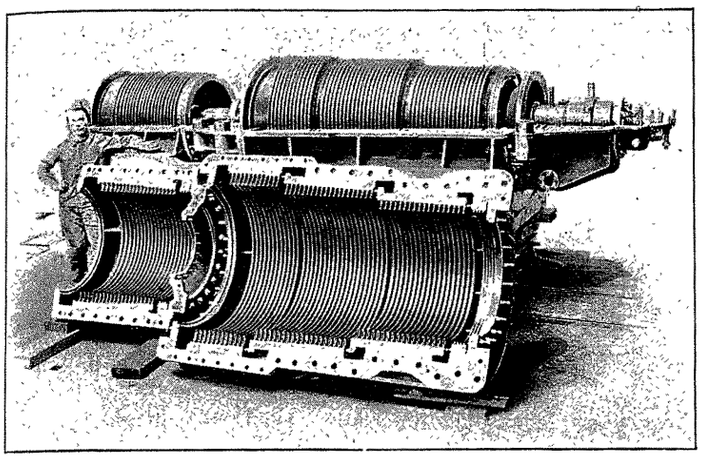
Fig. 10. — *Turbine Tosi à prise de vapeur.*

C'est là un inconvénient, difficilement évitable avec les machines à piston, bien que l'on ait fait quelquefois des prises dans les receives des machines compound, mais qui n'embarrasse en aucune façon les constructeurs de turbines à vapeur. Si l'appareil de chauffage n'utilise pas toute la vapeur qui est nécessaire pour produire la force motrice, on enverra l'excès de vapeur dans un condenseur après lui avoir fait traverser une turbine à basse pression afin de ne pas laisser perdre son énergie utilisable.

On a donc été conduit à créer ce que l'on appelle des turbines à prise de vapeur ou à soutirage de vapeur, formées simplement de deux turbines ordinaires calées sur le même

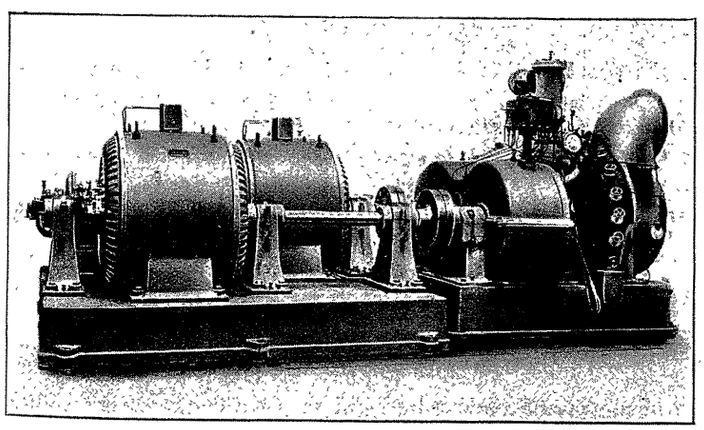
arbre. L'une utilise toute la vapeur et détend celle-ci à la pression qui convient aux appareils de chauffage, tandis que l'autre reçoit et conduit au condenseur toute la vapeur en excès qui ne sert pas au chauffage.

Quelles que soient les variations de charge de la turbine et les quantités de vapeur demandées à la prise pour les appareils de chauffage, la vitesse de la turbine peut être maintenue constante à 2 ou 3 pour 100 près, ainsi que la pression de la vapeur à la prise à 200 ou 300 grammes près.



Turbine Bréguet de 2 500 HP.

Ces turbines à prise de vapeur commencent à être très répandues. La Maison Brown-Boveri en a déjà fourni plus de 25 et la Société A. E. G. une soixantaine. Elles sont surtout employées en Allemagne. En France, il n'en existe pas encore en fonctionnement, mais plusieurs ont été commandées ces temps derniers.



Turbo-alternateur Bréguet (300 kw. 750 t.)

