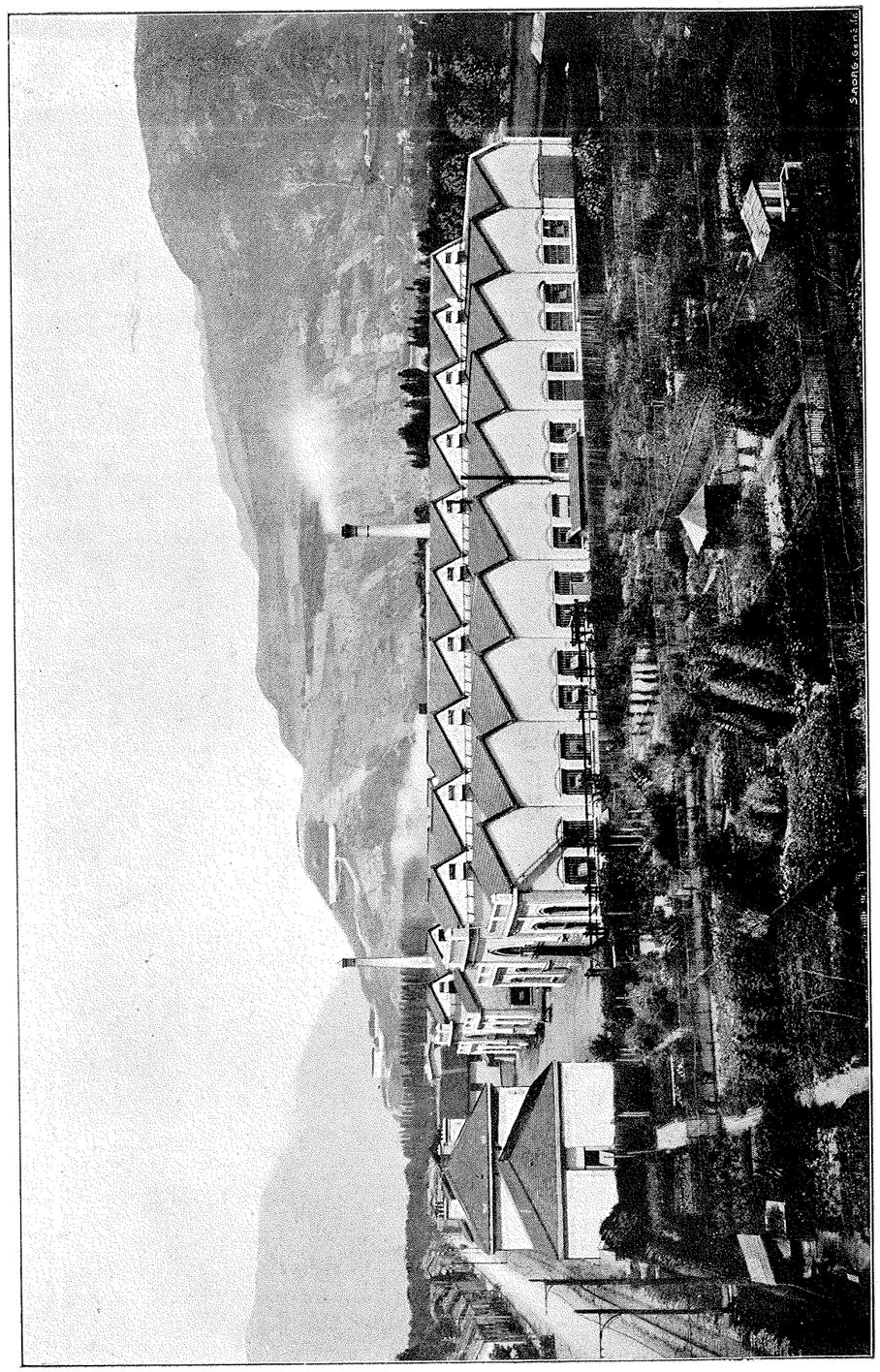
ATELIERS DE CONSTRUCTION
DE MACHINES

Neyret-Brenier & Cie

GRENOBLE

Moteurs Hydrauliques

RÉGULATEURS



VUE GÉNÉRALE DES ATELIERS NEYRET-BRENIER ET Cie.

