

DEUXIÈME PARTIE.

MOTEURS HYDRAULIQUES.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

La deuxième partie du rapport de la Classe 20 comprend :

- 1° Les turbines hydrauliques avec leurs régulateurs de vitesse ;
- 2° Les machines à colonne d'eau ;
- 3° Les moulins à vent ;
- 4° Divers moteurs rotatifs et les manèges.

C'est dans cet ordre que nous allons passer en revue les nombreux appareils que le Jury international a eu à examiner.

Les turbines hydrauliques et leurs régulateurs forment incontestablement la division la plus intéressante comme aussi la plus importante de la deuxième partie de ce rapport. Dans cette branche de l'industrie les progrès réalisés depuis 1889 sont considérables.

Les machines à colonne d'eau ne sont représentées que par deux appareils.

Les moulins à vent sont peu nombreux, mais les modèles exposés sont, en général, bien étudiés et bien construits.

Enfin, les moteurs rotatifs sont plutôt des machines d'étude que des appareils industriels, car ils ne sont pas encore entrés dans le domaine de la pratique; les manèges ne présentent aucune particularité ou innovation digne de remarque.

La force motrice tient, dans la vie moderne, une place de plus en plus importante.

Qu'elle soit produite par la vapeur, les gaz, les fluides, la chaleur solaire, les combustibles liquides, les réactions chimiques, l'air ou l'eau, elle sert, aujourd'hui, non seulement à faire mouvoir nos innombrables usines, mais aussi à nous éclairer, à nous chauffer, à nous transporter; elle fait partie de nos besoins domestiques les plus immédiats; aussi les machines motrices de toutes sortes étaient-elles représentées, à l'Exposition universelle de 1900, par de nombreux, puissants et très remarquables modèles.

Parmi ces appareils, les moteurs hydrauliques ont, à juste titre, attiré, d'une façon toute particulière, l'attention du monde scientifique et industriel.

C'est sous la forme de l'eau que l'énergie naturelle est la plus répandue sur notre

globe ; elle est presque illimitée si l'on considère le travail colossal que représentent ces masses liquides énormes qui se déplacent sur la surface de notre planète.

Les hautes montagnes, avec leurs cimes éternellement blanches, recèlent, sous l'épaisse couche de neige et de glace qui les recouvre, des réserves de force motrice d'une puissance prodigieuse.

Des torrents nombreux se précipitent avec impétuosité des montagnes, broient les rochers et dévastent les vallées, montrant ainsi à l'homme indifférent leur formidable puissance et ce dont ils seraient capables, s'ils étaient domestiqués.

Les rivières et les ruisseaux, ces « chemins qui marchent », sèmeraient la richesse sur leur passage, si, au lieu de vagabonder selon leurs caprices, ils étaient captés et canalisés.

Les grands fleuves qui roulent des volumes d'eau énormes, dans les régions plus basses, ne demandent qu'à se rendre utiles.

Enfin le mouvement des flots n'attend que sa transformation pour répandre le bien-être dans les régions situées sur les bords de la mer et même à de grandes distances à l'intérieur des continents.

On peut se demander quelles sont les causes qui ont retardé aussi longtemps le développement de l'emploi de cette source d'énergie aussi abondante qu'économique.

En effet, de toutes les sources de l'énergie, c'est celle de l'eau qui se transforme le plus avantageusement, puisqu'elle est produite par le fluide naturel qui ne coûte rien, et avec le rendement le plus élevé, les turbines modernes utilisant de 80 à 90 p. 100 de la force qui leur est transmise, tandis que les meilleures machines à vapeur n'atteignent que 15 p. 100 et les moteurs à gaz les plus perfectionnés 30 à 34 p. 100 d'effet utile.

Ces derniers moteurs, notamment, qui possèdent des qualités de souplesse extraordinaires, dont la puissance n'est plus guère limitée aujourd'hui que par celle de l'outillage nécessaire pour les construire, ont, il n'y a pas longtemps encore, retardé le développement et l'emploi de la force motrice hydraulique, parce qu'ils pouvaient être installés partout, dans toutes les situations et à proximité du travail.

Les moteurs à vapeur et à gaz possédaient donc quelques avantages qui manquaient totalement aux moteurs à eau, et l'industrie leur donnait souvent la préférence, malgré l'infériorité considérable de leur rendement mécanique et malgré leur consommation constante de charbon, qui cependant coûte cher et dont l'approvisionnement, disons-le en passant, devient de plus en plus difficile, à cause de l'énorme consommation qui en est faite.

L'emploi de la force des moteurs hydrauliques exigeait, au contraire, l'installation de l'usine à proximité de la chute, dans une situation souvent défavorable, et, dans ce cas, il était nécessaire de recourir à des organes de transmission très coûteux, qui ne s'installaient souvent qu'avec difficultés, qui absorbaient une grande partie de la force et faisaient disparaître ainsi, en partie, les avantages inhérents à l'emploi des chutes d'eau.

Mais l'électricité, cette fée bienfaisante, est venue au secours de l'énergie hydraulique pour faire disparaître ces causes d'infériorité, supprimer les inconvénients dus généralement à la situation des chutes, la placer, au contraire, dans une posture plus favorable que ses concurrentes d'autrefois; elle a fait subir à l'industrie moderne une transformation radicale en ne laissant plus l'usine, où se fabriquent les produits, sous la dépendance directe de l'emplacement de la force, puisqu'elle donne le moyen de transporter, à des distances considérables, bientôt à des centaines de kilomètres, avec une perte très réduite, des milliers de chevaux de force, au moyen de simples fils de quelques millimètres de diamètre.

Cette indépendance de la chute et de l'usine permet, à l'heure actuelle, la réalisation de projets considérés jusqu'alors comme impraticables, puisque moteurs et récepteurs peuvent être, chacun de leur côté, placés aux points qui leur conviennent le mieux.

Il ne faut pas s'étonner, par conséquent, que ce soit vers les forces hydrauliques, qui n'exigent d'autre aliment que l'eau fournie par la source intarissable d'un cycle perpétuel de vaporisations et de condensations dues à la chaleur solaire, que se portent, avec un succès croissant, les efforts de nombreux ingénieurs, depuis que le problème du transport de l'énergie à grande distance est résolu.

Si l'on ajoute à cette situation nouvelle le développement de l'esprit d'initiative des jeunes générations, les progrès réalisés dans l'art de construire, les conceptions mieux étudiées et plus hardies qui permettent d'assurer l'économie dans la dépense, enfin le concours de capitalistes à l'esprit large et entreprenant, malheureusement encore trop peu nombreux en France, on s'expliquera le développement inattendu qu'a pris l'utilisation des chutes d'eau dans les dernières années, et la place considérable qu'elles sont appelées à occuper dans l'avenir. Au lieu de moteurs de 100 à 200 chevaux, fort remarquables il y a dix ans à peine, nous trouvons à l'Exposition de 1900 des machines de plusieurs milliers de chevaux, absorbant le travail de puissantes chutes avec une facilité et une souplesse extraordinaires, et qui mettent en évidence les succès des efforts considérables auxquels nous avons assisté pendant la dernière période du XIX^e siècle.

Cette situation commençait déjà à se dessiner lors de l'Exposition de 1889; elle a été signalée à cette époque par M. Hirsch, l'éminent et regretté inspecteur général des ponts et chaussées, professeur au Conservatoire des arts et métiers, dans son magnifique rapport sur les récepteurs hydrauliques qui figuraient à cette exposition.

Le savant ingénieur constatait que dans la période de 1878 à 1889, grâce à l'électricité, les moteurs hydrauliques avaient une tendance à se relever du discrédit dans lequel ils étaient tombés; il prévoyait pour cette branche de l'industrie un puissant essor.

Jamais prévision ne fut mieux justifiée et ne s'est plus complètement réalisée; il s'est en effet produit depuis cette époque une véritable révolution dans l'emploi de la force hydraulique.

Cet emploi, qui s'était maintenu pendant un certain temps dans les limites relativement étroites des applications les plus immédiatement réalisables, se développe avec

rapidité; les découvertes succèdent aux découvertes, les industries nouvelles se créent, et les besoins de force motrice augmentent partout.

L'asservissement des grandes puissances naturelles est entré dans le domaine de la pratique; les chutes les plus élevées et les moins accessibles commencent à être captées; les eaux des plus hautes montagnes, cette «houille blanche», pour nous servir d'une expression pittoresque mais fort juste, sont utilisées par des moteurs puissants et économiques.

Les fleuves les plus importants sont détournés de leur cours et leurs eaux sont dirigées, à travers des canaux de dérivation, sur de puissantes turbines, qui, après en avoir recueilli la force, les rendent un peu plus bas à leur lit primitif où, grâce à la pente naturelle, elles se revivifient et acquièrent une force nouvelle qui est ainsi transformée, de distance en distance, depuis leur source jusqu'à leur embouchure.

La puissance formidable des marées elle-même semble pouvoir être recueillie, dans un avenir prochain, et utilisée sur place ou transportée au centre même des continents.

L'activité humaine trouve dans l'utilisation de ces forces l'élément indispensable à son développement; aussi voyons-nous naître journellement des industries nouvelles, insoupçonnées il y a peu de temps encore; se transformer les industries existantes pour utiliser ces puissances principalement sous la forme de l'électricité, la plus maniable, la plus docile de toutes les formes de l'énergie.

En effet :

Les besoins de lumière soit électrique, soit sous la forme plus nouvelle du gaz acétylène, croissent de jour en jour;

Les tramways électriques, qui multiplient les relations, prennent un développement extraordinaire;

Les chemins de fer de montagne, qui transportent les touristes jusqu'aux plus hauts sommets, pour leur permettre de jouir, presque sans fatigue, des imposants spectacles de la nature, se créent dans tous les pays.

La traction des chemins de fer au moyen de l'électricité est un problème dont la solution définitive peut être envisagée dans un avenir prochain, et l'on voit déjà de puissantes compagnies et des syndicats acquérir des chutes d'eau en prévision de ces besoins⁽¹⁾.

La voiture automobile de l'avenir sera évidemment à moteur électrique, si elle trouve dans les moindres localités, à bon compte, chez le meunier, chez le petit fabricant, chez le mécanicien, des accumulateurs légers de rechange, qui sont chargés au moyen des innombrables turbines, inutilisées pendant la nuit, qui remplaceront partout la vieille roue démodée.

⁽¹⁾ La ligne du Fayet à Chamonix, exploitée par la Compagnie P.-L.-M., et le chemin de fer de Cauterets à Luz sont déjà à traction électrique. En Suède, une commission d'études vient d'être nommée et chargée spécialement de rechercher les forces hydrauliques

pouvant être utilisées à la traction des chemins de fer. Aux États-Unis, la Manhattan Railway Company a déjà substitué l'électricité à la vapeur, le courant est fourni par huit groupes électrogènes de 10,000 chevaux chacun.

L'énergie, transportée au moyen de l'électricité, permettra l'établissement des usines dans les situations les plus favorables, à proximité des gares et des canaux, et actionnera, à bon marché, les usines déjà existantes, en tirant parti des forces énormes des cours d'eau de nos montagnes, le plus souvent inutilisables industriellement dans les ravins où elles doivent être recueillies.

La division de cette force et sa distribution à domicile pourront faire revivre, en opposition avec ces énormes concentrations industrielles, l'atelier de famille, si moral et si ardemment désiré, et pourront contribuer à la solution d'un problème social.

La fabrication du carbure de calcium prend un immense développement sur tous les points du globe et exige l'emploi de forces considérables.

Les applications électro-métallurgiques, restreintes jusqu'alors presque exclusivement à la fabrication de l'aluminium, voient un nouveau champ ouvert à leur activité dans la fabrication des métaux purs, tels que le manganèse, le chrome, le nickel, le tungstène, le plomb argentifère, etc., et si le traitement des minerais de fer par l'électricité répond aux résultats que recherchent, avec une foi ardente dans l'avenir, d'éminents spécialistes, la métallurgie du fer, si importante, subira une révolution complète et une transformation radicale dont les suites peuvent être de la plus haute importance, et qui nécessitera l'emploi de forces énormes⁽¹⁾.

L'électrochimie est encore dans l'enfance, et ses besoins de force deviendront aussi importants peut-être que ceux de l'électrométallurgie.

L'emploi des nouveaux fours électriques, capables de traiter toutes les matières à très haute température, prend, même en dehors de la fabrication du carbure de calcium et du traitement des minerais, un développement considérable pour la production du corindon artificiel, du phosphore, du rubis, etc., et nécessitera des forces importantes.

Le chauffage par l'électricité, déjà en usage dans certains cas, pourra être réalisé, lorsque le rendement des appareils sera suffisamment élevé pour transformer d'une façon économique la force en chaleur.

Enfin, d'innombrables applications naîtront lorsque l'énergie sera recueillie abondante et à bon marché.

Ainsi que nous venons de le voir, les besoins de force motrice sont immenses, ils ne font qu'augmenter avec les progrès de la science et de la civilisation.

Demandera-t-on cette force à la machine à vapeur, dont le rendement est si faible, qui exige une consommation de combustible continuelle, d'autant plus onéreuse que le prix du charbon monte d'une façon inquiétante, et que l'épuisement peut en être envisagé, avec raison, dans un avenir plus ou moins prochain?

⁽¹⁾ Des renseignements dignes de foi nous apprennent que cet intéressant problème serait définitivement résolu et va entrer dans le domaine de la pratique; dans la haute Italie, trois hauts fourneaux

se construisent actuellement pour l'exploitation des procédés Stassano relatifs à l'extraction du fer au four électrique.

La demandera-t-on aux moteurs à gaz qui, quoique plus économiques, usent cependant encore beaucoup de combustible ?

Évidemment non !

C'est aux éléments naturels qu'on empruntera leur puissance, c'est aux cours d'eau, au flux et au reflux de la mer, qu'il faudra avoir recours pour obtenir, à un prix suffisamment réduit, ces forces considérables qu'exigent le travail et le confort modernes; c'est la turbine hydraulique à grand rendement et à grande vitesse, dont nous trouvons à l'Exposition de 1900 de superbes modèles, qui recueillera l'énergie, la transmettra aux générateurs d'électricité pour la répandre à profusion dans nos grandes villes, comme dans nos plus humbles hameaux.

Pour réaliser ces projets qui auraient paru téméraires, il y a peu d'années encore, pour mettre en valeur ces richesses, il suffit d'un peu de hardiesse et de... capitaux, mais jamais entreprise n'aura été plus utile, plus pratique, ni plus rémunératrice. On trouvera dans l'exploitation des forces hydrauliques des placements avantageux qui viendront contrebalancer l'augmentation progressive et inévitable des dépenses inhérentes à la vie moderne.

HISTORIQUE.

L'utilisation de la force naturelle de l'eau remonte à la plus haute antiquité. Dès les premiers temps l'homme a été amené à suppléer à l'insuffisance de ses forces physiques par celles que la nature a si généreusement mises à sa disposition.

De savants chercheurs ont découvert, en Asie, des vestiges d'ouvrages qui indiqueraient que l'énergie hydraulique y était connue depuis des milliers d'années.

Dans une récente communication à la Société d'anthropologie de Berlin, le docteur Belck signale la découverte de canaux portant le nom de rois chaldéens disparus plusieurs siècles avant notre ère, dont la construction démontre bien que ce peuple se servait déjà de la force hydraulique.

Les Égyptiens, les Phéniciens, après avoir tout d'abord converti en farine le grain nécessaire à leur nourriture en le pulvérisant dans un mortier, ajoutèrent plus tard, au sommet du pilon, un manche qui permettait de lui imprimer un mouvement de rotation continu; le mortier primitif devint ainsi le moulin rudimentaire qu'actionnaient généralement deux femmes. Puis le pilon fut prolongé vers sa partie inférieure et muni de palettes auxquelles l'eau, en les frappant, communiquait une partie de sa force vive, et remplaçait ainsi la force humaine ou animale.

Les plus anciens moteurs hydrauliques paraissent, en effet, avoir été les roues à cuillers, la turbine primitive, dont il existe encore des spécimens dans l'Inde, en Sicile et même dans quelques moulins du Midi de la France.

Ils se composent d'un petit nombre de palettes à surface conchoïde, qui sont fixées au bas d'un moyeu en bois formant arbre vertical.

L'eau est projetée sur ces palettes par un chenal à découvert et, en frappant succes-

sivement chacune d'elles, fait tourner le système en entraînant la meule placée directement à l'extrémité supérieure de l'arbre.

On conçoit de suite que, dans un pareil moteur où l'eau agit exclusivement par choc, et dont une partie s'échappe sans même avoir touché le récepteur, l'effet utile soit très faible et ne dépasse guère 25 p. 100 dans les circonstances les plus favorables. Aussi ne rencontre-t-on plus ces moteurs primitifs que dans quelques rares moulins situés sur des cours d'eau très abondants, dont ils n'utilisent qu'une partie du débit.

Ce fut Bernouilli qui posa, le premier, vers 1730, les lois du travail de l'eau et les principes de la réaction, puis Segner construisit sa roue à réaction qui n'est autre chose qu'un tourniquet hydraulique à plusieurs branches.

Un peu plus tard, Euler établissait la théorie de ses roues et inventa le distributeur qui devait amener des modifications profondes dans la construction des moteurs à eau.

En 1807, un ingénieur français, M. le marquis Le Mannoury d'Ectot, faisait breveter un moteur auquel Carnot attribuait un bon rendement, mais ce fut Burdin, qui, vers 1825, paraît avoir, le premier, établi la théorie de la construction rationnelle des roues hydrauliques à axe vertical, auxquelles il a donné le nom de « turbines », lequel s'est depuis généralisé.

Fourneyron, l'élève de Burdin, créa, en 1832, la turbine centrifuge qui porte son nom, reçut de nombreuses applications et valut à son inventeur le prix de 6,000 francs de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale; ce fut la consécration définitive de la valeur des turbines appliquées aux forces hydrauliques, et le point de départ du développement considérable que devait prendre la construction de ce genre de moteurs.

Presque en même temps Jonval fit breveter sa turbine bien connue, et appliqua le tube de succion qu'on retrouve dans la plupart des turbines modernes.

Fontaine inventa, en 1839, la turbine parallèle dont nous trouvons encore des spécimens au Champ-de-Mars, et donna à l'industrie des turbines un premier essor.

Enfin, l'éminent hydraulicien Girard établit le principe de la libre déviation des filets liquides, et développa sa nouvelle théorie de l'action de l'eau sur les aubes.

Cette innovation importante permit l'utilisation rationnelle des débits variables en maintenant l'effet utile élevé malgré de grandes variations de charge ou de débit.

À partir de cette époque les bases fondamentales de la construction mathématique des turbines étaient parfaitement établies; ces moteurs ne se construisirent plus que sur les lois et les principes établis par Fourneyron, Jonval, Fontaine, Girard; leurs systèmes devinrent classiques.

C'est ainsi que tous les modèles qui figuraient aux Expositions universelles de 1855, 1867, 1878 et 1889 étaient exclusivement inspirés des travaux de ces savants ingénieurs et, à part quelques perfectionnements dans les détails de la construction, les caractères généraux en étaient conservés.

Mais pendant qu'en Europe la question des turbines restait à peu près stationnaire, les Américains, aux conceptions hardies et originales, tout en se basant sur les théories

connues et sanctionnées par l'expérience, créèrent des modèles qui différaient essentiellement, par leurs formes, des turbines classiques adoptées sur l'ancien continent, et s'approprièrent mieux aux exigences nouvelles de l'industrie.

Déjà, en 1849, Francis avait construit la turbine centripète qui porte son nom; elle se répandit d'abord fort peu dans le Nouveau-Monde, reçut quelques applications en Allemagne à partir de 1873, mais ce n'est qu'en 1876, à l'Exposition de Philadelphie, où figuraient de nombreuses turbines à action centripète, que l'attention des spécialistes européens fut attirée sur le développement qu'avait pris la construction des moteurs basés sur ce principe.

Les efforts des ingénieurs d'outre-mer s'étaient portés principalement sur les turbines à grande vitesse, s'accommodant mieux aux besoins des industries électriques qui commençaient à entrer dans une période de grande activité; ils furent couronnés de succès par l'invention de la turbine mixte, dans laquelle l'eau, après avoir pénétré et agi sur la roue mobile suivant une direction radiale et centripète, est évacuée parallèlement à l'axe de rotation.

Des expériences pratiques faites sur une grande échelle sur ce genre de turbines, à l'Exposition de Philadelphie, permirent non seulement des comparaisons intéressantes entre les différents systèmes installés dans des conditions identiques, mais démontrèrent péremptoirement que leur rendement était supérieur à celui des meilleures turbines qui avaient été construites jusqu'alors, et qu'ils offraient, en outre, des avantages réels dans leurs applications.

Pour ces expériences l'eau était fournie par de puissantes pompes qui la puisaient dans un réservoir central et l'élevaient dans un collecteur placé à 10 mètres au-dessus, d'où elle était distribuée aux moteurs.

Ce fut la turbine Risdon qui l'emporta par un rendement de 87 p. 100 pour la pleine admission.

Les constructeurs américains, avec l'esprit pratique et essentiellement commercial qui les caractérise, profitant de ces premiers résultats absolument merveilleux, se mirent à l'œuvre pour retirer tout le profit d'une pareille innovation.

À cet effet, se basant sur la théorie des turbines semblables, ils établirent des modèles de toutes dimensions, pouvant être construits en série, de telle sorte qu'au lieu de nécessiter une étude laborieuse et spéciale pour chaque application, comme l'avaient pratiqué jusqu'alors les constructeurs européens, les turbines purent être construites d'avance, en grande quantité et à très bon marché, sans variation sensible dans le rendement, au moins pour les chutes et les forces courantes.

Née en France, l'industrie des turbines devait grandir en Amérique, avant de revenir sur le continent, où l'activité et l'ingéniosité de constructeurs de mérite l'ont portée, depuis, à un haut degré de perfection.

Il ne faut pas, toutefois, être surpris outre mesure du succès relativement facile des efforts des Américains vers les perfectionnements des turbines hydrauliques, car, non seulement leur pays est admirablement doté en ressources naturelles, mais aussi ils ont

su s'entourer des éléments indispensables pour étudier, avec tous les soins et la précision voulus, les résultats de leurs conceptions, et se rendre compte pratiquement de la valeur de leurs innovations.

En effet, à Holyoke, dans le Massachusetts, la célèbre Holyoke Water Power Co, qui a établi un immense barrage pour recueillir la puissance du Connecticut estimée à 30,000 chevaux, créa une station spéciale pour les essais publics de turbines. La plupart des journaux techniques ont donné, à l'époque, la description de cette intéressante installation.

Dans les premiers temps, cette société fournissait et distribuait l'eau captée aux nombreuses papeteries et usines diverses qui étaient venues se grouper autour d'elle, moyennant une redevance annuelle basée sur la force développée par les moteurs employés.

Mais bientôt, la ville s'étant agrandie, le volume d'eau disponible ne suffisait plus aux demandes, au moins pendant certaines époques de l'année, et la Compagnie se rendit compte que, par suite de l'emploi de moteurs dont l'effet utile laissait souvent à désirer, un grand nombre d'industriels usaient un volume d'eau qui n'était pas en rapport avec la force développée. Elle estima donc, avec raison, qu'en facilitant l'emploi de moteurs à rendement élevé, il lui resterait beaucoup de force à vendre et prit une décision conforme à ses intérêts, en laissant chacun libre d'employer le moteur à sa convenance, mais en faisant payer non plus pour la force obtenue, mais pour le volume d'eau dépensé.

Là se présentait une difficulté : celle de mesurer l'eau et surtout d'en contrôler le volume, lorsque les moteurs, par suite du débit du fleuve, fonctionnaient avec admission partielle.

Cette compagnie eut alors l'idée de faire subir à toutes les turbines une série de trente expériences, afin de mesurer leur débit à différents degrés d'admission et à des vitesses variables, et de se servir ainsi du moteur même comme compteur d'eau.

Pour arriver à ce résultat, elle fit établir une installation spéciale, disposée pour créer une chute artificielle correspondant à celle sous laquelle les turbines devaient fonctionner et qui lui permettait de mesurer, avec précision, le volume d'eau employé pendant toute l'année.

Dans cette installation, un frein, placé horizontalement et d'une construction très remarquable, était appliqué sur l'arbre vertical des turbines et en déterminait la force, en même temps qu'un enregistreur automatique indiquait le nombre de tours et qu'un dispositif spécial permettait de mesurer la chute effective avec précision.

Une série d'expériences faites dans ces conditions permettait d'établir, d'une façon certaine, la valeur pratique d'un moteur ; de faire des comparaisons du plus haut intérêt, et de déterminer, enfin, quelle était la turbine utilisant, avec le plus d'économie, l'eau disponible à toutes les époques de l'année.

Cette situation fut le stimulant le plus énergique en faveur de la construction des turbines à grand rendement.

Moyennant une redevance de 10 p. 100 de la valeur de la turbine, chaque constructeur pouvait vérifier ainsi, avec toute la précision voulue, le résultat des améliorations successives qu'il apportait à ses appareils, et de toutes parts des demandes d'expériences affluèrent. Le système centripète, qui formait le principe de la plupart des modèles présentés aux essais, se généralisa et entra définitivement dans le domaine de la pratique.

En France, où les cours d'eau sont, en général, fort capricieux, l'installation d'une pareille station publique d'essais présenterait un intérêt réel; elle permettrait de vérifier la valeur pratique de moteurs que nous achetons souvent sous des garanties séduisantes, mais bien délicates et difficiles à contrôler.

Mais continuons notre historique sur les intéressants résultats obtenus aux États-Unis, car ils furent le point de départ d'une véritable révolution dans l'art de construire les turbines, laquelle devait avoir, peu d'années après, une immense répercussion dans toute l'Europe, et aboutir à l'invention des modèles de turbines modernes que nous trouvons en 1900 au Champ-de-Mars.

Une quantité extraordinaire de systèmes de turbines avait vu le jour, mais les travaux de Mac Cornik à la Holyoke Machine Co furent bientôt remarqués et attirèrent l'attention sur la turbine «Hercule».

Après des expériences multipliées, des perfectionnements successifs qui prirent plusieurs années, et dont la recherche était facilitée par la proximité de la station d'essais, cette turbine arriva à un degré de perfection tel que M. Emerson, l'ingénieur hydraulicien bien connu, écrivait dans son ouvrage *Hydrodynamics*, édition de 1881, à la suite d'une série d'essais officiels et comparatifs dont il avait eu la direction : «Plusieurs constructeurs ont obtenu un rendement égal avec admission totale, mais aucun moteur n'a atteint un rendement aussi élevé que celui de la turbine «Hercule» à tous les degrés d'ouverture de la vanne.»

Puis Thurston, du Stevens Institute à New-York, un autre ingénieur connu par ses nombreux ouvrages sur les machines motrices, constatait que «les formules et proportions que Rankine a indiquées pour la construction des turbines avec lesquelles la turbine Hercule a été comparée, ont fait obtenir des résultats qui satisferaient les plus exigeants, mais avec admission partielle la turbine Hercule les dépasse toutes d'environ 25 p. 100».

Un aussi brillant succès développa d'une façon extraordinaire les applications de ce système en Amérique, et eut son écho en France, où dès 1883, M. Gustave Richard, le distingué secrétaire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale à Paris, publiait une très remarquable série d'articles sur les turbines américaines dans le journal *La Lumière électrique*; il présentait des diagrammes comparatifs relevés par Emerson avec le concours de MM. Ellis et Weber, et constatait que la turbine «Hercule», qui n'occupe que le troisième rang à pleine admission «tient la tête pour tous les degrés intermédiaires», et il ajoutait :

«Ce sont ces circonstances qui ont amené M. Emerson à donner la préférence à la

turbine *Hercule*, comme celle dont le rendement général est le plus élevé et le moins variable. »

Cette publication eut un certain retentissement dans notre pays, mais disparaît trop vite sous le scepticisme qui accueille souvent à juste titre les découvertes qui nous arrivent de l'autre côté de l'Océan.

Cependant, déjà à cette époque, une maison française, MM. Singrün et fils, d'Épinal (Vosges), avait suivi avec soin les recherches des Américains et les résultats obtenus, et pu se rendre compte, *de visu*, de la réalité des avantages du nouveau système de turbines.

Elle avait, en outre, été frappée par l'énorme puissance des moyens de fabrication en usage dans les usines du Nouveau-Monde, laquelle menaçait d'étendre son influence et d'accaparer le marché des moteurs hydrauliques sur l'ancien continent.

Avec une rare clairvoyance, elle distingua la voie nouvelle qui s'ouvrait à l'industrie des turbines hydrauliques, et n'hésita pas à faire les sacrifices nécessaires pour introduire en France la construction et l'application des moteurs qui venaient d'obtenir, en Amérique, de si brillants succès.

La première turbine fut installée en France en 1885, et les résultats furent si concluants que l'inévitable hésitation des débuts fut immédiatement dissipée.

Les années suivantes un certain nombre de turbines de ce système furent installées dans notre pays et ne firent que confirmer les premiers résultats.

Ce fut alors que MM. Singrün entreprirent la construction, sur une grande échelle, et en spécialité, de la turbine «*Hercule*», en introduisant dans leur usine les procédés de production intense qui marquent la supériorité commerciale des Américains.

L'Exposition universelle de 1889 les trouva encore en pleine organisation, ils ne purent y prendre part. Aussi, comme le faisait fort judicieusement remarquer M. Hirsch dans son rapport sur cette exposition, n'y figuraient que des turbines de construction classique; aucune ne révélait le mouvement considérable qui commençait à se dessiner en faveur des nouveaux modèles, dont les premières applications venaient d'être faites dans différentes régions de notre pays.

Dès 1890, la turbine «*Hercule*» avait pris une place importante sur le marché français et l'application des turbines centripètes mixtes prit, en France, le développement extraordinaire que nous avons pu constater à l'Exposition de 1900.

Émus par le succès croissant de la nouvelle turbine, la plupart des autres constructeurs français et étrangers, qui, jusqu'alors, n'avaient pas cru à l'importance de l'innovation, en comprirent toute l'étendue, sortirent de leur torpeur, se mirent à l'œuvre et créèrent, eux aussi, des modèles de turbines basés sur les principes de celle qui venait de faire si brillamment ses preuves.

Ils se rendirent compte que son succès était justifié; les avantages de la turbine centripète mixte n'étaient plus discutés et son application se généralisa d'une façon si inattendue qu'à l'heure actuelle, les systèmes de turbines qui figuraient à l'Exposition de 1889, sont, à quelques exceptions près, complètement abandonnés. C'est ce qui nous

explique le grand nombre de turbines centripètes mixtes que nous admirons au Champ-de-Mars en 1900,

En parcourant les galeries de cette superbe exposition, notre amour-propre national se trouve flatté de pouvoir constater que nos constructeurs français tiennent le premier rang parmi les exposants de ces turbines nouvelles ; qu'ils ont perfectionné considérablement les modèles américains qui ont servi de point de départ à leurs travaux et que, loin d'être tributaire de l'étranger, la France, au contraire, exporte un grand nombre de turbines, perfectionnées, dans tous les pays du monde et peut même lutter avec les Américains sur leurs propres marchés.

Notre pays possède maintenant des usines qui construisent les moteurs hydrauliques en spécialité ; qui ont été étudiées et construites en vue de cette fabrication unique ; dans lesquelles l'on trouve appliqués les perfectionnements les plus récents de l'outillage et les applications les plus modernes de l'électricité ; dont la puissance de production approche et dépassera probablement bientôt celle des plus importants producteurs américains, et qui, déjà à l'heure actuelle, possèdent dans leurs magasins souvent plusieurs centaines de turbines pour toutes chutes et pour toutes forces, prêtes à être expédiées immédiatement⁽¹⁾.

Mais si, d'un côté, nous avons vu que la France avait fait des progrès énormes dans les applications de la force motrice hydraulique, nous constatons avec satisfaction que, dans la section étrangère, son active voisine, la Suisse, grande productrice de moteurs hydrauliques, a réalisé, de son côté, des perfectionnements importants dans l'application des turbines centripètes du genre Francis.

Son infatigable activité s'est étendue aussi, avec les résultats les plus heureux, aux turbines à haute pression, pour lesquelles ni le système Francis ni la turbine mixte, qui reçoivent l'eau sur toute leur circonférence, ne peuvent convenir, et, pour ces applications spéciales, son choix s'arrêta sur la turbine Girard, perfectionnée, à admission partielle, ainsi que sur les roues-turbines tangentielles, dérivant principalement d'une autre invention américaine connue sous le nom de roue Pelton.

Les efforts des constructeurs suisses se sont portés d'une manière toute particulière sur les appareils de régulation automatique de la vitesse des turbines, et leurs modèles, absolument remarquables, de la plus haute précision, et qui donnent satisfaction aux exigences croissantes des électriciens, n'ont qu'un seul défaut : c'est d'être encore un peu trop coûteux.

L'exposition de Genève, où figuraient déjà en 1896 un certain nombre de ces appareils, donnait comme un avant-goût de la superbe manifestation que les constructeurs helvètes préparaient pour l'Exposition de 1900 à Paris.

On rencontre, en Suisse, ce pays si industrieux et si merveilleusement doté par la nature, peut-être les installations les plus ingénieuses et les plus hardies, les concep-

⁽¹⁾ Société des Établissements Singrün, à Épinal (Vosges).

tions les plus variées et les plus originales de l'utilisation de la force motrice hydraulique en Europe.

Ce pays peut être fier aussi d'avoir vu s'établir sur les dessins et les indications de ses ingénieurs⁽¹⁾ les turbines monstres qui utilisent, en Amérique, les célèbres chutes du Niagara.

Si les Américains ont bouleversé, par des dispositions nouvelles et originales, l'industrie des turbines, il n'en est pas moins acquis que, sous le rapport du fini du travail, leurs produits laissent trop souvent à désirer, et que, lorsqu'il s'agit d'applications de l'importance de celle du Niagara, leur méthode de limiter le choix des appareils aux modèles créés spécialement en vue d'une production intensive peut être critiquée.

En effet, pour arriver à des résultats satisfaisants, il faut joindre la résistance à la légèreté indispensable aux organes énormes de moteurs de plus de 5,000 chevaux. Pour s'appropriier exactement aux conditions locales qui, comme dans ce cas particulier, ont une importance considérable, les dispositions étudiées d'avance ne peuvent plus être conservées, et il est nécessaire que chaque pièce du moteur soit calculée avec la plus grande précision et jusque dans ses plus petits détails.

C'est un travail long et minutieux que les constructeurs d'outre-mer hésitent souvent, à tort, d'entreprendre, lorsqu'ils ne sont pas assurés d'avance du résultat favorable des propositions qui leur sont demandées.

Sous ce rapport les constructeurs européens ont beaucoup plus de confiance dans la loyauté de leurs clients, apportent à leurs projets et à leurs études bien plus de soins, et cette manière d'agir compense fréquemment leur incontestable infériorité commerciale.

Signalons encore d'une façon toute particulière le superbe « Salon d'honneur », situé au premier étage de la grande galerie des groupes électrogènes, qui a été organisé par les soins des éminents professeurs de l'École polytechnique de Zurich. On y admire une superbe collection de dessins coloriés, à grande échelle, des plus importantes installations hydrauliques faites en Suisse, qui sont d'une exécution vraiment artistique, d'une clarté remarquable, jusque dans leurs plus petits détails, et nous trouvons là une série de documents de la plus haute valeur scientifique, historique et industrielle, uniques en leur genre, qui font le plus grand honneur à leurs auteurs.

Cette exposition met en lumière l'importance du concours, non seulement moral, mais aussi pécuniaire que l'État suisse apporte, et l'intérêt qu'il attache à tout ce qui touche à l'éducation professionnelle de la jeunesse; elle permet d'apprécier à quel degré une telle organisation et de pareilles ressources peuvent contribuer au développement de l'industrie dans un pays.

Si l'organisation générale de l'Exposition de 1900 avait permis de placer ce Salon d'honneur au centre des produits de la Mécanique, ceux-ci y auraient gagné en intérêt pour le public et la démonstration plus frappante encore des efforts faits chez nos voi-

⁽¹⁾ MM. Picard et Pictet, de Genève.

sins pour le développement de l'instruction professionnelle eût, sans nul doute, produit un effet salubre sur tous ceux auxquels incombe la lourde tâche d'instruire nos jeunes générations.

Il est regrettable que les Américains n'aient pas cru devoir affronter sérieusement la lutte avec la vieille Europe, car nous ne trouvons que deux exposants, qui présentent des moteurs peu importants et sans intérêt particulier.

On peut déplorer aussi l'absence, dans la section des moteurs hydrauliques, de pays tels que l'Allemagne, l'Angleterre et l'Italie, dont il eût été intéressant de suivre les progrès réalisés.

Enfin, pour terminer notre aperçu de l'évolution de la force motrice hydraulique, nous devons constater que, si autrefois l'industrie pouvait se contenter de la vieille roue à eau et des anciennes turbines à faible rendement, il n'en est plus de même aujourd'hui, car ces moteurs ne répondent plus aux besoins de l'époque, aux exigences d'une industrie à production intensive; ce sont des machines puissantes, de 1,000, 2,000 et même 5,000 chevaux de force qu'il nous faut et la turbine moderne, à rendement élevé, seule est capable de nous donner satisfaction.

L'Exposition universelle de 1900 ne laisse aucun doute sur l'abandon définitif de la roue hydraulique en faveur de la turbine; en 1889, elle n'était déjà plus représentée que par quelques rares spécimens et, en 1900, aucune roue ne figure plus dans la grande collection des moteurs à eau.

AMÉNAGEMENT D'UNE CHUTE D'EAU.

L'hydraulique est une des branches les plus complexes et, en même temps, les plus intéressantes de la science de l'ingénieur. Elle a tenté l'imagination de bien des inventeurs, mais elle est aussi une de celles qui leur ont réservé le plus de déceptions, parce que, bien souvent, les principes les plus élémentaires de cette science étaient méconnus ou mal appliqués.

Avant de décrire les turbines exposées, il convient d'indiquer sommairement ce qu'est, en définitive, une chute d'eau; quels sont les éléments avec lesquels il faut compter avant d'établir une installation hydraulique; et, enfin, de donner un aperçu des différents principes sur lesquels reposent les moteurs nouveaux que nous avons à examiner.

Une force hydraulique se compose de deux éléments : le débit du cours d'eau qui forme la masse, et la hauteur de chute dont dépend la vitesse ou la pression.

L'énergie obtenue est donc le produit du volume d'eau par la vitesse et varie avec chacun de ces deux facteurs.

Le débit est fourni par le volume d'eau naturel qui arrive de la source et qui se grossit par les affluents.

La vitesse imprimée à la masse liquide d'un cours d'eau dépend de la pente naturelle de son lit, et elle est d'autant plus grande que cette pente est plus prononcée.

La chute est la différence de hauteur verticale entre deux points considérés de la surface d'une nappe d'eau en mouvement.

Le flux et le reflux de la mer, qui ont pour principale cause, ainsi que l'a démontré Newton, l'attraction qu'exerce la masse de la lune sur les molécules de l'Océan, produisent aussi une dépression qui peut être considérée comme une véritable chute.

Les cours d'eau peuvent être divisés en deux classes :

Ceux à régime tranquille, ou à faible pente, que forment les fleuves et les rivières à grand débit et sur lesquels on aménage généralement les basses et quelquefois les moyennes chutes;

Ceux à régime torrentiel, ou à forte pente, dont le débit est généralement moins important, sur lesquels on crée les moyennes et les hautes chutes.

Pour créer une chute, on établit en travers du cours d'eau, en un point convenablement choisi, un barrage ou une retenue, qui sert, soit à élever le niveau de l'eau en amont, soit à dévier tout ou partie du débit dans un lit nouveau, ayant moins de pente que le lit naturel.

Dans le premier cas, les moteurs sont placés immédiatement au-dessous du barrage, et c'est surtout l'élévation du niveau de l'eau dans le bief d'amont qui forme la chute.

Dans le deuxième cas, le barrage est généralement beaucoup moins important, il n'élève que très peu le niveau de l'eau en amont, et la chute est formée principalement par la différence qui existe entre la pente naturelle du cours d'eau et celle du fond du canal de dérivation, auquel on ne donne que la pente strictement nécessaire à l'écoulement du débit que l'on veut utiliser.

Cette chute est donc d'autant plus grande que le canal de dérivation est plus long et que les moteurs sont plus éloignés de la retenue.

Le choix de l'emplacement d'une force hydraulique quelconque doit donc satisfaire à de nombreuses exigences techniques, locales ou financières, et il est très important de ne perdre de vue aucun de ces facteurs, lorsqu'on a à décider l'installation d'une chute d'eau.

PRINCIPES DES TURBINES MODERNES.

Si nous recherchons maintenant dans quelles conditions s'opère le travail de l'eau, et comment la puissance en est recueillie par les différents systèmes de moteurs actuellement employés, nous trouvons, en examinant les turbines exposées, qu'en se basant sur la direction que prennent les filets liquides pendant leur trajet dans le moteur, elles peuvent se classer en :

- a. Turbines centripètes pures;
- b. Turbines centripètes à aubage demi-mixte;

- c. Turbines centripètes à aubage mixte;
- d. Turbines parallèles;
- e. Turbines centrifuges;
- f. Turbines tangentielles à haute pression.

Les turbines centripètes sont les plus nombreuses et représentent la presque totalité des moteurs applicables aux basses et aux moyennes chutes; les turbines tangentielles tiennent, de leur côté, la tête des moteurs spéciaux pour chutes élevées, et nous allons indiquer quelques-unes des particularités qui caractérisent ces moteurs nouveaux, ne jugeant pas utile de nous étendre, ici, sur les turbines parallèles et centrifuges qui ont été souvent décrites.

Turbines centripètes. — Les turbines centripètes s'emploient surtout pour les basses et les moyennes chutes; elles s'appliquent d'une manière plus particulièrement avantageuse à la commande des machines génératrices d'électricité, à cause de leur grande vitesse, de leur régularité et de la facilité avec laquelle on peut les accoupler directement aux dynamos ou aux alternateurs.

Bien établies, elles donnent, en principe, un rendement plus élevé que les turbines parallèles et centrifuges, parce que l'eau qui entre dans le récepteur par la circonférence le quitte au centre, c'est-à-dire au point où la vitesse résiduelle est la plus faible et où, par conséquent, la perte due à cette cause est la plus réduite.

Au point de vue de la régularité et contrairement aux turbines centrifuges, dans lesquelles la force centrifuge est un élément de perte, et aux turbines parallèles, dans lesquelles la veine liquide est déviée de son trajet normal, cette force centrifuge est, dans les turbines centripètes, un élément favorable, puisque, en cas d'augmentation de la vitesse, la force centrifuge tend à diminuer l'affluence de l'eau qui pénètre dans le moteur, et qu'elle l'amplifie, au contraire, lorsque cette vitesse diminue, pour intervenir dans les deux cas en faveur de la constance du régime.

C'est la raison qui fait dire que les turbines centripètes sont *autorégulatrices* et une de celles qui ont contribué, dans une large mesure, au développement de leur emploi pour la production de l'électricité.

Cette autorégularisation n'est évidemment que relative et n'évite pas toujours l'adjonction de régulateurs automatiques spéciaux, mais elle est trouvée suffisante dans un grand nombre de cas.

Ajoutons que la turbine centripète se prête admirablement à l'application d'appareils automatiques de vitesse.

Les turbines centripètes pures, dans lesquelles l'eau agit uniquement suivant une direction radiale, sont celles qui, pour une chute et une force données, tournent le moins vite, car, l'évacuation se faisant tout entière au centre, il faut donner à la roue un diamètre suffisant pour que la section libre intérieure puisse écouler l'eau avec le minimum de vitesse à la sortie, un des facteurs du rendement (fig. 136).

Ce modèle de turbines s'applique surtout aux chutes d'eau d'une certaine hauteur, dans lesquelles la vitesse $\sqrt{2gH}$ due à la pression de la colonne d'eau permet de donner à la roue motrice un diamètre suffisant, en rapport avec le nombre de tours prévus et le volume d'eau à évacuer; elles se construisent aujourd'hui plus spécialement à axe horizontal, mais on les établit également à axe vertical.

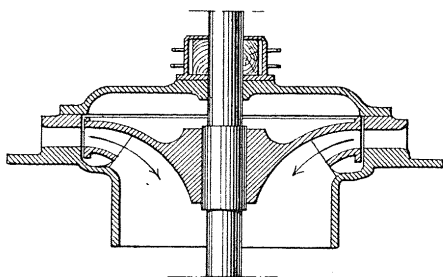


Fig. 136. — Turbine centripète pure.

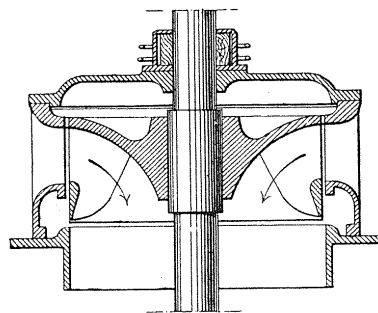


Fig. 137. — Turbine centripète demi-mixte.

Dans les turbines centripètes demi-mixtes, l'eau arrive sur les aubes suivant une direction radiale, puis se dévie pour quitter la roue motrice sous l'angle de 45 degrés environ que fait l'arête intérieure avec l'axe (fig. 137).

Cette disposition permet d'augmenter la hauteur du distributeur et de la roue mobile, par conséquent les sections d'entrée et de sortie de l'eau, de sorte que, pour un même diamètre de turbine, le volume d'eau absorbé est plus grand et par suite la force du moteur plus importante, que dans la turbine centripète pure. On conçoit de suite que, la vitesse de rotation de la turbine étant toujours fonction de la hauteur de chute et du diamètre du moteur, ce dernier tournera d'autant plus vite que son diamètre sera plus réduit.

Le système demi-mixte présente, par conséquent, l'avantage d'un encombrement moindre dans l'installation, d'une plus grande vitesse pour une force et une chute déterminées et s'emploie plus fréquemment pour des chutes moyennes.