Qu'il nous soit permis pour terminer de rendre ici hommage au mérite de M. Rateau qui a contribué d'une manière très efficace au développement des turbines à vapeur et dont la science, qui commence à être justement et universellement appréciée en France, l'est déjà depuis longtemps par les ingénieurs étrangers, comme nous avons pu souvent nous en rendre compte dans les entretiens que nous avons eu l'occasion d'avoir avec eux.

Il est bon de rappeler que M. Rateau a effectué, dès 1895, à Saint-Etienne, ses expériences sur l'écoulement de la vapeur et que c'est en 1897-1898 qu'il entreprit la construction de la première turbine multicellulaire à action, sur le principe de laquelle sont basées bien des turbines modernes

L'utilisation de la vapeur d'échappement avec l'emploi de l'accumulateur de M. Rateau a permis de réaliser, surtout dans les mines et la métallurgie, des économies importantes et actuellement indiscutées.

Enfin, les compresseurs et les pompes centrifuges multicellulaires Rateau sont aujourd'hui très répandus dans l'industrie et imités par beaucoup de constructeurs.

On voit donc le rôle très actif joué par M. Rateau dans la conception de toutes les turbo-machines. Et si jamais, dans un avenir qui paraît encore lointain, la turbine à gaz, apportant avec elle la possibilité d'une meilleur utilisation de l'énergie du charbon, vient à détrôner la turbine à vapeur, on trouvera encore sans doute dans cette nouvelle machine, constituant un de ses organes principaux, le compresseur multicellulaire Rateau. Ce compresseur, MM. Lemale et Armengaud l'ont d'ailleurs déjà utilisé pour faire fonctionner une turbine à pétrole de 400 HP, la première turbine à pétrole de grande puissance que l'on ait essayée.

Paul Bergeon,
Sous-Directeur de l'Institut Electrotechnique de Grenoble

LE CONCOURS D'AMÉNAGEMENT DU RHONE

Nous donnerons sous peu le rapport du Jury du Concours d'avant-projets pour l'aménagement du Rhône, que nous avons annoncé dans notre précédent numéro. Il sera reproduit d'après le texte que publiera le prochain Bulletin trimestriel de l'Office des Transports des Chambres de Commerce du Sud-Est, organe officiel des publications du Comité d'organisation du Concours.

Le Président du Jury et rapporteur, M. l'Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite Barlatier de Mas a, d'une manière concise, très nettement dégagé les conclusions du travail considérable que représentent les projets soumis à l'examen de ses collègues. On lira ces conclusions dans notre numéro de Mai. Il ne nous appartient pas de les commenter ; mais, qu'il nous soit pourtant permis de signaler le caractère pratique des vues du Jury.

Depuis longtemps, dans les réunions des Chambres de Commerce, dans les assemblées départementales, dans les Syndicats, les Sociétés Savantes et les Congrès, l'on discourt sur la nécessité de tirer un meilleur parti du fleuve ; beaucoup d'idées ont été remuées et bien des projets mis en avant ; mais la question n'a pas avancé. On dirait que le Rhône exerce un pouvoir fascinateur sur tous ceux qui l'approchent, mais qu'il repousse de toute la violence de ses flots les présents de l'Industrie dont ses admirateurs veulent enrichir son cours. De par l'initiative de l'Office des Transports, le problème vient d'être à nouveau posé avec un énoncé à la fois précis et général : les solutions se sont présentées nombreuses, les unes sous l'aspect de projets gigantesques, d'autres en la forme d'études déjà vues, mais comportant une mise au point sérieuse, certaines enfin présentant des moyens qui s'écartent beaucoup des voies connues. Du faisceau d'idées ainsi réunies, le Jury du Concours a extrait celles, que, par la possibilité de leur mise en œuvre immédiate, il a jugées capables de faire sortir enfin de l'ère des indéterminations cette question du *Rhône navigable.*

Comme on pourra s'en rendre compte à la lecture du document annoncé, le Jury estime que les moyens pratiques de mener à bonne fin la grandiose entreprise considérée, résident en ce programme :