Ateliers de Construction de Machines

FONDÉS EN 1854

Neyret-Brenier & Cie

Ingénieurs-Constructeurs

à GRENOBLE (Isère)

AVANT-PROPOS

Depuis quelques années, la construction des Turbines hydrauliques a pris une extension considérable, due en grande partie aux progrès rapides réalisés par l'Industrie électrique.

Cela tient aussi à ce que l'exploitation d'une usine hydraulique est relativement peu coûteuse, à ce que son entretien est presque nul, et enfin à ce qu'elle offre une très grande sécurité de marche.

Il nous a paru intéressant, pour nos clients, de leur donner ici quelques renseignements généraux sur les questions que soulève l'aménagement d'une chute.

Renseignements généraux

PUISSANCE D'UNE CHUTE

Il faut bien établir une distinction entre *la puissance brute* et la *puissance effective*.

La première représente l'*énergie totale* possédée par la chute, tandis que la seconde est seulement la *portion de cette énergie que l'on pourra recueillir sur l'arbre de la turbine*.

Soit une chute de hauteur H mètres et un débit de Q litres à la seconde. La puissance brute est représentée par :

$$Q\ H \text{ kilogrammètres, ou } \frac{Q\ H}{75} \text{ chevaux.}$$

La puissance effective est alors, en appelant r le rendement global de l'installation :

$$r\ Q\ H \text{ kilogrammètres ou } r\ \frac{Q\ H}{75} \text{ chevaux.}$$

Nous verrons plus loin quelle est la valeur que l'on peut assigner à r dans une installation bien comprise et correctement exécutée.

Pour le moment, occupons-nous des deux quantités Q et H.

NIVELLEMENT

La détermination de H ne présente aucune difficulté : c'est une opération de nivellement ordinaire.

Quant à la détermination de Q, nous envisageons deux cas

JAUGEAGE

1° *Débit très faible.* — Le meilleur est alors de faire couler l'eau dans un réservoir de capacité connue et de compter combien de secondes il faut pour le remplir. Le quotient du nombre représentant la capacité en litres, par le nombre de secondes trouvé, donne le débit cherché.

M. BERGÈS a employé, à LANCEY, un dispositif ingénieux ; il jauge le 1/100e du débit ; l'eau à mesurer arrive dans une lanterne en tôle percée de 100 orifices égaux ; on recueille l'eau sortant de l'un de ces orifices et on la

reçoit dans une bache jaugée. On peut ainsi mesurer avec précision des débits relativement grands.

2° *Moyens et gros débits.* — La seule méthode que nous pensions devoir indiquer, pour obtenir une approximation suffisante, est celle du déversoir en mince paroi. C'est en effet celle qui a donné lieu aux plus nombreuses recherches et vérifications de la part des Ingénieurs.

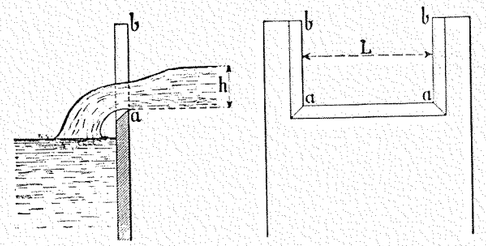


FIG. 1

En théorie, elle est très simple ; on établit un barrage étanche en travers du cours d'eau, en ayant soin de tailler en arête vive le seuil a—a du déversoir ainsi que les deux joues verticales a—b ; c'est là ce qui constitue le dispositif dit en mince paroi (*fig. 1*).

L'arête a—a doit être parfaitement horizontale et les arêtes a—b doivent être parfaitement verticales.

Dans ces conditions, on mesure l'épaisseur h de la lame d'eau au-dessus du seuil a—a du déversoir.

L'abaque de la planche n° 1 fait alors connaître le débit Q cherché (1).