Enfin les turbines centripètes mixtes reçoivent l'eau radialement et la déchargent parallèlement à l'axe (fig. 138).

La hauteur des organes distributeur et récepteur est encore augmentée, le diamètre diminué; c'est la turbine «à grande vitesse», puisqu'elle développe le maximum de puissance avec le minimum d'encombrement.

On a longtemps qualifié de moteurs à grande vitesse les turbines classiques dans lesquelles les angles d'entrée et de sortie avaient une grande valeur, et lorsque la vitesse circonférentielle de régime de la roue motrice dépassait les six dixièmes de la valeur de $\sqrt{2gH}$; c'est une des causes qui ont contribué à faire déclarer tout d'abord comme impossibles, même par des ingénieurs hydrauliciens, les résultats des premières applications de turbines mixtes en France. Ils ne s'étaient qu'imparfaitement rendu

compte des principes du fonctionnement et de la construction de ce genre de moteurs, parce qu'ils ne possédaient, à ce moment, aucun des éléments de comparaison avec les turbines primitives.

On s'explique facilement, en examinant la question de plus près, que, dans le système mixte, l'arête intérieure de l'aubage mobile étant très développée, la hauteur du distributeur peut être presque égale à son rayon; le diamètre est très réduit, tout en conservant des angles très faibles. On peut donc maintenir un rendement élevé qui, comme on le voit, n'a rien d'incompatible avec une grande vitesse de rotation.

La turbine centripète mixte s'emploie plus particulièrement pour les basses chutes depuis un mètre et pour les moyennes chutes, jusqu'à trente mètres de hauteur.

Elle permet d'absorber de grands volumes d'eau sous des dimensions réduites, en assurant à l'arbre moteur une vitesse de rotation plus grande que dans les autres systèmes, condition très favorable, pour les industries électriques principalement, car elle réduit les dépenses premières et facilite l'installation à un tel point que, dans certains cas, l'utilisation d'une chute d'eau devient pratique, alors qu'elle aurait été difficile ou peu avantageuse avec l'emploi d'un autre genre de moteurs.

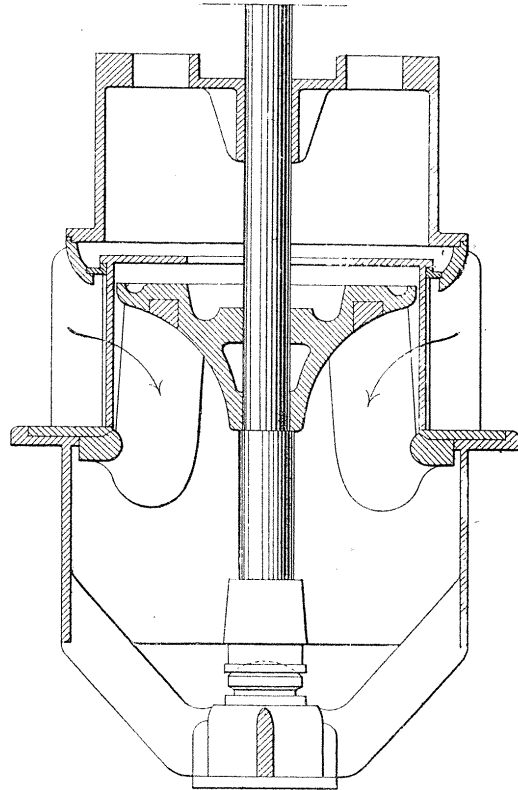


Fig. 138. — Turbine centripète mixte.

Turbines tangentielles. — Pour l'utilisation des hautes chutes, les turbines centripètes que nous venons de décrire et, en général, tout moteur recevant l'eau sur toute ou une grande partie de sa circonférence, ne sont plus applicables, parce que, dans ce genre d'installations, le volume d'eau est généralement plus faible, et les dimensions des moteurs deviendraient si réduites, leur construction si délicate et enfin leur vitesse de rotation si exagérée, qu'ils seraient incompatibles avec une bonne marche industrielle.

Jusqu'alors on employait surtout pour ces chutes élevées des turbines centrifuges, à axe horizontal, dont nous trouvons, du reste, encore quelques spécimens à l'Exposition de 1900. Ces moteurs sont basés sur les principes établis par Girard, mais depuis quelques années nous est venue, encore d'Amérique, une roue-turbine à action tangentielle, dite *roue Pelton*.

Dans ce moteur, l'eau agit uniquement par sa force vive, et les applications s'en développent, sur l'ancien continent, d'une façon imprévue. La plupart des turbines à haute pression qui figurent au Champ-de-Mars sont basées sur le principe de cette roue, et ne diffèrent que par des détails de construction, ou des perfectionnements dans le mode de l'injection de l'eau lorsqu'il y a des variations de charge ou de débit.

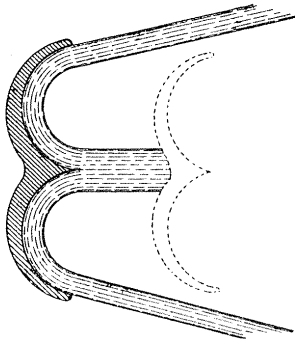


Fig. 139. — Aube de roue Pelton.

La roue *Pelton* est toujours à axe horizontal et reçoit l'eau par un ou plusieurs ajutages qui la dirigent sur les augets tangentiellement à la circonférence.

Les augets sont de forme conchoïde double; la cloison médiane présente à la veine liquide une arête vive qui la divise en deux et la dévie de chaque côté de la roue pour lui donner une direction perpendiculaire à celle primitive (fig. 139). Continuant son trajet, l'eau quitte les augets dans une direction sensiblement opposée à la première, formant avec elle un angle très faible (10 à 12 degrés), strictement suffisant à son évacuation.

L'expérience a démontré que des moteurs de ce système bien établis donnent un rendement effectif de 75 à 80 p. 100.

Turbines diverses. — Les turbines centrifuges parallèles, à admission totale ou à libre déviation, exposées dans la section des moteurs hydrauliques, sont toutes de construction classique et ne présentent d'intérêt que dans certains de leurs organes spécialement établis en vue de conditions locales de marche ou d'installation.

MOTEURS HYDRAULIQUES.

I. DESCRIPTION.

Le chiffre total des turbines exposées est de 78 qui se répartissent comme suit :

France.....	38 turbines
Suisse.....	27
États-Unis.....	8
Hongrie.....	3
Norwège.....	1
Suède.....	1
ENSEMBLE.....	<u>78</u>

Si nous les décomposons par systèmes, nous trouvons :

Centripètes..	{ pures.....	5 turbines.
	{ à aubage demi-mixte.....	9
	{ à aubage mixte.....	25
Parallèles.....		8
Centrifuges.....		9
Tangentielles à haute pression.....		22
		<hr/>
TOTAL.....		78
		<hr/>

Ces moteurs peuvent se diviser en trois catégories :

Les turbines pour basses chutes, comprenant 20 spécimens;

Les turbines pour moyennes chutes, comprenant 33 spécimens;

Les turbines pour hautes chutes, comprenant 25 spécimens.

Nous allons passer à la description de toutes les expositions particulières, en commençant par les basses chutes, pour arriver successivement aux turbines pour moyennes et enfin pour hautes chutes.

Cette classification nous permettra de réunir en un même chapitre tous les moteurs d'une même catégorie, applicables dans les mêmes conditions de chute et de débit, et facilitera les comparaisons.

Pour l'examen détaillé des turbines de chaque catégorie, nous adopterons l'ordre de classement déterminé par le Jury international pour les récompenses.

TURBINES POUR BASSES CHUTES.

Les turbines de cette catégorie comprennent :

Centripètes mixtes.....	17 turbines.
Parallèles.....	3
	<hr/>
TOTAL.....	20
	<hr/>

Elles sont toutes à réaction et s'appliquent plus spécialement aux chutes de 0 m. 80 à 12 mètres.

Turbines centripètes mixtes. — Les turbines centripètes mixtes sont toutes basées sur le principe de la turbine *Hercule*; nous commencerons donc par examiner les appareils exposés par la maison Singrün frères, qui a introduit cette turbine en France et y a apporté toute une série de perfectionnements qui ont abouti à la turbine *Hercule-Progress* si connue, à laquelle la Société d'encouragement pour l'industrie nationale a décerné, en 1897, une médaille d'or.

MM. SINGRÜN FRÈRES, d'Épinal, présentent cinq turbines *Hercule-Progress*, système breveté s. g. d. g. pour basses chutes.

L'eau, qui arrive tout autour de la turbine, pénètre vers le centre de celle-ci, à travers les directrices du distributeur L, agit sur les aubes H de la roue mobile, en forme

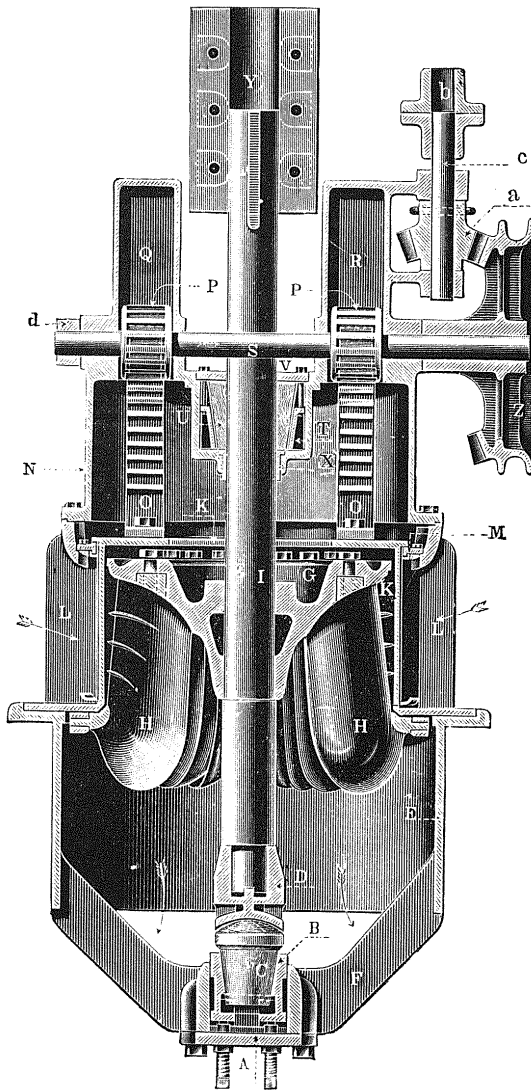


Fig. 140. — Coupe d'une turbine Hercules-Progrès.

est calé sur l'arbre I et forme avec les aubes, qui sont à double courbure, le récepteur ou la roue motrice.

Ces aubes sont travaillées sur toutes leurs faces, et encastrées dans une rainure tournée du porte-aubes, dans laquelle elles sont fixées au moyen de vis.

Les aubes H sont divisées, en hauteur, en un certain nombre d'étages, par de petites cloisons directrices dont le rôle est de maintenir une direction toujours normale et parallèle aux filets liquides, afin de conserver un rendement élevé, lorsque la turbine marche avec admission partielle.

Le distributeur L porte à sa partie inférieure une bride tournée, encastrée dans

les cuillers, en changeant de direction, et s'écoule dans le canal de fuite par le tube de décharge E muni d'une bride tournée qui supporte toute la turbine (fig. 140).

Ce tube agit d'une façon analogue au tube de suction Jonval et porte un croisillon F avec douille centrale alésée dans laquelle est placée une boîte de pivot B recevant le pivot C destiné à supporter la roue motrice II.

Cette boîte sert au réglage de la turbine, en hauteur, au moyen de deux vis de rappel e taraudées dans la plaque du bas A, qui, étant enlevée, permet de retirer le pivot par le dessous, sans démonter la turbine, pour le remplacer en cas d'accident.

Le pivot C est en bois dur spécial, convenablement préparé, et se lubrifie par l'eau; il doit, par conséquent, toujours être immergé dans le bief d'aval. Ainsi établi, sa durée est indéfinie.

Sur le pivot tourne une crapaudine à circulation d'eau D fixée au bas de l'arbre vertical I lequel porte, à son extrémité supérieure, un manchon Y destiné à accoupler la turbine avec un arbre en prolongement qui porte les engrenages ou les poulies transmettant le mouvement aux appareils à actionner. Un porte-aubes G

celle du tube de décharge, ainsi qu'une couronne supérieure fortement arrondie pour éviter la contraction de l'eau au passage. A l'intérieur de cette couronne se trouve un cercle mobile tourné M, en deux pièces, encastré dans la couronne du distributeur, formant le joint supérieur de la vanne K. Une des directrices du distributeur est mobile, emmanchée en queue d'aronde, et peut se retirer pour permettre de visiter l'intérieur de la turbine, ou de la nettoyer si c'est nécessaire, sans faire aucun démontage spécial.

Une vanne cylindrique K, tournée sur toutes ses faces, est placée entre le distributeur et l'aubage H; elle se meut verticalement au moyen de deux crémaillères O et de deux pignons P calés sur un arbre horizontal S qui porte un engrenage poulie Z commandé par un pignon unique *a*; ce pignon est calé sur un petit arbre *c* portant un manchon d'accouplement *b* destiné à être raccordé avec le mécanisme de manœuvre supérieur placé à la portée de la main, sur le sol de l'usine, pour régler, à volonté et instantanément, la dépense d'eau et la vitesse de la turbine et opérer ainsi la mise en marche ou l'arrêt du moteur.

Cette vanne s'appuie sur une face tournée de la bride du distributeur L pour former le joint inférieur, son étanchéité étant assurée à la partie supérieure par une saillie tournée qui repose sur le cercle M.

Afin de rendre la manœuvre de la vanne très rapide en même temps que très douce, son poids est équilibré par un contrepoids *h*, attaché à une chaîne *i* qui passe sur un galet *g* et s'enroule sur la poulie engrenage Z, ou s'en déroule suivant qu'on ouvre ou qu'on ferme la vanne.

Un dôme cylindrique N repose dans une feuillure tournée sur le distributeur L, et recouvre complètement la vanne et tout son mécanisme dont elle met tous les organes à l'abri des causes accidentelles qui pourraient en empêcher le fonctionnement.

Afin de réduire le plus possible la hauteur de la turbine et d'assurer le graissage des coussinets supérieurs, même sous les chutes les plus basses, un boitard, avec coussinets en bois U et coins de serrage T, est placé en contre-bas du couvercle du dôme qu'il affleure à sa partie supérieure.

Les coussinets ont pour but de maintenir l'arbre I parfaitement central concurremment avec la douille X.

L'intérieur de la turbine peut être visité et tout le mécanisme de vannage enlevé, en démontant simplement les boîtes couvre-engrenages Q et R.

Suivant la hauteur de la chute, la nature des eaux et la force à développer, les aubes motrices se font en fonte aciéreuse extra-résistante, en bronze, en acier coulé ou en acier forgé.

L'on remarque dans ce système de turbine que la vanne coulissant entre le distributeur et la roue motrice laisse entre ces deux organes un intervalle d'une certaine importance, encore accentué par une inclinaison voulue de l'arête extérieure des aubes de la roue motrice.

Cette disposition, qui, à première vue et si l'on ne considère que les théories appli-

quées jusqu'aujourd'hui, paraît anormale, est, au contraire, si l'on examine la question de plus près, avantageuse au point de vue du rendement; il se forme, autour de la roue mobile, un anneau liquide continu dont tous les éléments sont animés d'une direction et d'une vitesse uniformes, alors que, dans les moteurs dans lesquels les aubes directrices forment le prolongement de celles du distributeur, le passage successif de ces aubes devant les orifices et les directrices de la roue fixe provoque inévitablement

des chocs sur le bord d'entrée de l'aubage, des tourbillons dans la masse liquide, qui occasionnent, malgré les soins les plus minutieux dans la construction, une perte d'effet utile.

Les différents modèles de cette turbine que MM. Singrün frères présentent à l'Exposition universelle de 1900 sont fort remarquables tant par la belle exécution que par la diversité et l'originalité des applications et comprennent :

a. Une turbine Hercule-Progress à axe vertical, du n° 63 de la série, qui, sous une chute de 5 mètres, absorbe 8,400 litres d'eau par seconde, et développe une force de 450 chevaux à la vitesse de 75 tours par minute (fig. 141).

Son diamètre extérieur est de 2 m. 60, sa hauteur totale, de 3 mètres.

L'eau est introduite par 28 orifices directeurs sur 24 aubes, en tôle d'acier embouti, montées sur un porte-aubes en fonte. La section totale du distributeur est de 1 m. 50, la hauteur des orifices, de 0 m. 725, et le diamètre intérieur, de 1 m. 850. La vanne cylindrique

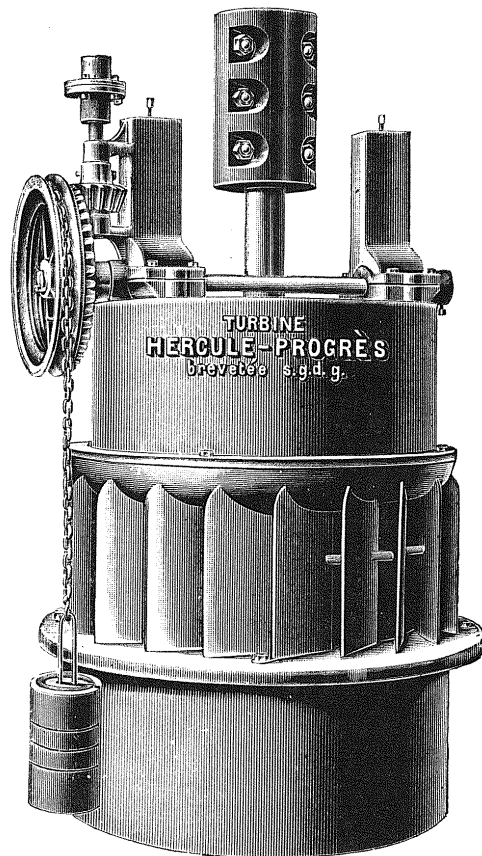


Fig. 141. — Turbine Hercule-Progress (vue extérieure).

est en tôle d'acier doux, l'arbre moteur, en acier forgé, le pivot, en bois.

L'application du pivot en bois a l'avantage d'être simple et de n'exiger ni lubrifiant, ni entretien; son apparition a causé, d'abord, une profonde surprise dans le monde industriel et a été l'objet de violentes controverses, mais l'expérience a prouvé que bien préparé et convenablement immergé dans l'eau d'aval, cet organe fonctionnait durant de longues années sans trace d'usure, alors que tous les autres modèles employés jusqu'alors nécessitaient toujours beaucoup de soins et sont d'un prix beaucoup plus élevé.

Le pivot en bois est adopté, en principe, depuis longtemps pour toutes les turbines américaines, et, aujourd'hui, dans un grand nombre de turbines en Europe; il donne

d'excellents résultats à la seule condition que le bois soit bien choisi, qu'il soit installé de manière qu'en aucun cas, même par les plus fortes variations du débit d'aval, il ne puisse être dénoyé, et que la surcharge qu'on lui impose ne dépasse pas une limite normale.

L'application de butées, à frottement bois sur acier dans l'eau, n'est pas nouvelle, elle est employée depuis de longues années dans la marine, pour la butée de l'hélice sur l'éstampot, et Reuleaux constate que la pression peut, sans inconvénient, atteindre 1 kilogramme par millimètre carré, coefficient très élevé, qu'il ne convient même pas de dépasser dans le frottement métal sur métal graissé par l'huile.

C'est là une simplification évidente dans la construction des turbines hydrauliques, au moins dans les moteurs auxquels on n'impose aucune surcharge anormale; elle exige toutefois certaines précautions dans l'établissement de la chambre d'eau, de manière à rendre l'accès du pivot facile en cas d'accident fortuit.

b. La deuxième turbine que nous examinons est une *Hercule-Progress* à axe vertical d'une force de 26 chevaux sous la chute de 1 m. 80, vitesse 85 tours par minute.

Elle a un diamètre de 1 m. 50, une hauteur de 2 m. 10, porte 24 directrices et 22 aubes en fonte aciéreuse.

Le pivot est placé sous le dôme de la turbine, et se compose de deux anneaux, en acier trempé et rectifié, concentriques à l'arbre, entre lesquels s'interpose une rangée de billes qui tournent dans un bain d'huile. Cette disposition a l'avantage d'assurer au moteur une marche particulièrement douce, le coefficient de frottement étant réduit à son minimum, mais elle est plus coûteuse que le pivot normal en bois, et exige un certain entretien.

L'aubage moteur est du modèle breveté s. g. d. g. à patin et ailettes directrices, la vanne est cylindrique, équilibrée, et se manœuvre par un volant qui agit, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, sur les pignons et les crémaillères. Le manchon d'accouplement est du système à plateaux sur lesquels viennent s'appuyer les vis de réglage de la boîte à billes.

c. Puis nous trouvons une turbine *Hercule-Progress* à axe vertical de 15 chevaux

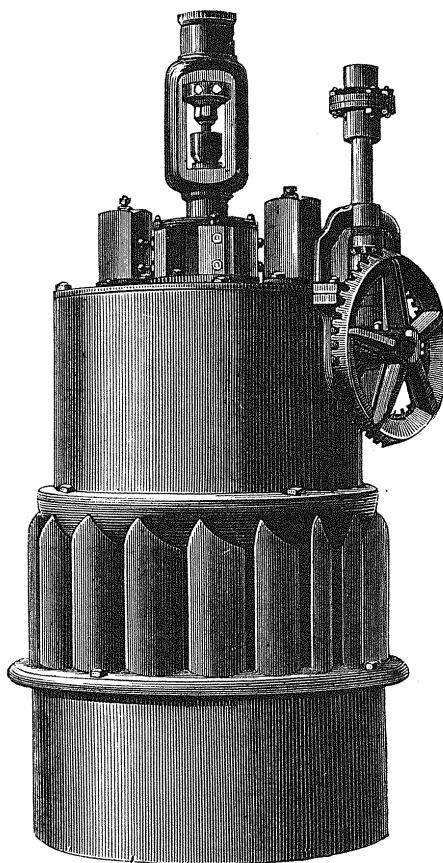


Fig. 142. — Turbine *Hercule* à pivot hors de l'eau.

sous une chute de 3 mètres avec 225 tours par minute, construction normale avec pivot en bois, telle que nous l'avons décrite pour la turbine *a*.

d. Une turbine Hercule-Progress de 20 chevaux sous 3 mètres de chute avec arbre creux, même construction que les précédentes, avec la particularité que le pivot est hors de l'eau, frottement métal sur métal, graissage à huile (fig. 142).

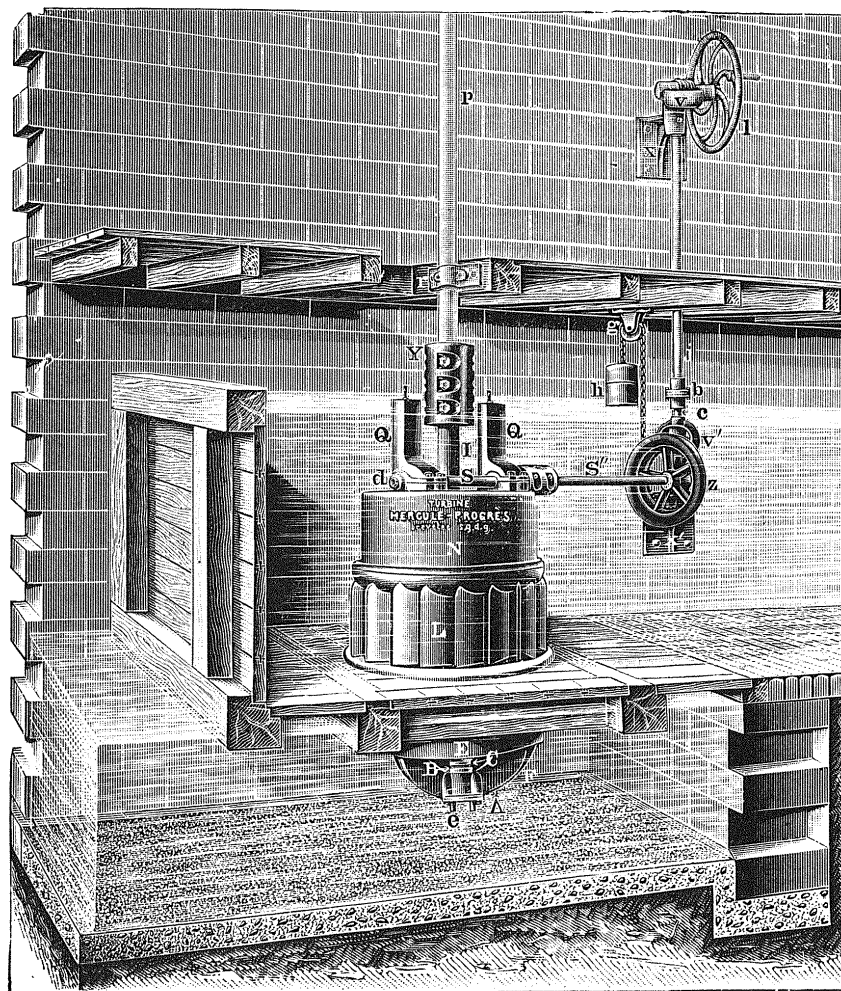


Fig. 143. — Turbine Hercule-Progress montée dans sa chambre d'eau.

Ce genre de pivot, avantageux dans certains cas où l'immersion du pivot en bois ne peut être assurée d'une façon suffisante, n'est appliqué qu'exceptionnellement par ces exposants, et seulement sur la demande formelle des clients, car ils estiment celui en bois préférable et présentant une sécurité au moins égale, mais ils ont voulu faire figurer à l'Exposition les diverses variétés de pivots applicables à leurs moteurs.

e. Enfin nous remarquons une turbine Hercule-Progress à axe vertical de 5 chevaux sous la chute de 2 m. 50 montée dans sa chambre d'eau en bois et maçonnerie, avec

l'aménagement complet des canaux d'aménée et de fuite, la vanne d'entrée de la chambre, la grille d'arrêt, le pont de service et toute la transmission par engrenages et poulie nécessaire pour la commande d'une usine (fig. 143).

Cet ensemble montre bien au visiteur comment se pratique, dans la réalité, l'installation d'une turbine pour basses chutes.

L'idée de placer le moteur dans les conditions de la réalité est d'autant plus heureuse qu'elle ne se rencontre auprès d'aucun autre exposant ; elle permet aux personnes les moins familiarisées avec les questions hydrauliques de se rendre compte des avantages et des facilités d'installation des turbines modernes.

L'on nous présente, pour terminer les turbines pour basses chutes, une petite turbine Hercule-Progress, modèle de démonstration, réduction au 1/10, installée dans une chambre d'eau et munie du mécanisme complet de commande d'un appareil quelconque.

Une chambre d'eau métallique reçoit l'eau nécessaire à la turbine par un robinet branché sur la conduite générale de l'Exposition et la décharge, par un tuyau en caoutchouc, dans une conduite d'évacuation.

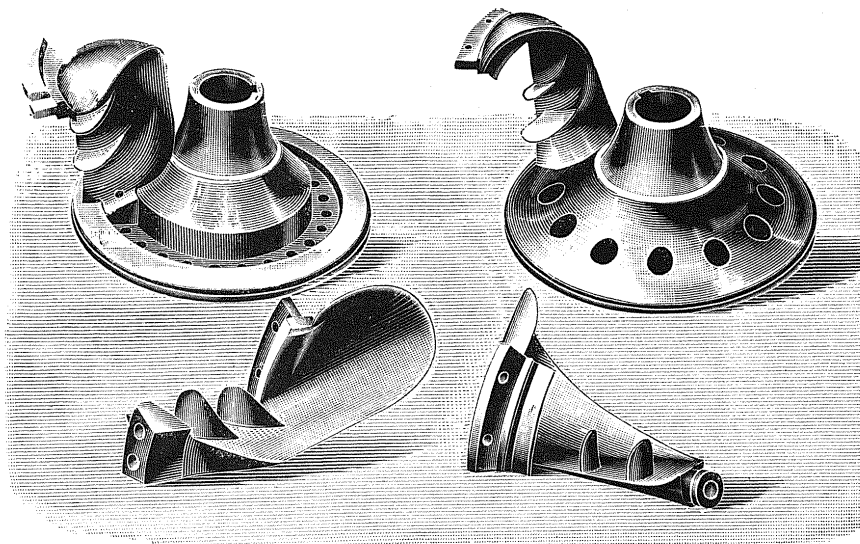


Fig. 144. — Tube de turbine Hercule-Progress. Aubé de turbine Hercule (ancien modèle).

Une disposition spéciale de la chambre d'eau permet de faire subir au niveau d'aval des variations importantes et de se rendre compte du fonctionnement de la turbine dans les diverses conditions de marche normale ou noyée ; des regards en verre permettent d'observer l'écoulement de l'eau à la sortie du moteur, et l'on constate qu'il a toujours lieu sans tourbillons ni remous, avec une vitesse modérée, toutes circonstances qui indiquent d'une façon certaine que dans ce système de turbines l'utilisation de l'eau est aussi complète que possible.

Le rendement des turbines Hercule-Progress est, du reste, d'au moins 80 p. 100, chiffre que garantissent les constructeurs, mais il atteint souvent beaucoup plus, et nous

avons sous les yeux le certificat d'essais officiels dans lesquels ce rendement a atteint 90 p. 100.

Signalons une roue motrice de turbine Hercule-Progress avec aubage en bronze, exposée détachée (fig. 144), et une autre de l'ancien modèle Hercule, dans lequel les aubes, au lieu d'être encastrées dans une rainure, sont simplement maintenues par un tourillon et une vis. Enfin une roue de turbine Hercule-Progress dont les aubes sont coulées d'une seule pièce avec le porte-aubes; cette roue est remarquablement bien réussie.

Nous retrouverons auprès d'autres exposants ce mode d'assemblage des roues motrices et nous donnerons, à ce moment, notre appréciation sur sa valeur.

MM. TEISSET, V^e BRAULT ET CHAPRON, de Chartres, exposent cinq turbines pour basses chutes.

Fondée en 1837, par M. Fontaine, l'inventeur de la turbine qui porte son nom, cette maison, l'une des plus anciennes de France, n'a cessé de s'occuper des moteurs hydrauliques en même temps que de la construction des appareils de meunerie.

Ses préférences étaient partagées, avec juste raison et suivant les circonstances locales, entre les turbines de son fondateur, les autres systèmes classiques et les roues hydrauliques.

C'est ainsi qu'en 1889, MM. Brault, Teisset et Gillet, prédécesseurs de la maison actuelle, ont exposé, dans la grande galerie du Champ-de-Mars, une série de turbines Fontaine, Girard, et dans la section de l'agriculture les modèles de l'installation d'une roue hydraulique pour l'alimentation du canal de Pierrelatte.

Mais l'évolution qui se produisait en France dans l'industrie des turbines, ainsi que nous l'avons vu dans la première partie de ce rapport, était bien de nature à compromettre l'avenir des constructeurs qui ne suivraient pas les traces du progrès, et, dès 1893, la maison de Chartres mit en mains l'exécution d'une série de 22 modèles d'une turbine centrifète mixte qu'elle dénomma « Américaine » et qui différait peu de la turbine Hercule.

Le pivot en bois de cette dernière fut cependant remplacé par le pivot Fontaine hors de l'eau.

Ce n'était pas une innovation à proprement parler, puisque le principe en avait déjà été appliqué, quelque temps auparavant, par d'autres constructeurs à des turbines du même genre, mais cette adaptation n'en est pas moins intéressante.

C'est dans ces conditions que nous trouvons aujourd'hui la turbine « Américaine » de MM. Teisset, veuve Brault et Chapron, très dignement représentée à la Classe 20 par une belle collection de turbines pour basses chutes composée de :

a. Une turbine « Américaine » de 470 chevaux sous la chute de 4 mètres, vitesse 58 tours, débit 11,200 litres par seconde, axe vertical avec pivot hors de l'eau (fig. 145).

La roue mobile de cette turbine est exposée détachée; elle est remarquable, comme du reste tout l'ensemble du moteur, par ses grandes dimensions (environ 2 m. 50 de

diamètre de roue mobile); chacune des aubes est encastrée dans le porte-aubes par deux tenons et maintenue par des vis.

b. Une turbine «Américaine» de 22 chevaux sous la chute de 4 mètres avec 510 litres d'eau par seconde et une vitesse de 234 tours par minute.

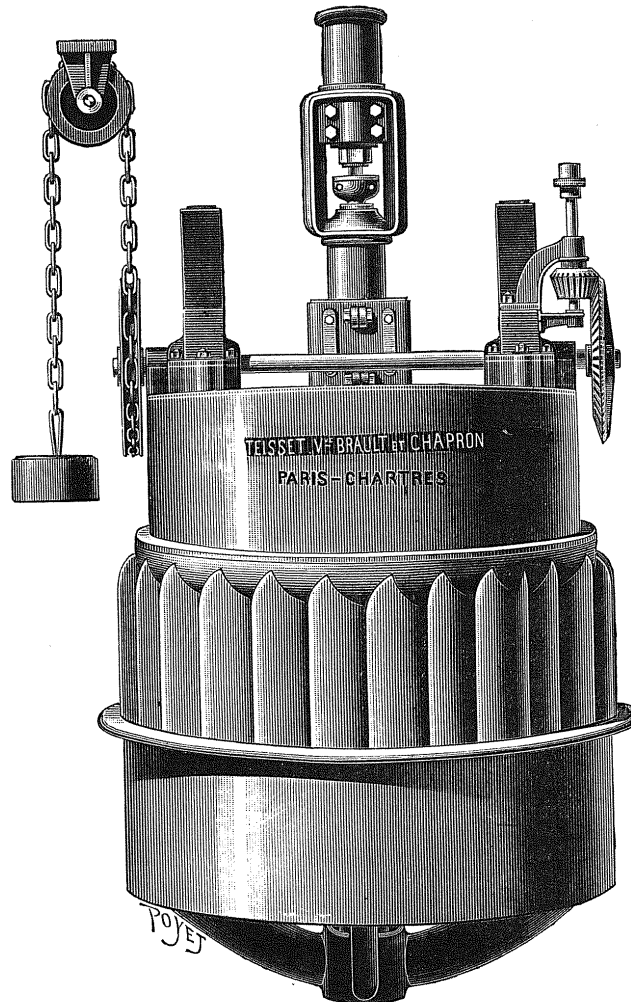


Fig. 145. — Turbine «Américaine» à pivot hors de l'eau.

Cette turbine est montée sur un châssis formant chambre d'eau; la vanne obturatrice est disposée pour la manœuvre automatique au moyen du régulateur Ribourt dont nous parlerons dans le chapitre spécial de ces appareils.

c. Une turbine de 38 chevaux, toujours sous la chute de 4 mètres, vitesse 175 tours par minute, débit 909 litres par seconde;

d. Une turbine de 52 chevaux, sous 4 mètres de chute, vitesse 155 tours, débit 1,210 litres. Ces turbines *c* et *d* sont exposées sans leur arbre vertical.

e. Une turbine de 5 chev. 70 sous 4 mètres de chute, 468 tours, axe vertical avec pivot en bois.

Nous ne nous attarderons pas à décrire la turbine « Américaine » puisqu'il suffit de rappeler que ses éléments constitutifs sont les mêmes que ceux de la turbine « Hercule » que nous connaissons déjà; ils ne diffèrent que par des détails de construction et par l'application du pivot supérieur hors de l'eau.

Remarquons cependant que MM. Teisset, veuve Brault et Chapron construisent également les turbines avec pivot en bois, mais, dans ce cas, ils conservent l'arbre creux du pivot hors de l'eau, ce qui facilite le travail en série.

Du n° 1 au n° 11, les aubes des roues motrices sont fondues d'une seule pièce avec le porte-aubes; à partir du n° 12 elles sont assemblées sur ce dernier par un ou deux tenons circulaires et fixées par des vis.

La fonte d'une pièce des aubes avec le tourteau qui les porte est un mode de construction qui présente certaines difficultés d'exécution et exige une grande habileté et une connaissance parfaite des procédés de la fonderie; il est déjà employé depuis quelque temps en Amérique et semble se généraliser en Europe, car l'économie de main-d'œuvre qui en résulte, dans la construction de la roue motrice, couvre rapidement les frais de première dépense de matériel spécial.

Nous pensons toutefois que ce procédé, s'il est économique pour les turbines de vente courante, ne doit pas être employé lorsqu'il s'agit d'installations importantes dans lesquelles on cherche à obtenir le rendement le plus élevé, en même temps que le maximum de facilités pour le cas de réparation.

En effet, la coulée d'un seul jet d'une pièce aussi délicate qu'une roue mobile de turbine mixte détermine nécessairement des efforts de contraction si violents et si divers, en raison de la forme spéciale des différentes parties et des variations considérables dans la section du métal, qu'il faut prendre des précautions toutes particulières pour éviter des ruptures au refroidissement; puis, même si la pièce réussit parfaitement à la coulée, des tensions internes du métal peuvent subsister, et produire la rupture sans cause apparente.

Même lorsque les aubes, coulées séparément, sont scellées dans le tourteau par la fonte en fusion de celui-ci, il est particulièrement difficile d'éviter et de se rendre compte des efforts de contraction dans l'assemblage.

Le remplacement d'une aube, en cas d'accident, et la rectification des surfaces en contact avec l'eau, deviennent à peu près impossibles.

Dans la roue mobile avec aubes rapportées, au contraire, aucune tension dangereuse ou anormale ne peut exister, lorsque l'assemblage est convenablement exécuté, chaque aube peut être réglée, rectifiée, polie avec la plus grande facilité, et c'est l'unique moyen d'obtenir un organe parfait, répondant au maximum de rendement.

Quant à la question de prix de revient, il est incontestable que les roues d'une seule pièce sont bien moins coûteuses à établir et présentent, sous ce rapport, un avantage sur les roues à aubes rapportées.

MM. Teisset, veuve Brault et Chapron exposent encore une magnifique collection de roues motrices de toutes dimensions parmi lesquelles une roue de turbine américaine n° 18, fondue d'une seule pièce, d'une remarquable exécution; elle a 1 m. 650 de diamètre et pèse 3,200 kilogrammes.

Pour compléter l'examen des moteurs que nous venons de voir, M. Teisset, qui fait au Jury les honneurs de cette exposition, remet à M. le Président un intéressant travail sur les turbines centripètes mixtes, dans lequel il développe la théorie de l'entrée de l'eau sur l'aubage mobile, la comparaison du travail des pivots en bois avec les pivots métalliques, l'action du principe de la jonvalisation; enfin il donne une méthode de tracé des aubes motrices.

La SOCIÉTÉ JACOB RIETER ET C^{ie}, à Winterthur (Suisse), présente une turbine mixte à axe vertical, établie pour une force de 159 chevaux, sous la chute de 5 m. 25, à la vitesse de 124 tours par minute. Sa construction est identique à celle des turbines « Américaines » que nous avons déjà vues chez MM. Teisset, veuve Brault et Chapron; il est donc inutile de revenir sur la description de ce moteur. Le pivot est supérieur, à anneaux concentriques, avec serpentín refroidisseur.

MM. LAURENT ET COLLOT FRÈRES, de Dijon, exposent une turbine centripète du modèle dit *Normale*, qu'ils nous déclarent construire depuis 1894.

Cette turbine est à axe vertical et développe une force de 56 chevaux avec 1,320 litres d'eau par seconde et une vitesse de 155 tours par minute (fig. 146).

Les aubes sont en forme de cuillers, comme nous venons de le voir dans les modèles de turbines précédents, la vanne est cylindrique, mais coulisse à l'extérieur du distributeur; la partie inférieure est munie d'ailettes rapportées en tôle qui emboîtent complètement les directrices.

Le mouvement de levée de la vanne est obtenu par un système de pignons et de crémaillères placés sur un couvercle fixé sur le distributeur.

Cette disposition assure le guidage de l'eau dans le distributeur, mais nous paraît devoir exiger un certain entretien lorsque la turbine utilise des eaux calcaires ou fortement chargées de matières étrangères.

Le mécanisme de vannage placé tout entier à l'extérieur, disposition que nous retrouverons dans les turbines exposées dans la section des États-Unis, facilite le démontage et les réparations, mais son usure doit être beaucoup plus rapide que lorsqu'il est à l'abri du sable, comme dans les turbines précédentes, car la vanne, lorsqu'elle est ouverte, forme une cuvette de dépôt naturel des matières en suspension dans l'eau.

La roue motrice est semblable à celle des turbines « Hercule », mais les aubes sont lisses, sans aucune disposition pour guider l'eau; l'effet favorable de la vanne ne nous semble donc pas assuré sur tout le parcours de la veine liquide.

Le pivot est en bois de gaïac supporté par un balancier compensateur identique à celui adopté par Fourneyron dans ses turbines centrifuges.

D'une utilité réelle dans les turbines à pivot métallique, cette disposition nous paraît cependant présenter de moindres avantages lorsqu'elle est appliquée aux pivots en bois,

car, si ce genre de pivots est pratiquement exempt d'usure lorsque l'installation en est faite convenablement, et qu'il est constamment immergé dans l'eau, l'expérience a cependant prouvé que, dès que cette usure commence, pour une cause quelconque, l'organe est détruit complètement et en quelques instants; l'usure n'est jamais progressive. Dès qu'elle se fait sentir, l'action du levier compensateur devient un luxe, d'une utilité contestable.

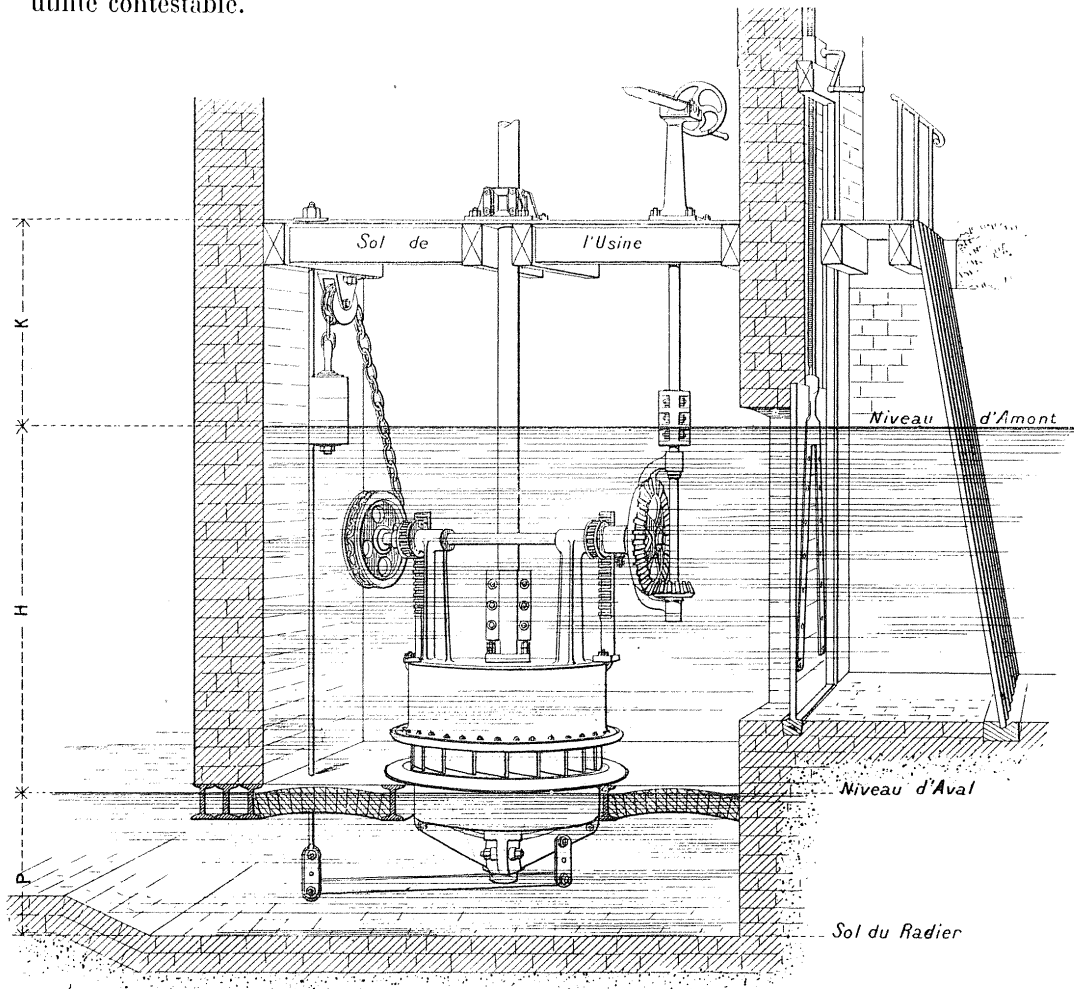


Fig. 146. — Turbine « Normale » dans sa chambre d'eau.

MM. Laurent et Collot frères nous présentent ensuite des roues motrices isolées pour turbines « Normales ».

Ces roues sont formées d'aubes assemblées sur leur siège par un tourillon unique, encastré et fixé par un seul boulon; la partie inférieure est rivée par deux frettes en acier.

Cet assemblage peut être appliqué aux petites forces, mais sa résistance laisse à désirer lorsque les turbines fonctionnent sous des chutes un peu élevées.

MM. DARBLAY PÈRE ET FILS, d'Essonnes, nous montrent une turbine centripète mixte, à axe vertical, destinée à être placée dans une chambre d'eau ouverte.

Elle est construite pour marcher sous 2 mètres de chute, en développant 20 chevaux de force à la vitesse de 98 tours par minute.

La vanne est du système à cylindre obturateur coulissant verticalement entre le distributeur et la roue mobile.

Le dôme a de très grandes dimensions et contient tout le mécanisme de la vanne, qui se trouve ainsi à l'abri des corps étrangers et de toute cause extérieure d'arrêt; l'accès intérieur est assuré par un trou d'homme.