Soit un déversoir de largeur L = 1m40 et soit h=30 cent. l'épaisseur de la lame mesurée, Considérons l'horizontale passant par le point coté 30 sur la verticale h jusqu'à sa rencontre avec lacourbe c c, et, par ce point, menons une verticale jusqu'à son intersection avec l'horizontale passant par le point coté 1m40 sur la verticale L. Cette intersection tombe entre les deux obliques cotées 400l et 425l, et l'appoint est proportionnel à sa distance à l'oblique 400, comptée suivant l'horizontale L=1m40, étant donné que la distance totale entre les obliques 400 et 425 vaut 25 litres ; dans notre exemple on trouve Q=415 litres.

L'abaque peut encore rendre des services dans le cas suivant : on connaît approximativement le débit d'un cours d'eau, et l'on veut le mesurer exactement ; quel déversoir convient-il d'établir ?

La pratique montre que la mesure de h est relativement facile lorsque la valeur du rapport $\frac{h}{L}$ est comprise entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{2}{10}$ environ.

(1) L'abaque correspond à la formule $q = 0.405\ L\ h\ \sqrt{2gh}$.

Soit à mesurer un débit estimé à 600 litres environ. Voyons quelle hauteur d'eau nous aurions avec un déversoir de 1^m400. Par l'intersection de l'horizontale passant par $L = 1^m40$, et de l'oblique cotée 600, menons une verticale : elle coupe la courbe c en un point situé sur l'horizontale $h = 398$ m/m environ et on a, dans ce cas, $\frac{h}{L} = \frac{398}{1400} = 0{,}285$, soit à peu près $\frac{3}{10}$; ce rapport est trop fort. On verrait de la même façon qu'avec $L = 1^m80$ on aurait $h = 325$ m/m et $\frac{h}{L} = \frac{325}{1800} = 0.185$ valeur encore un peu forte ; c'est donc un déversoir de 2^m00 qu'il convient de construire pour pouvoir évauler commodément le débit voisin de 600 litres.

PRECAUTIONS A PRENDRE DANS L'ETABLISSEMENT DU BARRAGE

Suivant les cas (c'est-à-dire suivant la largeur du cours d'eau, la vitesse de l'eau et la hauteur à laquelle elle s'élève), on construira le barrage avec des madriers, ou des poutrelles, en ayant soin, pour le rendre étanche, de clouer des joints de recouvrement ou de calfater soigneusement.

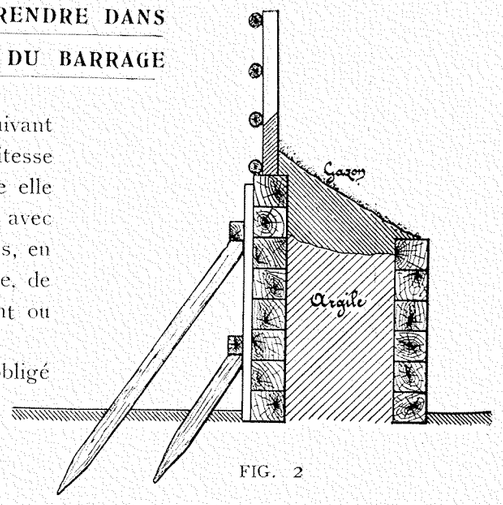


FIG. 2

Si le débit est fort, on sera obligé de construire un bâtardeau en damant de l'argile entre deux séries de madriers ou poutrelles, fortement arrêtés sur les rives et dans le courant au moyen de solides piquets, ou autrement *(fig. 2)*.

Quelle que soit cette première assise, le couronnement devra toujours être fait, du côté aval, par le dispositif que nous avons indiqué, dit en mince paroi.

De plus, le seuil du déversoir devra se trouver au moins à 50 cent. au-dessus du niveau aval, pour éviter que la lame d'eau reste adhérente au barrage. Si ce fait se produisait, il faudrait élever le seuil a—a et assurer plus largement la ventilation en donnant aux joues une plus grande saillie, jusqu'à ce que la lame déversante soit complètement détachée et libre.

MESURE DE *h*

Cette mesure doit être faite à 4 ou 5 mètres en amont du barrage, car la nappe d'eau s'abaisse au droit de celui-ci, comme le montre la *fig. 1*, et il importe de se placer avant la dénivellation.