Les aubes de la roue motrice sont en bronze, démontables, et sont maintenues, en plus d'un frettage extérieur, par un croisillon fixé sur l'arbre de la turbine qui assujettit le bord intérieur de chaque aube.

La partie supérieure de chaque aube est, en outre, encastrée par un tourillon et maintenue par une vis.

Cette disposition donne de la résistance à l'assemblage, mais, comme elle obstrue la section intérieure d'écoulement de l'eau, on peut se demander s'il ne se forme pas des tourbillons nuisibles au rendement. L'expérience seule pourra répondre d'une façon efficace.

Dans tous les cas, la disposition mérite bien d'être signalée.

Le pivot est à billes, du système Vigreux; il donne de bons résultats sous les chutes basses et même moyennes lorsque la vitesse n'est pas exagérée, mais il n'est pas à notre connaissance que cette application ait été faite à des turbines de grande puissance, dont le pivot est fortement chargé.

S. MORGAN SMITH AND C^o, de York Pa (États-Unis), exposent, dans la catégorie des turbines pour basses chutes, quatre turbines centripètes mixtes, dont une du type dit «MC» et trois du type «NS».

La turbine MC est du modèle n^o 24, développant une force de 25 chevaux sous une chute de 3 m. 0/10, avec 773 litres d'eau par seconde et une vitesse de 19/4 tours par minute.

De même origine que la turbine «Hercule», elle se compose des mêmes éléments et ne diffère que par l'application du mécanisme de commande de la vanne à l'extérieur du dôme, comme nous l'avons déjà vu dans la turbine «Normale» de MM. Laurent et Collot frères, de Dijon, la vanne obturatrice restant logée entre le distributeur et la roue mobile (fig. 147).

Cette dernière est coulée d'une seule pièce, comme dans plusieurs turbines que nous avons déjà décrites, le bord extérieur des aubes, dans la partie centripète, étant incliné en avant sur l'axe du moteur.

Cette disposition favorise, avec le moins de perte possible, l'entrée de l'eau sur l'aubage; l'exposant y attache, pour les débits variables, une importance que nous ne partageons pas complètement, puisque ces turbines fonctionnent toujours avec une forte réaction et que la position plus ou moins inclinée de l'arête extérieure ne saurait, à notre avis, avoir une grande influence si la section d'écoulement à la sortie n'est pas

modifiée en même temps que le degré d'admission, ou bien que les filets liquides ne sont pas dirigés convenablement sur tout le parcours.

Le pivot est en bois dur, la turbine est disposée pour recevoir, à la partie supérieure, un pivot de sûreté; le boitard qui guide l'arbre dans le passage du dôme est également muni de coussinets en bois lubrifiés par l'eau.

MM. Sloan et C^{ie}, qui représentent à Paris la maison Morgan Smith, nous déclarent qu'il se construit un modèle de turbine MC développant 2,726 chevaux, sous 11 m. 85 de chute, avec 21,572 litres d'eau par seconde et une vitesse de 116 tours par minute.

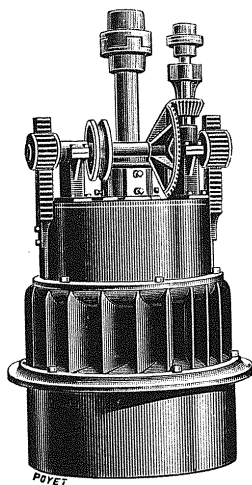


Fig. 147. — Turbine Morgan Smith,
type MC.

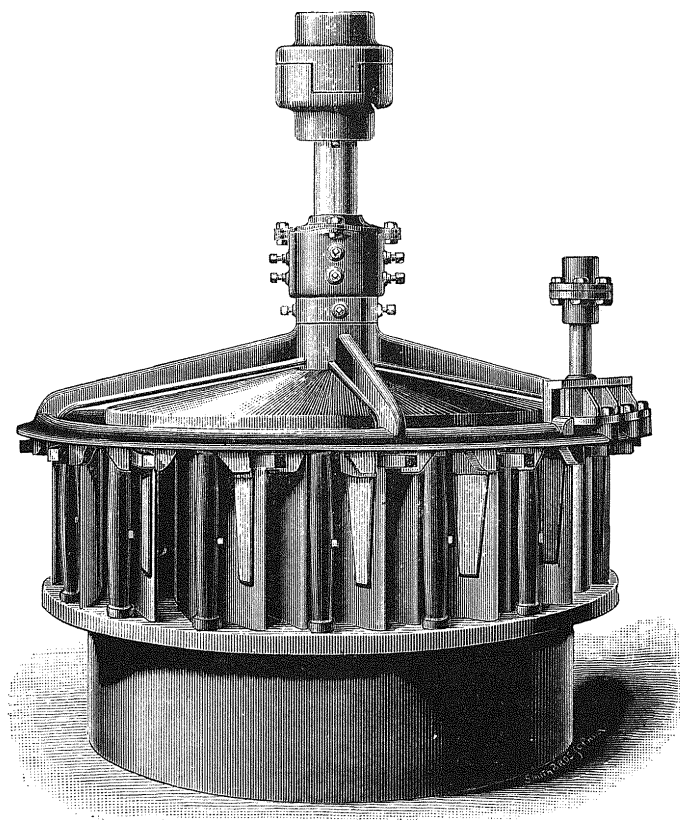


Fig. 148. — Turbine Morgan Smith,
type NS.

Les turbines NS sont spécialement étudiées pour les basses chutes, et établies de façon à ce que le boitard supérieur soit toujours immergé dans le niveau d'amont, pour éviter toute introduction d'air dans la turbine, parfois cause de perte dans le rendement (fig. 148).

La roue motrice de ces turbines est identique à celle des turbines MC.

La vanne est supprimée, l'obturation se fait par les directrices du distributeur qui sont mobiles autour d'un axe dont le mouvement met la section des orifices d'introduction en rapport avec le degré d'ouverture que l'on désire, et les ferme complètement si l'on veut arrêter la turbine (fig. 149).

Un secteur denté, qu'actionne un engrenage fixé sur un arbre qui porte un manchon d'accouplement, est muni de talons qui entraînent les directrices dans leur mouvement de rotation.

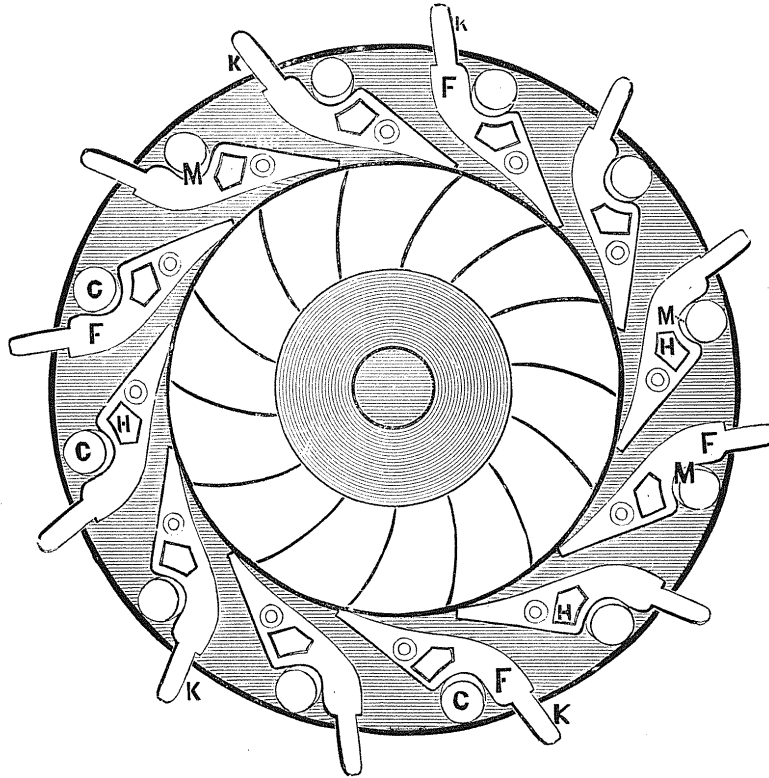


Fig. 149. — Coupe horizontale d'une turbine Morgan Smith NS.

Ces turbines se distinguent surtout par la grande rapidité avec laquelle s'opère leur démontage.

Les trois turbines de ce type sont à axe vertical pour chambre d'eau ouverte, et sont des modèles n^{os} 12, 15 et 24, développant respectivement 2 chevaux $1/2$, 4 chevaux 2 et 14 chevaux 2 sous la chute de 2 m. 128.

Les pivots sont en bois comme dans les turbines MC.

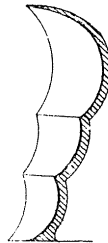


Fig. 150. — Aube d'une turbine, type NS.

La turbine NS n^o 12 porte un aubage spécial pour débits variables. La partie supérieure des aubes, au lieu d'être verticale ou inclinée vers l'avant, comme dans les

autres turbines du même modèle, est formée de trois courbes successives qui ont pour but de diviser la lame d'eau en hauteur, de former comme trois étages, c'est-à-dire trois moteurs superposés (fig. 150).

Nous avons déjà trouvé une disposition à peu près analogue dans les premières turbines mixtes que nous avons décrites, dans lesquelles les aubes sont divisées, verticalement, en sections par des directrices venues de fonte avec l'aubage.

Le dispositif de M. Morgan Smith nous paraît néanmoins nouveau, mais il ne présente, à notre avis, aucun avantage sur les autres moyens employés pour arriver au même résultat; le système de vanne qui admet l'eau sur toute la hauteur de l'orifice, quel que soit le degré de l'admission, ne nous semble, du reste, que peu favorable à ce genre d'aubes, et nous pensons qu'en appliquant ce dispositif à la turbine MC avec vanne cylindrique, on atteindrait le but d'une manière beaucoup plus complète.

Turbines parallèles. — Les turbines parallèles pour basses chutes comprennent : deux turbines Fontaine et une turbine Royer.

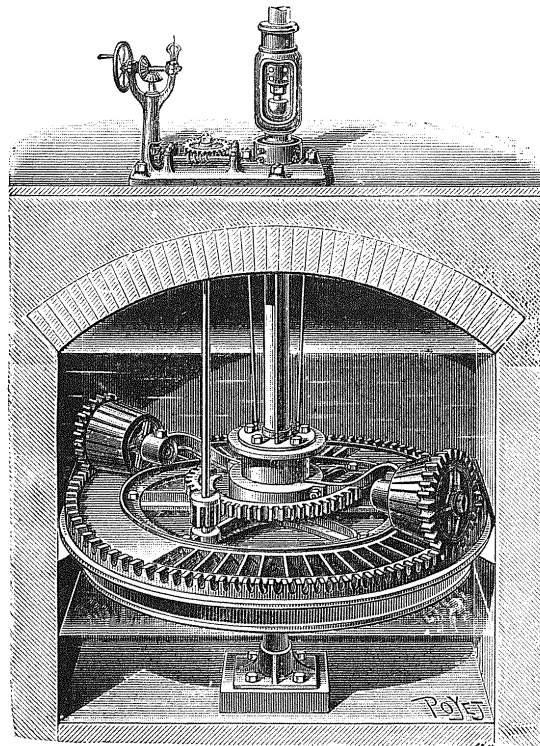


Fig. 151. — Turbine système Fontaine.

MM. TEISSET, Veuve BRAULT et CHAPRON nous montrent une turbine parallèle Fontaine, à axe vertical de la force de 6 chevaux, sous 2 mètres de chute, vitesse : 43 tours par minute (fig. 151).

La construction est celle classique sur laquelle il est inutile de donner des détails; on

les trouve très complets dans le rapport de l'Exposition de 1889 et dans tous les ouvrages traitant des moteurs hydrauliques.

Le pivot est disposé hors de l'eau avec arbre creux et pivot métallique, l'obturation des orifices distributeurs s'obtient par rouleaux, cônes et disques en cuir hydrofuge.

Nous trouvons ensuite une turbinette du même système de 15 kilogrammètres sous 3 mètres de chute.

MM. ROYER ET JOLY, d'Épinal (Vosges), exposent une très belle turbine parallèle à axe vertical, d'une force de 85 chevaux, sous la chute de 1 m. 40, construite pour un débit variable de 800 à 6,000 litres par seconde.

Comme elle doit tourner dans l'eau d'aval pendant les crues, les augets sont établis de façon à ce que l'eau les remplisse complètement; c'est donc une turbine à action limite entre la réaction et la libre déviation.

L'angle de sortie des directrices est de 25 degrés; celui des aubes, de 22 degrés.

Le vannage, très ingénieux, est à clapets mécaniques du système Joly.

Un volant à main, ou un régulateur automatique de vitesse, permet d'ouvrir ou de fermer les clapets les uns après les autres, de façon à faire varier le débit à volonté.

Ce mécanisme n'a ni boulons, ni vis; on peut enlever les clapets et les remettre en place sans le secours d'aucun outil. Il présente des avantages réels sur les systèmes de vannage généralement adoptés dans les turbines parallèles, l'admission se fait sur toute la circonférence et la position des sabots de commande des clapets assure l'équilibre des efforts.

Ce vannage, breveté en 1880, avait déjà été appliqué à une turbine exposée en 1889, à Paris, par M. Royer, fondateur de la maison et a été décrit dans tous ses détails dans le rapport de cette exposition.

Le pivot est du genre Fontaine hors de l'eau avec arbre creux.

Cette turbine attire surtout l'attention par les grandes variations qu'elle peut subir dans le débit sans que le rendement soit diminué d'une façon sensible; elle est d'une construction très soignée, comme, du reste, tous les moteurs exposés par cette maison.

TURBINES POUR MOYENNES CHUTES.

Cette classe de turbines peut se diviser en :

Centripètes	{ pures.	5 turbines.
	{ demi-mixtes.	9
	{ mixtes.	8
Centrifuges.		6
Parallèles.		5
		<hr/>
	TOTAL	33
		<hr/>

Turbines centripètes. — En turbines centripètes pures, nous remarquons d'abord celles de :

MM. PICCARD, PICTET ET C^{ie}, à Genève (Suisse), qui présentent une turbine à axe horizontal, à réaction, développant une force de 700 chevaux sous 18 m. 40 de chute à la vitesse de 250 tours par minute.

Elle est construite pour fonctionner, en temps de crues, sous 13 m. 50 de chute seulement et pour produire, dans ces conditions, encore 500 chevaux.

Destinée à la chute du Saut-Mortier (Jura), elle sera accouplée à un alternateur de la Société des ateliers de construction d'Oerlikon et travaillera avec une aspiration d'environ 7 mètres (fig. 152).

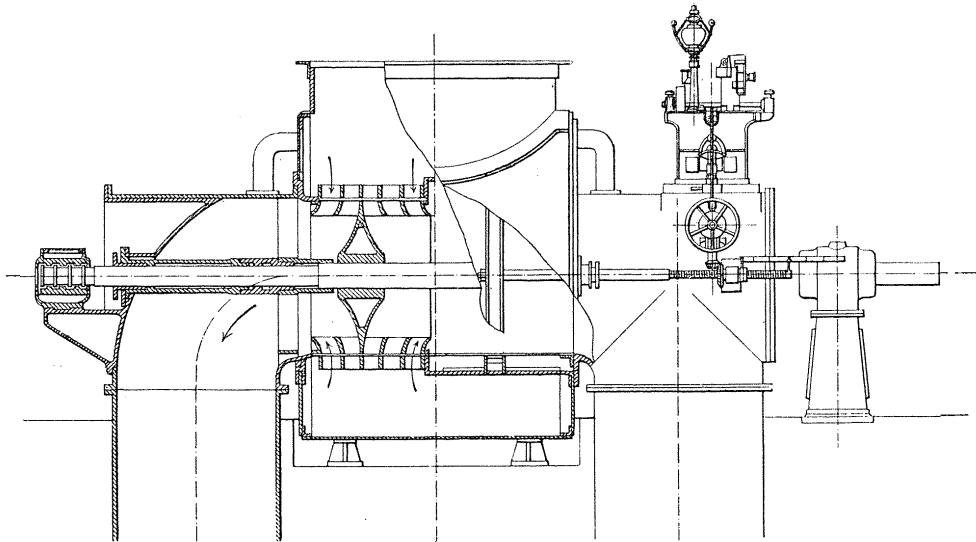


Fig. 152. — Turbine centripète double de MM. Piccard, Pictet et C^{ie}.

Le distributeur et la roue motrice sont formés de cinq couronnes divisées en deux groupes par un disque formant moyeu; l'eau s'échappe par deux coudes de 1 m. 10 de diamètre, placés aux extrémités du moteur et prolongés par deux tubes de succion qui plongent dans l'eau d'aval.

En eaux moyennes, l'eau est admise sur quatre couronnes, deux de chaque côté du disque médian. Lorsque la chute diminue à la suite de crues, la force est maintenue constante, ou à peu près, par l'ouverture de la cinquième couronne, qui permet au moteur d'absorber un volume d'eau plus important.

L'obturation est produite par une vanne cylindrique (comme dans les turbines du genre Hercule), laquelle glisse horizontalement entre le distributeur et la roue mobile.

Cette vanne est en fer, et, comme elle est équilibrée, elle se déplace sous un effort relativement faible et se prête parfaitement à l'action du régulateur automatique.

Toute la turbine est logée dans une bache en tôle et fonte formant chambre d'eau forcée, dans laquelle l'eau arrive par une tubulure reliée à la conduite d'amenée; des trous d'homme facilitent l'accès de la turbine pour la visite ou le nettoyage.

La vanne est actionnée, soit à la main, soit automatiquement, par deux tiges filetées qui traversent le fond de la bêche dans des presse-étoupes et sont reliées à un régulateur automatique de vitesse à déclié et servo-moteur du modèle pour vannages résistants.

L'arbre moteur traverse les coudes, également dans des presse-étoupes; ses extrémités sont maintenues par deux forts paliers autograisseurs. Le palier d'avant est monté sur un support venu de fonte avec le coude et porte trois collets de butée; celui de l'autre extrémité est fixé sur une forte chaise en fonte scellée au sol et indépendante de la turbine.

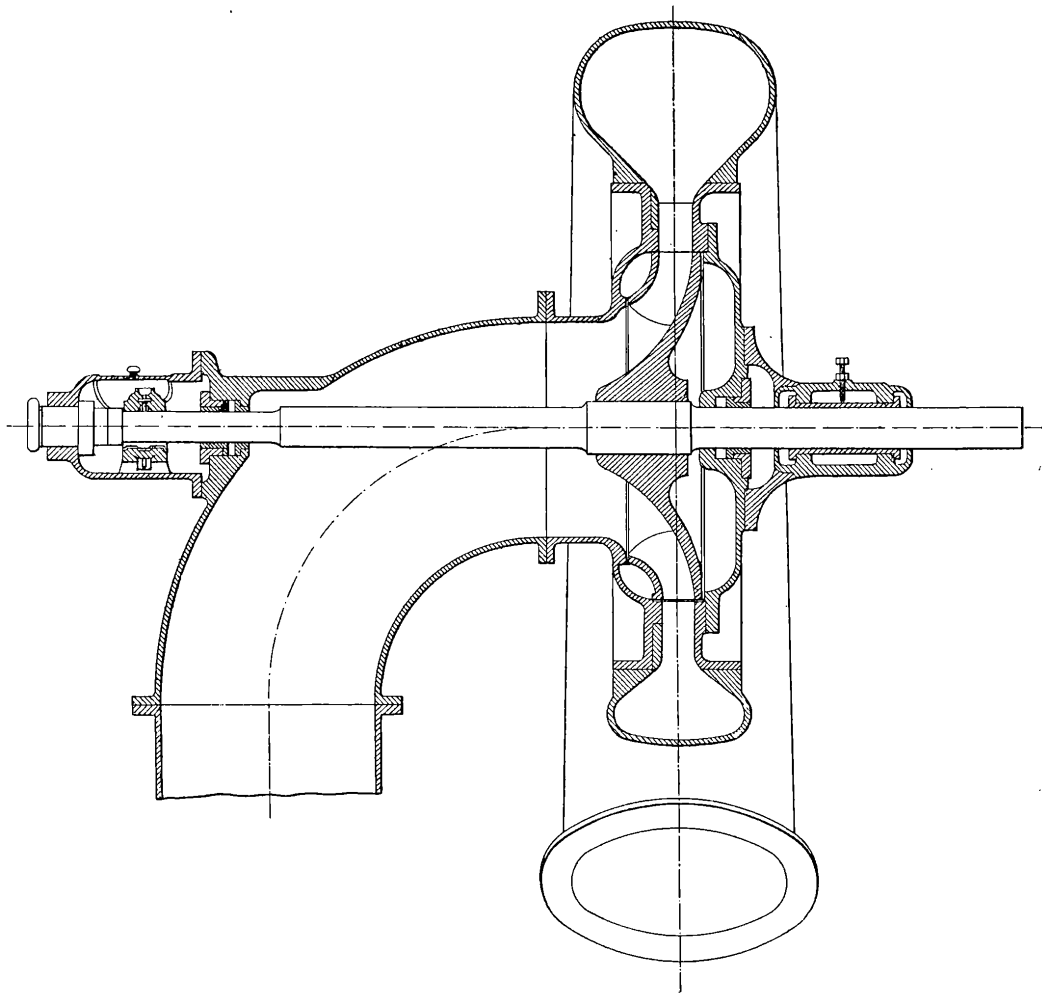


Fig. 153. — Turbine Francis de la Société Escher Wyss et C^{ie}.

Près du disque porte-roues, l'arbre est encore maintenu par un boitard formant moyeu d'un croisillon logé dans le coude antérieur.

Les extrémités de la turbine sont mises en communication constante par un tuyau destiné à maintenir l'équilibre aussi parfait que possible de la vitesse de l'eau aux deux orifices de décharge.

Enfin un robinet placé à la partie inférieure de la bêche permet d'évacuer toute l'eau au moment de l'arrêt.

Les turbines jumelles, ou à plusieurs couronnes, comme celle que nous venons de voir, sont très répandues aujourd'hui; nous en trouverons de nombreux spécimens dans les turbines que nous examinerons plus loin. Elles permettent d'adopter, pour une force et une chute données, un diamètre plus faible que dans les turbines simples, et d'obtenir ainsi une vitesse angulaire plus grande, ce qui, dans bien des cas, et surtout dans les applications électriques, est souvent fort avantageux.

La SOCIÉTÉ ESCHER WISS ET C^{ie}, de Zurich (Suisse), expose, dans cette catégorie, une turbine Francis de la force de 600 chevaux sous la chute de 43 mètres, vitesse 300 tours, destinée à la Société des Forces de la Vézère (Corrèze).

Le nom de la Société Escher Wyss et C^{ie} est bien connu dans le monde industriel; elle a déjà obtenu un grand prix à l'Exposition universelle de Paris de 1889, mais la collection des turbines présentées en 1900 est bien plus importante que sa devancière, tant au point de vue du nombre et de la puissance des moteurs que de la nouveauté et de la variété des dispositions.

La turbine est placée dans une bêche en fonte, forme spirale, munie d'une tubulure pour l'admission de l'eau et d'un coude de décharge (fig. 153).

L'eau se répand dans la bêche calculée de manière à ce que le rapport entre la section de passage de l'eau et son volume, en un point quelconque du pourtour, reste constant sur toute la circonférence du moteur; sa vitesse d'entrée dans les orifices du distributeur est donc uniforme, les pressions sur l'aubage s'équilibrent et assurent le bon fonctionnement de la turbine.

La roue motrice a 1 m. 20 de diamètre, le vannage est du système de M. le professeur Finck, dans lequel les directrices pivotent chacune autour d'un axe logé dans des disques latéraux et reçoivent leur mouvement par un cercle concentrique mobile sur un des disques (fig. 154).

Ce cercle porte, en face de chaque directrice, une rainure dans laquelle s'engage le talon dont est munie la partie inférieure de chaque directrice.

Cette dernière est ainsi entraînée, lorsque le cercle mobile se déplace sous l'action de deux manivelles rendues solidaires par une bielle, et s'incline en réduisant la section de passage de l'eau, en l'obturant même entièrement si l'on veut arrêter la turbine.

Chaque talon est pris, à la partie inférieure, dans un coussinet qui se déplace dans une rainure du cercle mobile, lequel tourne autour de la partie fixe, lorsqu'il est manœuvré à la main par un volant qui agit sur une vis sans fin et un secteur calé sur l'arbre qui porte la manivelle inférieure, ou bien automatiquement sous l'action d'un régulateur de vitesse.

Le régulateur est à action hydraulique, analogue à celui employé pour les turbines à haute pression sur lequel nous donnerons des détails complets lorsque nous parlerons de ces appareils; sa vitesse peut être modifiée au moyen d'une vis de réglage placée sur le prolongement de la tige de la soupape de distribution.

Une autre turbine Francis, de la même maison, à axe horizontal, dans une bache en spirale, est d'une force de 200 chevaux sous 60 mètres de chute, à la vitesse de 600 tours par minute.

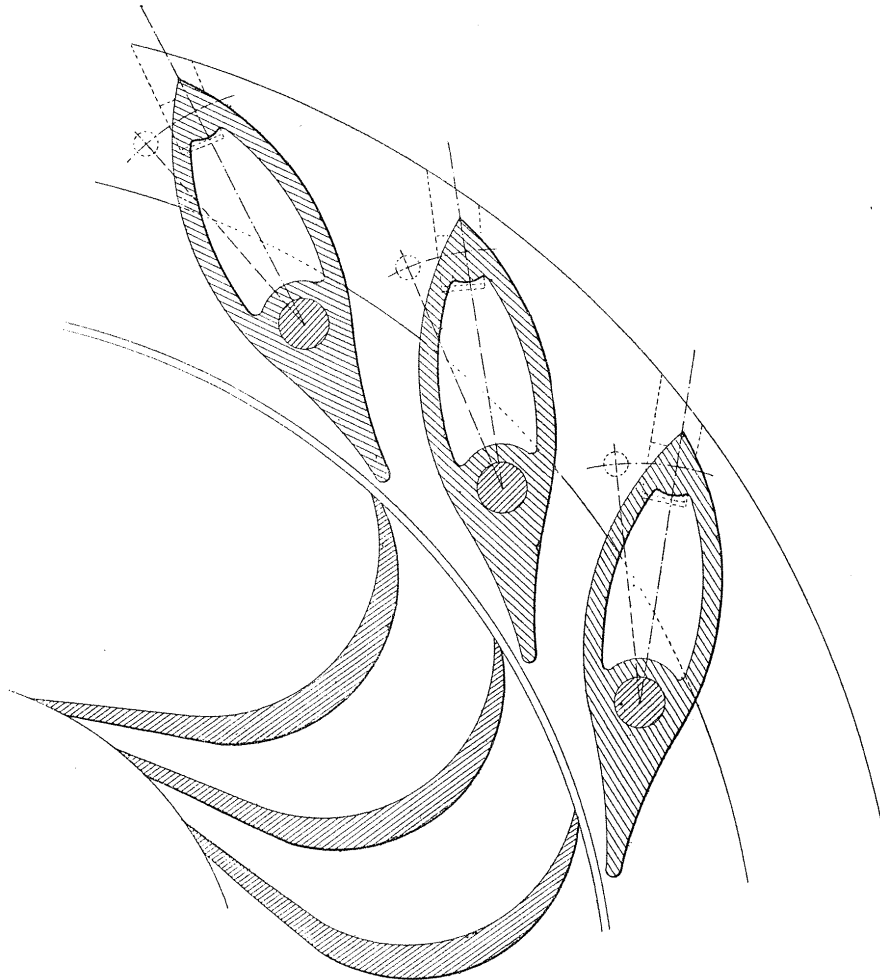


Fig. 154. — Vannage Finck.

Cette turbine est établie dans les mêmes conditions que celle que nous venons de voir, mais le vannage est du système Zodel, dans lequel le distributeur est composé de deux anneaux concentriques, l'un extérieur fixe, l'autre intérieur mobile, qui se déplace devant les orifices de la partie fixe pour rétrécir la section de passage (fig. 155).

Chaque directrice extérieure porte une palette qui se prolonge dans les vides de l'anneau mobile, de telle sorte qu'à n'importe quel degré d'ouverture, la veine liquide conserve sa direction et se trouve entièrement guidée jusqu'à sa sortie.

L'anneau mobile du distributeur reçoit son mouvement, soit à la main par un volant agissant sur un pignon qui commande une roue dentée, soit automatiquement par un régulateur servo-moteur hydraulique avec filtre perfectionné dont nous parlerons dans le chapitre des régulateurs.

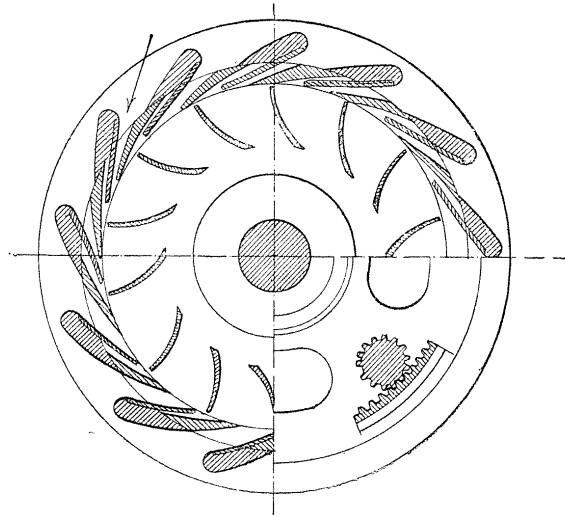


Fig. 155. — Vannage Zedel, coupe horizontale.

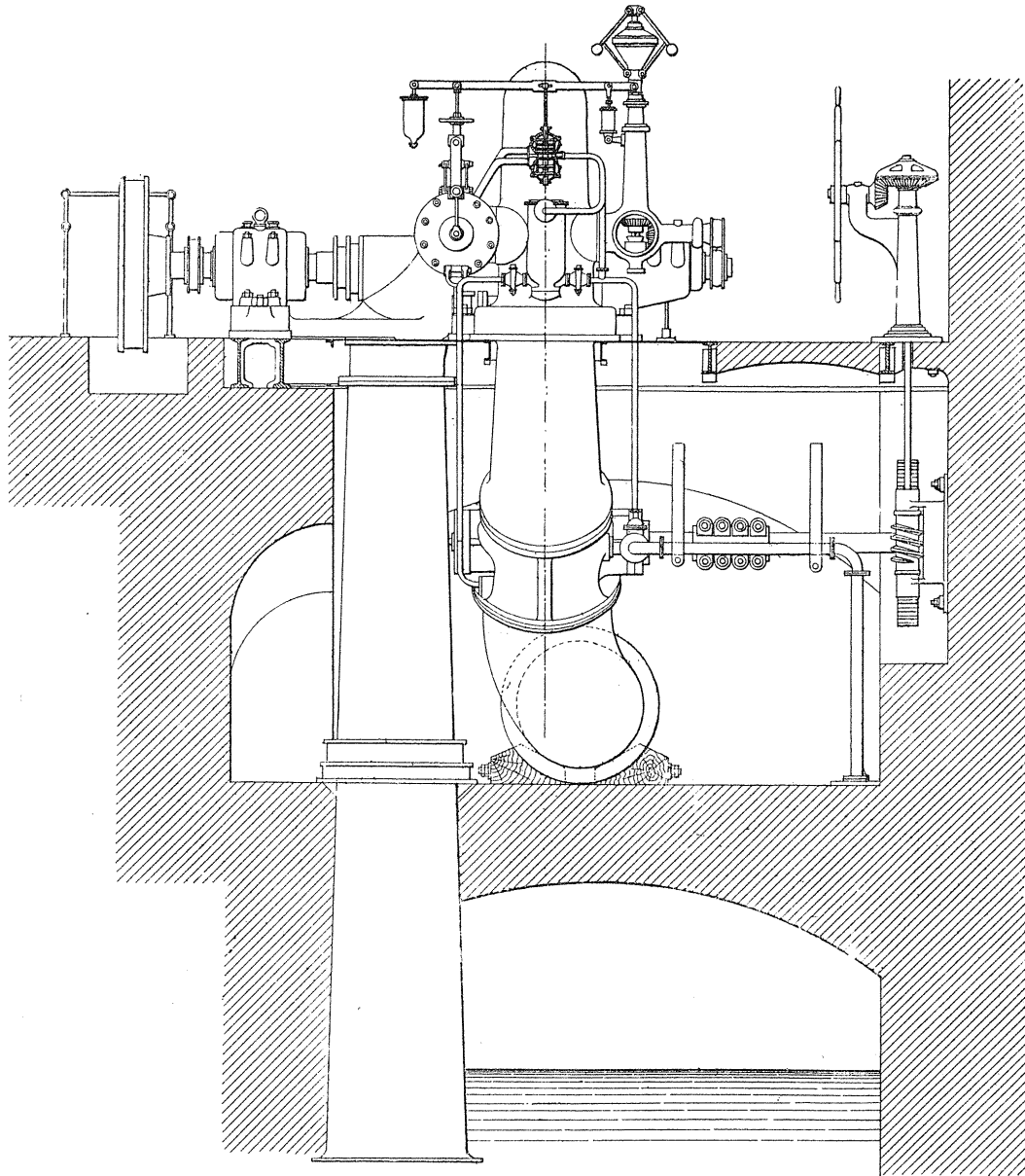


Fig. 156. — Turbine Francis de MM. Ganz et C^{ie}, à Budapest.

Dans la section hongroise, nous trouvons l'importante maison GANZ ET C^{ie}, de Budapest, qui présente une turbine Francis à axe horizontal pouvant développer une force de 1,000 chevaux sous 70 mètres de chute, à la vitesse de 300 tours par minute (fig. 156 et 157).

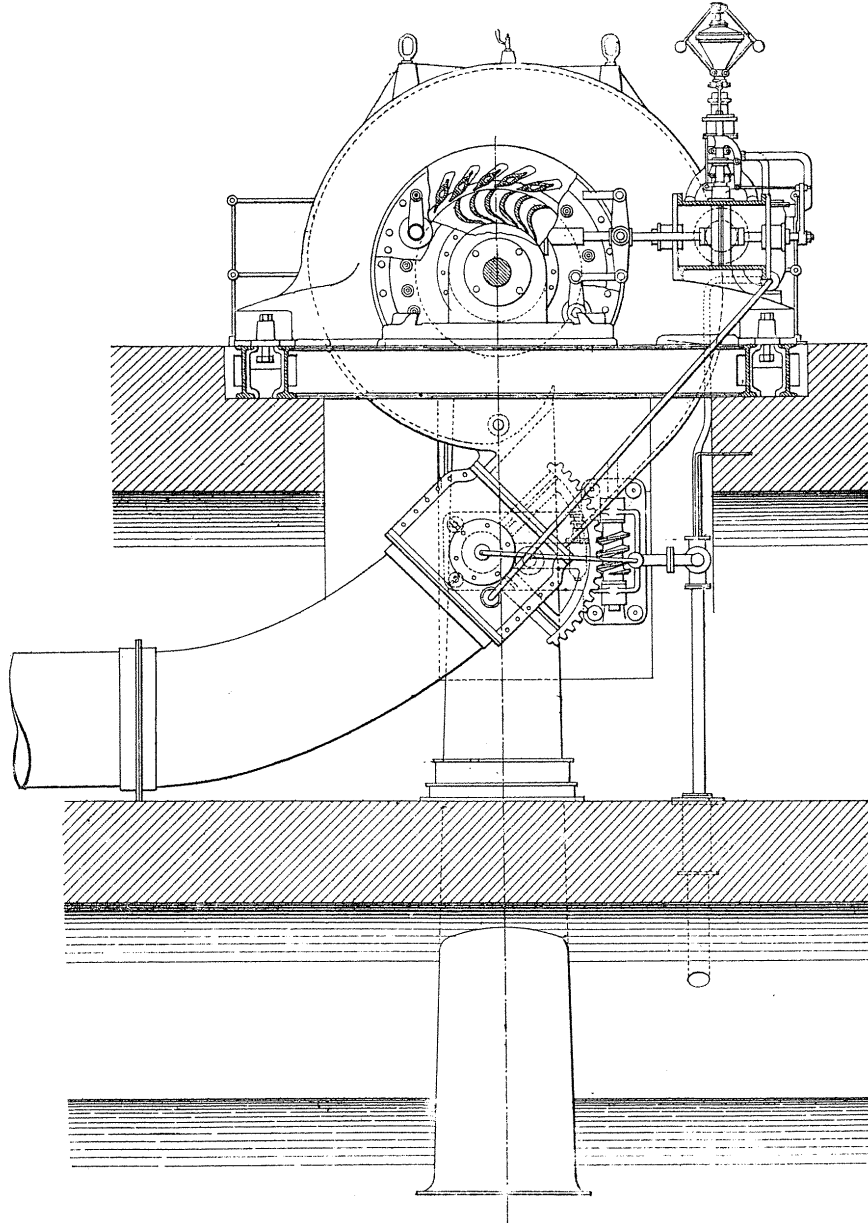


Fig. 157. — Turbine Francis de MM. Ganz et C^{ie}, à Budapest.

Elle est placée dans une bêche en fonte, forme spirale, qui assure, comme nous l'avons vu précédemment, une vitesse uniforme de l'eau à l'entrée des directrices.

L'eau pénètre dans la bêche, à la partie inférieure, par une tubulure inclinée à environ 45 degrés sur la conduite principale, passe dans le distributeur et la roue

motrice, puis se décharge, par un coude en fonte, dans un tuyau d'aspiration qui plonge dans l'eau d'aval.

La roue motrice a 1 m. 145 de diamètre extérieur et porte 30 aubes disposées pour la réaction nulle ou limite.

Le vannage est du système Finck, que nous avons vu précédemment; sa commande est soumise à l'action d'un régulateur servo-moteur hydraulique à double effet, qui règle la section d'écoulement des orifices distributeurs; cette manœuvre peut également se faire à la main.

Le cylindre servo-moteur reçoit, à travers un filtre, la pression naturelle de la chute, qui est ainsi amenée sur l'une ou l'autre des faces du piston par un tiroir distributeur équilibré, d'une construction très ingénieuse, dont nous parlerons plus loin.

La position du piston, et par conséquent la section d'ouverture du vannage de la turbine, se trouvent sous la dépendance du pendule centrifuge; un relais mécanique relié au piston limite automatiquement les oscillations du pendule.

L'arbre moteur traverse le couvercle de la bêche et le coude d'évacuation dans des presse-étoupes; il s'appuie, par un épaulement et un écrou réglables, sur deux bagues qui tournent sur les faces extérieures des coussinets du palier d'avant et supportent la poussée longitudinale.

Le palier d'avant est fixé sur le couvercle de la bêche, celui d'arrière porte sur un fort bâti venu de fonte avec le coude; tous les deux sont à très longue portée et à graissage automatique.

L'extrémité postérieure de l'arbre reçoit un manchon élastique système Zedel pour l'accouplement direct avec une dynamo.

Enfin l'admission de l'eau dans la bêche, pour la mise en train ou l'arrêt du moteur, de même que l'isolement avec la conduite principale sont obtenus par un papillon qu'actionne, du plancher de l'usine, un volant agissant sur un secteur denté par l'intermédiaire d'une paire d'engrenages à cônes et d'une vis sans fin.

La SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS MÉCANIQUES D'ARBOGA (Suède) présente une turbine à axe horizontal quadruple, de 300 chevaux, sous 10 mètres de chute, vitesse 250 tours par minute (fig. 158).

Les quatre couronnes, de 0 m. 70 de diamètre, reçoivent l'eau par trois tubulures et la déchargent dans deux tuyaux d'aspiration.

Les vannes sont à tiroir circulaire, formé d'un cylindre mobile autour du distributeur, dans lequel sont ménagés autant d'orifices qu'il y a de canaux directeurs.

La rotation du cylindre, sous l'action d'un secteur denté, amène les parties pleines devant les vides des canaux, obstrue le passage ou le ferme entièrement lorsque le recouvrement est complet.

Ce système de vanne est déjà appliqué à la turbine américaine *Victor*; nous la retrouvons aussi dans une turbine mixte à axe horizontal, de la maison Singrün frères, d'Épinal.

Trois vannes sont reliées à un régulateur servo-moteur de vitesse; la quatrième se règle à la main.

La partie inférieure des tuyaux d'aspiration est fortement évasée; l'échappement est facilité par un cône en fonte.

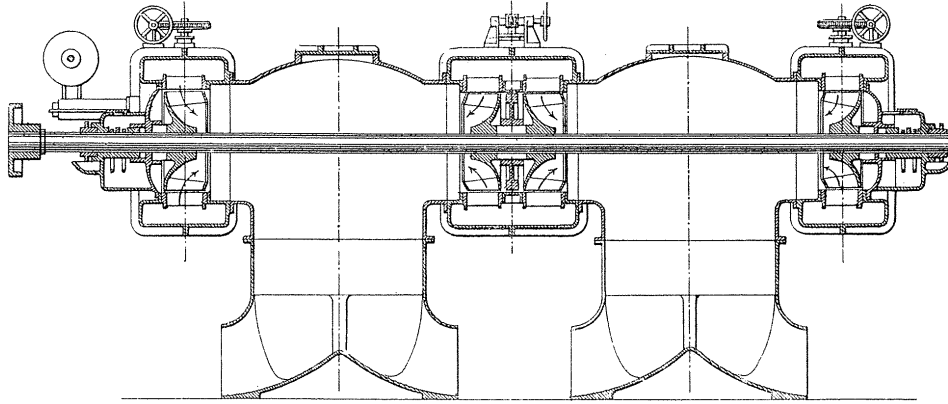


Fig. 158. — Turbine centripète de la Société des ateliers mécaniques d'Arboga (Suède).

Cette turbine actionne directement une dynamo placée sur le prolongement de l'arbre moteur; l'accouplement est établi au moyen d'un manchon élastique à disque en cuir serré par des boulons entre des plateaux en fonte.

Ce système d'accouplement nous paraît intéressant et devoir donner de bons résultats.

Turbines centripètes demi-mixtes. — Le premier moteur de cette catégorie qui attire notre attention est du système Francis, à aubage demi-mixte, de la Société ESCHER WYSS ET C^{ie}, de Zurich (Suisse) [fig. 159].

La turbine est à axe horizontal, jumelle, développant une force de 2,500 chevaux sous la chute de 11 m. 60, à la vitesse de 150 tours par minute.

Elle se compose de deux roues motrices, de 1 m. 76 de diamètre, calées sur un arbre unique, dont l'une des extrémités reçoit un manchon pour l'accouplement direct avec un alternateur.

Les 20 aubes de chaque roue mobile reçoivent l'eau par deux distributeurs de 22 directrices chacun, montés de chaque côté d'un collecteur tronconique central.

Les poussées longitudinales sur l'arbre, étant de sens opposés, s'équilibrent; le pivot si délicat des turbines simples peut être supprimé ou du moins ne supporte plus de charge importante et ne risque pas d'échauffement.

Le vannage est du système Zedel, commandé à la main et relié à un régulateur à pression d'huile, système breveté.

L'ensemble de la turbine se place au fond d'une chambre d'eau ouverte dans laquelle l'eau pénètre par un canal à ciel ouvert, passe à travers les couronnes directrices sur l'aubage mobile, puis se décharge dans le collecteur central, d'où elle s'échappe dans le canal de fuite par un tube de suction. La turbine fonctionne ainsi par pression sur une partie de la chute, par aspiration sur l'autre partie.

Le distributeur d'avant porte une bride qui s'encastre et est scellée dans le mur de retenue de la chambre d'eau qui sépare la turbine de l'usine; le disque en fonte qui le

recouvre, et dans lequel passe l'arbre moteur, supporte un fort palier à graissage automatique.

A l'arrière, l'arbre traverse un boitard venu de fonte avec le couvercle, dont la partie centrale est isolée elle-même de l'action de l'eau par une cloche étanche.

Une série de tuyaux assure le graissage des différentes parties de l'appareil.

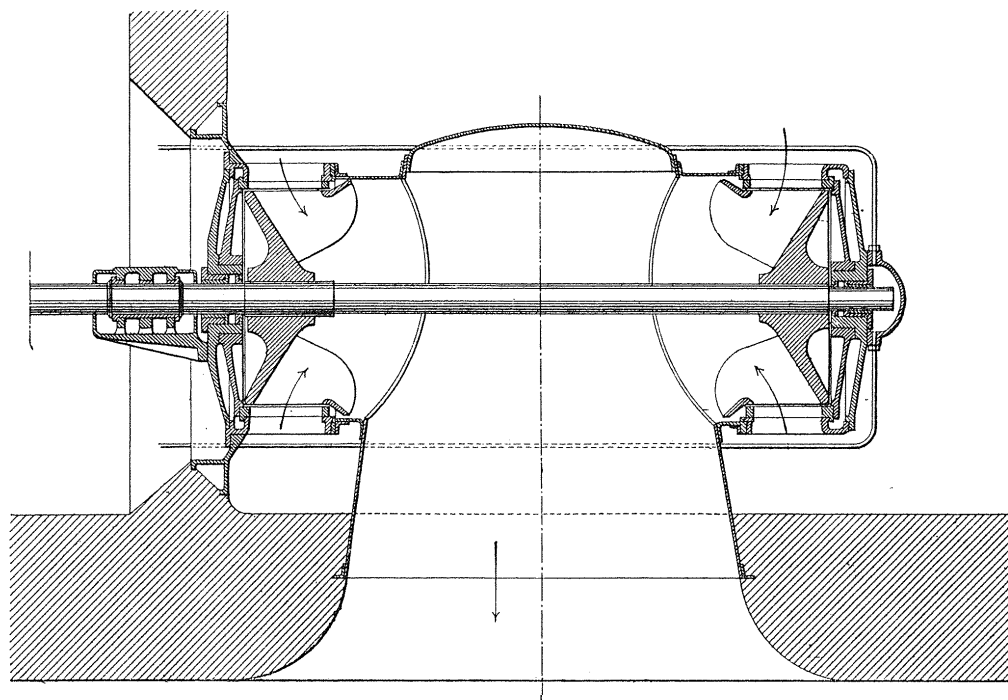


Fig. 159. — Turbine centripète demi-mixte de 2,500 chevaux de la Société Escher Wyss et C^{ie}.