On propose quelquefois de l'effectuer en fixant contre l'une des rives une échelle graduée dont le zéro correspond au niveau du seuil a—a du déversoir : on a ainsi, dans le cas d'un débit un peu fort, qu'une approximation grossière, car, sur les rives, les remous et les vagues empêchent de faire une lecture de quelque précision.

Voici une méthode beaucoup plus exacte :

On établit, à quelque distance en amont du barrage, une poutrelle A dans laquelle peut coulisser une tige de fer B C, pointue en C, et que l'on peut maintenir en place à l'aide d'un tire-fonds formant vis de pression V ; une passerelle P permet d'accéder commodément à cette tige.

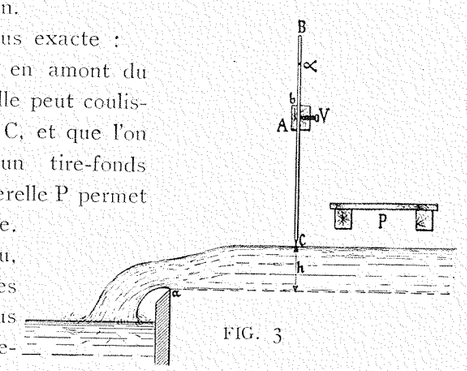


FIG. 3

A l'aide d'une mire et d'un niveau, on relève exactement la différence des cotes entre le seuil a—a et le dessus de la poutrelle A, au point b, où celle-ci est traversée par la tige B C (à peu près au milieu du cours d'eau).

On trace sur cette tige B C un trait de lime α tel que la longueur C α soit égale à la différence de cotes trouvée.

Puis, se plaçant sur la passerelle, on fait coulisser la tige de fer jusqu'à ce que sa pointe affleure la surface de l'eau.

Si l'eau est tranquille, cette opération est très facile ; on descend la tige jusqu'à ce que la pointe C arrive juste au contact avec son image vue dans l'eau ; s'il y a de petites vagues, et c'est le cas général, on l'abaisse jusqu'à ce qu'elle paraisse plonger dans l'eau aussi longtemps qu'elle paraît hors de l'eau ; il est clair que dans ces conditions, la distance α b est égale à la hauteur h cherchée.

Il existe, certes, d'autres méthodes, mais elles exigent des appareils spéciaux, tandis que l'installation que nous venons d'indiquer, n'est, somme toute, qu'une installation de fortune.

Nous connaissons actuellement la puissance brute d'une chute : voyons comment il faut l'installer, et quelles pertes cette installation va entrainer, autrement dit, quel sera son rendement. Nous serons alors complètement renseignés sur la puissance effective de la chute considérée ; et c'est la seule vraiment intéressante à connaître, puisque c'est elle qui nous indique quelle est l'énergie utilisable, quelle est la valeur industrielle de l'installation projetée.

Installation des Chutes

Nous envisagerons deux cas : 1° *Moyennes et hautes chutes* ; 2° *Basses chutes*.

PREMIER CAS

MOYENNES & HAUTES CHUTES

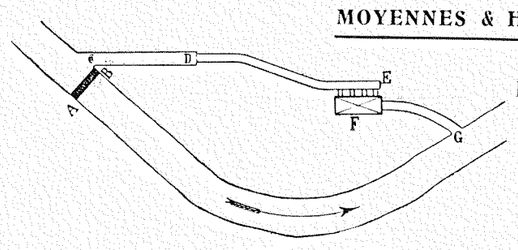


FIG. 4

L'installation comprend *(fig. 4)* :

Un barrage A B ;
Un canal d'amenée C D ;
Une conduite forcée D E ;
L'Usine F ;
Un canal de fuite F G ;

Nous allons passer rapidement en revue chacune de ces parties.