Nous trouvons dans cette turbine, destinée aux usines Isarwerk, à Munich, une intéressante application de moteur multiple; la puissance est considérable, la vitesse très grande et particulièrement favorable pour l'établissement à bon compte de générateurs d'électricité aussi importants.

Nous trouvons ensuite, de cette même maison, une turbine Francis à axe horizontal de 1,000 chevaux, sous la chute de 32 mètres, à la vitesse de 300 tours par minute (fig. 160).

Cette turbine est placée dans une bêche en fonte en forme de spirale, munie d'une tubulure d'admission de l'eau et d'un coude de décharge.

Le vannage est du système Zedel, comme dans la turbine précédente. Il est actionné à la main et relié à un régulateur servo-moteur hydraulique alimenté par de l'huile que fournit une pompe actionnée par une petite turbine spéciale.

La distribution de l'huile sur le piston servo-moteur, au lieu d'être sous la dépendance d'un pendule centrifuge, comme dans la plupart des installations, est réglée par un appareil spécial mû par l'électricité, lequel agit simultanément sur les six turbines du groupe dont ce moteur fait partie. Cette installation est destinée à l'usine électrique

de Saint-Maurice (Wallis) qui devra distribuer la force et la lumière à Lausanne et dans ses environs.

Après avoir agi sur l'aubage, l'eau se décharge dans le coude, d'où elle est évacuée dans le canal de fuite par un tube de suction.

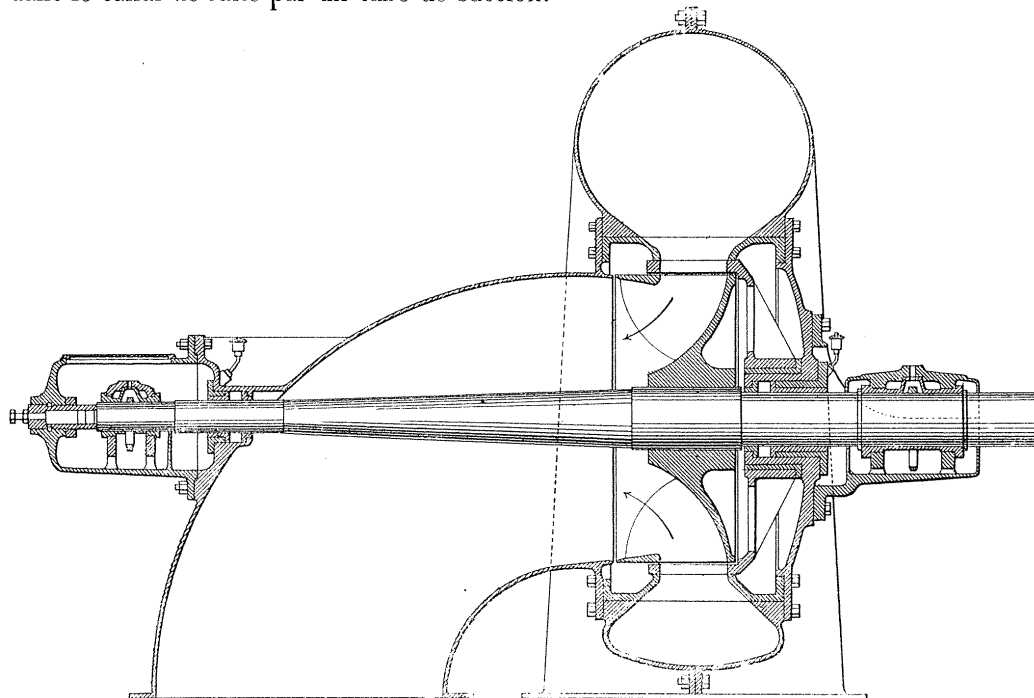


Fig. 160. — Turbine Francis de 1,000 chevaux de la Société Escher Wyss et C^{ie}.

L'arbre moteur traverse le coude dans un presse-étoupe; son extrémité porte dans un boitard à graissage automatique. L'extrémité avant est solidement maintenue par un palier, automatique également, fixé contre le disque en fonte qui ferme la partie antérieure de la bêche et porte un manchon élastique système Zodel pour la commande directe d'un générateur d'électricité de la Compagnie de l'industrie électrique de Genève.

La Société Escher Wyss et C^{ie} expose encore un hydrophore composé d'une turbine centrifète Francis à aubage demi-mixte, vanne Zodel, réglage à la main, recevant l'eau par un tuyau alimenté par une pompe centrifuge qu'actionne une dynamo.

Des cloisons en tôle, placées entre les deux tuyaux verticaux de l'appareil, sont disposées de manière à pouvoir faire, dans d'excellentes conditions, des mesurages de l'eau absorbée par la turbine, et, par conséquent, des essais pratiques de rendement du plus haut intérêt.

Il est fort regrettable que le Jury international n'ait pu disposer du temps matériel nécessaire pour entreprendre ces expériences, de nature à établir aux yeux de tous la valeur des turbines modernes, et que, d'un autre côté, l'alimentation de l'appareil n'ait jamais pu être bien assurée par le Service général des eaux.

La SOCIÉTÉ DES ATELIERS THÉO. BELL ET C^{ie}, à Kriens (Suisse), à laquelle nous passons

maintenant, nous montre d'abord une turbine centripète à axe vertical et triple couronne, aubage demi-mixte, construite pour une chute pouvant varier de 5 m. 70 à 3 m. 80 avec une puissance de 1,000 chevaux et une vitesse de 68 tours, même par la chute la plus basse.

Elle portera, directement fixée sur le prolongement de l'arbre moteur, une dynamo de même puissance, marchant, par conséquent, à la même vitesse, et fait partie d'une installation de huit turbines pour la Société d'électricité *Motor*, à Betznau (Suisse) [fig. 161].

La turbine se compose de trois couronnes mobiles superposées, avec leurs distributeurs, formant un moteur à trois étages.

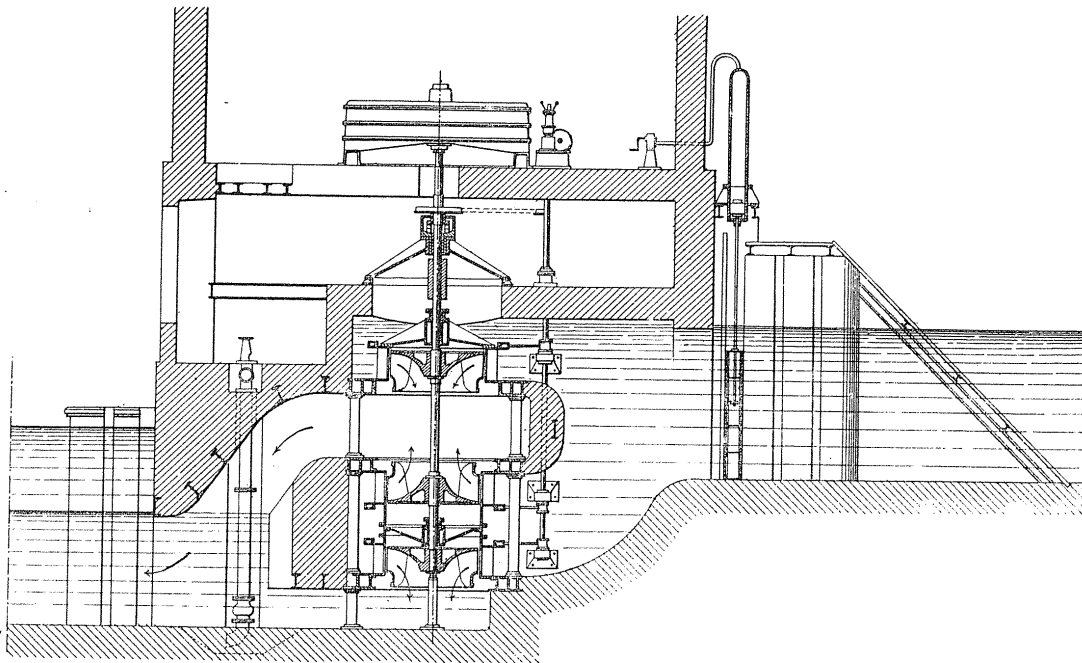


Fig. 161. -- Turbine de 1,000 chevaux, à triple couronne, de la Société Bell et C^o.

Les couronnes fixes sont munies du réglage à vannettes, système Schaad, dans lequel l'angle d'entrée de l'eau varie en sens inverse du degré d'ouverture de la vanne et le met sensiblement en rapport avec les différentes hauteurs de chute, permettant ainsi de maintenir la vitesse à peu près constante malgré de grandes variations de chutes (fig. 162).

L'obturation est obtenue par le déplacement de couronnes circulaires reposant sur billes, reliées au mécanisme de commande du vannage, de même qu'au régulateur automatique de vitesse, par des bielles qui impriment un mouvement de rotation aux vannettes logées dans l'épaisseur des directrices fixes, et mobiles autour de leur axe.

Les articulations sont toutes garnies de bronze.

Les mécanismes de manœuvre des trois couronnes de la turbine sont réunis par un arbre vertical commun pouvant être actionné à la main, mais soumis également à l'action

d'un régulateur servo-moteur à piston différentiel et pression d'huile dont nous parlerons plus loin.

Le poids d'environ 50,000 kilogrammes que supporte l'arbre vertical est soulagé par la pression naturelle de l'eau sur la face inférieure de la roue mobile de la turbine du milieu; le pivot n'a donc qu'une charge toute normale à supporter et n'exige aucune précaution particulière d'établissement ni d'entretien.

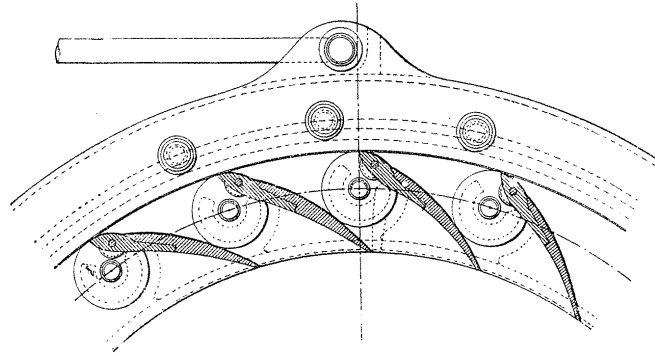


Fig. 162. — Vannage Schaad.

A cet effet les roues mobiles inférieures sont séparées par une cloison étanche sur laquelle la pression de l'eau prend appui, et qui porte un boitard pouvant être graissé. La couronne circulaire en fonte qui relie les deux turbines du bas est en plusieurs pièces, rendant le démontage des organes intérieurs facile, sans avoir à toucher à l'ensemble du moteur.

Les grandes dimensions de cette turbine et l'agencement rationnel de ses organes, de même que sa belle exécution, sont à signaler; elle a vivement intéressé le Jury international et a été beaucoup remarquée par le public.

L'accouplement direct des turbines à axe vertical avec les générateurs d'électricité est certainement la solution la plus simple, la moins encombrante et souvent aussi la plus économique de la transformation de l'énergie hydraulique; aussi se généralise-t-elle dans toutes les applications où la hauteur de chute et la disposition des lieux permettent de l'adopter.

Pour augmenter la vitesse de régime, lorsque la chute est faible ou moyenne, on a recours, comme dans les turbines à axe horizontal, à la multiplication des couronnes directrices et réceptrices sur un arbre unique, et on arrive, comme dans la turbine que nous venons de voir, à une puissance considérable sous des chutes relativement peu importantes.

Nous passons maintenant à une autre turbine de la même maison, à axe horizontal et quadruple couronne, devant se placer dans une chambre d'eau ouverte (fig. 164).

La chute est de 10 mètres, la force de 300 chevaux et la vitesse de 300 tours par minute.

Les quatre roues mobiles, de 0 m. 500 de diamètre, sont calées sur un arbre moteur unique et portent chacune quinze aubes du modèle demi-mixte.

Les deux roues du milieu sont adossées l'une à l'autre et ont un distributeur commun; celles des extrémités ont chacune leur couronne directrice.

L'évacuation se fait par deux conduites en fonte en communication avec des aspirateurs en béton.

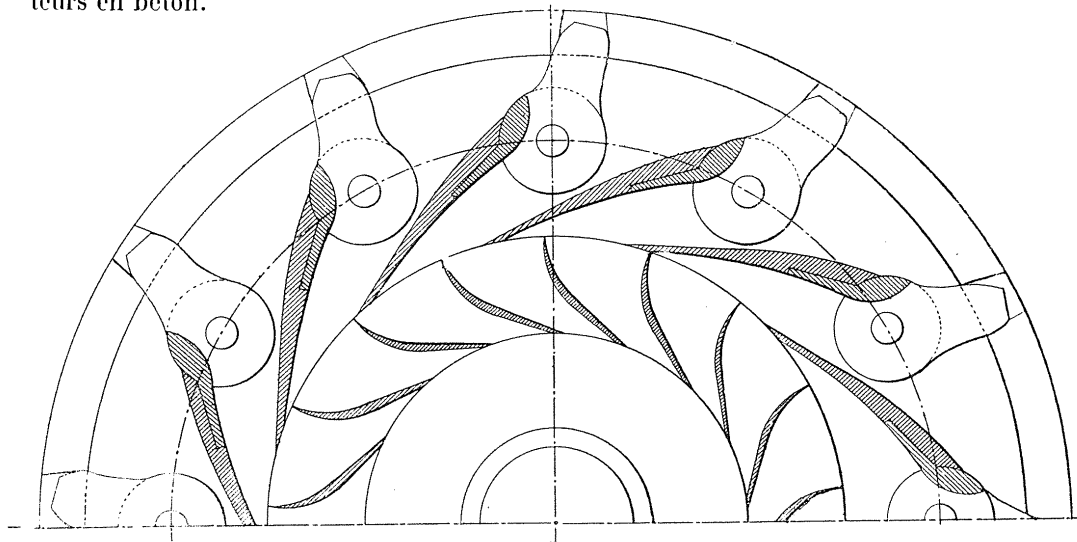


Fig. 163. — Vannage Schaad.

Le vannage est du système Schaad agissant, soit simultanément, soit séparément, sur les trois distributeurs munis chacun de douze directrices, mais les bielles de la turbine précédente sont remplacées par des cames qui s'engagent dans des boîtes fixées à l'anneau mobile par des boulons (fig. 163).

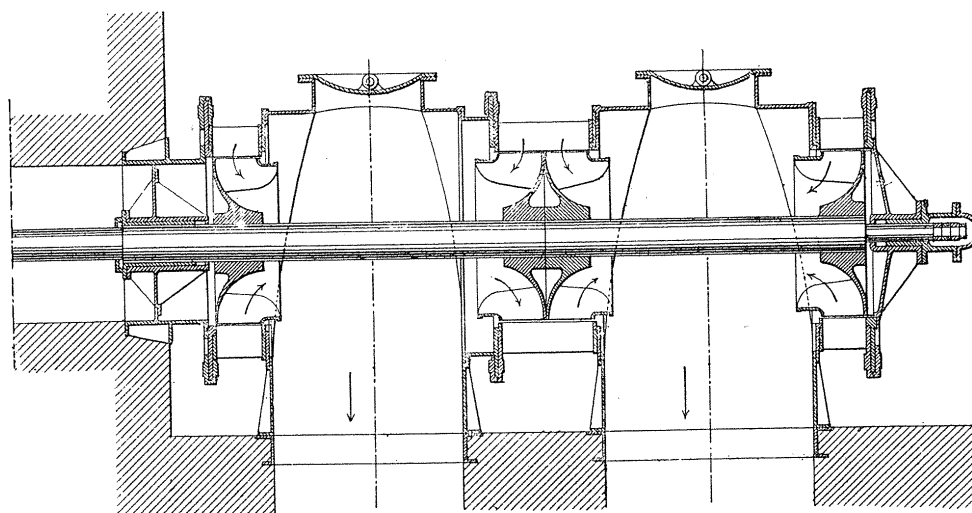


Fig. 164. — Turbine, à quadruple couronne, de la Société Bell et Cie.

Sous l'action d'une vis sans fin, agissant sur un arbre qui relie les trois anneaux par l'intermédiaire de bielles extérieures, les anneaux mobiles tournent sur les couronnes fixes et produisent l'ouverture ou la fermeture des orifices d'admission; ce mouvement

est facilité par l'interposition de billes, et se fait à la main, mais il peut également être obtenu par un régulateur.

L'arbre s'appuie, dans le sens longitudinal, par un épaulement et un écrou réglable, sur deux bagues libres et un couvercle fixe; l'extrémité opposée traverse le mur de retenue de la chambre d'eau dans un boitard spécial à l'abri de l'eau.

Tous les organes de réglage sont soigneusement guidés, chaque vannette est facilement démontable sans déranger le réglage de ses voisines.

Comme toutes les turbines à couronnes multiples, ce moteur convient tout spécialement à la commande directe d'une dynamo.

Enfin nous remarquons une turbine du même modèle que la précédente, à axe horizontal, de 0 m. 60 de diamètre dans une bêche en fonte formant chambre d'eau forcée en spirale.

L'eau pénètre dans la bêche par une tubulure et se décharge, de chaque côté, dans un coude en communication avec un aspirateur en béton. Cette turbine est à double couronne.

L'arbre moteur traverse les coudes dans des presse-étoupes et porte sur des paliers fixés sur de forts supports en fonte formant corps avec le bâti (fig. 165).

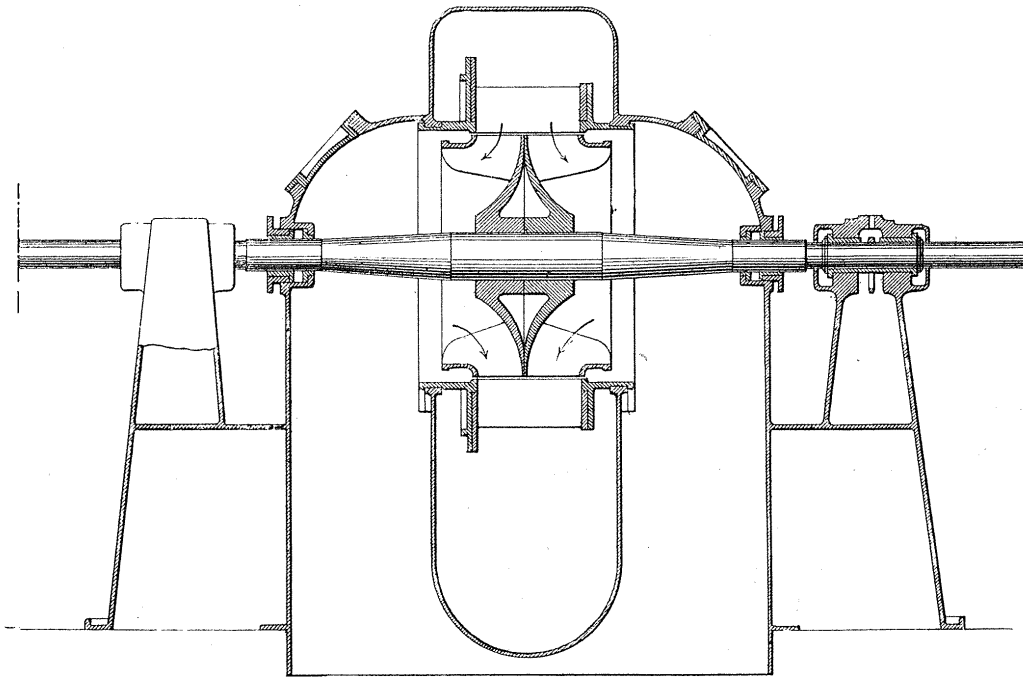


Fig. 165. — Turbine à double couronne, de la Société Bell et C^o.

Les paliers sont à graissage automatique par bagues.

Le vannage, également du système Schaad, se manœuvre soit à la main au moyen d'un volant agissant par vis sans fin sur un arbre coudé qui commande des bielles reliées aux leviers de l'anneau mobile, soit automatiquement par l'intermédiaire d'un régulateur servo-moteur mécanique par cliquets actionnant un système d'engrenages

différentiels qui impriment à l'arbre du vannage un mouvement de rotation dans le sens que sollicite le pendule.

La SOCIÉTÉ ANONYME JACOB RIETER ET C^{ie}, à Winterthur (Suisse), présente deux turbines demi-mixtes.

La première est du type à axe horizontal double pour chambre d'eau ouverte et développe une force de 41 chevaux sous la chute de 4 mètres à la vitesse de 180 tours par minute.

L'eau, arrivant par un canal à ciel ouvert, passe dans les couronnes fixe et mobile et se décharge, au centre, dans un tube de suction.

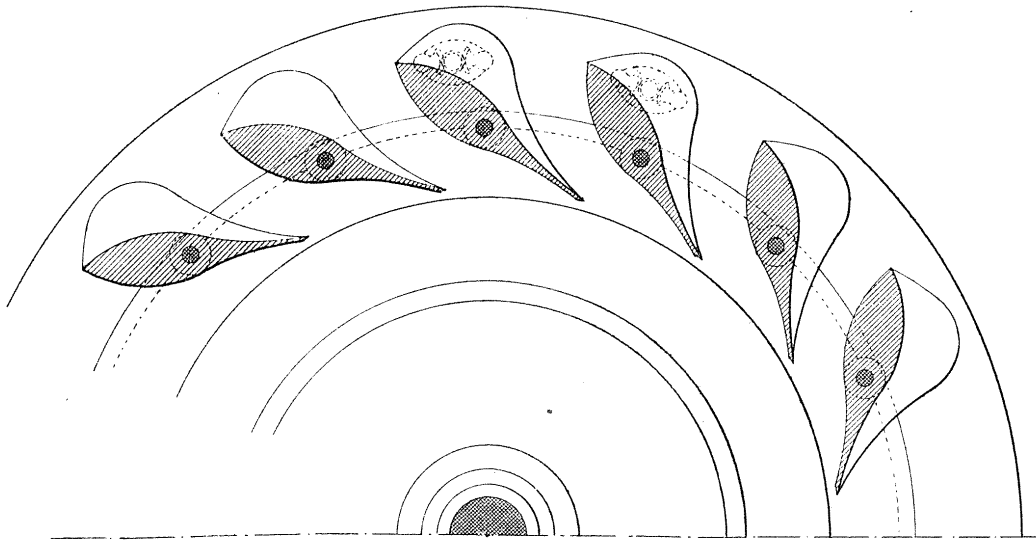


Fig. 166. — Turbine Francis de la Société Rieter et C^{ie} (coupe horizontale par le distributeur).

Le vannage est du genre Finck dans lequel les directrices du distributeur tournent sur elles-mêmes, sous l'action du mouvement de rotation d'un cercle annulaire, sur un des disques de la couronne (fig. 166).

Nous avons déjà vu ce vannage adopté par d'autres exposants et la seule particularité qui caractérise ici son application consiste dans le moyen employé pour réduire le frottement dans le mouvement de rotation des directrices.

Chaque directrice porte une douille dans laquelle est ménagée une cavité où vient s'engager un goujon correspondant, fixé au cercle annulaire.

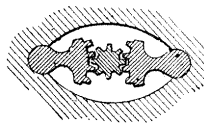


Fig. 167. — Mécanisme de rotation des directrices de la turbine Rieter.

Ce goujon, au lieu de glisser dans un coulisseau, comme dans d'autres turbines, est pris entre deux pièces de bronze, et porte lui-même un petit secteur denté qui engrène avec un second secteur mobile (fig. 167).

Cette disposition diminue le frottement de la manœuvre du vannage et nous sommes portés à croire qu'elle donne de bons résultats.

Les cercles annulaires reçoivent leur mouvement par des manivelles reliées à des bielles placées à l'extérieur et commandées par une vis sur laquelle on peut agir à la main au moyen d'un volant, ou bien par l'intermédiaire d'un régulateur de vitesse, simultanément sur les deux couronnes motrices, ou sur chacune séparément.

L'arbre moteur traverse le couvercle d'avant de la turbine dans un presse-étoupe, ses extrémités portent sur des paliers en anti-friction.

L'enveloppe qui réunit les deux moteurs au tubé de succion porte un trou d'homme qui permet la visite intérieure du système.

La deuxième turbine présentée par cette maison est du genre Francis simple, à axe horizontal, à bêche fermée en fonte, modèle en spirale formant bâti, comme nous l'avons déjà rencontré chez d'autres exposants (fig. 168).

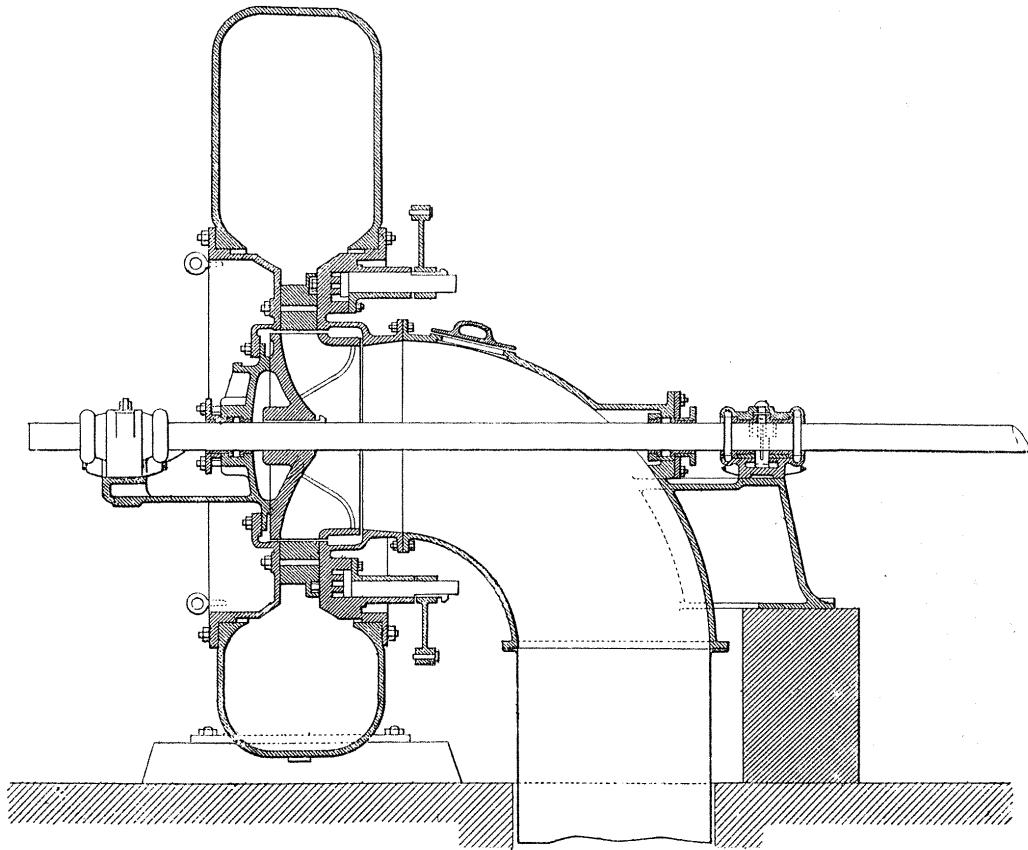


Fig. 168. — Turbine à axe horizontal simple de la Société Rieter et C^{ie}.

Elle est établie pour développer une force de 38 chevaux sous la chute de 7 mètres à la vitesse de 260 tours par minute.

La roue motrice a 0 m. 55 de diamètre et porte 13 aubes.

L'eau arrive dans la bêche par une tubulure placée à la partie supérieure et s'évacue par un coude relié à un tube de succion.

Le vannage est du système Finck, avec la même disposition que dans la turbine précédente; nous n'y reviendrons donc pas.

La face avant de la bêche est fermée par un disque en fonte démontable, dans lequel s'engagent les tourillons des directrices; il permet la visite intérieure et le nettoyage de tous les organes de la turbine.

L'arbre moteur traverse la paroi de la bêche dans un presse-étoupes; du côté du coude un autre presse-étoupes assure l'étanchéité dans le tube de succion.

Les deux extrémités sont maintenues dans des paliers autograisseurs à bagues.

Comme dans la turbine précédente la manœuvre du vannage se fait soit à la main au moyen d'un volant, soit par l'intermédiaire d'un régulateur automatique.

Nous terminerons l'examen des turbines demi-mixtes par une turbine des USINES RÉUNIES DE LA SOCIÉTÉ DANUBIUS SCHONICHEN HARTMANN, de Budapest (Hongrie).

Cette turbine est encore à axe horizontal pour chambre d'eau ouverte, du même genre que celles que nous avons déjà vues.

Sa force est de 50 chevaux sous 10 mètres de chute, et sa vitesse, de 330 tours par minute.

Le vannage est du système Finck, à directrices tournantes; le travail est parfaitement soigné, mais le moteur ne présente aucune particularité ou avantage sur les turbines du même genre que nous venons de voir; nous ne nous attarderons donc pas à la décrire plus longuement.

Une roue motrice de turbine centripète demi-mixte est exposée par cette maison comme pièce détachée.

Turbines mixtes. — Les turbines centripètes mixtes pour chutes moyennes sont au nombre de huit.

Quatre sont exposées par MM. SINGRÜN FRÈRES, d'Épinal. Elles comprennent deux turbines à axe vertical et deux turbines à axe horizontal.

La première à axe vertical est de la force de 100 chevaux sous 19 mètres de chute, avec 765 tours par minute (fig. 169).

Elle est logée dans une bêche ou huche en fonte et tôle d'acier de 1 m. 10 de diamètre et de 1 mètre de hauteur, portant une tubulure de 0 m. 75 de diamètre pour le raccordement avec la conduite d'amenée de l'eau.

La turbine est du modèle Hercule-Progress, breveté s. g. d. g.; l'aubage est en bronze du système breveté également.

Elle porte quatorze directrices et dix aubes, la section de sortie de l'eau du distributeur est de 0 m. 05, l'angle d'entrée sur l'aubage, de 14 degrés, et l'angle de sortie de la roue mobile, de 15 degrés.

Cette turbine est établie pour recevoir, directement accouplée à l'extrémité de l'arbre moteur, une dynamo à axe vertical de même force et de même vitesse de régime que la turbine.

En raison de la surcharge qu'impose au pivot le poids de la partie mobile de la

dynamo, ce poids est équilibré par un compensateur hydraulique logé dans la partie inférieure du couvercle de la huche.

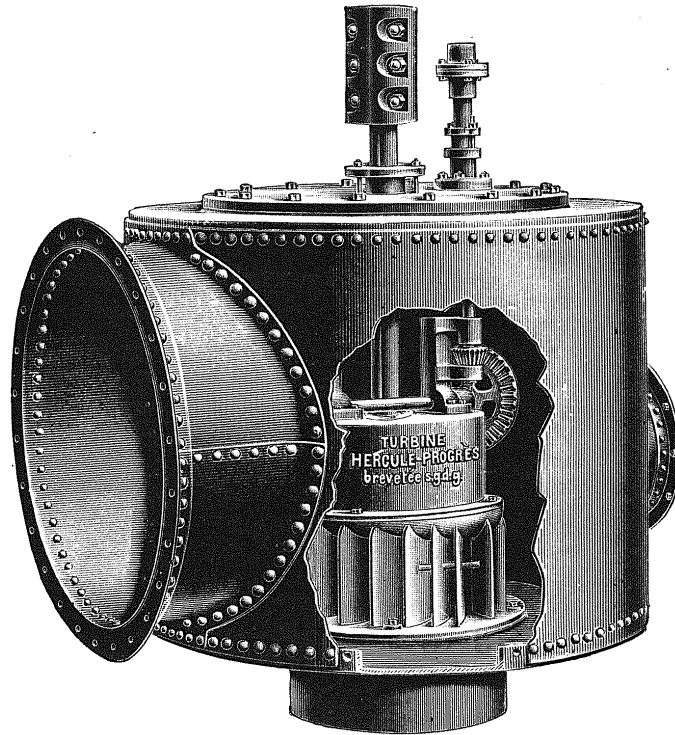


Fig. 169. — Turbine Hercule-Progrès dans sa chambre d'eau métallique.

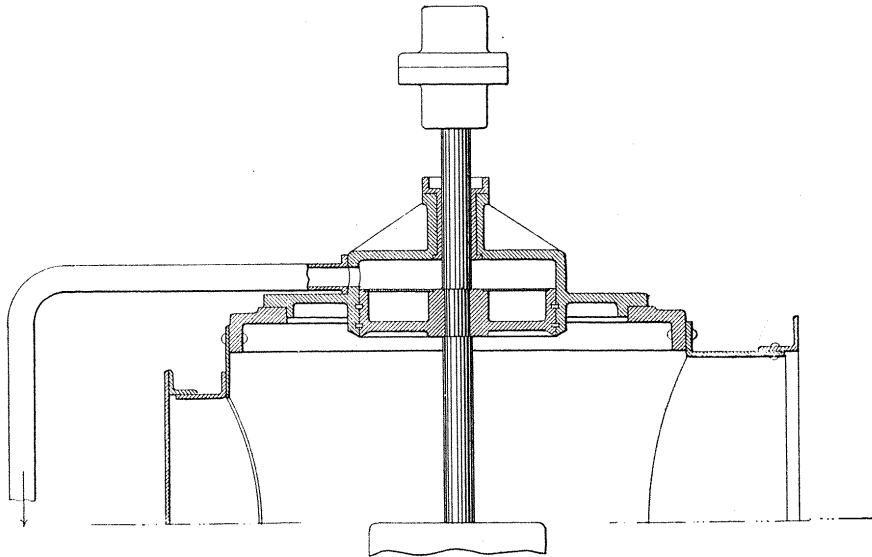


Fig. 170. — Compensateur hydraulique pour turbine Hercule-Progrès.

Ce compensateur se compose d'une cuvette cylindrique dans laquelle tourne à frottement doux un piston soumis, sur sa face inférieure, à la pression naturelle de l'eau due à la hauteur de la chute, la face supérieure étant en communication avec l'atmosphère

par un tuyau de décharge qui évacue l'eau qui pourrait s'échapper par le faible jeu qui existe autour du piston (fig. 170).

Le pivot se trouve ainsi déchargé de tout ou partie du poids qu'il supporte et n'exige aucune précaution spéciale dans sa construction.

Cette disposition est, nous l'avons déjà dit, la plus rationnelle pour la commande des générateurs d'électricité, mais elle n'est devenue pratique que grâce aux turbines à grande vitesse et à grand rendement, bien étudiées et convenablement disposées.

Dans cet ordre d'idées, MM. Singrün frères placent sous nos yeux les dessins détaillés d'une installation de ce genre, d'une force totale de 5,500 chevaux, qu'ils ont en mains actuellement, répartis sur 7 moteurs, lesquels ont pu être largement logés dans une construction de 44 mètres de longueur sur 11 mètres de largeur.

Nous passons maintenant à l'installation complète d'une turbine Hercule-Progrès à axe vertical de 25 chevaux sous 11 mètres de chute.

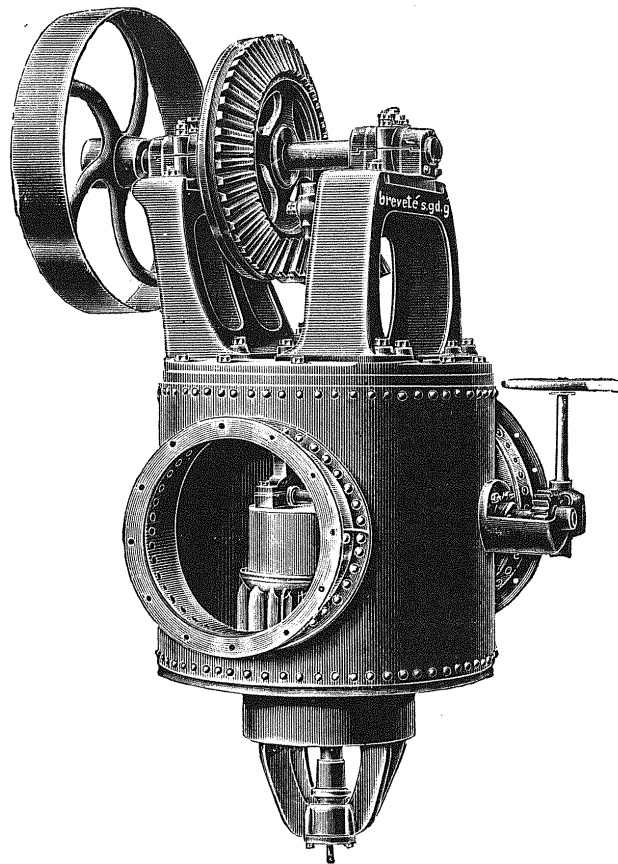


Fig. 171. — Turbine groupe, système Hercule-Progrès, de MM. Singrün frères.

Logée, comme la précédente, dans une huche métallique munie de sa tubulure de raccordement, elle est montée complète avec le tuyau d'amenée en tôle, la tête d'eau en maçonnerie, la prise d'eau avec son mécanisme, le pont de service et la grille d'ar-

rêt; enfin elle porte une transmission permettant d'actionner un appareil ou une usine quelconque (fig. 171).

Cette installation forme un groupe compact, facilement démontable et transportable, en cas de besoin, à dos d'homme ou de mulet, et permet l'utilisation d'une force hydraulique sans travaux d'eau, et même sans bâtiment pour loger la turbine. Elle convient donc tout particulièrement aux colonies et aux endroits difficilement accessibles.

Le pivot est en bois, la vanne se manœuvre à la main par un volant ou automatiquement.

Tous les organes du récepteur sont ceux de la turbine Hercule-Progress dont nous avons donné la description dans les turbines pour basses chutes.

Nous trouvons plus loin une turbine à axe horizontal de 100 chevaux sous 19 mètres de chute, vitesse 700 tours par minute (fig. 172).

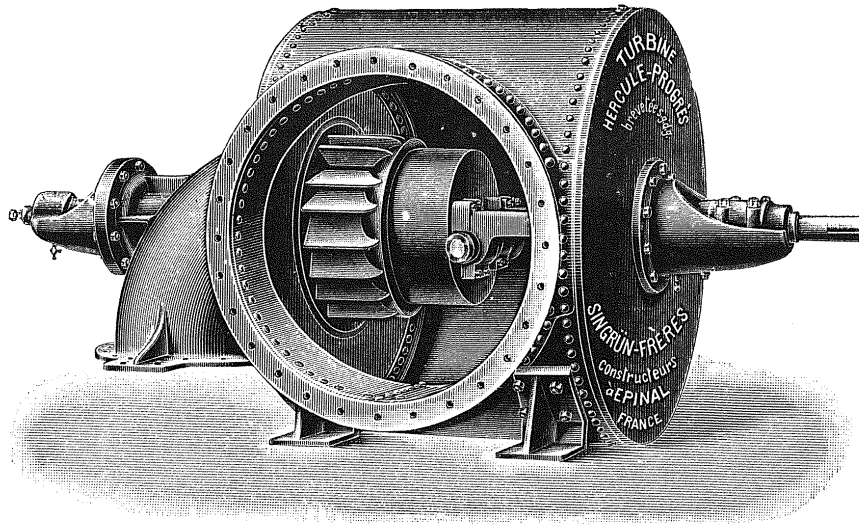


Fig. 172. — Turbine Hercule-Progress à axe horizontal simple.

Les organes de ce moteur sont identiques à ceux du moteur vertical. L'eau arrive par la tubulure dans la huche métallique, traverse le distributeur, agit sur la roue mobile dont les aubes sont en bronze, puis se décharge, par un coude en fonte, dans un tuyau d'aspiration ou de succion qui l'évacue dans le canal d'aval.

Ce moteur est placé sur le sol de l'usine, à 5 mètres au-dessus du niveau du canal de fuite; il travaille, par conséquent, par pression sur une hauteur de 14 mètres et par aspiration sur la différence de 5 mètres.

Il actionne, directement accouplée avec lui, une machine dynamo-électrique de force équivalente.

MM. Singrün frères nous montrent enfin une turbine Hercule-Progress à axe horizontal double de 1,500 chevaux sous la chute de 30 mètres, vitesse 550 tours par minute (fig. 173).

Elle se compose de deux turbines de 750 chevaux chacune, calées sur un arbre transmettant la force totale à un manchon d'accouplement fixé à l'une des extrémités de l'arbre, lequel transmet l'énergie à un alternateur de même puissance.

Les deux turbines sont logées dans une forte huche métallique recevant l'eau par une tubulure placée à la partie inférieure.

Deux coudes en fonte, avec regards de visite, évacuent l'eau sortant des roues mobiles de chaque côté de la huche et la conduisent au canal de fuite par deux tubes de succion.

L'arbre moteur, en acier forgé, porte, à l'extrémité avant, sur un fort palier auto-graisseur à base circulaire facilement démontable et indépendant de la turbine.

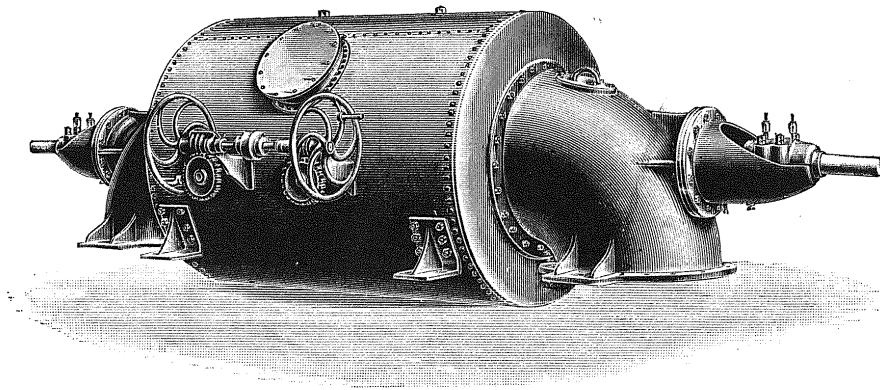


Fig. 173. — Turbine Hercule-Progrès à axe horizontal double.

À l'extrémité arrière l'arbre porte sur un autre palier, forme baïonnette, également autograsseur, sur lequel est fixée une boîte en fonte qui reçoit le pivot et une butée à billes réglable, permettant de marcher séparément avec l'une ou l'autre des turbines, ou bien avec les deux simultanément; dans ce dernier cas, les efforts sur le pivot, étant de directions opposées, s'équilibrent.

À l'intérieur de la huche, au milieu de sa longueur, l'arbre est maintenu par deux boitards fixés sur les dômes des turbines.

Afin de réduire au minimum la longueur totale de l'appareil, les vannes d'admission de l'eau sur les distributeurs sont du modèle rotatif; leur mécanisme est disposé de manière à pouvoir agir indistinctement sur l'un ou sur l'autre des moteurs, ou bien sur les deux en même temps; cette manœuvre se fait à la main ou automatiquement par un régulateur.

Les distributeurs sont reliés à la huche, en plus de leur assemblage sur les fonds de la huche, chacun par quatre fortes entretoises en fer forgé qui assurent à l'ensemble une rigidité parfaite.

Enfin la turbine se place à 5 m. 50 au-dessus du niveau d'aval.

MM. TEISSET, VEUVE BRAULT ET CHAPRON présentent deux turbines mixtes pour moyennes chutes, toutes deux à axe horizontal.

La première est de leur modèle « Américaine » simple de 35 chevaux sous 18 mètres de chute, vitesse 725 tours par minute (fig. 174).

Cette turbine absorbe 188 litres d'eau par seconde, et se trouve logée dans une bêche en fonte; le mouvement de l'obturateur est disposé pour pouvoir être manœuvré par un régulateur hydraulique système Ribourt.

Elle peut être accouplée directement à une dynamo.

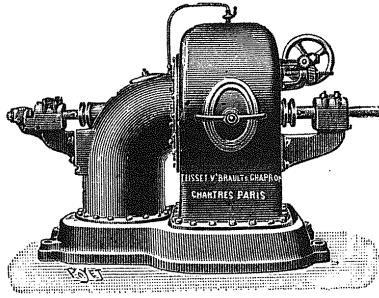


Fig. 174. — Turbine « Américaine » à axe horizontal.

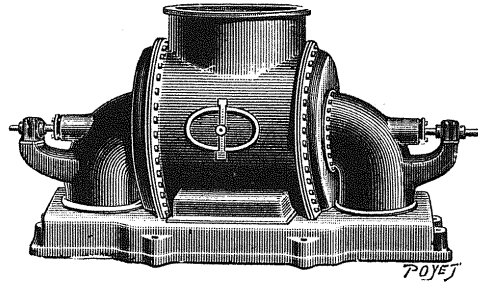


Fig. 175. — Turbine « Américaine » à axe horizontal double.

Une autre turbine est du système « Américaine » double de 345 chevaux sous la chute de 20 mètres avec 1,670 litres d'eau par seconde et une vitesse de 625 tours par minute (fig. 175).

Elle se compose de deux roues motrices montées sur un arbre unique et placées dans une bêche en fonte.

Le mécanisme des vannes obturatrices agit en même temps sur les deux turbines de manière à équilibrer la poussée de l'eau.

Nous passons maintenant à une turbine « Normale » de la maison LAURENT ET COLLOT FRÈRES, de Dijon, à axe horizontal.

La construction de cette turbine est identique à celle de la turbine « Normale » à axe vertical que nous avons vue dans le chapitre précédent, le pivot est en acier et se graisse à l'huile (fig. 176).

La vanne est actionnée à la main.

Cette turbine convient, comme ses similaires, à l'accouplement direct des machines électriques lorsque la chute permet d'obtenir une vitesse suffisante en rapport avec les conditions techniques d'établissement du générateur d'électricité, ou bien la commande peut être faite par poulie et courroie.

Terminons la série des turbines mixtes par la maison S. MORGAN SMITH, de York (États-Unis), qui expose une turbine « America », type MC, à axe horizontal n° 15, de 60 chevaux, sous la chute de 12 mètres, vitesse 465 tours par minute, placée dans une huche en tôle.