BARRAGE

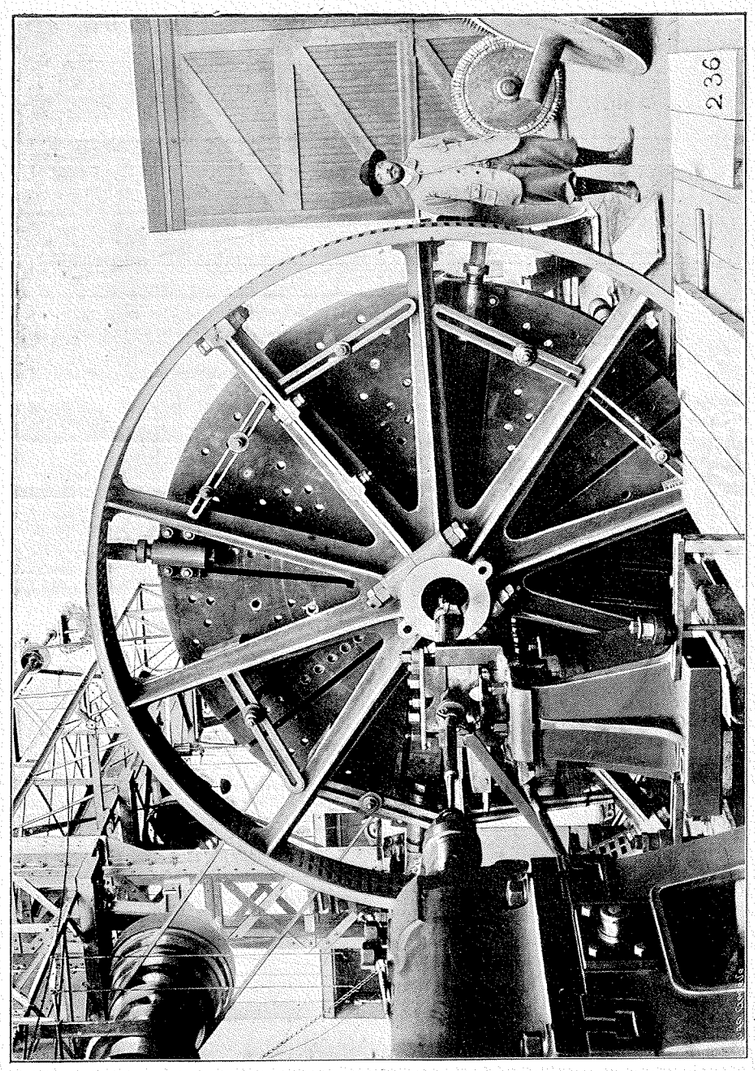
C'est généralement un massif en maçonnerie formant déversoir sur presque toute la largeur. Toutefois, il est nécessaire d'y ménager des vannes de décharge qui servent, soit à laisser couler l'eau pour maintenir constante, lors des crues, la hauteur du plan d'eau en amont, soit à faire des chasses pour enlever le sable et le gravier qui se déposent et pourraient obstruer l'entrée du canal d'amenée. Sur les torrents à régime rapidement variable, on les construit quelquefois avec des cabrettes en bois chargées de grosses pierres et formant des piles sur lesquelles s'appuyent des fascinages bloqués par des cailloux, formant le barrrage proprement dit. En cas de grosses crues, les cabrettes sont renversées par le courant lui-même et le barrage est est démoli ; on évite ainsi les inondations.

CANAL D'AMENEE

Il comprend *(fig. 4)* :
La prise d'eau C ;
Le canal proprement dit C D ;
La chambre d'eau ou de mise en charge D.

La prise d'eau *(fig. 5)* comporte une grille en fer G, destinée à arrêter les corps charriés par le cours d'eau ; une passerelle P permet de la nettoyer et sert aussi à la manœuvre des vannes de garde V. La crête de la portion de mur M N est arrasée au même niveau que celle du barrage A B et forme déversoir.

ATELIERS NEYRET-BRENIER & Cie



LE GRAND TOUR EN L'AIR. — Diamètre de tournage maximum 8mco.

Enfin, on ménage dans les murs, tout à l'entrée de la prise d'eau, deux rainures *r r* destinées à recevoir un barrage à poutrelles.

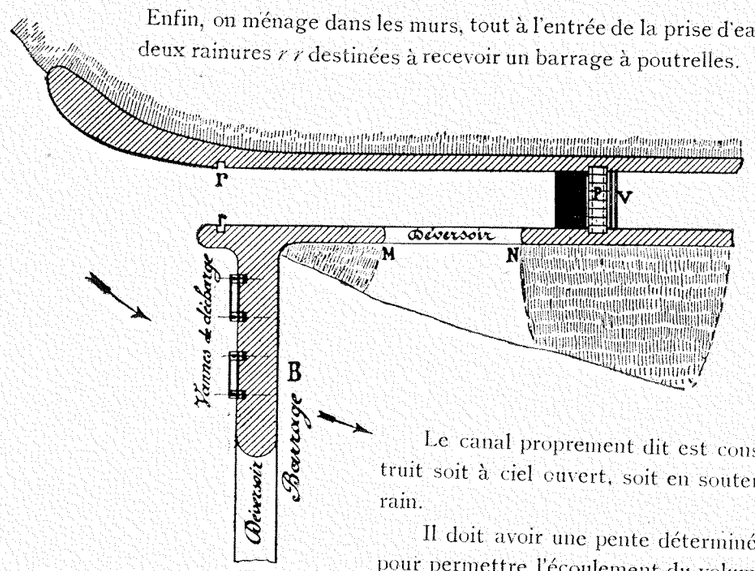


FIG. 5

Le canal proprement dit est construit soit à ciel ouvert, soit en souterrain.

Il doit avoir une pente déterminée pour permettre l'écoulement du volume Q ; de là résulte une perte à consentir sur la hauteur H de la chute. On peut, en moyenne, évaluer cette perte à 4 % (1).

Voici, d'ailleurs, comment on peut calculer la pente à donner au canal :

On se donne, comme vitesse moyenne de l'eau $V = 1^m50$; on déduit de cette donnée que la section du canal doit être $S = \frac{Q}{V}$

Supposons qu'on ait adopté la forme de cuvette représentée *fig. 6*, on aura S = aire A B C D ;

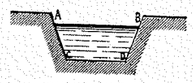


FIG. 6

La somme des longueurs :

A C + C D + D B = P est ce qu'on nomme le périmètre mouillé.

et le quotient $\frac{S}{P} = R$ est appelé le rayon moyen de la section.

Cela étant, la pente I à adopter est donnée par la formule $I = m \frac{V^2}{R}$ dans laquelle le coefficient *m* est variable, et a pour valeur

$$m = 0{,}00024 \left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right)$$

(formule de M. Bazin, cas des parois en maçonnerie de moëllons).

La chambre d'eau (*fig. 7*), termine le canal d'amenée : c'est d'elle que part la conduite forcée. En avant de celle-ci sont placées une vanne d'arrêt V et une grille G, plus serrée que celle de la prise d'eau, pour arrêter les feuilles et menues brindilles.

(1) Ce nombre peut varier dans d'assez larges proportions suivant les dimensions du canal.

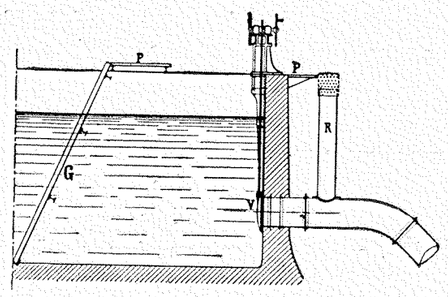


FIG. 7

Une vanne de chasse, placée sur le côté, permet de purger la chambre d'eau des sables qui s'y déposent, et un déversoir assure une charge constante au-dessus de l'orifice de la conduite. (Cette charge doit être environ 2.5 à 3 fois le diamètre de la conduite).

CONDUITE FORCEE

Elle est construite en tôle de fer ou d'acier. A sa partie supérieure est greffé un reniflard R, et sa partie terminale, qui longe généralement le bâtiment de l'usine, est le collecteur : c'est sur le collecteur que sont branchées les tubulures conduisant l'eau aux turbines.

L'eau s'écoulant dans la conduite forcée, frotte contre les parois de celle-ci et ce frottement occasionne une nouvelle perte de charge.