L'admission se fait par une tubulure, l'évacuation par un coude en fonte.

Cette turbine possède les mêmes organes que celle du modèle vertical que nous avons examinée dans les basses chutes, mais le mécanisme de commande du vannage est reporté

à l'extérieur de la huche à l'abri du contact de l'eau. C'est là une disposition heureuse, qui mérite d'être signalée, car elle réduit au minimum l'usure du mécanisme.

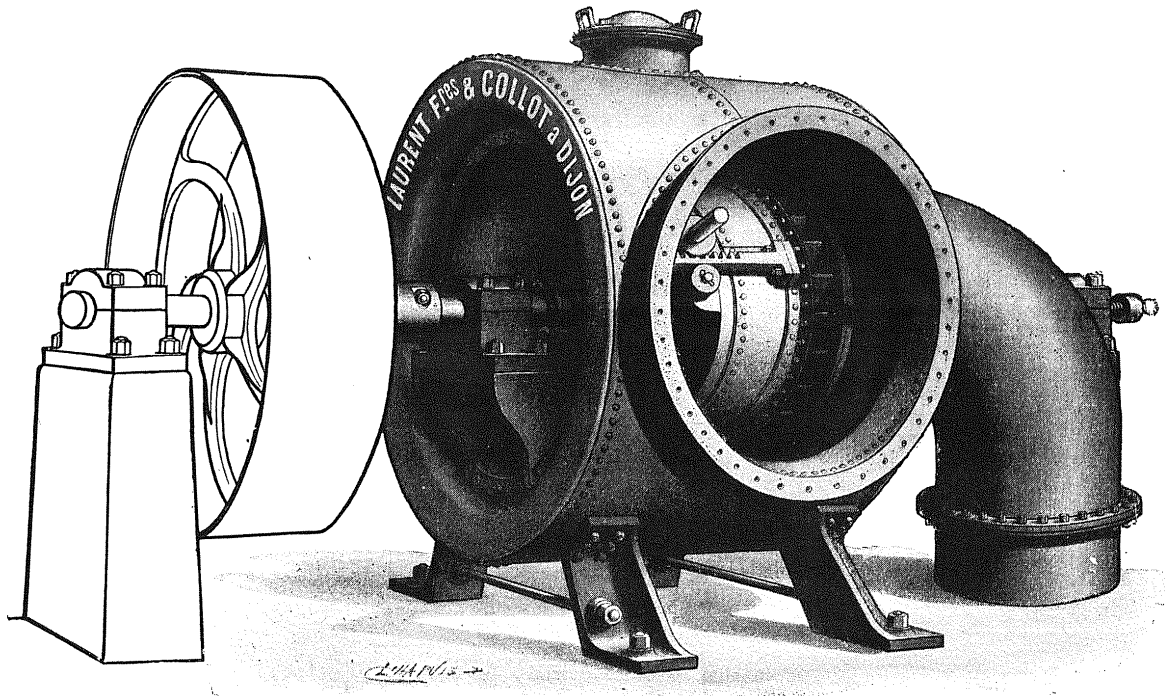


Fig. 176. — Turbine «Normale» à axe horizontal simple.

Turbines centrifuges. — Dans cette classe nous trouvons les dessins de la célèbre installation du Niagara, les organes moteurs d'une turbine de 1,500 chevaux pour l'usine électrique de Chèvres de la ville de Genève, et 7 turbines pour différentes applications.

Nous avons déjà dit qu'en raison de sa grande expérience dans l'étude et l'application des turbines, du caractère pratique et parfaitement étudié du projet qu'elle a présenté, la maison PICCARD, PICTET ET C^e, de Genève, avait obtenu la préférence dans le concours ouvert, entre les constructeurs du monde entier, pour l'utilisation des chutes du Niagara.

L'importante société qui exploite ces chutes a prévu l'installation de 25 turbines de 5,000 chevaux actionnant chacune une dynamo de même puissance; 10 turbines sont en marche et l'on procède actuellement à la construction d'un deuxième groupe de 10 autres moteurs semblables.

Les dessins de cette gigantesque et intéressante installation ont été publiés dans la plupart des journaux techniques, mais certaines modifications de détail, dont les plans ont été soumis au Jury, ont été apportées dans la construction des nouvelles turbines.

Les expériences ont démontré que ces turbines pouvaient développer l'énorme puissance de 5,600 chevaux chacune sous la chute de 41 m. 45 à la vitesse de 250 tours par minute avec 12,700 litres d'eau par seconde, soit un rendement de 79.78 p. 100; chiffre exceptionnellement élevé pour de pareils moteurs. (*Les turbo-machines*, par M. Rateau.)

Ces résultats font le plus grand honneur à l'habileté de la maison citée, qui a été la première à affronter les difficultés de construction d'unités de cette importance et nous constatons qu'elle a pleinement réussi à les surmonter.

L'examen des détails de la construction dénote les soins minutieux et l'esprit pratique qui ont présidé à l'étude de tous les organes.

Nous remarquons par les dessins des nouvelles turbines qu'elles sont toujours du modèle centrifuge, mais qu'elles n'ont plus qu'une couronne, à deux étages.

Les aubes de la roue mobile et les directrices du distributeur sont en bronze au manganèse qui résiste beaucoup mieux que la fonte ou l'acier à l'usure de l'eau chargée de sable et animée d'une grande vitesse; les directrices sont de longueurs différentes, disposition qui, en présentant une grande résistance, évite les tourbillons dans la bêche collectrice, facilite le passage de l'eau dans le distributeur et diminue le frottement sur les aubes directrices, par conséquent, les pertes d'effet utile (fig. 177).

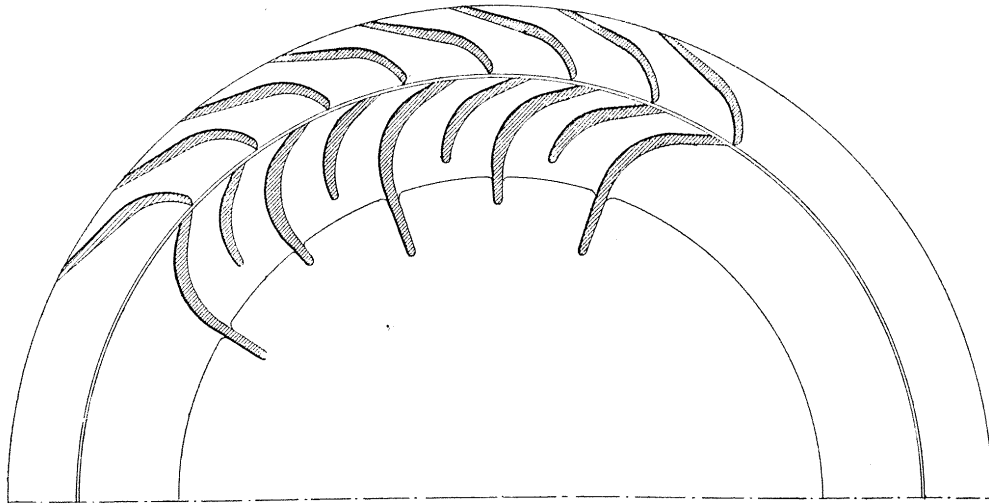


Fig. 177. — Coupe horizontale, par la roue mobile et le distributeur, d'une turbine de 5,000 chevaux, des chutes du Niagara.

Les angles d'entrée et de sortie sont très faibles (19 et 22 degrés).

Comme dans les premières turbines, le poids considérable de 64,700 kilogrammes de la partie tournante est supporté hydrauliquement par la pression hydrostatique sur le plateau supérieur de la roue mobile; la partie supérieure de l'arbre moteur, ainsi équilibrée, est maintenue dans un palier à collets.

La vanne est extérieure à la roue motrice, guidée par 3 tiges et soumise à l'action d'un régulateur semblable à celui de la première installation, sur lequel nous aurons, du reste, à revenir lorsque nous traiterons des régulateurs.

Passons ensuite aux organes moteurs d'une turbine centrifuge exposée par la SOCIÉTÉ DES ATELIERS DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES ESCHER WYSS ET C^{ie}, de Zurich.

Ces organes sont destinés à une turbine de 1,500 chevaux à 120 tours pour l'importante usine électrique de la ville de Genève à Chèvres.

Ce modèle a été adopté pour les dix derniers groupes électrogènes à installer et se

compose de deux turbines superposées calées sur un même arbre vertical, chaque turbine étant formée de deux roues motrices réunies sur un disque médian fixé à un moyeu.

L'entrée de l'aubage est hélicoïdale; chaque couronne mobile est munie d'une vanne cylindrique extérieure qui règle l'admission de l'eau par l'obstruction des orifices de sortie. Elle se manœuvre à la main,

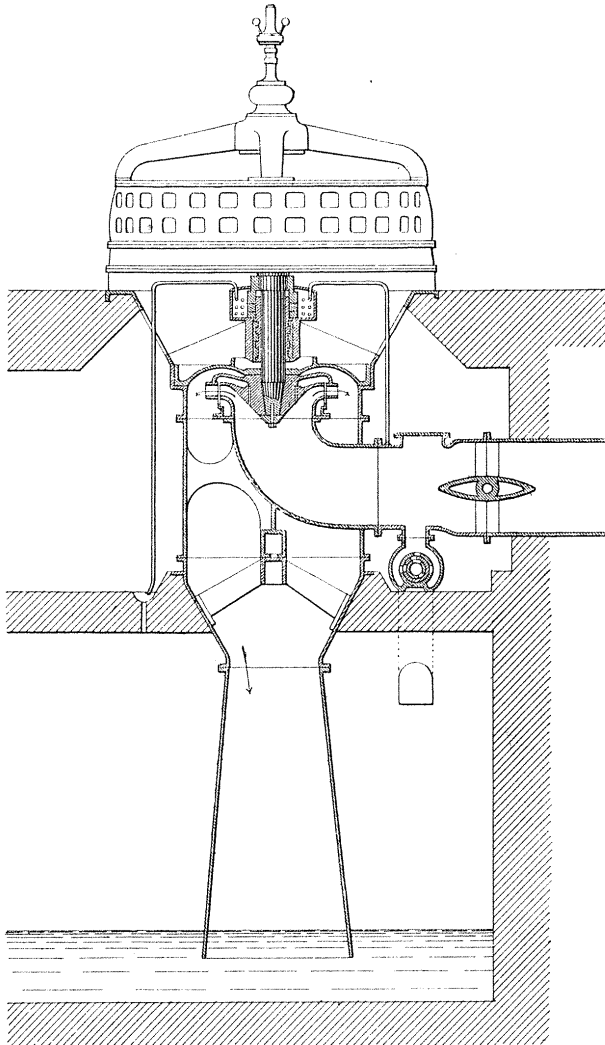


Fig. 178. — Turbine centrifuge de 1,100 chevaux de la Société Rieter et C^{ie}.

au moyen d'un système de crémaillères et de roues d'angle, relié également à un régulateur de vitesse.

Ces turbines fonctionnent sous une chute qui varie de 4 m. 30 à 8 m. 50; les constructeurs ont donc été conduits, en raison des grandes variations dans les conditions de marche, à multiplier le nombre de couronnes, afin de parer aux exigences du volume d'eau nécessaire au maintien de la force, lorsque la chute est réduite; cette disposition permet encore d'absorber un grand débit d'eau pour un petit diamètre de turbine, d'obtenir ainsi, sur un arbre unique, une force considérable et un nombre de tours élevé.

L'installation de Chèvres est munie de régulateurs hydrauliques à pression d'huile. Chaque régulateur est disposé de manière à agir successivement sur les deux turbines de chaque unité; le rendement mécanique reste ainsi sensiblement constant, malgré de grandes variations de charge ou de débit.

La SOCIÉTÉ JACOB RIETER ET C^{ie}, de Winterthur (Suisse), expose une intéressante turbine centrifuge de la force de 1,100 chevaux sous 65 mètres de chute, avec 300 tours par minute, faisant partie d'un groupe de quatre turbines semblables destinées aux usines hydro-électriques de Montbovon (Suisse).

Elle est établie à action limite entre la réaction et la libre déviation, et reçoit l'eau au centre, à la partie inférieure, par un coude en fonte logé et coulé d'une seule pièce avec une bêche concentrique dans laquelle elle se déverse après avoir agi sur la roue motrice, pour s'échapper par un tube de succion dans le canal de fuite (fig. 178).

L'arbre moteur porte, sur son prolongement, une dynamo, et repose sur un pivot

à anneaux concentriques placés au fond d'un réservoir d'huile, refroidie par un serpentin, dans lequel circule un courant d'eau sous la pression naturelle de la chute.

Le poids de la partie mobile de la dynamo est, en outre, équilibré par la colonne d'eau qui agit, de bas en haut, sur la partie inférieure du disque qui porte l'aubage mobile.

La vanne est cylindrique, du genre Fourneyron, et coulisse entre les couronnes fixe et mobile, sous l'action d'un volant à la main qui agit, par une tige et un levier, sur la soupape de distribution d'un servo-moteur hydraulique, pour la mise en marche ou l'arrêt du moteur.

Pendant la marche, la vanne est sous la dépendance d'un régulateur qui est, en même temps, en communication avec un tiroir circulaire de décharge placé à la partie inférieure de la conduite d'aménée.

Ce tiroir se découvre lorsque le régulateur ferme la vanne pour diminuer l'admission, et équilibre, par conséquent, la pression et le débit dans la conduite; le tiroir suit donc exactement les mouvements du pendule et, après chaque oscillation, est ramené progressivement et automatiquement à sa position de fermeture.

Cette disposition, très ingénieuse, évite les surpressions et les coups de bélier dans la conduite, par conséquent les dangers de rupture de cette dernière. Nous retrouverons des dispositions semblables dans la plupart des turbines pour hautes chutes que nous examinerons plus loin.

L'admission de l'eau sur la turbine est produite par un papillon placé à l'entrée du coude de distribution, actionné du sol de l'usine par un volant qui agit, sur un secteur denté, par une vis sans fin.

Dans les turbines centrifuges à axe horizontal, nous remarquons celles de :

La SOCIÉTÉ DES ATELIERS THÉO. BELL ET C^{ie}, à Kriens, qui nous montre une turbine de 600 chevaux sous 75 mètres de chute, avec une vitesse de 400 tours par minute.

Ce moteur est du type classique, genre Girard, à admission totale et libre déviation.

Le réglage se fait par un vannage annulaire cylindrique, agissant sur la sortie de l'eau placée entre le distributeur et la roue mobile.

La turbine est recouverte d'une bêche aspirante hermétique permettant de la placer au-dessus du niveau d'aval sur un aspirateur muni d'une soupape hydro-pneumatique, genre Meunier, qui règle automatiquement la hauteur de la colonne aspirante et la ventilation des événements qui assurent la libre déviation.

La maison GANZ ET C^{ie}, de Budapest, expose une petite turbine à admission partielle et libre déviation, système Girard, de 600 millimètres de diamètre, développant une force de 5 chevaux sous 50 mètres de chute avec un débit de 10 litres d'eau par seconde, et une vitesse de 450 tours par minute.

MM. ROYER ET JOLY, d'Épinal, présentent une turbine de 50 chevaux sous la chute de 30 mètres, admission partielle et libre déviation, système Girard, pour un débit de 40 à 160 litres par seconde.

L'eau n'est admise que sur deux quarts de la circonférence du distributeur, opposés l'un à l'autre, de manière à équilibrer les efforts.

Le vannage se manœuvre à la main à l'aide d'un volant ou bien par un régulateur automatique de vitesse agissant sur un double segment obturateur.

Les angles de sortie sont très faibles puisqu'ils n'accusent que 20 degrés pour les directrices fixes et 12 degrés pour les aubes.

L'arbre tourne sur des paliers graisseurs, l'ensemble du moteur forme un tout monté d'une seule pièce qui facilite l'installation et permet l'accouplement direct d'une dynamo.

MM. DARBLAY PÈRE ET FILS, à Essonnes, exposent une turbine Girard à admission partielle et libre déviation de la force de 12 chevaux sous 1/4 mètres de chute, avec une vitesse de 300 tours par minute.

L'eau arrive à la circonférence intérieure de la roue motrice par un cylindre en fonte qui porte la tubulure de prise d'eau.

Un papillon obturateur équilibré agit à la fois sur deux quarts de la circonférence pour l'admission de l'eau sur la turbine; il est monté sur un arbre qui traverse le fond du cylindre dans un presse-étoupe et reçoit son mouvement de rotation par un volant placé à l'extérieur, lequel agit sur une vis sans fin.

Une turbine identique fonctionne à l'usine élévatoire de la ville de Paris, à Trilbardou.

La SOCIÉTÉ DES ATELIERS DRAMMENS JERNSTOBERI ET MEK. VAERKSTED (Norvège) présente une turbine Girard de la force de 150 chevaux sous la chute de 106 mètres, tournant à 515 tours par minute.

Elle est à admission partielle sur une faible partie de la circonférence intérieure.

Le réglage de l'arrivée de l'eau sur le secteur de distribution se fait au moyen d'un tiroir actionné de l'extérieur par un arbre qui traverse un presse-étoupe et porte, à son extrémité, un levier relié au régulateur automatique, mais qui peut également se manœuvrer à la main.

Un robinet-vanne et un papillon, actionné par vis sans fin, règlent l'admission de l'eau sur le tiroir obturateur.

La turbine est fixée sur un bâti robuste en fonte, le couvre-turbine est en tôle, les paliers sont à longue portée et bien construits.

La turbine ne présente aucune nouveauté digne de remarque, mais sa construction est très soignée.

Cet exposant nous montre encore deux roues motrices de turbine Girard, en pièces détachées dont une entièrement en fonte, l'autre avec aubes en tôle d'acier coulées dans la masse.

Turbines parallèles. — En turbines parallèles nous trouvons d'abord une turbine genre Fontaine, de MM. TEISSET, VEUVE BRAULT ET CHAPRON, de Chartres, à axe hori-

zontal et injection partielle, disposée pour une force de 10 chevaux, sous la chute de 25 mètres, à la vitesse de 280 tours par minute.

MM. ROYER ET JOLY, d'Épinal, nous montrent deux turbines parallèles pour chutes moyennes.

La première est une turbine genre Girard à axe vertical, de 200 chevaux sous 9 mètres de chute, admission partielle, placée dans une enveloppe en fonte, ou huche, que traverse l'arbre creux du pivot hors de l'eau.

Le distributeur se prolonge vers la partie supérieure, il est couvert par une cloche en fonte, formant obturateur équilibré, tournant sur un écrou réglable.

Les directrices et les aubes sont établies de manière à ce que les trajectoires des filets liquides soient tangentes au cercle médian des roues fixe et mobile, de sorte que l'évasement de la partie inférieure de l'aubage se trouve reporté tout entier à la partie extérieure.

Le vannage est très robuste, la commande se fait à la main.

La seconde turbine de ce modèle présentée par ces exposants est encore du type Girard hélicoïde, mais à axe horizontal double, admission partielle et régulateur automatique de vitesse, chambre d'eau forcée en fonte, force 100 chevaux sous 12 mètres de chute.

Elle se compose de deux moteurs accouplés sur un même arbre. Les vannages sont actionnés à la main à l'aide d'une manivelle et reliés au régulateur.

L'arbre tourne sur deux paliers autograisseurs à bagues et porte des rondelles pour empêcher la projection de l'eau à l'extérieur.

La turbine est construite spécialement pour actionner directement, à l'aide de manchons élastiques, deux dynamos de 50 chevaux chacune, faisant 300 tours par minute.

Nous donnerons dans le chapitre spécial de ces appareils les détails sur le régulateur appliqué à cette turbine.

MM. LAURENT ET COLLOT FRÈRES, de Dijon, présentent une turbine à axe vertical, à libre déviation, système Girard, de construction classique.

Le pivot est hors de l'eau avec arbre creux, l'obturation des conduits du distributeur est produite par un anneau plat qui les recouvre, et qui est commandé à la main.

La SOCIÉTÉ DANUBIUS-SCHONIGHEN HARTMANN, de Budapest, expose une roue de turbine parallèle à libre déviation pour chute de 6 mètres.

La partie inférieure des aubes, au lieu d'être élargie comme dans le système Girard, est coulée en forme de cuillers comme dans les turbines mixtes; l'on obtient ainsi une section de sortie très grande sans avoir recours à l'élargissement de la partie inférieure de la couronne, et l'angle β , sous lequel l'eau quitte l'aubage, peut être très faible, ce qui est favorable au rendement.

Cette application paraît nouvelle, mais l'expérience seule pourra dire si elle présente des avantages sur la construction classique.

Enfin nous terminons les turbines parallèles par un modèle en réduction présenté par M. F. HIORTH, ingénieur à Christiania (Norvège).

Le système de turbine exposé, à l'échelle de $1/10$, est étudié tout spécialement pour maintenir constant le volume d'eau qui passe par le moteur, quel que soit le degré d'ouverture de la vanne.

À cet effet, une série d'orifices placés au-dessous du distributeur déchargent l'eau qui n'est pas absorbée par la turbine, et qui s'écoule dans le canal de fuite sans produire aucun travail (fig. 179).

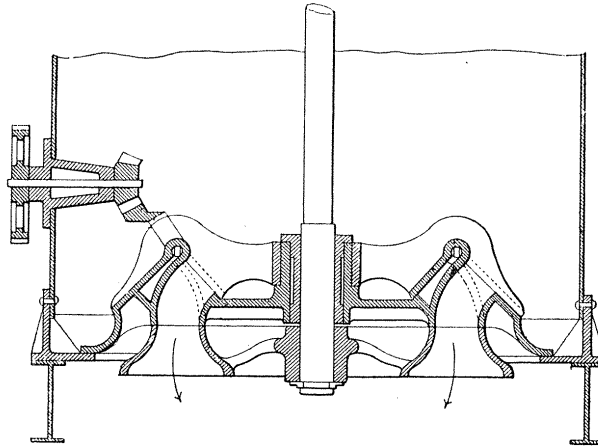


Fig. 179. — Turbine parallèle, système Hiorth.

Ces orifices se découvrent par le simple mouvement de la vanne, au fur et à mesure que le passage de l'eau dans les canaux directeurs est réduit.

Ce système n'a son emploi que sur les cours d'eau ou canaux à débit constant, utilisés comme force motrice par plusieurs usiniers, et a pour but d'empêcher les troubles dans la jouissance des droits d'eau d'un propriétaire au détriment d'un autre.

Les applications du système sont donc limitées et n'ont d'intérêt que dans les cas spéciaux.

La disposition adoptée nous paraît nouvelle, mais le même résultat peut être obtenu par d'autres combinaisons.

Le pivot de la turbine se trouve à la partie supérieure et tourne dans l'eau soit à la pression naturelle, soit sous pression artificielle; il n'offre que très peu de résistance au mouvement de rotation et n'a besoin d'aucun graissage.

M. Hiorth nous montre encore un modèle en réduction d'une roue motrice de turbine parallèle, à changement de marche, lequel est obtenu par un simple mouvement de la vanne obturatrice; la roue est à double couronne dans lesquelles l'inclinaison de l'aubage est de sens différent.

TURBINES POUR HAUTES CHUTES.

Cette classe comprend 25 moteurs dont 22 du type à action tangentielle et 3 centrifuges.

Turbines tangentielles. — MM. SINGRÛN FRÈRES, d'Épinal, exposent 5 turbines « Excelsior » basées sur le principe de la roue-turbine Pelton dont nous avons donné la description pages 161 et 162, mais à laquelle ces constructeurs ont apporté des perfectionnements que nous allons examiner.

Nous remarquons d'abord une turbine dont la roue motrice a 1 m. 50 de diamètre et porte 20 augets de 0 m. 270 de largeur.

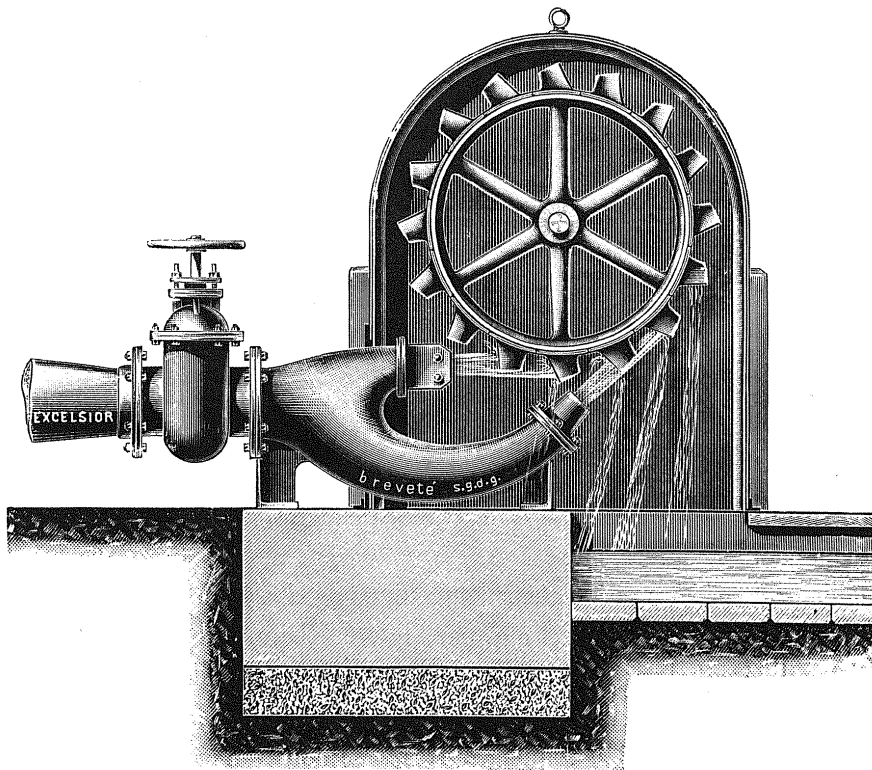


Fig. 180. — Turbine « Excelsior » à double injecteur.

Elle est montée sur un arbre horizontal maintenu par trois paliers autograisseurs fortement boulonnés sur un massif en pierres; une poulie placée entre les deux paliers extrêmes reçoit une courroie permettant la commande d'une transmission ou d'un appareil quelconque (fig. 180).

Sous une chute de 20 mètres, cette turbine développe une force de 40 chevaux à la vitesse de 125 tours par minute.

L'eau est amenée par une conduite de 0 m. 40 de diamètre, à travers un robinet-vanne et un papillon, sur un injecteur à deux orifices qui dirige le double jet sur les

augets, à la partie inférieure de la roue motrice, tangentiellement à leur ligne médiane; l'eau agit par sa force vive successivement sur chaque auget.

La section totale des deux orifices injecteurs est de $0\text{ m}^2\text{ 011}$ correspondant à une vitesse d'écoulement de $0.90\sqrt{2gH}$.

La mise en route de la turbine s'obtient par l'ouverture du robinet-vanne, le réglage se faisant ensuite automatiquement par un régulateur de vitesse à action mécanique agissant sur le papillon-obturateur; nous donnerons plus loin les détails de cet appareil.

D'une installation particulièrement simple et facile, d'un prix peu élevé, cette turbine a ses deux ajutages de l'injecteur double fixes, démontables à la main. Les variations du débit sont corrigées soit à la main par le robinet-vanne, soit automatiquement par le régulateur; lorsqu'elles sont d'une certaine durée, on change les ajutages pour mettre la section des orifices en rapport avec le débit d'eau disponible.

Nous trouvons ensuite une turbinette de même système de la force de 10 kilogrammètres sous 40 mètres de pression d'eau avec 2,500 tours par minute.

Ce moteur est à un seul ajutage, fixe, monté dans une enveloppe en fonte, et s'applique plus spécialement sur les conduites d'eau des villes où il convient pour la commande des machines à coudre, de machines électriques de laboratoire, d'outils d'amateurs ou tous autres appareils n'exigeant qu'une force peu importante.

Le diamètre de la roue est de 0 m. 10, elle porte 16 aubes de 25 millimètres de largeur.

Plus loin nous remarquons une turbine *Excelsior*, de 25 chevaux, sous 100 mètres de chute, avec une vitesse de 900 tours par minute, diamètre de la roue 0 m. 45.

Elle est à ajutage fixe unique, démontable, et porte par deux paliers graisseurs sur un socle et une enveloppe en fonte (fig. 181).

L'eau arrive par une conduite de 0 m. 15 de diamètre, à travers un robinet-vanne précédé d'un papillon obturateur.

Ce papillon est relié à un régulateur automatique de vitesse, à force centrifuge, placé sur l'enveloppe de la turbine, lequel agit par l'intermédiaire d'un servo-moteur hydraulique à piston différentiel qui fonctionne sous la pression naturelle de la chute.

Ce modèle forme un ensemble bien groupé, d'une installation facile et d'un bel aspect.

Les roues-turbines *Excelsior*, à ajutages fixes, que nous venons de passer en revue, donnent un rendement élevé lorsqu'elles fonctionnent à pleine admission, mais cette disposition ne permet pas de varier, pendant la marche du moteur, la force ou le volume d'eau dépensé autrement que par la fermeture à la main du robinet-vanne ou bien automatique du papillon. Dans les deux cas, la veine liquide est étranglée, déviée, elle subit des perturbations qui diminuent beaucoup le rendement.

Pour éviter ces pertes d'effet utile, on peut remplacer les ajutages, facilement démontables à la main, mais c'est là une sujétion à laquelle il n'est pas toujours aisé de se soumettre puisqu'elle exige l'arrêt du moteur, et que, dans certains cas, l'opération peut se répéter plusieurs fois par jour.

C'est un inconvénient très grave de toutes les turbines basées sur le principe de l'in-

jection par ajutages fixes, MM. Singrün frères l'ont fait disparaître par l'emploi de leur nouvel ajutage réglable breveté s. g. d. g.; les constructeurs suisses l'évitent, quoique dans des conditions moins favorables, par une autre disposition dont nous parlerons plus loin.

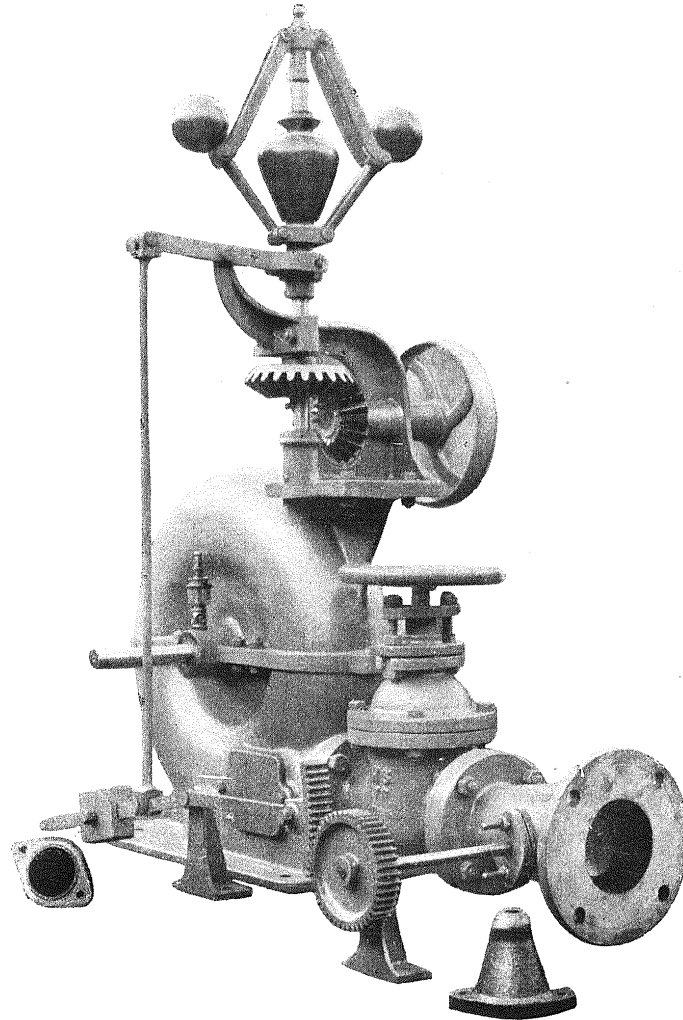


Fig. 181. — Turbine « Excelsior » avec régulateur.

L'ajutage réglable de MM. Singrün frères permet de régler instantanément la section du jet, en pleine marche, à la main ou automatiquement, depuis le plus fort jusqu'au plus faible débit et même jusqu'à la fermeture complète de l'orifice injecteur. La pression exercée sur les aubes reste constante, la veine liquide conserve son parallélisme et sa compacité, elle ne subit ni déformation, ni déviation, ni changement de direction; enfin l'angle et le centre d'injection sont invariables et conservent leur valeur et leur position les plus favorables quel que soit le degré de réduction de l'admission de l'eau; le rendement de la turbine reste donc très sensiblement le même dans toutes les circonstances de la marche.

Cette intéressante invention mérite d'être examinée dans tous ses détails. Le nouvel

ajutage réglable breveté s. g. d. g. se compose d'une boîte en fonte ou en acier GF dans laquelle l'eau pénètre par l'extrémité L (fig. 182 et 183). Elle est dirigée sur la roue motrice A suivant la ligne LM qui est le centre d'injection et de pression absolument invariable.

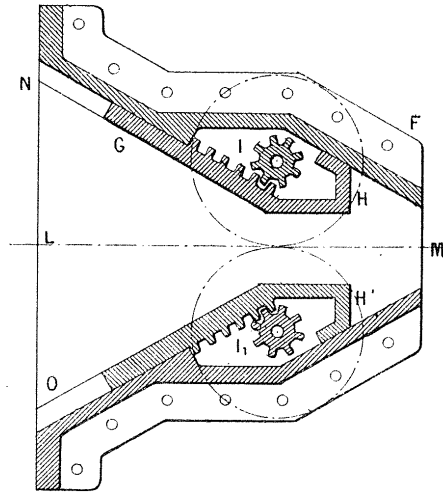


Fig. 182. — Ajutage réglable breveté s. g. d. g. de MM. Singrün frères (position de marche).

Le jet est limité, en largeur, par les parois G et F (cette dernière est démontable), et en hauteur par la face intérieure des mâchoires H et H' qui sont mobiles et glissent le long de surfaces parallèles entre elles, NN' et OO', et leur servent d'appui.

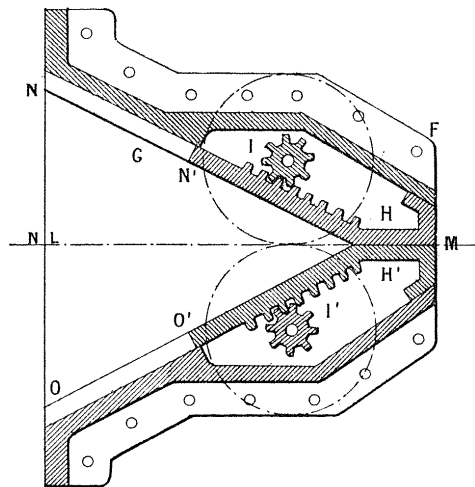


Fig. 183. — Ajutage réglable (position de fermeture).

Ces mâchoires portent, sur une de leurs faces, des crémaillères et sont commandées par des pignons II' qui sont généralement coulés ou forgés d'une pièce avec leurs arbres, lesquels traversent deux presse-étoupes JJ' et portent, à leur extrémité extérieure, des engrenages PP' actionnés par une vis sans fin unique Q commandée à la main par un volant R, mais qui peut aussi être reliée à un régulateur automatique de vitesse.

En agissant sur la vis sans fin Q, les pignons II' font glisser et déplacent les deux

mâchoires HH' le long des surfaces NN' et OO', modifient la section de l'orifice dont toutes les parois restent néanmoins parallèles entre elles et conservent au jet la même direction, le même centre d'injection.

La figure 182 montre les mâchoires complètement ouvertes, avec le maximum de section de l'orifice, tandis que la figure 183 les représente presque entièrement fermées.

Un plus grand déplacement amènerait le contact des mâchoires sur le centre d'injection, l'orifice se trouverait complètement fermé. En plus de leurs surfaces d'appui contre les faces NN' et OO', les mâchoires HH' sont guidées, dans leur partie élargie, par des rainures KK' ménagées dans la cage G et le couvercle F.

Des rainures S conduisent l'eau sur la face extérieure des mâchoires, équilibrent la pression sur les deux faces de ces organes, et réduisent ainsi au minimum les efforts qui tendraient à les déplacer.

Nous trouvons une première application de cet ingénieux appareil sur une turbine *Excelsior*, de 225 chevaux, sous une chute de 200 mètres, à la vitesse de 200 tours par minute.

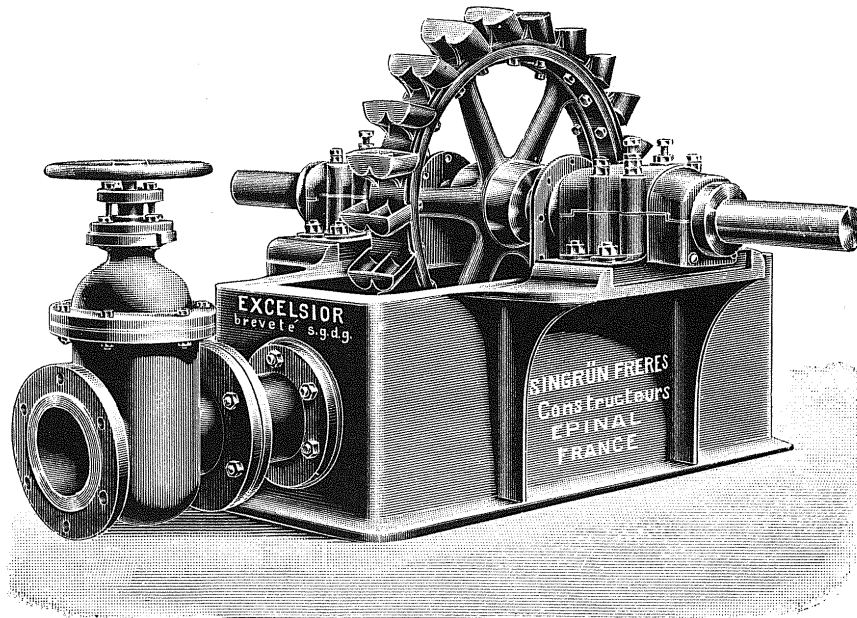


Fig. 184. — Turbine « Excelsior » sur bâti en fonte.

La roue motrice a 0 m. 90 de diamètre et porte 22 augets doubles fixés sur un disque en fonte tourné et équilibré, le tout monté sur un fort arbre en acier forgé maintenu par deux solides paliers autograisseurs (fig. 184).

L'eau est amenée, par une conduite de 0 m. 25 de diamètre, à un robinet-vanne placé à l'entrée de l'injecteur muni de l'ajutage réglable breveté.

Toute la turbine est montée sur un fort bâti en fonte sur lequel se fixe un couvercle empêchant les projections de l'eau à l'extérieur.

L'eau est admise sur l'ajutage réglable par l'ouverture du robinet-vanne, la mise en

marche et le réglage de la vitesse s'obtiennent ensuite par la manœuvre d'un volant placé sur le côté du bâti, en mettant la section d'écoulement de l'eau en rapport avec le débit disponible ou la force qu'on demande.

Cette manœuvre se fait d'abord à la main, ensuite automatiquement par un régulateur.

Une autre application du nouvel ajustage est faite sur une turbine *Excelsior*, de 120 chevaux, sous la chute de 50 mètres tournant à 250 tours par minute.

Pour obtenir une aussi grande vitesse avec une chute relativement peu élevée, la turbine est jumelle et se compose de deux roues de 1 m. 20 de diamètre calées sur un arbre unique, sur lesquelles l'eau est projetée par deux injecteurs, chacun à double ajustage, dont un fixe et l'autre réglable, modèle breveté (fig. 185).

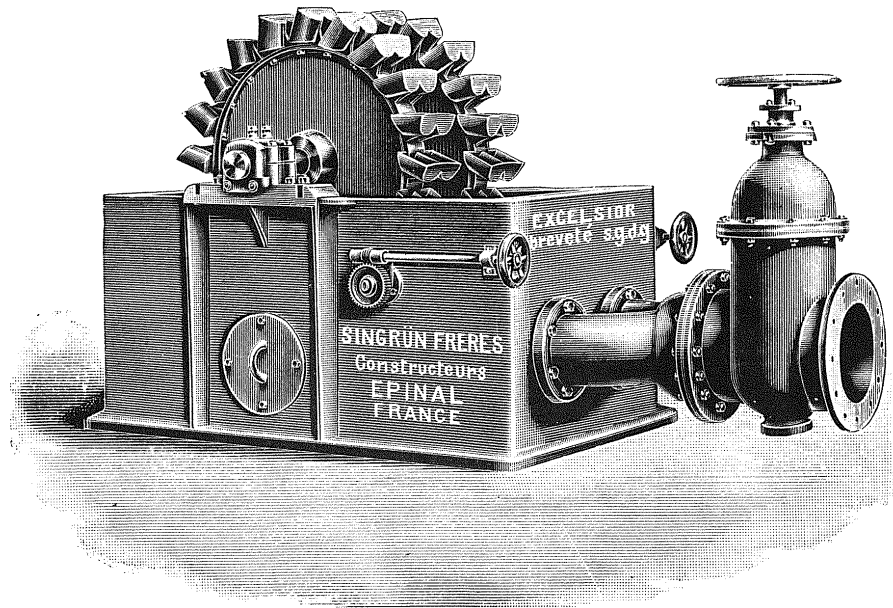


Fig. 185. — Turbine « Excelsior » jumelle.

L'arbre est en acier forgé, maintenu dans deux paliers fixés sur un grand bâti en fonte qui porte des regards de visite et contre lequel est boulonné un tuyau en Y distribuant l'eau sur les deux injecteurs.

Un robinet-vanne opère la mise en marche ou l'arrêt du moteur.

Les deux ajustages réglables se manœuvrent simultanément ou séparément, à la main ou par régulateur automatique.

Enfin un couvre-roue en tôle d'acier évite les projections d'eau à l'extérieur.

Comme pour les turbines des autres systèmes que nous avons vus dans la section des moteurs pour basses ou moyennes chutes, la disposition d'accouplement de deux roues motrices sur un même arbre permet de doubler la force d'un moteur pour une vitesse donnée, et trouve de nombreuses et importantes applications.

La SOCIÉTÉ ESCHER WYSS ET C^{ie}, de Zurich (Suisse), expose une collection de cinq turbines pour hautes chutes, dites à haute pression. Nous retrouvons ce modèle chez tous

les exposants suisses, avec quelques variantes dans la forme des augets ou la disposition des organes, mais elles sont toujours basées sur le même principe que les turbines genre Pelton que nous avons vues dans la section française.

Ces turbines se construisent pour chutes jusqu'à 600 mètres de hauteur.

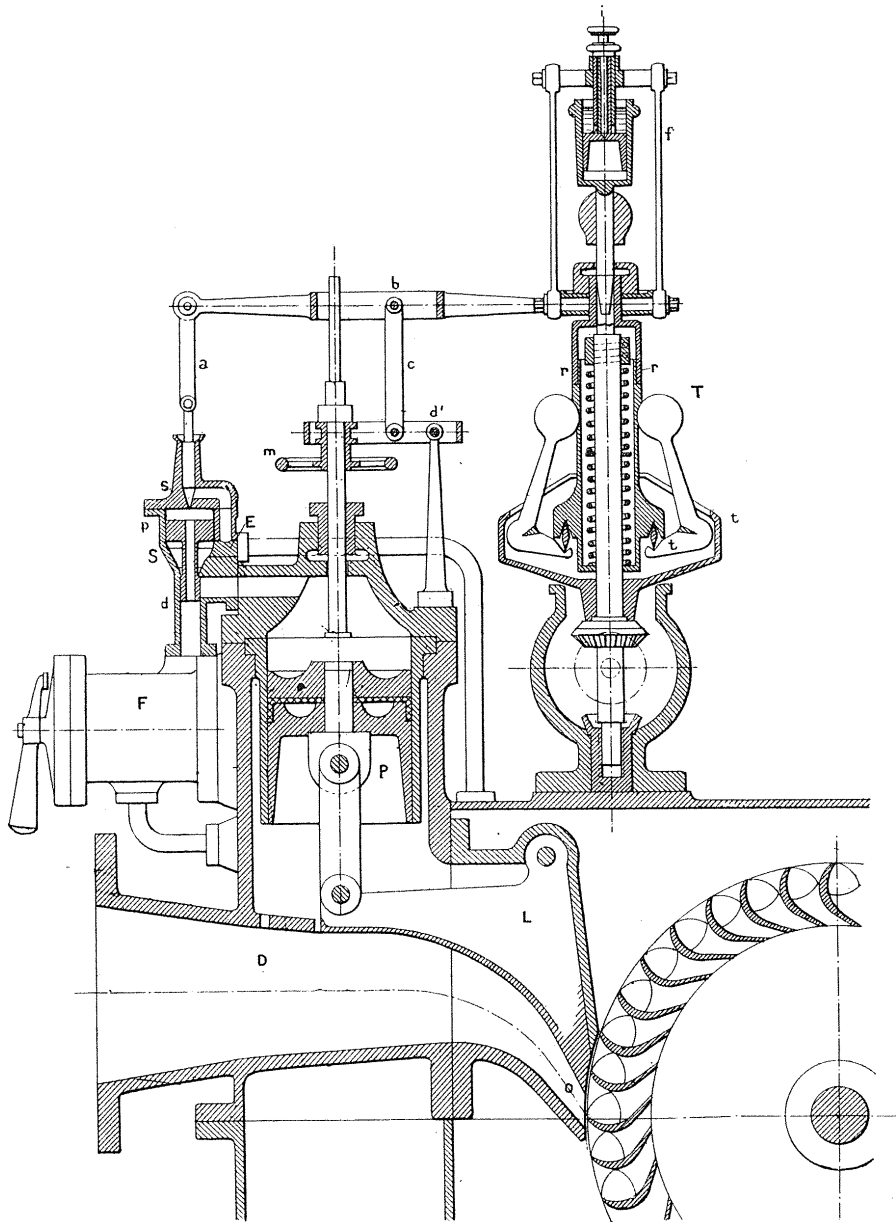


Fig. 186. — Turbine à haute pression de la Société Escher Wyss et C^{ie}.

Comme dans la turbine Pelton, l'action de l'eau est tangentielle, l'admission sur l'aube se fait en agissant sur une lèvre mobile qui rétrécit plus ou moins l'orifice injecteur et le met en rapport avec la force demandée ou le débit disponible (fig. 186).

L'aubage porte, comme dans la turbine originale, une cloison médiane, mais la joue inférieure de l'auget est supprimée.

La lèvre porte une queue reliée à un piston asservi au régulateur, la mise en marche ou le réglage peuvent également se faire à la main, au moyen d'un volant qui agit sur une partie filetée de la tige du piston servo-moteur.

Toute la turbine est recouverte d'une enveloppe en fonte qui supporte le régulateur.

Dans ce groupe nous remarquons :

a. Une turbine pour chute de 200 mètres, développant une force de 40 chevaux, à la vitesse de 2,000 tours par minute.

La roue a 0 m. 30 de diamètre; elle est munie d'un régulateur de vitesse.

b. Une turbine de même modèle que la turbine *a*, pour 100 mètres de chute, 20 chevaux, 1,400 tours.

c. Une turbine de 110 chevaux, à 600 tours, pour chute de 92 mètres, roue de 0 m. 70 de diamètre avec régulateur hydraulique automatique, système Escher Wyss et C^e, pourvu d'un tachymètre à ressort, d'un servo-moteur, d'une soupape de réglage et de filtres, le tout combiné avec un appareil de réglage de pression.

Cette turbine va être installée à l'usine d'éclairage électrique d'Arosa (Grisons).

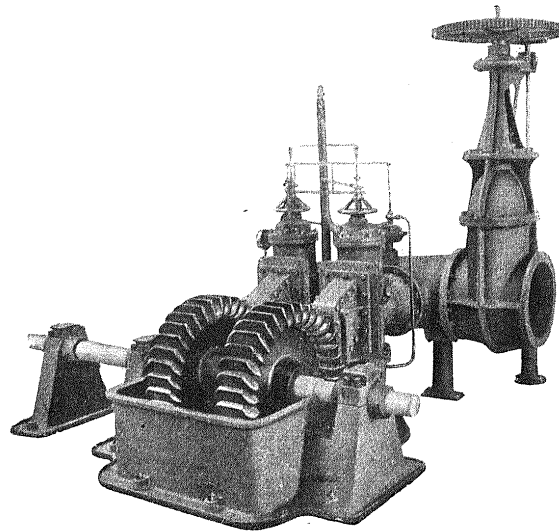


Fig. 187. — Turbine à haute pression de la Société Escher Wyss et C^e, type jumelle.

d. Une turbine de 220 chevaux, à 400 tours, pour chute de 91 mètres, destinée à l'éclairage électrique de Brides-les-Bains, où fonctionnent déjà trois turbines semblables.

La roue a 0 m. 70 de diamètre, le régulateur est identique à celui de la turbine précédente, sur lequel nous donnerons des détails dans le chapitre spécial des régulateurs.

e. Une turbine jumelle de 550 chevaux, à 375 tours, pour une chute de 92 mètres, destinée à la Société Electrica de Barcelone (Espagne), et composée de deux roues motrices de 1 m. 100 de diamètre, calées sur un arbre unique, munies chacune de tous

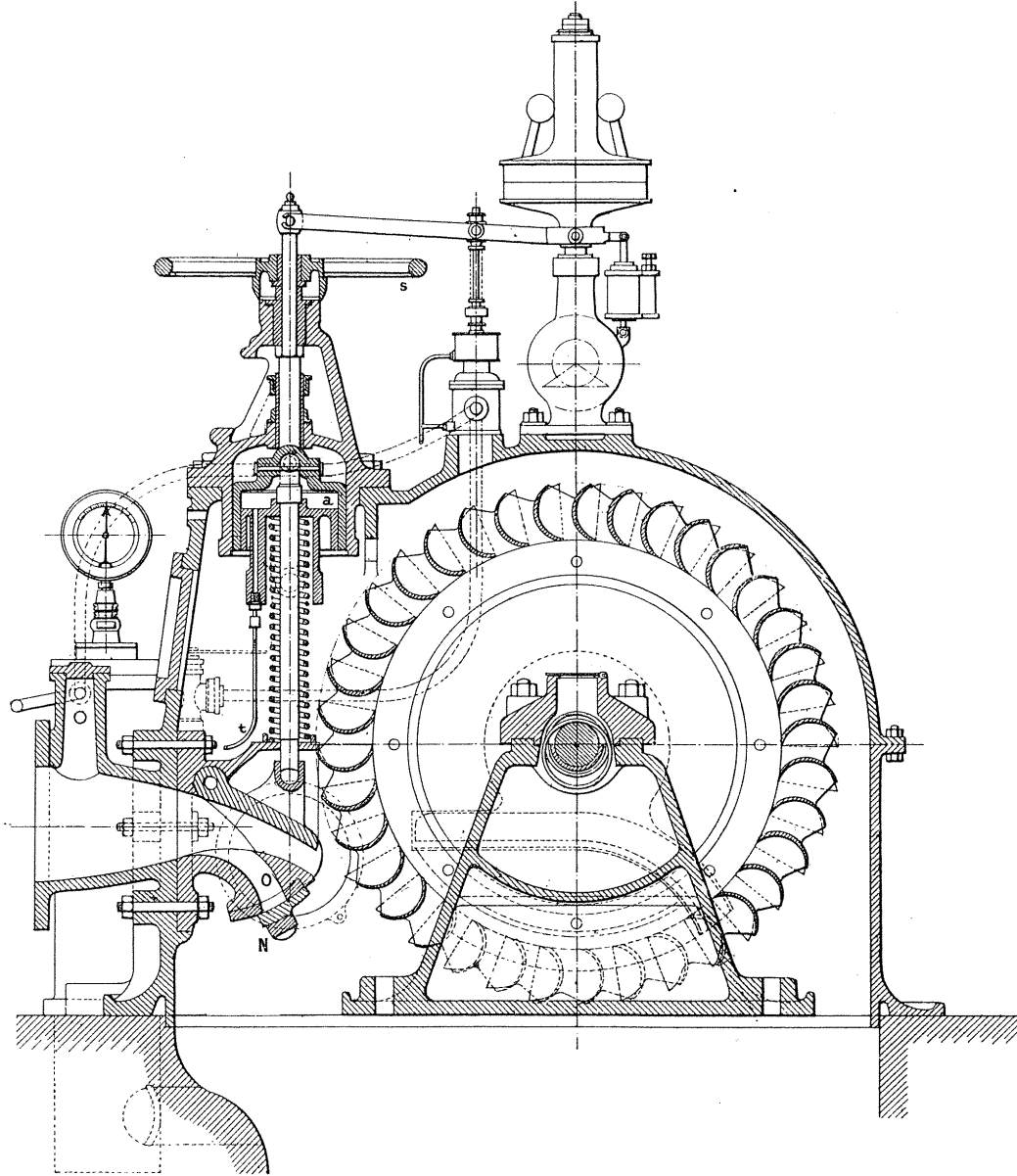


Fig. 188. — Turbine à haute pression de la Société Théo. Bell et C^{ie}.

les organes d'un moteur simple, régulateur automatique de vitesse commun, agissant sur un servo-moteur double avec relais, appareil de réglage de pression, filtre-revolver et robinet-vanne d'admission; cet appareil est constitué, en définitive, par deux turbines accolées permettant de doubler la force sur l'arbre, en conservant la vitesse de rotation d'une turbine simple (fig. 187).

L'organe réellement intéressant de ce système de turbine est le régulateur que nous décrirons plus loin.

La SOCIÉTÉ THÉO. BELL ET C^{ie}, de Kriens, nous présente une série de cinq turbines à haute pression de 10 à 500 chevaux.

Comme toutes les turbines modernes à haute pression, ce sont des appareils à action tangentielle, du genre Pelton, sur la roue desquels l'eau arrive par un orifice injecteur qui porte une bève mobile que la pression de l'eau tend constamment à ouvrir. Elle est reliée à la tige d'un servo-moteur sur lequel agit la pression de la chute (fig. 188).

La description du régulateur et les détails sur ses rapports avec le fonctionnement de la turbine seront donnés dans le chapitre suivant.

MM. TEISSET, V^{ce} BRAULT ET CHAPRON, de Chartres, exposent une roue-turbine à axe horizontal, genre Pelton, spéciale pour l'utilisation des très hautes chutes et des débits (fig. 189).

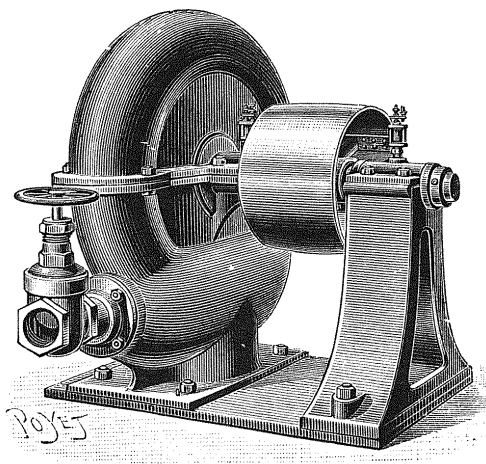


Fig. 189. — Turbine système Pelton de MM. Teisset, V^{ce} Brault et Chapron.

Elle développe une force de 16 chevaux, sous la chute de 200 mètres, avec une vitesse de 2,000 tours par minutes.

Nous avons déjà vu à l'exposition de MM. Singrün frères les détails de construction de ce système de turbines, nous n'y reviendrons donc plus.

La PELTON WATER WHEEL COMPANY présente trois roues-turbines du système Pelton primitif, dont nous avons déjà donné la description.

C'est une puissante société qui construit spécialement les turbines pour très hautes chutes et faibles débits inventées par son fondateur, mais elle n'expose que des moteurs de petites dimensions.

Il est fort regrettable que cette société n'ait pas fait figurer à l'Exposition de 1900 ses moteurs de grande puissance, dont elle a de nombreuses applications dans le Nouveau-Monde.

Nous terminons l'examen des turbines tangentielles par le *Moteur domestique*, construit à Paris par M. PAOLERA.

Trois de ces moteurs nous sont présentés; ils se trouvent au premier étage de la galerie de la Classe 20 et actionnent des machines à coudre. L'eau est fournie par la conduite générale de l'Exposition.

Le *Moteur domestique* est une petite roue-turbine, à action, qui utilise la pression de l'eau des conduites municipales, ou d'une source quelconque, pour actionner des machines à coudre ou de petits appareils n'exigeant que très peu de force.

Elle se compose d'une roue motrice à aubes, sur lesquelles un ajutage fixe dirige un jet d'eau dont la force vive imprime au moteur un mouvement de rotation d'autant plus rapide que la pression de l'eau est plus élevée.

La force indiquée par l'exposant pour ces turbinettes est de 7 kilogrammètres et demi pour une pression d'eau de 30 mètres, avec une vitesse de 1,800 tours par minute.

Si nous admettons, pour ces petits moteurs, un rendement de 50 p. 100 de l'énergie théorique, ce qui est un maximum pour une aussi faible puissance et de si petites dimensions, nous trouvons une dépense de 1,800 litres d'eau par heure qui, à raison de 15 centimes par mètre cube, prix moyen de l'eau à Paris, représente une dépense de 27 centimes par heure pour une force de 7 kilogrammètres et demi, soit 2 fr. 70 par cheval-heure.

Ce prix du cheval-heure est évidemment beaucoup trop élevé si on le compare aux conditions auxquelles il peut être fourni électriquement ou par d'autres moyens de distribution connus; aussi l'application de ces petits moteurs doit-elle être limitée aux cas où l'eau est abondante et à bon marché.

C'est, à notre avis, la seule cause qui empêche les moteurs hydrauliques de se répandre dans les villes pour la distribution à domicile de la force motrice.

La turbinette appliquée à la petite industrie est souple, agréable, simple, d'un entretien presque nul, d'un prix peu élevé; ce serait le moteur domestique idéal s'il n'était d'une alimentation onéreuse partout où, comme dans la plupart de nos villes, le prix de l'eau est encore beaucoup trop élevé.

Les modèles de M. Paolera ne présentent aucune particularité, ils sont établis d'après des principes connus.

Turbines centrifuges. — MM. PICCARD, PICTET ET C^{ie}, de Genève, présentent, dans la Classe des turbines pour hautes chutes, une turbine genre Girard, de 900 chevaux sous la chute de 500 mètres, avec une vitesse de 500 tours par minute, destinée à la Société Walliser Industrie-Gesellschaft (fig. 190).

Cette turbine est du modèle centrifuge classique, à axe horizontal, et attire surtout l'attention par sa construction parfaitement étudiée et bien appropriée; la couronne motrice principalement a dû être établie d'une façon toute particulière, en raison de l'énorme vitesse circonférentielle à laquelle elle est soumise (environ 45 mètres par seconde).

Coulée en fonte, comme pour les turbines de construction courante, la roue est frettée en acier et calculée de manière à ce qu'à la vitesse normale de la turbine, la

résistance de la fonte soit en équilibre avec les efforts de la force centrifuge, et qu'en cas d'emballement accidentel du moteur, les frottes en acier ne soient jamais soumises à un effort de 10 kilogrammes par millimètre carré de section; elle peut ainsi résister à une pression de 700 mètres de hauteur et la sécurité la plus complète est assurée à l'appareil.

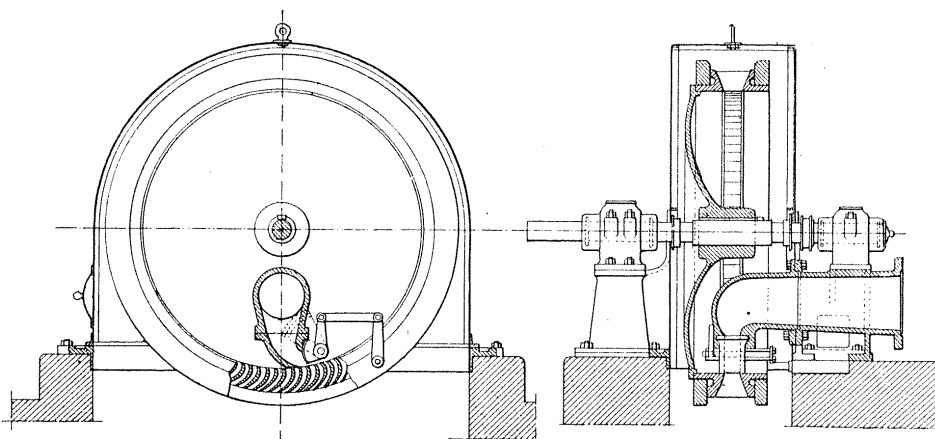


Fig. 190. — Turbine Girard de MM. Piccard, Pictet et C^{ie}.

L'eau est amenée sur la roue mobile par un tuyau de 0 m. 35, situé dans le même plan que l'arbre moteur, et se terminant par un injecteur devant lequel se meut un tiroir circulaire de réglage soumis à l'action d'un régulateur servo-moteur à déclat et friction.

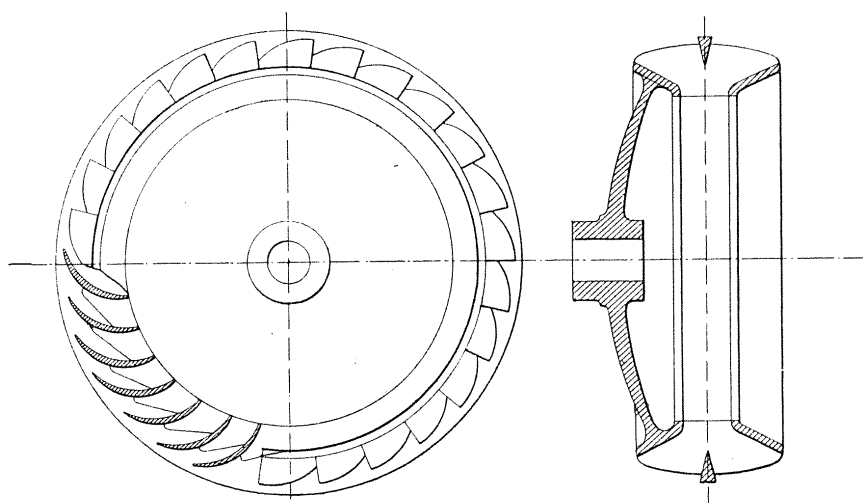


Fig. 191. — Petite turbine Piccard, Pictet et C^{ie}, pour installation de villes.

Cet injecteur ne contient intérieurement aucun organe mobile. Le tiroir obturateur pivote autour d'un axe situé hors de l'eau, et qui est graissé en marche; il se manœuvre avec facilité malgré la forte pression de l'eau.

La forme de l'injecteur est telle que la direction de la veine liquide qui s'en échappe est constante quelle que soit la position du vannage; il en résulte que le rendement reste très sensiblement le même pour des débits fort différents.

Enfin les parties de l'injecteur et du tiroir susceptibles d'usure peuvent être remplacées facilement et à peu de frais.

Nous remarquons ensuite la roue motrice d'une petite turbine centrifuge employée pour les installations à domicile dans les villes qui possèdent une distribution de force par de l'eau sous pression.

Cette turbine fait 50 chevaux, alimentée par l'eau à 130 mètres de pression de la ville de Genève.

L'aubage est à godets doubles et arête médiane, genre Pelton, des turbines tangentielles (fig. 191).

Enfin nous terminons l'examen des turbines hydrauliques par la société JACOB RIETER ET C^e, de Winterthur (Suisse) qui présente une petite turbine à admission partielle et libre déviation, d'une force de 29 chevaux sous la chute de 700 mètres, accouplée directement à une dynamo faisant environ trois mille tours par minute.

Cette turbine est du système Girard classique.

II. RÉGULATEURS.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES RÉGULATEURS

POUR TURBINES HYDRAULIQUES.

Les régulateurs automatiques de vitesse sont devenus des appareils à peu près indispensables aujourd'hui pour les installations dans lesquelles les turbines actionnent des générateurs d'électricité qui exigent, en général, une grande régularité de marche; aussi trouvons-nous, à l'Exposition de 1900, de nombreuses et très curieuses machines de ce genre, dont beaucoup sont d'une ingéniosité et d'une précision absolument remarquables.

Ces appareils peuvent se diviser en deux catégories :

Les régulateurs agissant directement sur la vanne des turbines pour réduire plus ou moins la section d'admission de l'eau sur les moteurs;

Les régulateurs-freins qui absorbent l'excédent de force non utilisée par la turbine sont sans action sur la vanne qui reste toujours ouverte pour développer, en tout temps, la force totale du moteur.

Les régulateurs de la première catégorie sont soit à action mécanique, soit hydraulique ou même hydro-mécanique.

Les régulateurs à action purement mécanique peuvent se placer partout, sous toutes les chutes et pour tous les moteurs; ils n'exigent pour leur fonctionnement aucune pression artificielle ou naturelle.

Leur action est sûre, puissante, mais elle est, en général, beaucoup moins rapide que celle des appareils hydrauliques et ils ont, en outre, l'inconvénient d'agir presque

constamment sur le vannage, s'ils sont sensibles, et d'amener une prompte usure des organes obturateurs.

Les régulateurs hydrauliques agissent beaucoup plus rapidement, sont d'une grande sensibilité lorsqu'ils sont bien étudiés et convenablement établis; ils permettent de maintenir la vitesse à un degré de constance très grand, puisque les variations en plus ou en moins de la vitesse de régime arrivent à ne pas dépasser 1 à 3 p. 100, même pour des turbines de plusieurs milliers de chevaux.

Par contre, ils sont, en général, d'une construction délicate, d'un prix élevé, et exigent, si la pression naturelle de la chute n'est pas suffisante, une pompe accessoire pour produire la pression artificielle nécessaire à leur fonctionnement, ce qui est toujours une complication et augmente l'entretien.

De plus ils ne sont pas toujours à l'abri des gelées, et, dans les pays froids, des précautions particulières sont à prendre pendant l'hiver.

Les régulateurs hydro-mécaniques d'invention récente que nous trouvons au Champ-de-Mars ont les avantages et les inconvénients des deux premiers systèmes, mais leur action est plus rapide et plus douce que celle des régulateurs purement mécaniques, leur sensibilité est plus grande.

Les régulateurs de la deuxième catégorie, les appareils à frein sont, en général, très sensibles, lorsqu'ils sont de bonne construction, mais ils ont le grave inconvénient de faire absorber à la turbine un volume d'eau constant, quelque minime que soit la force qu'on lui demande; ils n'économisent donc pas l'eau et ne trouvent, par conséquent, une application rationnelle que dans les cas où celle-ci est suffisamment abondante.

Les régulateurs-freins sont, en outre, encombrants et d'un prix souvent si élevé qu'il dépasse quelquefois celui du moteur lui-même, et qu'on préfère sacrifier à la régularité ou à l'entretien en adoptant des dispositions moins coûteuses.

Ces appareils ne conviennent guère que pour des forces de 200 chevaux au maximum; pour des puissances supérieures, leurs dimensions deviendraient exagérées, et leur prix inabordable dans la pratique.

Les régulateurs exposés sont au nombre de 47 dont :

- 17 à action purement mécanique,
- 23 à servo-moteur hydraulique,
- 2 hydro-mécaniques,
- 5 régulateurs-freins.

Régulateurs mécaniques. — MM. SINGRÜN FRÈRES, d'Épinal, exposent un régulateur automatique de vitesse à double effet applicable à tous systèmes de turbines (fig. 192).

Ce régulateur se compose des organes principaux suivants :

- Un pendule centrifuge à boules;
- Une tige dentée centrale;
- Un levier coudé;
- Un disque échancré;

Un engrenage à cliquets ;

Quatre cliquets.

Les tiges, de longueur réglable, sur lesquelles sont fixées les boules, sont articulées et se prolongent chacune par un secteur denté qui engrène avec la partie, dentée également, de la tige, laquelle glisse verticalement dans le fourreau de la colonne qui porte le pendule.

A la partie inférieure, cette tige s'appuie sur le levier dont l'extrémité opposée porte un secteur denté correspondant à un pignon fixe coulé d'une pièce avec le disque échancré.

Un excentrique fixé sur l'arbre actionne deux leviers qui impriment aux quatre cliquets un mouvement continu de va-et-vient.

Un contrepoids ramène le disque à la position d'ouverture lorsque le régulateur est arrêté.

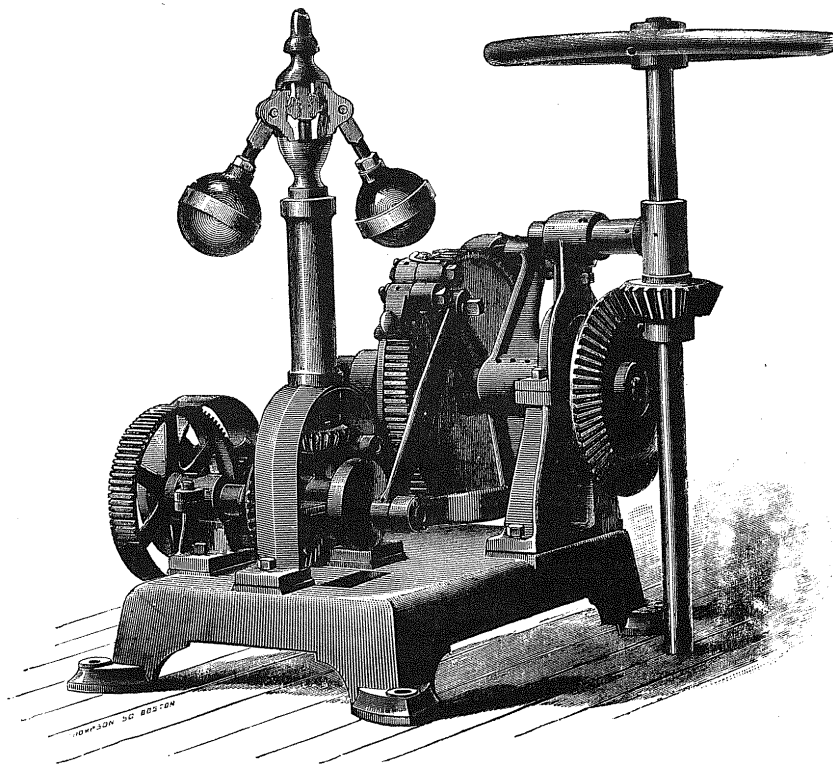


Fig. 192. — Régulateur mécanique à double effet de MM. Singrün frères.

Un engrenage portant un taquet reçoit son mouvement de rotation d'un petit pignon par l'intermédiaire de l'engrenage dont le diamètre est calculé de manière que, pour une course donnée du taquet, l'arbre fasse le nombre de tours voulus pour ouvrir en plein la vanne de la turbine qu'il s'agit de régler.

Enfin un levier permet de ramener à la main le disque dans sa position moyenne pour arrêter l'action du régulateur, et lorsqu'on veut manœuvrer la vanne pour la mise en marche ou l'arrêt du moteur.

L'appareil est commandé par la turbine qui transmet son mouvement à la poulie et aux engrenages, lesquels communiquent leur mouvement de rotation à la tige et aux boules du régulateur.

Lorsque la vitesse de la turbine est normale, la tige maintient le disque dans sa position moyenne, l'échancrure se présente au milieu, les cliquets opèrent à vide leur mouvement de va-et-vient.

Si la vitesse diminue, les boules baissent, la tige est soulevée, le levier monte également sous l'action du contrepoids, et entraîne le disque dont l'échancrure vient se placer en face d'un cliquet, en même temps qu'un autre cliquet prend également contact avec l'engrenage.

Ces deux cliquets, n'étant plus suspendus par le disque, tombent et poussent l'engrenage vers l'avant, continuant leur action jusqu'au moment où, le régulateur ayant repris sa vitesse normale, le disque est ramené à sa position moyenne par le levier.

Dans son mouvement de rotation l'engrenage fixé sur l'arbre entraîne ce dernier qui agit sur la vis sans fin pour ouvrir la vanne de la turbine.

Si, au contraire, la vitesse augmente, les boules s'écartent, l'échancrure du disque est amenée sur le côté arrière, et ce sont les deux autres cliquets qui poussent l'engrenage dans le sens de la fermeture de la vanne.

Il peut arriver que la turbine, étant accouplée à un autre moteur, soit entraînée par ce dernier, et que le régulateur, si on oublie de le débrayer, agisse encore sur la vanne dans un sens ou dans l'autre lorsqu'elle est arrivée à fond de course. À ce moment, le mécanisme serait brisé si un taquet n'intervenait pour ramener automatiquement le disque dans sa position moyenne, l'action du pendule étant reprise automatiquement aussi dès que la cause qui a produit le déclenchement a cessé.

Puis nous trouvons un régulateur de même construction que le précédent, à simple effet, moins compliqué, par conséquent moins cher, mais dont l'action, suffisante dans bien des cas, est cependant moins rapide que celle de l'appareil à double effet.

MM. PICCARD, PICTET ET C^{ie}, de Genève, soumettent au Jury international six régulateurs à action mécanique qui comprennent :

Trois régulateurs servo-moteurs à déclie pour vannages légers (fig. 193 et 194);

Trois régulateurs servo-moteurs à déclie et friction pour vannages lourds (fig. 195 et 196).

Tous ces appareils sont du système Piccard.

Les régulateurs à déclie pour vannages légers dont un modèle se remarque placé sur une turbine à axe horizontal de la figure 194, se composent d'un pendule centrifuge B, que certains auteurs dénomment maintenant *tachymètre*, qui agit, par l'intermédiaire d'un système de leviers et de cliquets, sur une crémaillère dentée CD à laquelle est relié le vannage de la turbine.

Un excentrique E, actionné par le moteur, fait osciller la pièce FII' autour de l'arbre G sur lequel elle est libre.

Cet arbre porte encore une roue à rochets L solidaire avec un pignon N, qui engrène avec la tige CD formant crémaillère.

La pièce FII' porte les tourillons I et I' de deux cliquets ou chiens symétriques K et K' qui agissent en sens opposé sur la roue L. Ces cliquets sont munis des doigts *b* et *b'* qui peuvent s'engager dans les crochets *d* et *d'* que forme l'extrémité des ressorts *c* et *c'*.

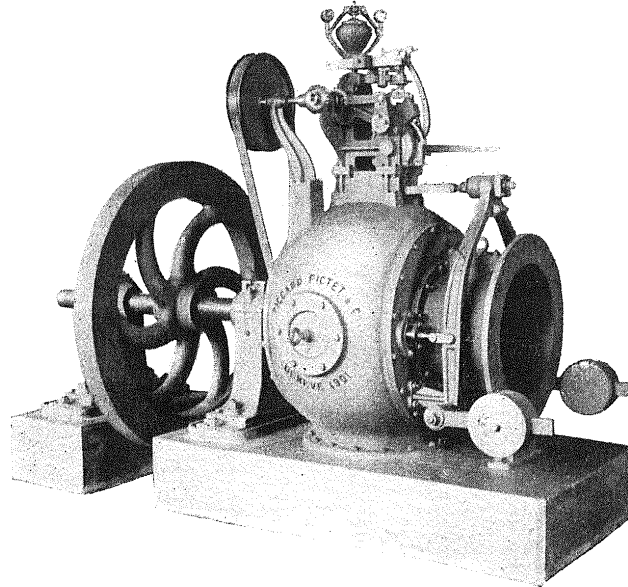


Fig. 193. — Régulateur mécanique Piccard pour vannages légers.

Pour comprendre le fonctionnement de l'appareil, supposons que le cliquet K, par exemple, libéré de son ressort de suspension *c*, par une cause quelconque, vienne s'appuyer sur la roue L, comme c'est représenté à la figure 194. Lorsque la pièce FII' se meut dans le sens de la flèche *a*, le cliquet K entraîne la roue L de gauche à droite; mais lorsque la pièce FII' chemine en sens contraire, le cliquet K est soulevé par les dents de la roue L et son doigt *b* vient se crocher au ressort de suspension.

Lorsque les cliquets ont été abaissés pour une cause quelconque, ils tendent toujours à se raccrocher par leur propre mouvement aux ressorts de suspension, position dans laquelle ils sont sans action sur la roue à rochet.

Tandis que le mécanisme tend constamment à se débrayer, il faut l'intervention d'une cause extérieure pour l'embrayer.

Cette cause est soumise à l'action du régulateur, c'est-à-dire du pendule, qui agit sur le mécanisme au moyen d'un butoir ou came M placée entre les deux ressorts *c* et *c'*. Cette came M, qui est déplacée à gauche ou à droite par le pendule, est sans action sur le mécanisme lorsqu'elle est dans sa position médiane, c'est-à-dire quand le manchon du régulateur est dans sa position moyenne, que, par conséquent, la vitesse du moteur est normale; mais aussitôt que cette vitesse change, le manchon se déplace, entraîne la came, l'un ou l'autre des cliquets K ou K' est libéré, et l'embrayage se produit dans le sens sollicité par le régulateur.

Supposons, en effet, que la came M se soit déplacée à droite, comme c'est représenté sur la figure 194. Dans ce cas le ressort *c* viendra, en oscillant, toucher la came M, ce qui libérera le doigt *b* et provoquera la chute du cliquet K, c'est-à-dire l'embrayage de gauche à droite de la roue L.

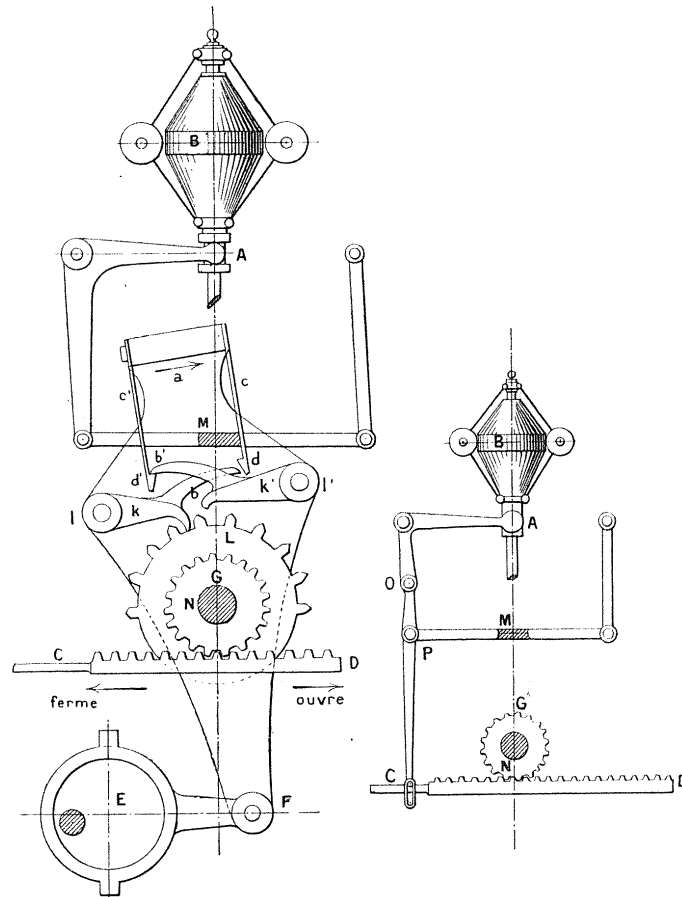


Fig. 194. — Schéma du fonctionnement du régulateur fig. 193.

L'embrayage durera aussi longtemps que le déplacement *d* de la came M, mais dès que celle-ci reviendra en son milieu, le mouvement cessera puisque le cliquet se recrochera et restera suspendu à son ressort *c*.

Ce dispositif permet de remplir au plus haut degré les conditions indispensables pour obtenir un bon réglage du moteur, c'est-à-dire :

Effort demandé au régulateur, pour produire l'embrayage très faible;

Force maximum transmise à l'organe de réglage de la turbine;

Action de l'embrayage aussi rapide que possible.

L'effort demandé au régulateur est, en effet, presque nul et les ressorts *c* et *c'* peuvent, sans inconvénient, être très faibles.

La puissance transmise à la tige CD est presque illimitée parce que les cliquets s'engagent toujours à fond dans la roue à rochets, l'action du déplacement de la came est très rapide.

Ce système de régulateurs est déjà appliqué à de nombreuses turbines, sa sensibilité est très grande, et il jouit d'une excellente réputation.

Nous passons aux régulateurs à déclie et friction pour vannages lourds de la même maison.

Un tachymètre R provoque, sans effort sensible, par l'intermédiaire d'un mécanisme que nous allons décrire et d'un double manchon d'embrayage DD', l'embrayage dans un sens ou dans l'autre, ou bien le débrayage de l'arbre AB qui fait mouvoir l'organe de réglage du moteur, qui peut être quelconque.

L'arbre C, mû par le moteur dans un seul sens, peut communiquer à l'arbre AB un mouvement dans un sens ou dans l'autre au moyen des trois roues coniques HI et I' et de deux manchons d'embrayage à friction D et D'.

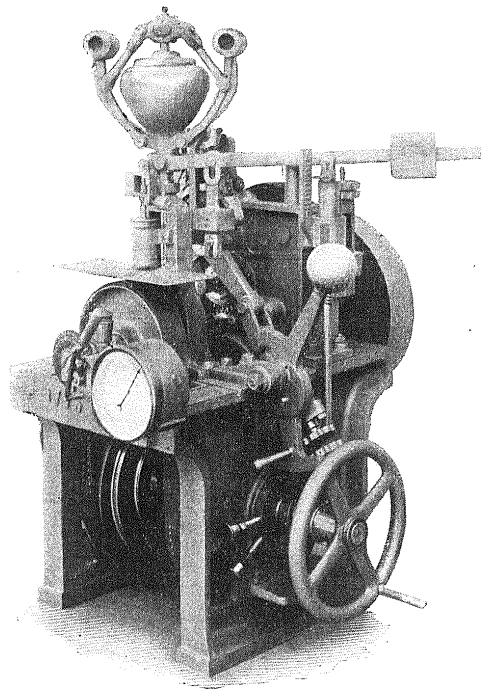


Fig. 195. — Régulateur mécanique Piccard pour vannages lourds.

Ce mécanisme d'embrayage étant connu et déjà très employé, nous ne le décrivons pas davantage.

Les deux manchons à friction D et D' sont commandés par l'intermédiaire des leviers EF et EF' au moyen d'une tringle FF' qui reçoit son mouvement au point J du mécanisme que nous allons décrire.

Ce mécanisme se compose d'une pièce K qui oscille autour de l'axe L et d'une pièce M qui peut osciller autour de l'axe N.

La pièce K, qui porte un tourillon O, est actionnée par la tige PO de l'excentrique ou manivelle P. Cet excentrique, mû par le moteur, communique à la pièce K un mouve-

ment oscillatoire continu. En outre, cette pièce K est munie de quatre petits tourillons $b b'$ et $d d'$.

Les deux premiers b et b' portent les deux cliquets a et a' munis des queues e et e' ; les deux autres d et d' portent les deux arrêts c et c' avec touches g et g' .

Les queues e et e' des cliquets viennent s'engager contre les crochets ou saillies des arrêts c et c' comme le montre la figure 196.

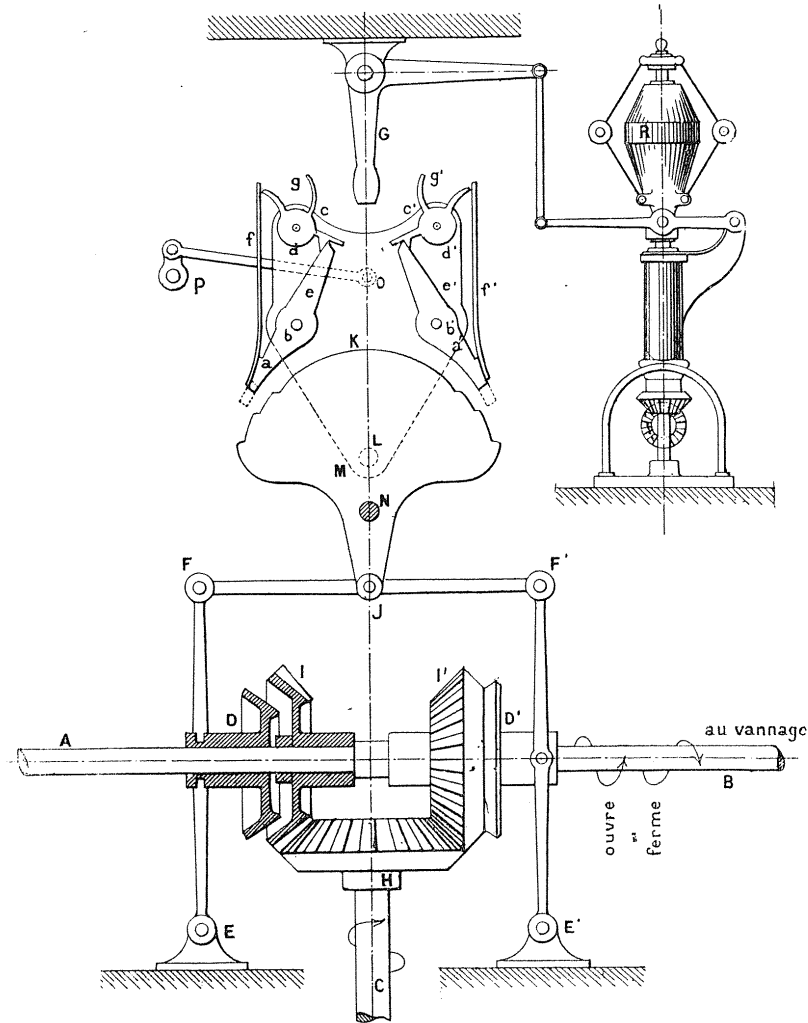


Fig. 196. — Schéma du fonctionnement du régulateur, fig. 195.

Deux petits ressorts f et f' fixés aux cliquets maintiennent les queues appuyées contre les arrêts e et e' , aussi longtemps qu'une cause extérieure ne vient pas les dégager.

La pièce ou secteur M est munie de trois dents de chaque côté, dont la face extérieure est formée par un arc de cercle qui a pour centre l'axe L. Lorsque les queues des cliquets sont engagées dans les arrêts c et c' , comme l'indique la figure 196, les cliquets sont sans action sur le secteur denté L, car leur oscillation les amène dans leur position extrême indiquée en pointillé.

Les touches g et g' des arrêts c et c' ont aussi leur position extrême d'oscillation indiquée en pointillé, et si rien ne vient les arrêter dans leur course le mécanisme reste indéfiniment inactif.

Mais entre ces touches g et g' le tachymètre R peut déplacer, au moyen de leviers disposés comme le représente la figure 196, le taquet G qui sort ainsi de sa position médiane; l'une ou l'autre des touches g et g' vient le heurter, soulève l'arrêt c ou c' , et libère ainsi l'un des cliquets qui vient tomber sur le secteur M par l'action du ressort f . Au moment où le cliquet est libéré, il est dans sa position extrême en arrière; en retournant en avant il entraîne la dent qui se trouve devant lui, fait osciller la pièce M et provoque ainsi le serrage de l'un des manchons à friction. Ce serrage produit à son tour l'ouverture ou la fermeture de l'organe de réglage, suivant que c'est le cliquet a ou a' qui a été libéré. Le serrage du manchon dure jusqu'à ce que le taquet G , se déplaçant en sens opposé, vienne libérer l'autre cliquet qui ramènera le secteur M dans sa position médiane où les deux manchons sont desserrés.

Il est à remarquer, enfin, que pendant que l'un des cliquets, a par exemple, est engagé avec une dent du secteur M , son extrémité suit, pendant son mouvement en avant, un arc de cercle qui n'a plus L pour centre, mais bien le point N . Cette excentricité de mouvement du bec du cliquet a pour effet de le soulever, et de faire revenir la queue e en prise avec l'arrêt c .

Chaque fois qu'un des cliquets a été libéré, il revient donc de lui-même se renclencher dans son arrêt jusqu'à ce que le taquet G le libère de nouveau.

Nous trouvons ensuite un régulateur servo-moteur mécanique breveté, à déclic, de la SOCIÉTÉ THÉODORE BELL ET C^{ie}, de Kriens (Suisse).

Un tambour à denture hélicoïdale, commandé par une courroie, est muni, à droite et à gauche, de trois cliquets d'entraînement qui portent sur leurs axes, en dehors du tambour, de petits leviers de déclenchement. Le tambour est traversé par un arbre mobile de réglage sur lequel est clavetée une roue à rochets qui porte, fixé sur son moyeu, un pignon d'angle; un arbre creux fixe est pourvu, à son extrémité, de deux pivots, l'un portant un pignon d'angle, l'autre portant un rouleau de butée pour le déclenchement des cliquets après chaque rotation.

Ce même arbre creux porte une deuxième roue à rochets sur laquelle est fixé un troisième pignon d'angle.

Ces trois pignons, avec les deux roues à rochets, produisent ensemble le mouvement à droite ou à gauche de l'arbre de réglage suivant qu'un butoir de droite ou de gauche est déclenché.

Un anneau mobile placé entre les deux séries de cliquets d'entraînement empêche que deux cliquets de sens opposés ne viennent à entrer en fonction en même temps.

Le tambour, faisant 60 tours par minute, produit $3 \times 60 = 180$ encliquetages pendant cette période de temps, et il faut dix à vingt-cinq secondes pour opérer la fermeture.

Le mouvement de l'arbre de réglage est relié à celui du pendule à ressort par un relais mécanique.

Le pendule est actionné par une courroie indépendamment de la commande du servomoteur.

La SOCIÉTÉ JACOB RIETER ET C^{ie}, de Winterthur (Suisse), expose six régulateurs à action mécanique.

Les trois premiers sont du modèle mural.

Le pendule porte une came qui, en suivant les mouvements du manchon, déplace une courroie sur l'une ou l'autre des poulies fixes placées de chaque côté de la première pour faire tourner, soit à droite, soit à gauche, par l'intermédiaire d'un jeu d'engrenages cônes, un arbre relié au mécanisme qui commande la vanne de la turbine.

Ce système, connu depuis longtemps déjà et appliqué, sous différentes formes, par beaucoup de constructeurs, est d'une très grande simplicité, mais il est absolument incapable de maintenir la vitesse du moteur dans les limites exigées par les machines modernes, et sa puissance est limitée à la force d'adhérence de la courroie, ce qui est insuffisant pour les vannages un peu lourds.

Nous trouvons ensuite trois régulateurs de précision à action mécanique disposés spécialement pour l'application des turbines à l'électricité.

Le mouvement à droite ou à gauche est obtenu par une courroie et des poulies folles et fixes, comme dans les régulateurs précédents, mais l'appareil agit sur l'organe du vannage par l'intermédiaire d'un jeu d'engrenages qui lui assure une grande puissance et une sensibilité que ne peuvent avoir les régulateurs simples. Dans ce modèle, la vitesse peut en effet être maintenue dans les limites de 1 à 3 p. 100 de celle normale.

L'appareil est muni d'un relais mécanique qui limite les oscillations du pendule et le ramène à sa position moyenne après chaque oscillation. De plus une cataracte à vitesse réglable empêche les mouvements trop brusques du système.

Ces appareils sont bien étudiés et bien construits.

MM. ROYER ET JOLY, d'Épinal, ont placé, sur la turbine parallèle à axe horizontal de 100 chevaux, un régulateur automatique de vitesse à pendule centrifuge qui agit sur le vannage par l'intermédiaire d'une came et déplace une courroie sur des poulies fixes et folle, comme dans le système Rieter. L'arbre de commande du régulateur imprime, en outre, à deux galets un mouvement vertical alternatif continu qui ramène la courroie sur la poulie folle après chaque oscillation du pendule.

Cette disposition mécanique est très ingénieuse et réalise un progrès certain sur les anciens régulateurs basés sur le déplacement d'une courroie.