Pour un même débit, la perte de charge varie avec le diamètre de la conduite ; on est souvent porté, dans un but d'économie, à adopter une conduite de faibles dimensions, mais il ne faut pas se laisser entraîner trop loin dans cette voie ; car si, dans la suite, on veut augmenter la puissance de l'usine on en est empêché parce que la perte de charge augmente très rapidement avec le débit. On ne doit pas admettre une perte dépassant 5 à 6 % de la valeur de la chute H.

L'abaque de la planche *I I* permet de résoudre les différents problèmes relatifs aux conduites.

Soit à établir une conduite de 1.000 mètres de longueur devant débiter 600 litres sous une chute de 100 mètres.

Consentons une perte de 4 %, c'est-à-dire de 4 m/m par mètre dans le cas présent. Sur l'échelle des pertes de charge en m/m par mètre de conduite, prenons le point coté 4 et suivons l'horizontale passant par ce point jusqu'à sa rencontre avec l'oblique cotée 600 sur l'échelle des débits en litres par seconde ; cette rencontre a lieu sur la verticale du point coté 75 sur l'échelle des diamètres des conduites en centimètres : c'est donc une conduite de 750 m/m de diamètre que nous devons adopter.

Il est de toute évidence que le même abaque permet de trouver :

1° la perte de charge dans une conduite donnée pour un débit donné :

2° le débit d'une conduite donnée pour une perte de charge donnée.

USINE

Nous verrons quelle est l'installation d'une usine quand nous serons familiarisés avec les machines qui doivent y être placées. Il nous suffit de dire ici que le rendement des machines varie de 75 % à 82 % et même 85 %.

CANAL DE FUITE

Passant sous l'usine il va rejoindre le cours d'eau en aval de celle-ci. Comme on le fait toujours très court, il n'y a pas lieu de tenir compte de sa pente pour l'évaluation du rendement global.

De même que ceux de la prise d'eau, ses murs portent des rainures pour recevoir un barrage à poutrelles.

Nous sommes maintenant en mesure de déterminer le rendement global r, de l'installation. Nous perdons 4 % dans le canal d'amenée, 5 à 6 % dans la conduite.

Le rendement de la canalisation varie donc entre :

$$0{,}96 \times 0{,}95 = 0{,}912 \text{ et } 0{,}96 \times 0{,}94 = 0{,}902.$$

Comme le rendement de l'usine est compris entre 0,75 et 0,85, le rendement global peut varier entre :

$$0{,}902 \times 0{,}75 = 0{,}675 \text{ et } 0{,}912 \times 0{,}85 = 0{,}775.$$

On prend habituellement $r = \frac{75}{100}$

ce qui conduit à prendre pour valeur de la puissance effective de la chute

$$\frac{75}{100} \text{ Q H kilogrammètres ou } \frac{75}{100} \times \frac{\text{Q H}}{75} = \frac{\text{Q H}}{100} \text{ chevaux.}$$

C'est sous cette dernière forme qu'on l'exprime généralement.