Le régulateur qu'exposent MM. LAURENT FRÈRES ET COLLOT, de Dijon, est ainsi composé :

Un pendule centrifuge monté sur une colonne en fonte (fig. 197) agit, par l'intermédiaire d'un balancier équilibré, sur une tringle verticale pour embrayer ou débrayer deux manchons à friction fixés sur un arbre qu'actionne une paire d'engrenages d'angle commandée par la transmission de la turbine. Cet arbre porte également deux pignons

dentés qui engrènent avec une roue commune calée sur l'extrémité d'un arbre horizontal, dont l'autre bout porte le volant de manœuvre à la main.

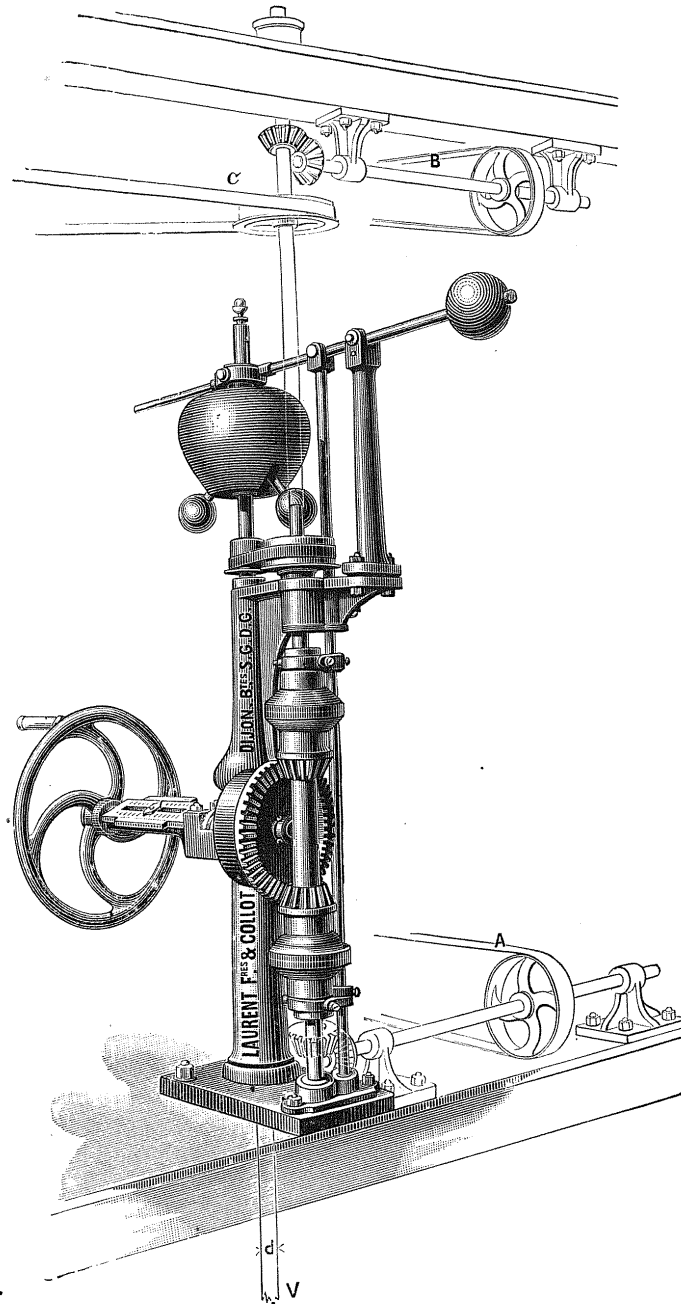


Fig. 197. — Régulateur mécanique Laurent et Collot.

L'arbre porte-manchons reçoit son mouvement de rotation de celui du pendule par poulie et courroie.

Des ressorts en spirale garnis de cuir et reliés aux cônes de friction, entraînent, en s'enroulant ou en se déroulant, l'un ou l'autre des pignons dentés, fous sur leur arbre,

dès que les cônes prennent contact avec les manchons ; ils impriment à la roue un mouvement de rotation dans un sens ou dans l'autre suivant que c'est le manchon supérieur ou celui du bas qui a pris contact, en le communiquant à l'arbre vertical de commande du vannage de la turbine par l'intermédiaire d'une vis sans fin.

L'arbre porte-volant est muni d'un index gradué indiquant à chaque moment le degré d'ouverture de la vanne.

Un frein de sûreté réglable, à ressort, limite la résistance de la vanne aux extrémités de sa course et évite la rupture des organes au cas où cette résistance deviendrait trop importante.

Cet appareil permet d'actionner des vannages relativement lourds, sa puissance étant toutefois limitée à la tension, par conséquent à l'adhérence, de la courroie de commande ; son action est rendue progressive sous l'effort graduel des ressorts en spirale, mais nous n'y trouvons aucun dispositif limitant les oscillations du pendule, par conséquent les variations de vitesse, comme dans la plupart des régulateurs modernes.

Régulateurs à servo-moteur hydraulique. — Dans cette catégorie, le premier appareil que nous remarquons est exposé par MM. SINGRÜN FRÈRES, d'Épinal, qui l'appliquent à la turbine « Excelsior » de 25 chevaux sous la chute de 100 mètres, dont nous avons donné la description dans le chapitre des turbines.

Le pendule centrifuge, du type Porter, agit par l'intermédiaire d'un jeu de leviers sur un secteur denté que porte l'extrémité de l'axe d'un papillon placé en avant du robinet d'admission de l'eau sur la turbine.

Pour donner au régulateur la puissance suffisante pour vaincre la résistance que présente le mouvement du papillon sous la pression de 100 mètres de hauteur, ces exposants intercalent entre le pendule et le papillon un servo-moteur hydraulique qui permet de disposer d'une force d'environ 1,000 kilogrammes, mais qui pourrait être beaucoup plus considérable et qui assure la concordance entre la section d'admission de l'eau sur le moteur et les mouvements du régulateur, malgré les fluctuations de la charge et les à-coups qui pourraient se produire dans les conduites par suite des brusques variations de la force.

Le servo-moteur hydraulique se compose d'un piston différentiel qui joue dans un cylindre vertical recevant, d'une façon constante, la pression naturelle de la chute par le robinet A dans l'espace annulaire B, et s'appuie contre le couvercle supérieur du cylindre garni d'un disque en caoutchouc pour amortir les chocs.

Au centre, un tiroir cylindrique équilibré, actionné par le pendule, distribue l'eau sur l'une ou l'autre des faces du piston servo-moteur.

La figure 198 montre le tiroir dans sa position moyenne, la vitesse du régulateur, par conséquent celle de la turbine, étant normale ; mais supposons que, par suite d'une accélération de vitesse, le manchon du tachymètre s'élève, la tige et le tiroir reliés à l'extrémité opposée du levier s'abaissent, l'orifice supérieur C se découvre, l'eau de B

passera en D et, en raison de la différence des surfaces, fera baisser le piston servo-moteur qui agira sur le levier du papillon dans le sens de la fermeture.

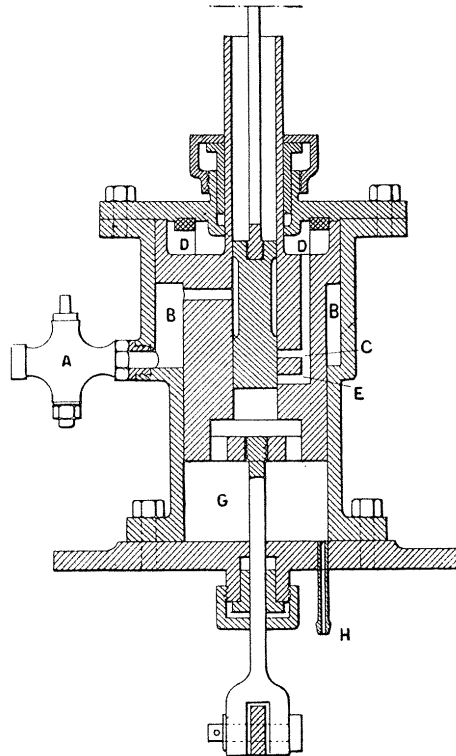


Fig. 198. — Cylindre et distributeur du régulateur à servo-moteur hydraulique.

Mais en baissant, le piston a recouvert à nouveau l'orifice C, le mouvement de descente a été arrêté, et il faut un nouvel abaissement du pendule pour provoquer une nouvelle action du régulateur.

Le mouvement inverse se produit par l'orifice E lorsque la vitesse, au lieu d'augmenter, diminue : l'eau qui sort de l'espace D s'écoulera dans G, et s'évacuera par le tuyau H.

La SOCIÉTÉ ESCHER WYSS ET C^{ie}, de Zurich, expose une belle collection de onze régulateurs hydrauliques de différents modèles que nous allons examiner.

Le premier appareil de ce genre est un régulateur servo-moteur mû par l'huile sous pression, adapté à la turbine de 2,500 chevaux pour les usines « Isarwerk » de Munich.

Il agit, par l'intermédiaire d'un jeu de bielles, sur deux manivelles qui impriment au cercle mobile du vannage Zedel le petit mouvement de rotation qui règle la section des orifices distributeurs.

Le servo-moteur se compose d'un piston différentiel soumis constamment à la pression de l'huile que fournit une pompe spéciale commune à toutes les unités ; son action maintient toujours une des vannes de la turbine double fermée, l'autre ouverte.

Aussi longtemps que la force développée par le moteur est suffisante, l'une des tur-

bines seule fonctionne; le régulateur n'intervient qu'en cas d'emballlement, ou de diminution de la vitesse par suite de l'augmentation de la résistance.

Si la charge diminue, l'arrière du piston communique avec l'échappement, tandis que la pression sur la face opposée le pousse dans le sens de la fermeture de la vanne de l'une des turbines; mais dans ce mouvement, une came placée sur le prolongement de l'axe du piston soulève une tige reliée au pendule et ramène le tiroir distributeur à sa position moyenne; le mouvement cesse, il faut un nouveau déplacement du manchon du tachymètre pour provoquer une nouvelle fermeture de la vanne.

Lorsque au contraire la force qu'on demande au moteur augmente, ou bien quand la chute diminue à la suite de crues, le régulateur agit en sens opposé, l'huile pousse le piston pour ouvrir le vannage de la seconde turbine et faire absorber au moteur un volume plus grand, en rapport avec la force demandée; l'équilibre est rétabli.

La came ramène encore le tiroir distributeur dans sa position moyenne et fait cesser le mouvement jusqu'à ce qu'une nouvelle oscillation du pendule vienne déterminer un nouveau mouvement d'ouverture.

Quatre autres régulateurs servo-moteurs hydrauliques sont appliqués à diverses turbines avec bâche en spirale; ils sont à axe vertical et fonctionnent de la même manière que le modèle à pression d'huile que nous venons de voir, mais l'action n'a lieu que sur la roue motrice unique que comporte ce système de moteurs. Ces appareils agissent sous la pression naturelle de l'eau de la chute qui a préalablement traversé un filtre-revolver dont nous parlerons dans les régulateurs pour turbines à haute pression.

La turbine de 1,000 chevaux de l'usine de Saint-Maurice (Valais) munie du vannage Zodel est pourvue d'un régulateur hydraulique combiné avec un appareil électrique.

Nous arrivons ensuite aux régulateurs pour turbines à haute pression.

Ce modèle de régulateur est toujours placé sur l'enveloppe même de la turbine.

Le réglage se fait par un injecteur D, muni d'une lèvre mobile L qui règle la section de l'ouverture o de façon que le jet ne subisse aucun étranglement.

La turbine travaillera donc, sous n'importe quelle charge, avec le rendement le plus élevé possible.

La lèvre, par suite de sa forme, reçoit de l'eau motrice une énergie constante tendant à ouvrir l'orifice o ; l'effet contraire est obtenu par un piston P relié à la lèvre mobile recevant, par dessous, la pression constante de la chute; le dessus étant en communication avec la soupape de réglage S.

Par un petit distributeur d , cette soupape admet de l'eau motrice, passant par le filtre F, sur le dessus du piston P, dont les deux faces ont, dans ce cas, la même pression; il se trouve donc en équilibre et n'oppose aucune résistance à l'ouverture de la lèvre mobile sous la pression de l'eau motrice.

Si, au contraire, le distributeur d laisse échapper l'eau de la face supérieure du piston P en E, le piston, par son énergie plus grande que celle de la lèvre, ferme l'orifice o .

Si, enfin, le distributeur d ne laisse ni entrer ni échapper de l'eau au-dessous du piston P, celui-ci ne bouge plus; il ne peut alors se produire aucun mouvement de réglage.

Pour effectuer le mouvement de réglage nécessaire, le distributeur d a dû être relié à un pendule T , mais comme tout régulateur fonctionne d'autant mieux que le pendule a moins de résistance à vaincre, le distributeur d est asservi par un petit piston p , soumis lui-même à l'action du pendule au moyen d'une petite soupape à pointeau s .

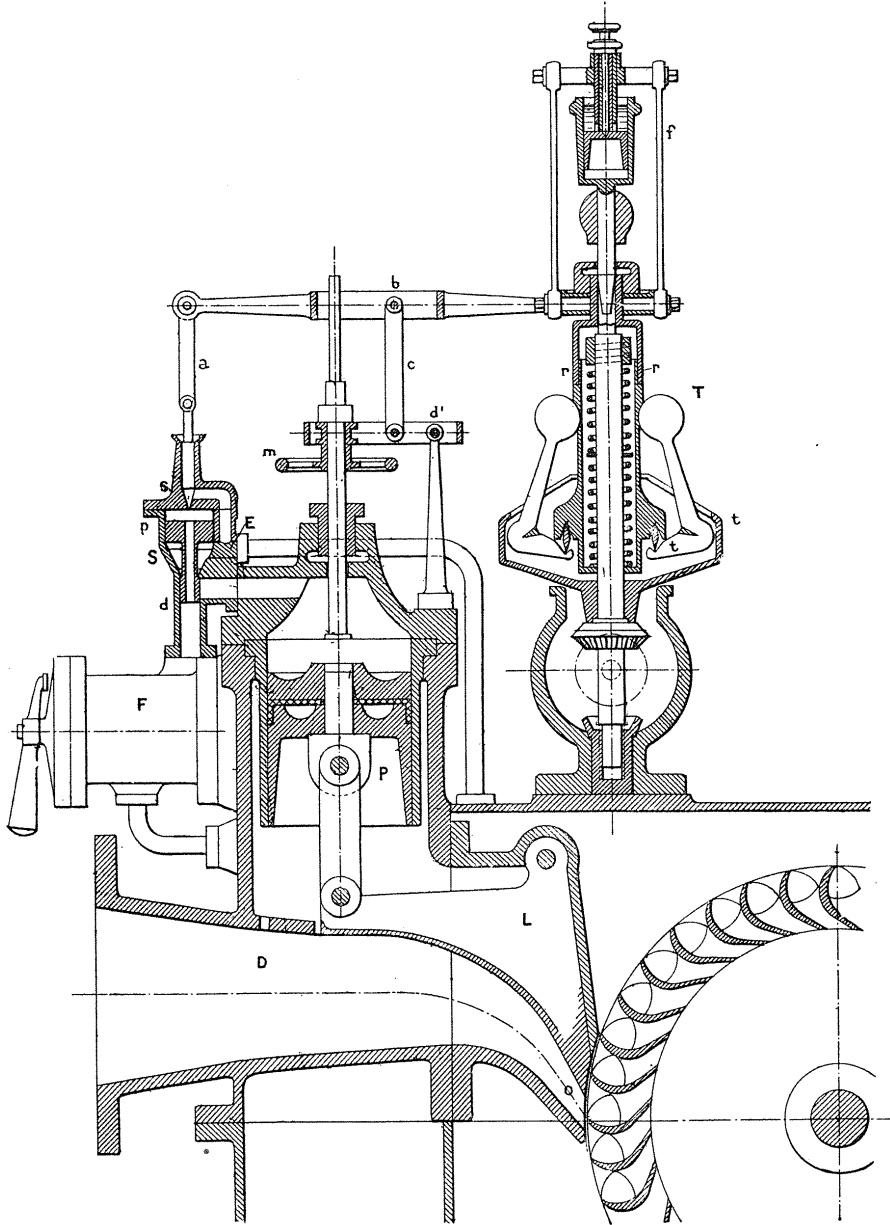


Fig. 199. — Régulateur hydraulique de la Société Escher Wyss et C^{ie}.

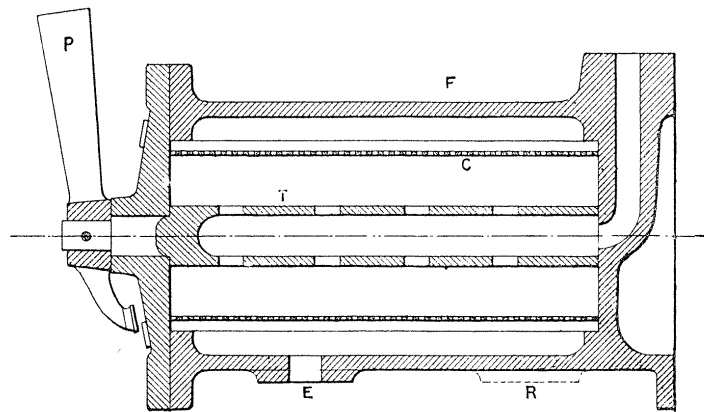
Le distributeur d , faisant fonction de piston, reçoit, sur sa face inférieure, une pression constante provenant de l'eau venant du filtre F .

Le piston-distributeur dp est percé d'un trou de petit diamètre qui laisse passer de l'eau motrice sur le dessus de p , d'où elle peut s'échapper par la soupape s .

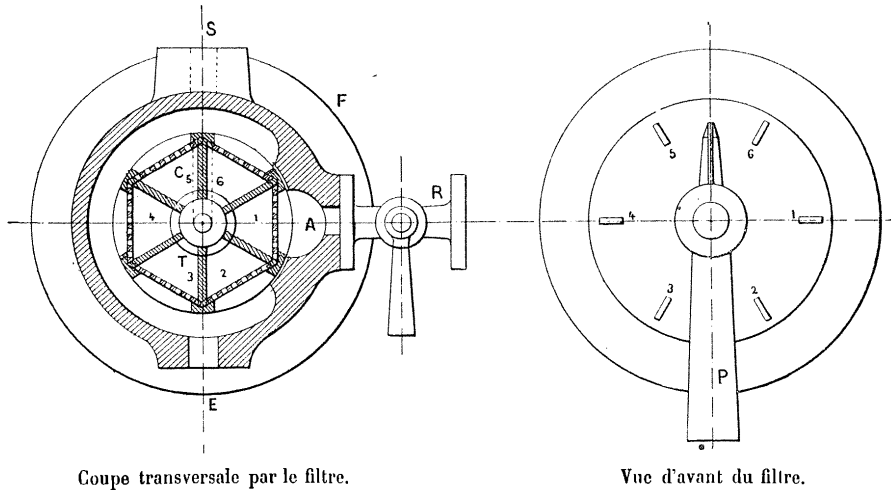
Suivant le degré d'ouverture de s , il se produit au-dessus de p une pression plus ou moins grande que celle qui existe en d , qui imprime un mouvement de haut en bas, et par suite le mouvement correspondant du piston P et de la lèvre L.

Le pendule n'ayant à manœuvrer que la soupape s , la dépense d'énergie est si faible qu'une différence de vitesse de $1/2$ p. 100 est suffisante pour faire agir le piston servomoteur sur la lèvre et effectuer le réglage de la turbine.

Une combinaison de leviers $a b c d$, basée sur le principe de celle du servo-moteur Farcot, a pour but de limiter les oscillations dans le réglage; un petit volant m permet, en outre, de régler à la main par l'intermédiaire du système hydraulique, de mettre en marche ou d'arrêter la turbine.



Filtre-revolver du régulateur.



Coupe transversale par le filtre.

Vue d'avant du filtre.

Fig. 200. — Régulateur hydraulique de la Société Escher Wyss et Cie.

Le pendule est de construction spéciale de la maison Escher Wyss et Cie, établi pour la marche à grande vitesse et muni du ressort de charge r .

Toutes les articulations sont sur couteaux en acier trempé t , assurant à l'ensemble une sensibilité et une énergie toutes particulières.

Un frein à huile *f* modère les oscillations trop brusques qui pourraient être nuisibles aux organes de l'ensemble du système.

Le filtre-revolver est une disposition très ingénieuse; il empêche les corps étrangers trop volumineux, en suspension dans l'eau, d'obstruer la soupape de réglage; les grains de sable n'y sont pas retenus et passent sans gêner la soupape (fig. 200).

Un tambour T, logé dans une enveloppe F, porte six plaques en tôle perforée C et forme six chambres.

L'eau pénètre par E, passe à travers cinq des tôles C, dans le tube central percé d'orifices, puis se rend aux appareils de réglage par S; la sixième tôle se trouve devant une chambre A en communication avec l'extérieur par un robinet de purge R.

On conçoit de suite que la pression de l'eau contenue dans les chambres 1 à 6 dégagera automatiquement les orifices de cette sixième tôle aussitôt que le robinet de purge sera ouvert, qu'il suffit de tourner le tambour au moyen de la poignée P pour présenter alternativement les cinq autres plaques devant A, et nettoyer complètement l'appareil en quelques instants.

Le réglage des turbines à haute pression, tout simple qu'il paraisse avec les ingénieux appareils qui ont été inventés de toutes parts, présente cependant encore des difficultés qui, si elles ne dépendent pas du moteur proprement dit, ni des organes de régulation, sont néanmoins de nature à troubler profondément leur fonctionnement.

En effet, ces turbines sont toujours alimentées par des conduites d'une certaine longueur dans lesquelles la colonne d'eau, animée d'une vitesse qui atteint souvent plusieurs mètres par seconde, intervient dans le fonctionnement par son inertie propre, subit à sa base des variations de pression très nuisibles que les régulateurs ne peuvent pas toujours corriger, provoque quelquefois des coups de bélier qui brisent tout, si l'écoulement de l'eau vient à cesser trop brusquement.

Dans les usines électriques, par suite d'une décharge brusque ou de la fusion des plombs de sûreté, le régulateur peut encore être appelé à tout instant à agir sur la fermeture de l'orifice injecteur avec le maximum de rapidité et, dans ce cas, les coups de bélier sont fréquents, toujours dangereux.

Pour obvier à ces inconvénients, la maison Escher Wyss et C^{ie} applique à ses turbines un appareil automatique de réglage de pression dans lequel, au moment de la fermeture de l'orifice injecteur, un autre orifice se découvre de la même quantité pour laisser échapper dans le canal de fuite, et sans qu'il agisse sur le moteur, un volume d'eau équivalent à celui qui est retiré sur l'injecteur. La vitesse de l'eau dans la conduite reste donc constante pour toutes les positions de la lèvre mobile.

De plus, pour ne pas laisser échapper continuellement de l'eau par l'orifice de décharge, ce qui occasionnerait dans certains cas une perte sensible, l'appareil est pourvu d'un dispositif automatique qui produit une fermeture lente sans aucune élévation de pression (fig. 201).

Cet appareil est formé de :

Un tuyau adducteur D, muni d'une tubulure E, avec papillon P et tuyau de fuite F.

L'axe du papillon porte un levier *L* relié à la tige *t* qui supporte un cylindre *C* rempli d'huile avec contrepoids *G*. Dans le cylindre *C* est logé un piston *h* avec clapet *e* qui ferme un orifice qui met en communication les deux faces du piston et est percé lui-même d'un petit trou, relié, en outre, par un système de leviers et de tiges *a*, *b*, *c*, *d*, à la lèvre mobile de l'injecteur.

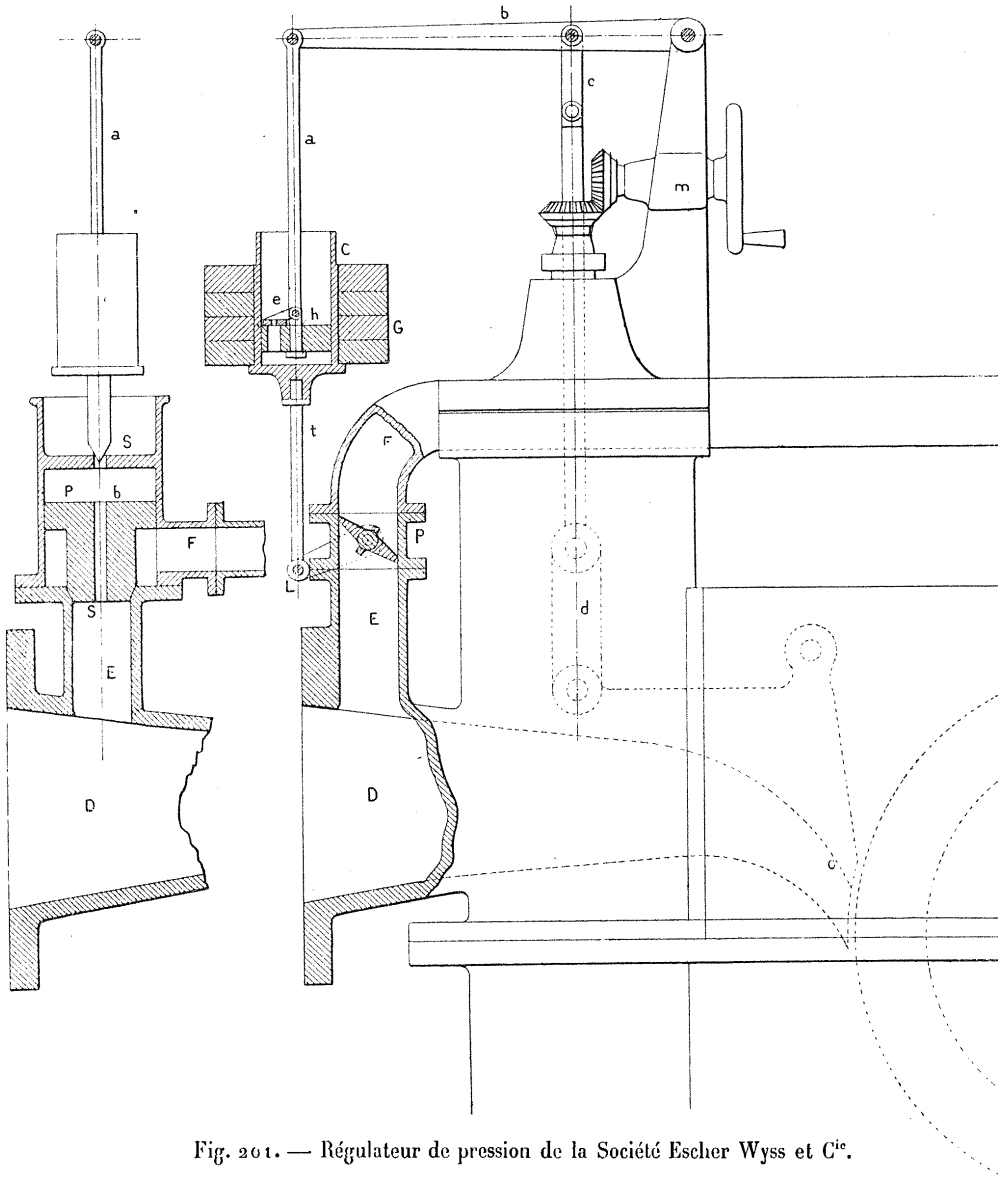


Fig. 201. — Régulateur de pression de la Société Escher Wyss et C^{ie}.

Supposons que le régulateur automatique de vitesse, ou une manœuvre à la main, provoque un mouvement de fermeture de l'orifice *O*, le piston *h*, par l'intermédiaire de *a b c d*, s'élève dans le cylindre *C*, mais comme l'huile ne peut pas passer assez vite par le petit trou du clapet *e*, le cylindre avec ses contrepoids et la tige *t* sont entraînés dans ce mouvement, et ouvrent le papillon *P* pour laisser échapper l'excédent de l'eau motrice.

Mais l'huile continuant à passer par le petit trou du clapet e , le contrepoids intervient pour ramener lentement le papillon à sa position de fermeture.

Si, au contraire, le réglage tend à l'ouverture, le piston h descend dans le cylindre C , l'huile de la partie inférieure traverse l'orifice de h en soulevant le clapet.

Pour donner à cet appareil une précision plus grande et afin de pouvoir remplacer le papillon par un organe de fermeture plus étanche, MM. Escher Wyss et C^{ie} adoptent encore un dispositif dans lequel ils substituent au contrepoids un cylindre et un piston hydrauliques de grande énergie que nous figurons à côté du système à papillon (fig. 201).

Le papillon est remplacé par une soupape S , avec un piston P percé d'un orifice b qui amène l'eau sous pression au-dessus de P d'où elle peut s'échapper par une soupape s .

Suivant le degré d'ouverture de s il se produit dans le dessus de P une pression plus ou moins forte, la soupape S reste appuyée sur son siège ou bien est soulevée par la pression de l'eau motrice et découvre le tuyau de décharge F .

La soupape s est construite d'une seule pièce avec le cylindre C ; le mouvement de celle-ci produit donc les différentes pressions sur P et par conséquent l'ouverture ou la fermeture de l'orifice de décharge.

Nous remarquons, enfin, un régulateur hydraulique sous pression, soit d'eau, soit d'huile, avec piston différentiel horizontal et arbre de réglage vertical, tel qu'il fonctionne dans les installations faites par la maison Escher Wyss et C^{ie} à l'importante usine de Jonage, près de Lyon, à Rheinfelden (Suisse), à Chêvres, près Genève, etc.

La pression d'huile nécessaire varie de 15 à 30 kilogrammes par centimètre carré, elle est produite par des pompes spéciales.

Le tachymètre à ressorts, agissant sur une soupape, fait exercer le réglage par la petite face du cylindre, tandis que dans l'espace annulaire du cylindre différentiel la pression est constante, et que la grande face reste en communication avec l'atmosphère.

La SOCIÉTÉ THÉODORE BELL ET C^{ie} nous présente un régulateur hydraulique horizontal à piston différentiel, accouplé avec la turbine à axe vertical de 1,000 chevaux (fig. 202).

Dans les installations où la pression hydraulique est insuffisante pour le soulagement du pivot, MM. Bell et C^{ie} créent une pression d'huile artificielle, et en profitent pour appliquer un régulateur hydraulique à piston différentiel qui se compose de :

Un cylindre à deux alésages de diamètres différents dans lequel se meut un piston différentiel dont la bielle intérieure est reliée à une manivelle de l'arbre principal de réglage.

L'eau ou l'huile arrive par un tuyau O dans l'espace annulaire A fermé par un cuir embouti, et pousse constamment le piston vers le fond du cylindre, position dans laquelle le vannage de la turbine est ouvert complètement.

Un second tuyau conduit le liquide à un tiroir distributeur qui communique avec la chambre à l'arrière du piston. Si la vitesse du moteur augmente, le manchon du régulateur s'élève et entraîne le distributeur, le liquide pénètre derrière la grande face du

piston et, en raison de la différence des sections, le pousse en avant, fait tourner l'arbre de réglage et ferme le vannage.

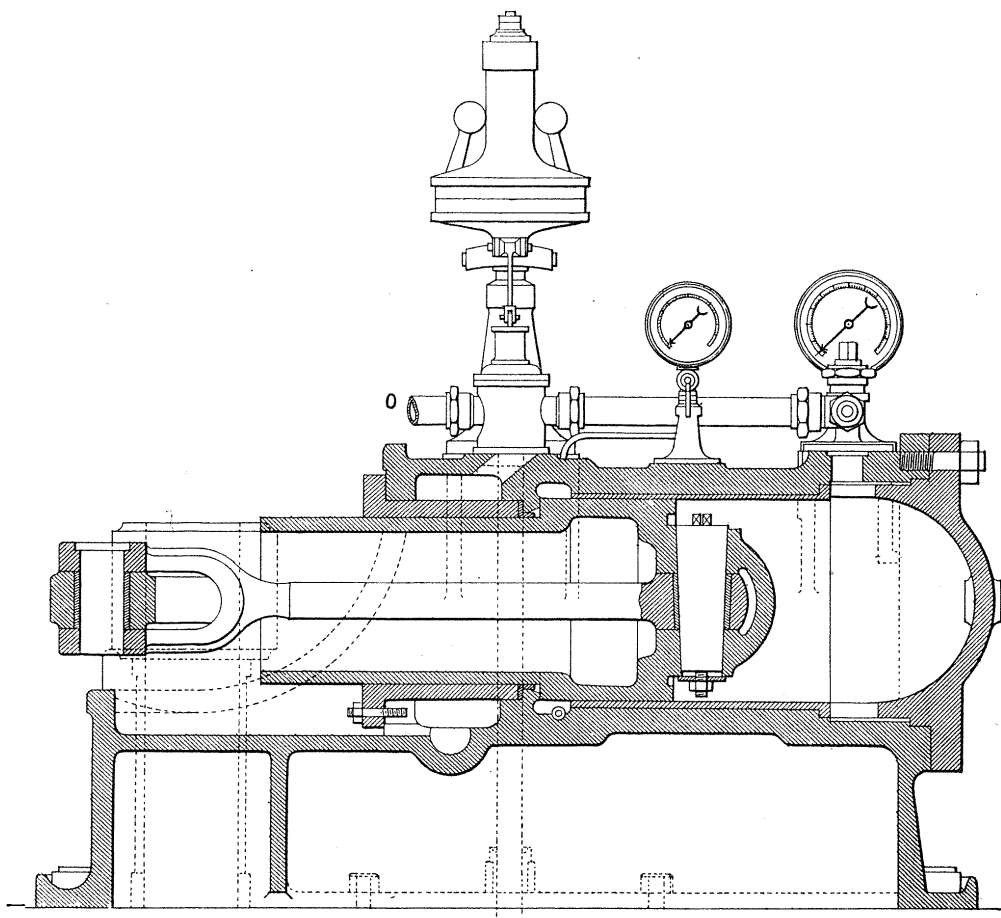


Fig. 202. — Régulateur hydraulique de la Société Bell et C^{ie}, modèle horizontal.

Dans ce mouvement, la tige et la bielle agissent en même temps sur un excentrique qui ramène le tiroir à sa position moyenne, et arrête le piston dans sa course; il faut une nouvelle levée du manchon du tachymètre pour produire une nouvelle fermeture, et ainsi de suite.

Un ralentissement de la turbine fait baisser le tiroir de distribution, la face arrière du piston communique avec l'atmosphère et la pression, dans la section annulaire, le ramène à sa position d'ouverture du vannage; il faut un nouveau mouvement du manchon pour provoquer une nouvelle période d'ouverture.

Un index indique, à chaque instant, la position du piston, par conséquent le degré d'ouverture du vannage.

Ce régulateur peut également se manœuvrer à la main en agissant sur le tiroir au moyen d'un volant. Il porte un indicateur de vitesse et un manomètre fixés sur le cylindre.

Pour les turbines à haute pression, MM. Théodore Bell et C^{ie} ont adopté un régulateur servo-moteur hydraulique qui, quoique basé sur le même principe que ceux des

autres constructeurs, en diffère cependant par quelques détails de construction très ingénieux.

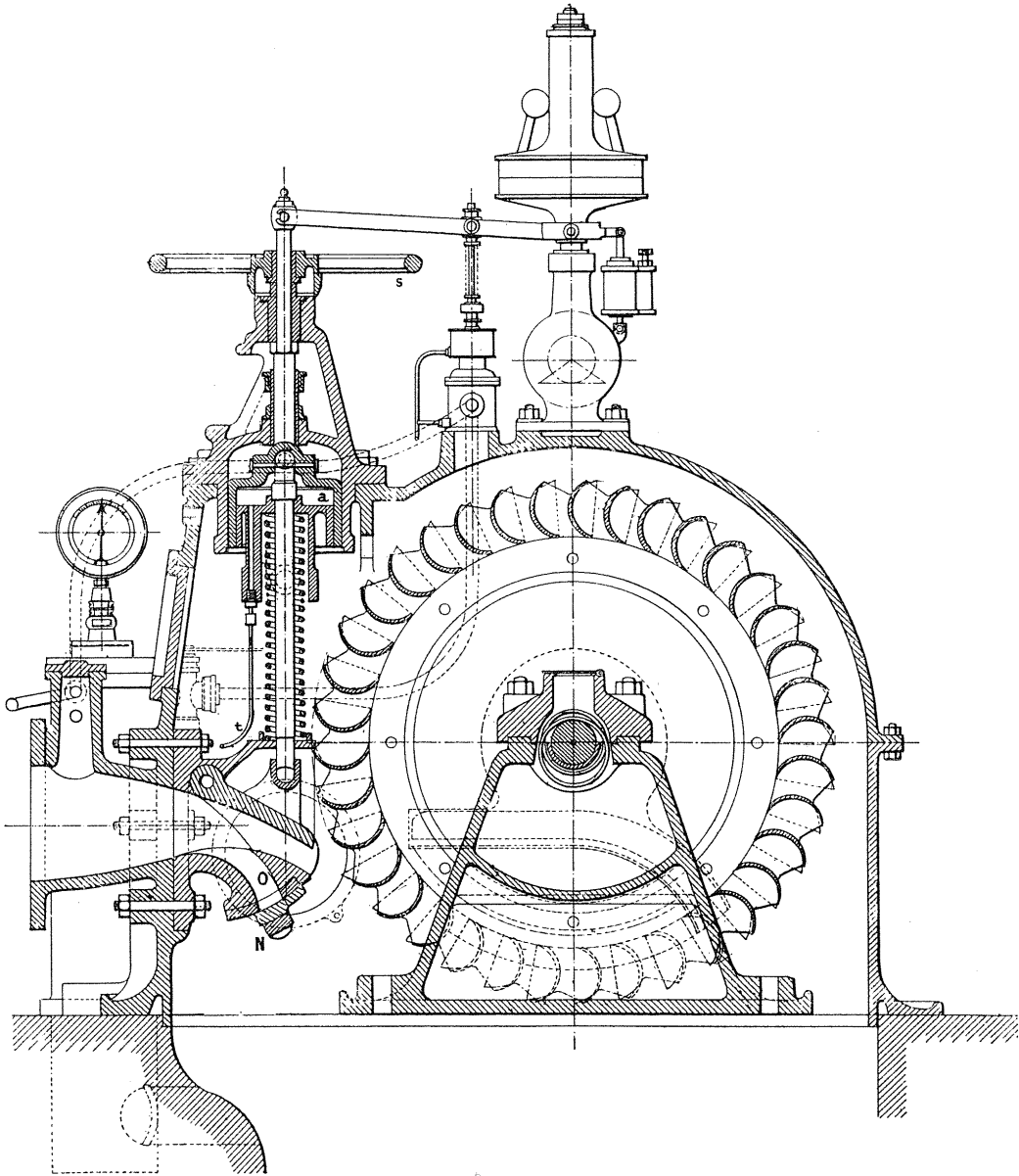


Fig. 203. — Régulateur hydraulique de la Société Bell et C^{ie}, appliqué à une turbine à haute pression.

Comme dans la plupart des turbines à haute pression de construction suisse, l'eau arrive sur la turbine par un orifice injecteur qui porte une lèvre mobile que la pression de l'eau tend constamment à ouvrir, et qui est reliée à la tige d'un piston servo-moteur sur lequel agit la pression de la chute (fig. 203).

L'eau arrive au servo-moteur après avoir traversé un filtre, puis un distributeur soumis à l'action du pendule.

Si, par suite d'une accélération de vitesse, les boules du tachymètre s'écartent, le

manchon du régulateur s'élève, entraîne le tiroir de distribution, l'eau passe sur le piston qui est poussé de haut en bas et ferme la lèvre mobile.

Mais dans ce mouvement de descente le tiroir de distribution est ramené dans sa position de fermeture, le mouvement est arrêté et il faut, comme dans les systèmes que nous avons déjà vus, un nouveau déplacement du manchon pour produire un nouvel abaissement du piston, et, par conséquent, de la lèvre qui arrive ainsi progressivement à la fermeture totale si la charge vient à être enlevée complètement.

Si, au contraire, le manchon du régulateur s'abaisse sous l'influence d'un ralentissement de la turbine, le piston suit le même mouvement et le met en communication avec l'échappement; la pression naturelle de l'eau relève la lèvre mobile en même temps que le piston, entraîne le tiroir qui est ramené à sa position moyenne, le mouvement est arrêté jusqu'au moment où le régulateur agit à nouveau.

La lèvre mobile suit donc exactement les mouvements du pendule, et si la turbine venait à être déchargée brusquement, l'action serait très rapide.

Mais nous avons déjà vu que les turbines à haute pression sont toujours alimentées par des conduites d'une certaine longueur, et qu'en cas de fermeture brusque de l'orifice d'écoulement de la turbine des coups de bélier, souvent désastreux, sont à craindre.

MM. Bell et C^{ie} parent à cette éventualité par une disposition très ingénieuse qui remplit le rôle du régulateur de pression de MM. Escher Wyss et C^{ie}.

Dans le piston servo-moteur est logé un second piston que maintient un ressort enroulé autour de la tige.

L'espace entre les deux pistons est constamment rempli d'eau sous pression amenée par le filtre et un tuyau en caoutchouc *d*.

Le piston *a* est articulé par deux bielles et un système de leviers oscillant autour de l'axe de la lèvre mobile, reliés à un tiroir *N* qui ferme un orifice *O* placé au-dessous de l'orifice injecteur et de même section que lui.

Si la turbine vient à être déchargée, le piston servo-moteur s'abaisse et ferme l'orifice d'injection, le piston intérieur suit le mouvement et ouvre, au contraire, l'orifice de décharge *O* de telle sorte que la section d'écoulement reste constante, quel que soit le degré d'ouverture de l'injecteur. Lorsque celui-ci est complètement fermé, l'eau s'échappe donc uniquement par *O* dans le canal de fuite, et l'action sur la roue motrice cesse.

Mais à chaque descente du piston intérieur, le ressort qui agit de bas en haut le repousse, l'eau emprisonnée entre les deux pistons s'écoule lentement par le tuyau *t* de faible section, le tiroir *N* se ferme doucement, l'évacuation de l'eau cesse progressivement, les coups de bélier sont évités.

La vitesse de fermeture du tiroir d'échappement *N* peut être réglée à volonté en fermant plus ou moins le robinet placé sur le tuyau *t*.

Enfin la section de l'orifice injecteur peut également être réglée à la main par le volant *S*.

Ce qui caractérise tout particulièrement cet intéressant appareil, c'est la disposition spéciale du tiroir distributeur en communication avec un récipient rempli d'huile qui est amenée dans le cylindre servo-moteur sous la pression naturelle de l'eau, laquelle agit sur le fond du réservoir, l'huile surnageant par la différence des densités.

Le fonctionnement se trouve ainsi parfaitement à l'abri des impuretés de l'eau et de son action corrosive, par conséquent indépendant de sa nature; c'est la seule disposition de ce genre qui figure à l'Exposition de 1900.

Nous passons maintenant à MM. TEISSET, VEUVE BRAULT ET CHAPRON, qui nous présentent un régulateur de vitesse, système Ribourt, agissant sur la vanne de la turbine américaine de 22 chevaux, dont nous avons parlé dans le cours de la description des turbines.

L'appareil est installé à titre de démonstration seulement; son fonctionnement correspond, d'une manière fictive, à la manœuvre du vannage de la turbine, celle-ci tournant sans eau, actionnée par une transmission de mouvement appliquée à la base de son arbre.

Le régulateur n'en effectue pas moins ses fonctions modératrices, en agissant réellement sur une transmission par courroies à rapports variables dont il règle l'allure.

Cette transmission est, en effet, actionnée elle-même par un intermédiaire du même genre, dont on peut changer le rapport initial des vitesses à volonté, par une manivelle apparente et qui prend son mouvement sur un moteur à gaz placé dans l'exposition voisine.

Le régulateur redresse donc constamment les vitesses de la deuxième transmission, solidaire de la turbine, quand on change le rapport des vitesses de rotation de la première transmission.

Un autre dispositif de turbine américaine, à axe horizontal, est également présenté par MM. Teisset, veuve Brault et Chapron, avec la manœuvre par le même régulateur, transmise au vannage par l'intermédiaire d'une petite presse hydraulique remplaçant l'ancienne mise en train à vis actionnée à la main.

Cet intéressant appareil mérite une description détaillée, car, s'il n'est pas encore dans le domaine de la pratique, il n'en constitue pas moins un essai très ingénieux et, espérons-le, plein de conséquences vers le réglage précis de la vitesse des turbines hydrauliques.

Le régulateur Ribourt, breveté s. g. d. g., emprunte ses fonctions à l'écoulement d'un liquide par un orifice dont la section se règle automatiquement et produit les mouvements du vannage du récepteur hydraulique à régulariser, au moyen d'un servo-moteur, hydraulique également, à haute pression.

Ce qui le distingue des appareils à régulateur centrifuge, c'est que la loi de rupture de son équilibre est une fonction plus rapide des variations de la vitesse, et que son action, qui est plus immédiate aussi par les mouvements du vannage, réduit de beaucoup l'amplitude des oscillations inhérentes à ce genre de systèmes mécaniques.

L'appareil comprend :

1° Un compteur d'eau rotatif actionné par le récepteur dont il suit toutes les fluctuations de vitesse;

2° Une bêche de réserve où le liquide revient sans cesse sous l'action du compteur;

3° Un cylindre à l'intérieur duquel passe l'eau débitée par le compteur et où se meut un piston principal, ou flotteur équilibré, à axe vertical qui reçoit l'action du liquide dont la pression, variable avec la vitesse du compteur, produit des déplacements verticaux plus ou moins accentués;

4° Un ajutage fixe situé au-dessus de la bêche du compteur et par lequel sort le liquide débité par celui-ci; cet ajutage est obturé partiellement par un cône, mobile suivant son axe vertical, solidaire d'un petit piston d'équilibre soumis lui-même à l'action d'un ressort antagoniste qui tend à mouvoir le système mobile dans le sens de l'ouverture de l'ajutage.

L'eau du compteur agit, par sa charge, sous le petit piston en sens inverse du ressort et tend, au contraire, à fermer l'ajutage;

5° Un manomètre est raccordé au refoulement du compteur et indique la pression du liquide dans cette partie de l'appareil.

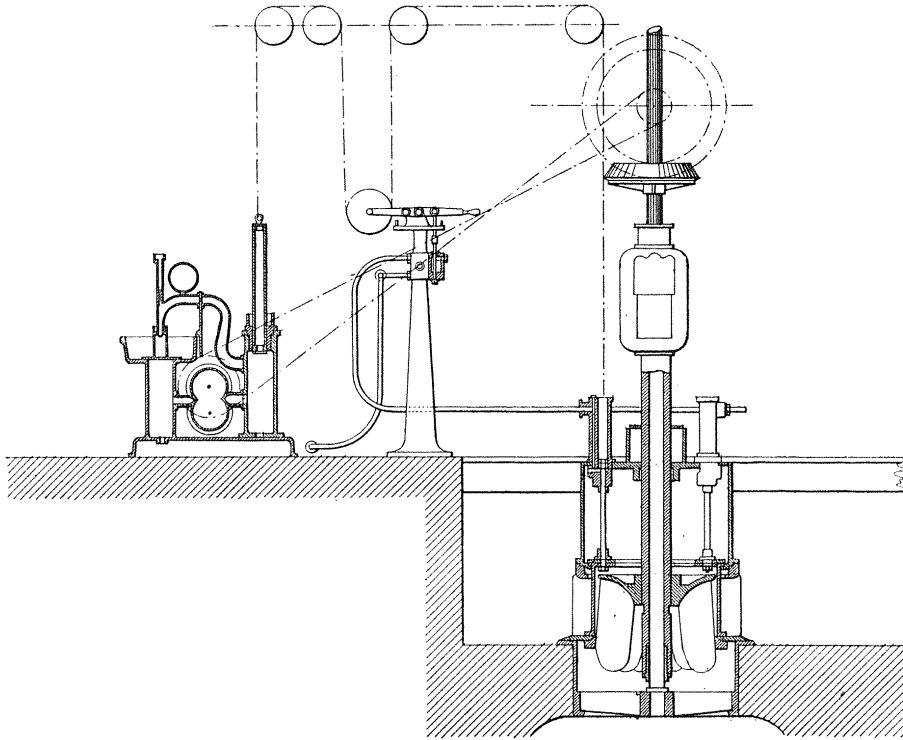


Fig. 204. — Régulateur hydraulique, système Ribourt.

Cet ensemble constitue l'appareil régulateur proprement dit.

Dans ces conditions, le récepteur-turbine ou roue hydraulique étant en marche et actionnant un outillage à une allure donnée qui doit être maintenue régulière, le

compteur fait passer par l'ajutage du régulateur, dans l'unité de temps, une quantité de liquide déterminée qui est fonction de la vitesse de régime.

L'obturateur mobile, sollicité à la fois par son piston et le ressort antagoniste, prend dans l'ajutage de sortie une position d'équilibre en accord avec la section de passage de l'eau et la charge intérieure. On conçoit alors que toute augmentation de vitesse produise une élévation de cette charge, par l'accroissement correspondant du débit du compteur, et, inversement, que tout ralentissement en produise la diminution.

Ces conditions sont exprimées, par la formule suivante d'abord, pour un orifice d'écoulement de section variable ω

$$H = \frac{1}{2} \frac{g}{K} \frac{q}{\omega}$$

dans laquelle :

H est la charge d'écoulement;

g l'accélération de la pesanteur;

K le coefficient de contraction par l'ajutage;

q le débit du liquide dans l'unité de temps.

Mais les dispositions de l'appareil rendent la section ω variable et fonction de la pression H , suivant un rapport inverse tel que

$$\omega^n = f\left(\frac{1}{H}\right).$$

La conséquence est que la loi des charges dans le refoulement du compteur rotatif est, en résumé, une fonction du débit et, par conséquent, de la vitesse du moteur, exprimée d'une manière générale par

$$H = Zq^m,$$

m étant supérieur à 2 et pouvant obtenir des valeurs beaucoup plus élevées par un profil approprié de l'obturateur mobile et par la flexibilité de son ressort antagoniste.

Ceci étant posé, on voit que le piston flotteur principal, soumis à la pression du liquide refoulé par le compteur, est élevé ou abaissé de sa position moyenne d'équilibre, en raison des fluctuations du débit de cet organe ou de celles de la vitesse du moteur à régulariser.

Il suffit donc de lier ce piston à la presse hydraulique capable de mouvoir le vannage du moteur, et à son tiroir de distribution asservi à cette presse et au piston flotteur lui-même, pour que l'admission produite par le vannage dans le moteur soit maintenue, automatiquement, dans les conditions rigoureusement nécessaires pour le maintien de la vitesse uniforme de régime, malgré les variations de puissance.

L'asservissement du tiroir et de la presse du vannage aux mouvements du piston flotteur régulateur est réalisé par un simple cordon flexible passé sur des poulies de renvoi, ce qui donne de grandes facilités pour l'adaptation de ce régulateur aux turbines et aux roues, même pour celles déjà établies.

Quand la pression naturelle de la chute d'eau motrice est suffisante, la presse hydraulique qui actionne le vannage, sous l'influence du régulateur, lui emprunte directement son action.

Lorsqu'il s'agit de basses chutes, il convient de constituer une source d'énergie additionnelle pour mouvoir le vannage; à cet effet, le compteur rotatif du régulateur comporte une petite pompe hydraulique à haute pression qui alimente un accumulateur lesté, mis en communication, par le tiroir du servo-moteur, avec la presse asservie, et qui assure ainsi les mouvements automatiques du vannage.

Pratiquement, on peut compter que des variations de 1/100 en plus ou en moins de la vitesse normale du récepteur sont corrigées par le jeu du régulateur et aussi que, dans l'espace d'une demi-minute environ, la fermeture totale du vannage est assurée automatiquement quand la charge est subitement enlevée au moteur hydraulique.

La SOCIÉTÉ JACOB RUETER ET C^{ie}, de Winterthur (Suisse), a appliqué à la turbine de 1,100 chevaux pour les usines de Montbovon un régulateur servo-moteur hydraulique composé d'un cylindre avec piston différentiel actionné dans un sens ou dans l'autre par la pression naturelle de la chute, et soumis aux mouvements d'une soupape de distribution reliée à un tachymètre calé directement sur l'arbre vertical de la turbine.

Le piston est en connexion avec le mécanisme de vannage de la turbine, lequel est constitué par une vanne cylindrique équilibrée, qui glisse entre la roue directrice et la roue mobile en réglant le volume d'eau absorbé suivant les besoins de la puissance de la turbine.

Les parties principales du régulateur comprennent :

Le tachymètre ou pendule à boules;

L'appareil de distribution constitué par une soupape conique;

Le cylindre servo-moteur avec piston différentiel qui imprime son mouvement au mécanisme de vannage de la turbine;

Le mouvement de connexion entre le vannage de la turbine et le régulateur par l'intermédiaire d'un jeu de leviers;

Le servo-moteur ramenant la soupape de distribution à sa position moyenne pour éviter un dérèglement;

Enfin, des organes accessoires qui ont principalement pour but d'obtenir un fonctionnement élastique, sans chocs, de l'ensemble de l'appareil.

Le cylindre servo-moteur est en communication avec une conduite qui amène de l'eau sous pression sur les deux faces du piston. Cette conduite est munie d'un orifice à section invariable, et d'un autre orifice de section plus grande et variable situé dans l'appareil de distribution, vers l'extrémité de cette conduite. Ce dernier orifice contient une soupape conique influencée par le tachymètre dont elle suit le mouvement, en rétrécissant plus ou moins la section de passage de l'eau.

La différence des volumes d'eau qui s'écoulent à travers les deux orifices pourra être, suivant la position de la soupape, tantôt négative, tantôt positive ou bien nulle, et

il en résulte, pour le piston différentiel, soit un mouvement d'avancement, soit de recul ou bien l'arrêt dans une position intermédiaire.

La conduite qui amène l'eau au régulateur est branchée sur la conduite principale des turbines, mais avant d'entrer dans le cylindre elle traverse un double filtre établi de manière à en permettre le nettoyage même en marche.

L'évacuation de l'eau qui a agi sur le régulateur se fait par un tuyau qui débouche dans le canal de fuite.

La mise en marche ou l'arrêt de la turbine se font à la main par l'intermédiaire d'un petit volant qui agit sur la soupape de distribution.

À la partie inférieure de la conduite d'amenée, ces exposants ont établi une « vanne de compensation » permettant la décharge automatique de l'eau au moment des variations brusques de vitesse. Cette vanne fait l'orifice du régulateur de pression des turbines de la Société Escher Wyss et C^{ie} et se compose d'une sorte de robinet relié d'une façon rigide au régulateur automatique de vitesse, et muni d'une cataracte à huile, permettant de régler la vitesse de fermeture.

On aperçoit cette disposition sur la figure 178, page 204, de l'ensemble de la turbine.

MM. GANZ ET C^{ie}, de Budapest (Hongrie), actionnent le vannage du système Finck de la turbine de 1,000 chevaux qu'ils exposent, par un régulateur servo-moteur à double effet réglé par un organe de distribution composé d'un cylindre A auquel la pression naturelle de la chute arrive par des tuyaux, après avoir traversé un filtre. Ce cylindre porte des orifices d'admission et d'échappement qu'un piston équilibré, en bronze, B, asservi lui-même et formé de huit disques, fait communiquer entre eux selon la position d'une aiguille centrale C reliée au tachymètre par un jeu de leviers.

Lorsque le manchon du tachymètre est dans sa position moyenne, le servo-moteur est au repos.

S'il s'élève sous l'influence d'une accélération de vitesse de la turbine, il entraîne l'aiguille C, les orifices de distribution admettent l'eau sous le disque inférieur, le piston B suit le mouvement de l'aiguille, l'équilibre entre les deux faces du piston du cylindre servo-moteur est rétabli, le mouvement cesse, et il

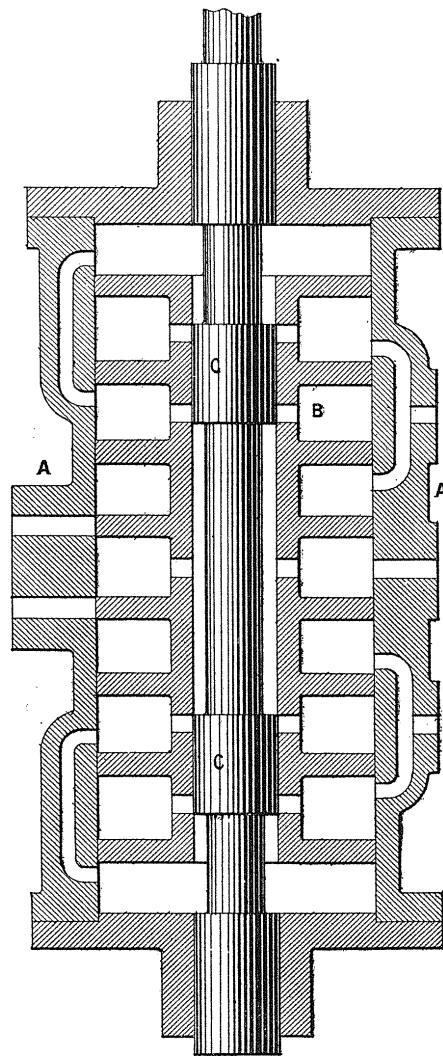


Fig. 205. — Régulateur système Finck.

faut un nouveau déplacement du manchon pour produire un nouveau déplacement du piston distributeur.

Si le manchon vient à baisser par suite d'un ralentissement de la turbine, le mouvement inverse a lieu, l'eau est admise sur la face supérieure du piston B, le pousse vers le bas jusqu'au moment où l'action est arrêtée par suite du recouvrement des orifices d'admission par les disques.

L'effort du piston servo-moteur est transmis à la vanne de la turbine par deux bielles agissant sur deux manivelles qui impriment aux directrices de la vanne un mouvement de rotation.

La SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS MÉCANIQUES D'ARBOGA (Suède) a adapté à la turbine exposée un régulateur servo-moteur hydraulique qui agit sur trois couronnes distributrices du moteur, la quatrième étant réglée à la main.

Nous n'avons pas pu nous procurer des détails suffisants sur cet appareil, mais il ne nous paraît présenter aucune particularité digne de remarque.

Le régulateur hydraulique de la FONDERIE DE FER ET ATELIER MÉCANIQUE DE DRAMMEN (Norvège) est accouplé à la turbine Girard à axe horizontal exposée par cette maison.

Le cylindre servo-moteur est placé horizontalement, la tige du piston agit sur un levier placé à l'extrémité de l'arbre de commande du tiroir obturateur.

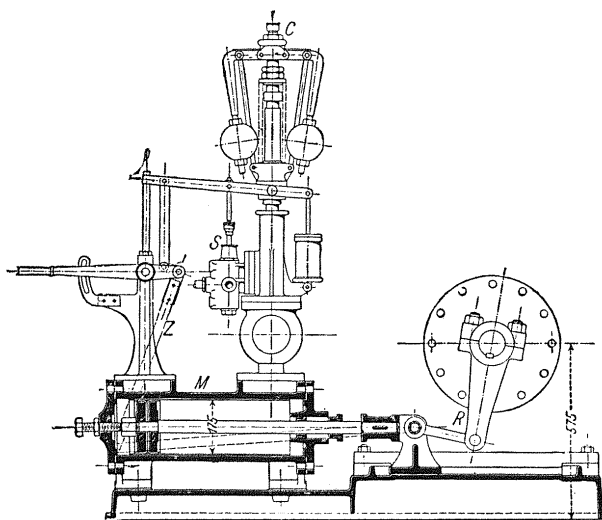


Fig. 206. — Régulateur hydraulique de Drammen.

Une soupape de distribution reliée à un relais, et actionnée par le pendule, évacue l'eau de l'une ou l'autre des faces du piston qui est poussé en sens opposé par la pression naturelle de la chute, et ramène le pendule à sa position après chaque oscillation.

Deux tubes, placés verticalement sur la conduite d'eau, entre le cylindre servo-moteur et un filtre, forment un matelas d'air amortissant les chocs qui pourraient se produire lors de la fermeture trop brusque du tiroir obturateur.

Une cataracte à huile limite les effets du pendule.

Régulateurs hydro-mécaniques. — Dans cette catégorie nous ne trouvons que deux appareils; le premier, présenté par la SOCIÉTÉ ESCHER WYSS ET C^{ie}, de Zurich (Suisse), est un régulateur universel hydro-mécanique qui se compose d'un tachymètre à ressorts, lequel agit sur un double appareil compresseur d'huile muni d'un système d'engrenages actionnant l'arbre de commande du vannage de la turbine, soit à droite, soit à gauche, suivant que c'est le compresseur du haut ou celui du bas qui entre en fonction.

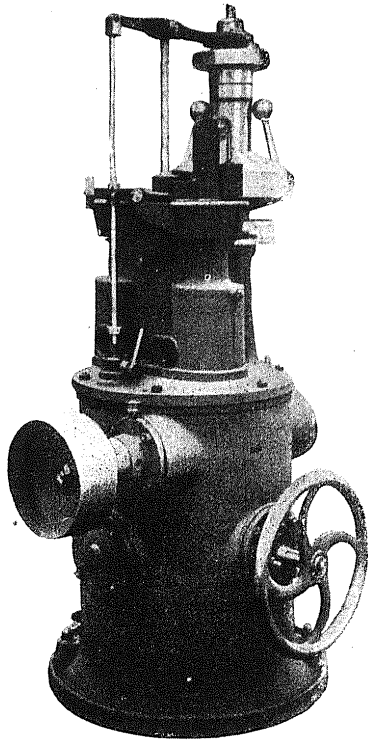


Fig. 207. — Régulateur universel hydro-mécanique de la Société Escher Wyss et C.

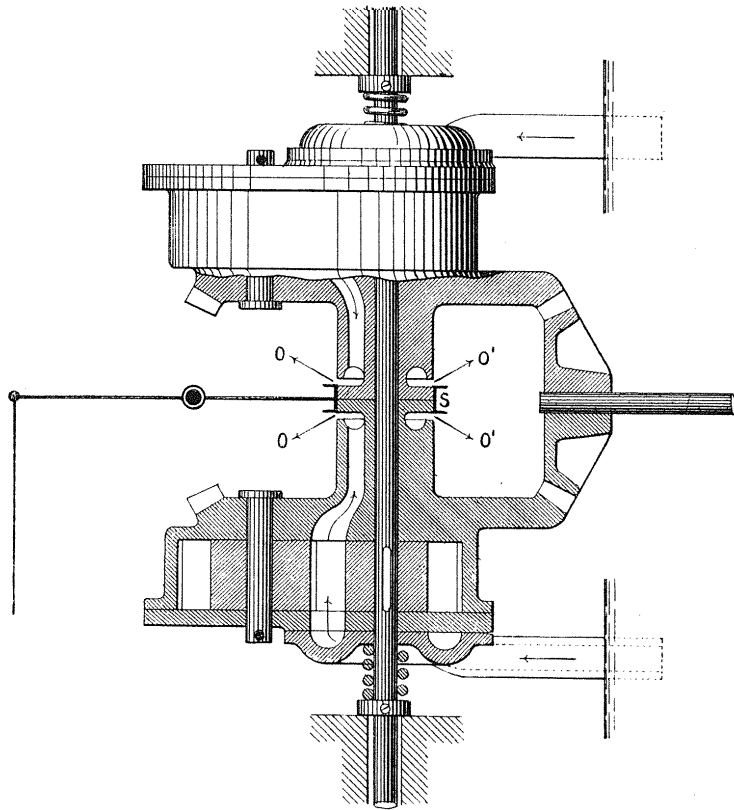


Fig. 208. — Schéma du fonctionnement du régulateur universel.

L'huile contenue dans l'enveloppe est aspirée par les deux corps de pompe, système Schrieter; lorsque le tachymètre est dans sa position moyenne, l'huile traverse les deux corps de pompe et s'évacue sans pression dans le réservoir par les canaux O et O' dont la sortie est réglée par un anneau S soumis à l'action du pendule; il n'y a aucun mouvement de commande (fig. 207 et 208).

Lorsque le pendule se soulève sous l'accélération de la vitesse, l'anneau suit le mouvement, obture les orifices de sortie du corps de pompe inférieur qui entraîne aussitôt l'arbre du vannage dans le sens de la fermeture.

Si, au contraire, la vitesse est au-dessous de la normale, c'est le corps de la pompe supérieur qui agit dans le sens de l'ouverture du vannage.

L'appareil est pourvu d'un relais genre Farcot et d'une cataracte directement placée sur le pendule pour limiter les oscillations.

Le graissage du pendule se fait par tube Pitot.

Ce régulateur est très sensible, les exposants assurent qu'il fonctionne pour une variation d'un $1/2$ pour cent.

Le second appareil de ce genre est présenté par la maison THÉODORE BELL ET C^{ie}, de Kriens (Suisse).

Il est du système Schaad, à action hydro-mécanique, plus rapide et plus énergique que celle des appareils à délie; il répond mieux à toutes les exigences et sa sensibilité est plus grande.

Ce nouveau régulateur produit lui-même la pression hydraulique nécessaire à son fonctionnement; il est donc indépendant de l'existence d'une pression constante, naturelle ou artificielle, et n'emploie pas l'eau du moteur généralement chargée d'impuretés nuisibles.

Il a pour principe de transmettre le travail mécanique de la courroie de commande du servo-moteur, par l'intermédiaire d'un mouvement différentiel et de deux paires de roues droites emboîtées qui font passer, en circulation continue, deux courants de liquide d'un réservoir formant bâti, à une soupape à double effet; la différence des pressions et des vitesses de ladite soupape, soumise à l'action du pendule, est transmise, par un second mouvement différentiel récepteur, à l'arbre de réglage du moteur, soit à droite, soit à gauche, suivant le déplacement de la tige.

L'une des paires de roues formant pompe sert toujours d'appui (réaction) pour le mouvement de l'autre.

Tant que la vitesse est normale, la soupape reste dans sa position moyenne, les pressions sont en équilibre et l'arbre de réglage reste au repos, mais dès que l'équilibre est rompu, l'arbre est entraîné instantanément et énergiquement dans le sens que sollicite le pendule.

Le pendule est commandé par courroie, indépendamment du servo-moteur.

Régulateurs-freins. — Cinq appareils forment cette catégorie, dont quatre hydrauliques et un électrique.

La maison RIETER ET C^{ie}, de Winterthur (Suisse), expose un régulateur-frein hydraulique, système Schrieter, formé d'un corps principal formant réservoir dans lequel une pompe rotative puise de l'eau, ou un liquide quelconque, pour la forcer à traverser une soupape dont la section d'orifice est réglée par le tachymètre.

L'arbre de la pompe porte, à la partie extérieure, une poulie sur laquelle s'enroule une courroie qui reçoit sa commande de la transmission de la turbine, et doit être calculée suffisante pour pouvoir absorber tout ou partie du travail moteur.

Cette poulie, et par conséquent la pompe, marchent toujours à la vitesse normale de la turbine, et n'absorbent que le travail des frottements à vide des organes de l'appareil lorsque le pendule est dans sa position moyenne, la soupape étant ouverte.

Mais si une accélération de vitesse se produit, le pendule agit sur la soupape pour rétrécir la section du passage de l'eau; la pompe, dont le débit ne varie pas, absorbe une force correspondante à celle dont le moteur vient d'être déchargé, il se forme sur la poulie une résistance équivalente qui rétablit rapidement la vitesse normale.

Ce régulateur fonctionne bien, il a reçu de nombreuses applications, mais, ainsi que nous l'avons fait observer précédemment, il a l'inconvénient des appareils de ce genre de ne pas agir sur le débit de la turbine, il n'économise pas l'eau.

De plus, pour des raisons tant économiques que d'encombrement, il ne se construit pas pour des forces de plus de 200 chevaux.

Puis, nous remarquons un régulateur-frein électrique de la même maison, dans lequel une masse de fer tourne avec le moteur dans un champ magnétique et provoque des courants de Foucault qui s'opposent à sa rotation.

Le pendule agit sur l'excitation du champ magnétique et en augmente l'intensité lorsque la vitesse du moteur s'accélère.

L'excitation reçoit le courant d'une batterie d'accumulateurs ou d'une petite dynamo.

L'action est rapide, l'appareil peut absorber d'une manière continue des forces assez importantes, mais il conserve les inconvénients inhérents aux régulateurs-freins.

Enfin, nous terminons le chapitre des régulateurs par l'intéressante exposition de M. RUSCH-SENDTNER, à Dornbirn (Autriche), qui nous présente trois régulateurs-freins hydrauliques de différentes forces (fig. 209).

Dans ce système, au lieu de presser de l'eau à travers un orifice réglable par le pendule, elle est élevée dans le réservoir au moyen d'une roue à aubes.

Ce régulateur comprend un réservoir d'eau dans lequel tourne une roue à aubes dont l'axe est muni, comme dans le modèle Schrieter, d'une poulie à courroie, mais peut être aussi accouplé directement à l'arbre de la turbine.

Lorsque le régulateur est à courroie, il pose sur des rails tendeurs qui permettent de régler la tension de celle-ci. Entre la cage de la roue et la boîte formant réservoir d'eau se trouvent deux orifices dont l'un est réglé par une soupape actionnée par un tachymètre, l'autre servant de déversoir d'eau placé au point le plus élevé.

Aussi longtemps que la vitesse est normale, la soupape est fermée, la roue tourne dans le vide et la perte de force sera uniquement celle absorbée par les frottements de l'arbre qui sont très réduits par suite d'un graissage automatique bien assuré.

Cette perte ne dépasse pas 1 p. 100 de la plus grande puissance de freinage lorsqu'il y a commande par accouplement direct et 4 à 5 p. 100 lorsqu'il y a commande par courroie.

Mais lorsque la vitesse du moteur augmente, la soupape s'ouvre et laisse passer plus ou moins d'eau, proportionnellement à l'amplitude des oscillations du pendule.

L'eau qui passe par la soupape est aussitôt mise en mouvement accéléré, et rejetée par l'ouverture supérieure dans le réservoir.

Ce mouvement représente le travail absorbé, se transforme en chaleur, et régularise la vitesse de la turbine.

Si l'échauffement devient trop important, on dispose un système de refroidisseur en remplaçant l'eau pendant la marche.

Ce régulateur se construit en sept numéros différents; la puissance maxima est actuellement de 300 chevaux.

Le constructeur garantit que la vitesse ne varie pas de $1 \frac{1}{2}$ p. 100, lorsque l'appareil n'a à freiner que la moitié de la force totale pour laquelle il a été installé, et $2 \frac{1}{2}$ pour 100 lorsqu'il freine la force totale.

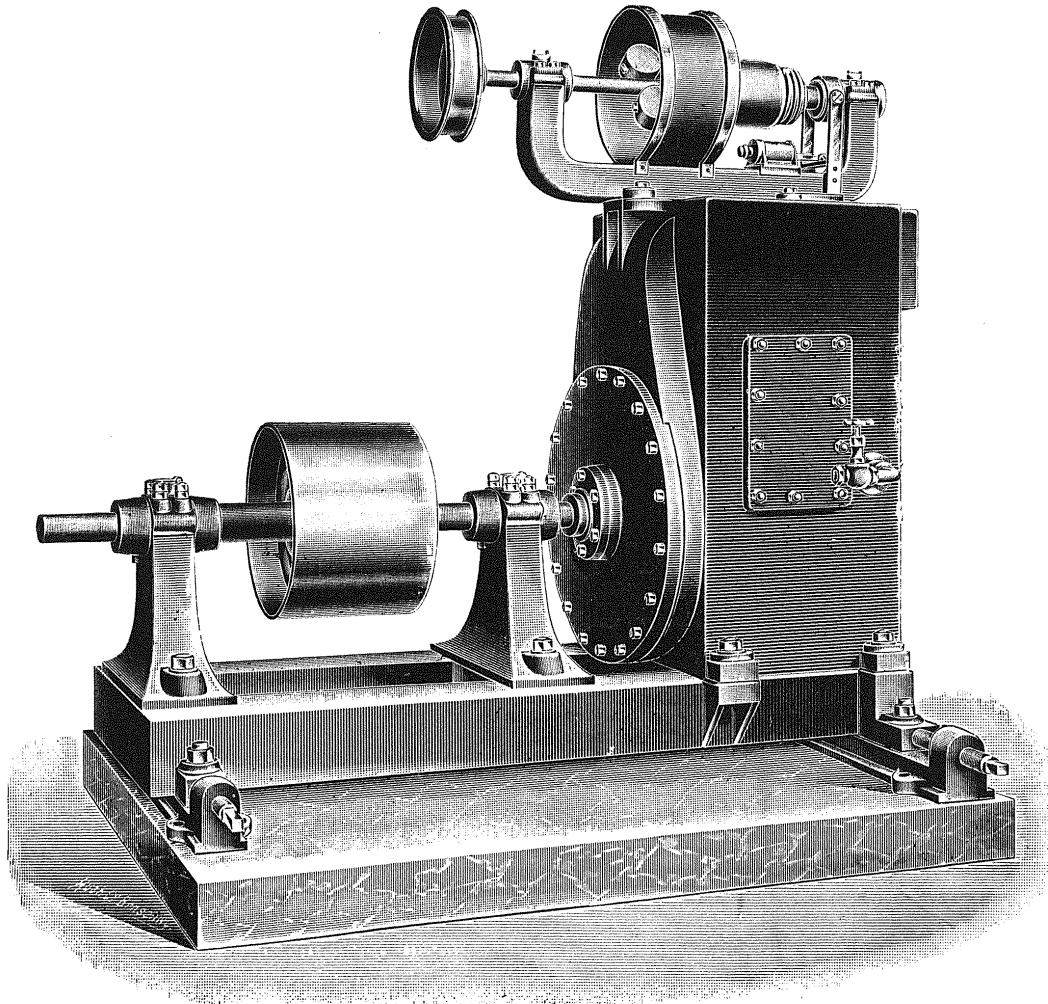


Fig. 209. — Régulateur-frein, système Rusch.

Les caractéristiques de ce régulateur sont sa grande sensibilité, l'absence d'organes sujets à usure, — sauf le siège de la soupape, — la marche silencieuse, le faible travail absorbé par le travail à vide.

La construction est robuste et soignée.

Nous résumerons l'examen des moteurs hydrauliques pour constater que la période

de 1889 à 1900 a été particulièrement féconde dans cette industrie, qu'elle est caractérisée par des progrès importants et décisifs.

Nous avons vu que, notamment pour les turbines, leur construction a subi des transformations profondes, leur application a pris un développement qu'on n'aurait pu soupçonner, et les besoins croissants de la force motrice sont de nature à assurer le plus brillant avenir à cette branche de l'industrie.

Les anciennes turbines centrifuges ou parallèles sont remplacées presque partout par les turbines centripètes à grande vitesse et à grand rendement; la puissance des moteurs a augmenté dans des proportions énormes.

Les régulateurs de vitesse, aussi, sont puissants et perfectionnés. Ils possèdent un degré de sensibilité inconnu jusqu'alors, par l'application du relais qui limite les oscillations du pendule, de la décharge automatique qui régularise la pression dans les conduites d'aménée et évite les coups de bélier; enfin, par les soins minutieux et la précision apportés dans l'étude et la construction des plus petits détails, ces intéressants appareils ne le cèdent plus, en rien, aux meilleurs régulateurs de machines à vapeur.

Il est bien à souhaiter qu'en France l'impulsion donnée pendant les dernières années du XIX^e siècle à la construction des turbines se développe davantage encore, que les pouvoirs publics viennent seconder les efforts de l'initiative privée en favorisant, par tous les moyens, la création et l'utilisation des forces hydrauliques, une des sources les plus profitables de la richesse nationale.

III. STATISTIQUE.

Nous ne possédons pas les éléments nécessaires pour apprécier la richesse, en forces hydrauliques, des différents pays qui ont présenté des moteurs à l'Exposition de 1900; nous nous contenterons donc d'indiquer, pour la France seule, quelques chiffres qui, quoique n'étant basés que sur des estimations, n'en présentent pas moins quelque intérêt.

M. René Tavernier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, constate, dans l'étude qu'il a publiée en 1901 sur *les forces hydrauliques des Alpes, en France, en Suisse et en Italie*, que « on ne s'est point préoccupé jusqu'ici, tout au moins d'une manière générale et méthodique, d'établir un relevé des forces hydrauliques disponibles; aucune mesure efficace n'a encore été prise en France pour connaître, d'après des bases certaines et uniformes, l'ensemble de cette richesse publique ».

Tous les chiffres cités sur l'importance des forces hydrauliques en France ne sont donc que le résultat d'évaluations approximatives s'approchant plus ou moins de la vérité.

M. Aristide Bergès, qui, le premier, entreprit d'utiliser l'eau des glaciers et des cascades, captée sur le sommet des hautes montagnes, estime qu'il serait possible de créer du Mont Blanc aux Basses-Alpes environ 5 millions de chevaux par l'extension à toute la région des Alpes du système qu'il a appliqué à Lancey.

Et, en ajoutant aux Alpes les Pyrénées, le Massif central, les Vosges, le Jura, il évalue à 10 millions de chevaux la totalité de la *houille blanche française*.

En admettant que l'évaluation de M. Bergès, qui est celle qui a eu le plus d'écho, soit la plus exacte, nous devons constater qu'une très faible partie de cette puissance considérable se trouve utilisée. Il y a même quelques années seulement, avant les progrès réalisés dans les procédés de la transmission électrique de l'énergie et par l'électro-chimie, les grandes forces hydrauliques n'existaient pas, parce qu'elles étaient sans emploi.

On ne rencontrait qu'une quantité de petites usines, échelonnées le long des cours d'eau à faible pente, actionnées par de vieilles roues hydrauliques ou par des turbines peu perfectionnées, mais toutes d'une puissance restreinte.

Aujourd'hui, au contraire, les petites usines tendent à disparaître au profit des grandes industries, qui emploient une puissance supérieure à la totalité de la force de celles qui sont supprimées.

Parmi ces industries, signalons particulièrement la production de l'électricité pour l'éclairage et le transport de la force à distance, de même que l'électro-chimie qui demande à de puissantes usines hydrauliques l'énergie nécessaire à ses nombreuses applications.

Les hautes chutes de montagne, surtout dans les Alpes et dans les Pyrénées, sont donc activement recherchées; mais comme pour utiliser le débit des cours d'eau, des torrents et des ruisseaux, il est nécessaire d'acquérir leurs droits d'eau aux propriétaires riverains, ceux-ci les font souvent payer des sommes énormes.

Il s'est même créé, pour exploiter cette situation, une industrie nouvelle, celle des *pisteurs* ou *barreurs de chutes* qui, par l'achat de quelques mètres de rives, acquièrent des droits suffisants pour empêcher l'établissement de toute usine jusqu'à ce qu'ils aient réussi à faire racheter ces droits moyennant un prix souvent considérable.

C'est d'ailleurs dans le but de réagir contre la spéculation de ces *barreurs de chutes* qu'un projet de loi sur les usines publiques hydrauliques a été déposé le 6 juillet 1900 par le Ministre des travaux publics et de l'agriculture.

Le Bureau de la statistique générale de la France fit une première enquête sur les forces hydrauliques utilisées dans l'industrie, d'après les données qui lui ont été fournies par la Direction de l'hydraulique agricole au Ministère de l'agriculture; les résultats en ont été publiés par M. Turquan, dans *le Génie civil* (5, 12, 19 septembre 1896).

D'après M. Turquan, et en ce qui concerne les cours d'eau non navigables ni flottables, le nombre des établissements industriels et des usines qui utilisent la force hydraulique était de 69,620, avec une puissance totale brute s'élevant à 1,028,807 chevaux.

Suivant les résultats récemment publiés par l'*Office du travail*, le nombre des usines hydrauliques installées était, à la fin de l'année 1899, de 46,366 sur les rivières non navigables, utilisant une puissance effective de 488,891 chevaux, et de 1,526 sur les rivières navigables et canaux, développant une puissance totale de 86,081 chevaux.

Sur les cours d'eau navigables et non navigables, le nombre total des établissements était donc, à la fin de 1899, de 47,892, utilisant une puissance totale effective de 574,972 chevaux.

En comparant ces chiffres officiels avec ceux publiés par M. Turquan, en 1896, l'on voit que le nombre des usines sur les cours d'eau non navigables a diminué de 23,254, tandis que la puissance totale effective a augmenté d'environ 175,000 chevaux.

En effet, le chiffre de 1,028,807 chevaux, indiqué par M. Turquan pour la puissance brute, doit correspondre approximativement à une puissance effective de 500,000 chevaux, si l'on tient compte d'un rendement moyen de 50 p. 100 pour les récepteurs peu perfectionnés installés à cette époque.

La comparaison de ces deux statistiques, bien que la première ne soit qu'approximative, confirme néanmoins notre affirmation d'après laquelle, d'une part, une quantité de petites usines ont été supprimées et, d'autre part, il a été créé, ces dernières années, des forces hydrauliques considérables, utilisant les hautes chutes de montagne.

La seule force hydraulique importante qui existait en France à l'époque où ont été établies les statistiques publiées par M. Turquan était celle de Bellegarde, sur le Rhône, tandis que la dernière statistique de l'*Office du travail* indique qu'il existe actuellement :

- 114 usines utilisant une puissance hydraulique effective de 201 à 500 chevaux;
- 17, une puissance de 501 à 1,000 chevaux;
- 26, une puissance supérieure à 1,000 chevaux.

Nous croyons d'ailleurs intéressant de donner ci-après la nomenclature des principales forces hydrauliques de plus de 1,000 chevaux actuellement utilisées en France.

Société lyonnaise des forces motrices du Rhône, usine de Cusset.	12,000 chevaux.
Société électro-métallurgique française, à la Praz (Savoie).	12,000
Société des forces motrices et usines de l'Arve, à Chedde (Savoie). — Produits chimiques, éclairage, transport, chlorate de potasse.	12,000
Société lyonnaise <i>La Volta</i> , à Moutiers (Savoie). — Soude, électro- chimie.	12,000
Société électro-thermique de la Romanche, à Livet-et-Gavet (Isère). . .	7,000
Société des carbures métalliques, à Notre-Dame-de-Briançon (Hautes- Alpes).	7,000
Société d'électro-chimie, à Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie). — Chlorate de potasse et soude.	6,000
Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue, à Saint- Michel-de-Maurienne (Savoie). — Aluminium.	6,000
Société électro-métallurgique de Saint-Béron (Savoie). — Carbone de calcium.	6,000
Société des forces motrices du Dauphiné, à Grenoble (Isère).	6,000
Société des forces motrices du Giffre, à Mieussy (Haute-Savoie).	6,000
Société électro-métallurgique de Villelongue (Hautes-Pyrénées). — Carbone de calcium.	5,000
Aristide Bergès, à Lancey (Isère). — Fabrique de papiers, éclairage, transport de force.	5,000

Sociétés des forces motrices des Alpes-maritimes, à Nice.	5,000 chevaux.
Rochette frères, à Épière (Savoie). — Carbure de calcium.	4,000
Sociétés des forces hydrauliques du haut Grésivaudan, à Chapareil- lan (Isère).	3,000
Société <i>L'Inexplosible</i> , à Saint-Félix, près Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie).	3,000
Société des soudières électrolytiques, à Livet-et-Gavet (Isère).	3,000
Société électrique de Rioupéroux, à Rioupéroux (Isère).	3,000
Société des forces motrices et usines électriques de la Vézère, à Allas- sac (Corrèze). — Transport de force.	3,000
Compagnie P.-L.-M. et chemin de fer du Fayet à Saint-Gervais (Sa- voie), ensemble à Servoz et à Chamonix.	3,000
Société <i>L'Union électrique</i> , au Saut-Mortier (Jura). — Force motrice et éclairage.	3,000
Papeteries de Rioupéroux, à Rioupéroux (Isère).	2,000
Aubry, à Albertville (Savoie). — Papiers et pâtes de bois.	2,000
Société hydro-électrique de Vizille (Isère). — Transport de force par l'électricité.	2,000
Société hydro-électrique de Fures et Morge (Isère).	1,600
Usine hydro-électrique de Vinca (Pyrénées-Orientales).	1,500
Compagnie internationale du carborundum, à la Bâtie (Savoie). — Électro-chimie.	1,400
Compagnie française des carbures de calcium, à Séchilienne (Isère).	1,200
Société électrique d'Évian (Haute-Savoie).	1,200
Société du chemin de fer de Pierrefitte à Caunterets et Luz (Hautes- Pyrénées).	1,200

Cette nomenclature laisse voir l'importance qu'a prise en France l'utilisation des forces hydrauliques depuis la dernière Exposition universelle, grâce à l'intermédiaire de l'électricité.

MACHINES À COLONNE D'EAU.

La machine motrice à colonne d'eau est d'invention relativement récente; elle est due à Bélidor, qui construisit le premier moteur de ce genre vers le milieu du XVIII^e siècle.

Tout d'abord appliqués à l'épuisement de l'eau dans les mines, ces appareils se sont peu à peu répandus comme générateurs d'énergie.

Ils exigent, en effet, pour développer une force utilisable industriellement, une très forte pression qui ne peut être obtenue que par une grande hauteur de chute qu'on ne trouve que rarement, qu'il n'est pas toujours facile de créer, et on leur préfère les turbines hydrauliques, beaucoup plus souples, plus économiques, moins délicates et d'un rendement plus élevé, lorsqu'elles sont bien construites.

Depuis qu'on emploie la pression hydraulique, ou l'eau comprimée, pour transmettre à distance la force développée par un moteur quelconque, les machines à colonne d'eau servent plutôt de récepteurs, l'énergie transmise par le moteur principal étant ainsi transformée en mouvement à l'endroit où elle doit être utilisée; elles jouent le même rôle que la dynamo réceptrice dans les transports de force par l'électricité.

Ce fut William Armstrong qui, vers 1840, se servit le premier de l'eau sous pression pour transporter la force à distance, et en appliqua le principe aux grues dans les ports de mer.

L'idée se propagea rapidement et s'étendit depuis aux appareils de levage, aux travaux publics, à la fabrication des pièces de forge, aux riveuses, à la marine et à la guerre pour la manœuvre des tourelles, des gros canons, et la manutention des projectiles, aux ascenseurs; elle a reçu, en un mot, les applications les plus diverses.

Mais dans la Classe 20, nous n'avons pas à nous occuper des machines à colonne d'eau utilisées comme réceptrices; elles figurent, à l'Exposition de 1900, chacune dans la classe respective de son application spéciale; nous n'examinerons donc que les appareils qui ont été présentés au Jury international comme générateurs d'énergie.

Les moteurs de ce genre sont composés des mêmes organes qu'une machine à vapeur, c'est-à-dire d'un cylindre dans lequel l'eau imprime à un piston un mouvement alternatif qu'une manivelle transforme en mouvement de rotation.

Ils sont, suivant le système, à simple ou à double effet; l'eau est distribuée sur le piston par un tiroir à très larges orifices, et comme le fluide moteur est incompressible, qu'il ne se dilate pas comme la vapeur ou les gaz, l'appareil doit forcément marcher à pleine admission pour donner un rendement convenable, la vitesse d'entrée de l'eau est faible, l'allure de la marche lente, et l'on ne peut travailler avec admission réduite à la même vitesse qu'à pleine charge.

La diminution du débit doit être corrigée par une vitesse plus faible du piston, par conséquent de tout le système, ce qui n'est que rarement compatible avec les exigences du fonctionnement des appareils qu'on veut actionner. Nous ne trouvons dans la Classe 20 que deux machines à colonne d'eau motrices, la première présentée par M. MARCEL DUROZOL, à Paris.

Cette machine est à axe horizontal, à mouvement alternatif et à double effet, et peut fonctionner sous une pression minimum de 2 mètres.

L'eau provenant d'une source, d'un réservoir, ou d'une conduite de ville, pénètre dans l'appareil derrière un piston dont chacune des faces est terminée par un long cylindre formant lui-même un nouveau piston.

L'eau arrive alternativement sur l'une ou l'autre des faces par un ingénieux système de clapets et une distribution continue; elle est remplacée dans le cylindre distributeur au fur et à mesure de son évacuation.

Il n'intervient dans le fonctionnement de l'appareil aucun organe articulé nécessitant une surveillance ou un graissage continus. Tout se résume à quelques joints à serrer et à garnir de pâte antifriction lubrifiante.

Les bourrages extérieurs sont en cuir découpé résistant à 28 kilogrammes de pression par centimètre carré.

L'appareil donne 12 coups par minute; le rendement serait, d'après l'exposant, de 80 p. 100.

La seconde machine à colonne d'eau est présentée par M. HENRI SPULL, de Saint-

Gall (Suisse), qui fait marcher des éventails à mouvement oscillatoire pour l'aération de salles de société ou de fêtes, de restaurants, de chambres dans les pays tropicaux.

Le moteur est à simple effet, l'éventail ne nécessitant, pour une allée et une venue, qu'une seule impulsion.

Le piston, dans sa marche en avant, agit sur un levier coudé au bout duquel se trouve un secteur denté engrenant avec une petite roue sur l'axe de laquelle se trouve la poulie à corde qui actionne l'éventail.

A cette poulie est fixée une butée qui renverse le levier du robinet d'eau aussitôt que le piston est arrivé à l'extrémité de sa course.

Le cylindre se vide, le piston revient en arrière sous l'action de son poids et de celui de l'éventail, et produit la réouverture du robinet pour provoquer un nouveau mouvement en avant.

Pour faciliter le renversement du robinet, ce dernier est équilibré par la contre-pression de l'eau.

L'eau arrive généralement au robinet par une conduite sous pression branchée sur une conduite générale de distribution municipale ou particulière, mais, à son défaut, on peut aussi obtenir la pression nécessaire en pompant l'eau à la main dans un réservoir placé à un étage supérieur. Elle est recueillie, à la sortie du moteur, dans un bassin d'où elle est reprise par la pompe.

D'après les indications de l'exposant, le temps nécessaire pour élever l'eau au réservoir n'excède pas un dixième de celui pendant lequel l'éventail peut fonctionner. La vitesse de la machine est de 25 à 45 tours par minute.

Avec une pression de 3 atmosphères, la machine ne dépense qu'environ 100 litres d'eau par heure pour un éventail de chambre, ce qui, à raison de 0 fr. 20 le mètre cube, représenterait une dépense de 20 centimes pour une marche de 10 heures.

En admettant un rendement de 70 p. 100, la force de l'appareil serait d'un peu plus de $1/2$ kilogrammètre.

La construction est très simple et bien soignée.

On nous présente ensuite une machine à colonne d'eau de l'USINE MÉTALLIQUE de Saint-Pétersbourg (Russie) qui, quoique n'étant pas essentiellement motrice, a cependant été admise par le Jury dans la Classe 20.

Cette machine est du type mural, destinée à la manœuvre des tourelles de navires cuirassés.

Elle est à 4 pistons à simple effet de 50 millimètres de diamètre, ayant une course de 150 millimètres, et fait 270 tours par minute.

La pression est de 80 kilogrammes par centimètre carré, et la force développée, de 80 chevaux.

Les cylindres sont disposés deux par deux en tandem, le mouvement est transmis par deux bielles aux deux manivelles, coudées à angle droit, d'un arbre de couche maintenu par deux paliers fixés sur un bâti qui porte tout le mécanisme.

La distribution de l'eau est effectuée par 4 tiroirs doubles à coquille équilibrés, d'une

disposition très ingénieuse, et qui sont reliés, deux par deux, de chaque côté de la machine ; ils reçoivent leur mouvement alternatif par un jeu de leviers et de tiges.

Le rendement de ces machines est de 70 à 75 p. 100.

L'exposant nous déclare que 11 cuirassés sont déjà munis de ce système de machines, à raison de 4 à 6 unités par navire.

La construction est particulièrement soignée et de bel aspect.