DEUXIÈME CAS

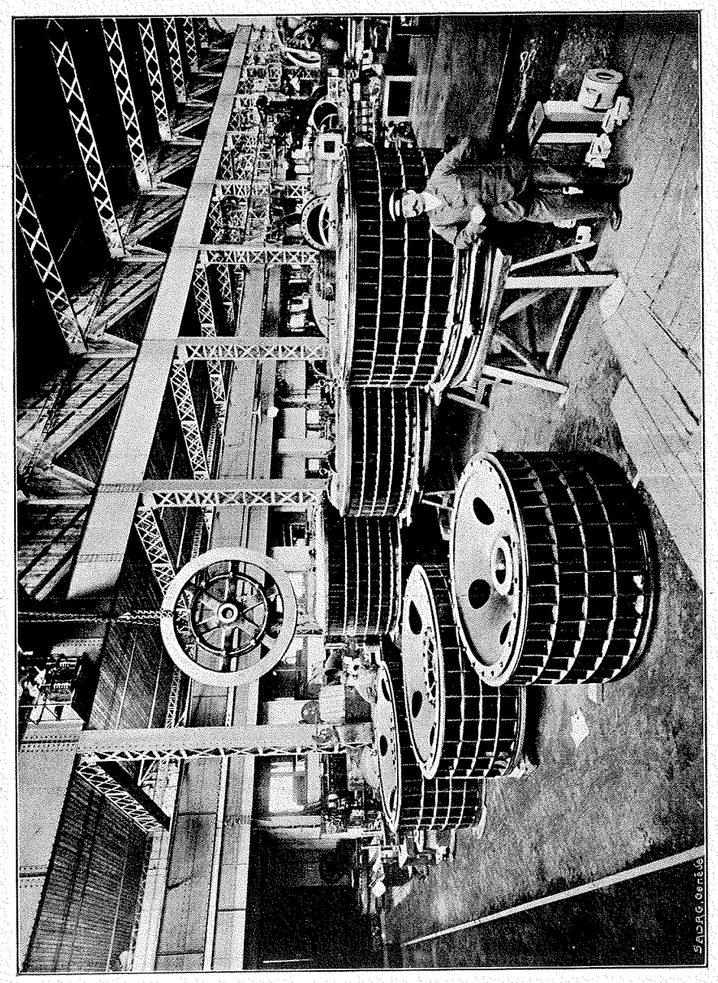
FAIBLES CHUTES

La conduite forcée n'existe pas : la turbine est placée dans la chambre d'eau.

On a l'habitude de prendre, dans ce cas, comme dans le précédent, pour valeur approchée de la puissance effective de la chute, celle donnée par la formule $\frac{\text{Q H}}{100}$ (1).

Nous bornerons là ces considérations d'ordre général sur l'établissement des chutes, mais avant d'entrer dans la description des turbines, nous dirons quelques mots de leur construction.

(1) Cette valeur est beaucoup plus exacte dans le cas des faibles chutes que dans celui des hautes chutes.



ATELIERS NEYRET-BRENIER & Cie

TURBINES, POUR BASSES CHUTES ET GROS DÉBIT, EN MONTAGE

Construction des Turbines

Le point important dans la construction des turbines, comme dans celle de toutes les machines, est d'obtenir le meilleur rendement possible.

Nous avons dit que le rendement des turbines varie de 75 % à 85 % suivant le type. Pour atteindre ces rendements élevés, il faut d'abord une fabrication très soignée, bien entendu, mais il faut, surtout, que la machine soit étudiée tout spécialement pour la chute à laquelle elle est destinée.

La Maison NEYRET-BRENIER ET Cie n'a cessé, depuis cinquante ans, de perfectionner ses procédés de fabrication, modifiant peu à peu sa construction, suivant les indications fournies par une longue pratique. Elle a, de plus, créé dans ses bureaux un service spécial d'Ingénieurs chargés des essais et des recherches. Elle est en mesure d'offrir à ses clients des turbines étudiées et construites avec le plus grand soin, et pouvant répondre à toutes les exigences, tant au sujet du bon rendement qu'à celui de la robustesse. La région des ALPES, le « PAYS DE LA HOUILLE BLANCHE, » comme on l'appelle maintenant, lui a offert un vaste champ d'expériences, où elle a eu à étudier des turbines de tous les types, placées sous des chutes variant de 1 mètre à 1.000 mètres.

Certains constructeurs font les turbines en séries : étant donné un type, ils construisent d'avance des machines de dimensions progressives, puis, donnent à leur client celle de ces machines qui se rapproche le plus de la turbine qui devrait être faite pour sa chute : on comprend facilement qu'une pareille méthode, si elle est avantageuse pour le constructeur, est, sans nul doute, préjudiciable à l'acheteur qui n'a généralement pas l'heureuse chance de posséder la chute qui conviendrait juste à l'une des turbines de la série.

Une turbine ne fonctionne à son maximum de rendement que dans des conditions de chute, de débit et de vitesse précises, et non variables de telle valeur à telle autre.

Aussi, ne trouvera-t-on pas, dans ce catalogue, des listes de turbines, mais seulement la description des différents types, avec des renseignements sur leur fonctionnement, leurs avantages et leurs inconvénients.

Nous tenons à répéter que pour chaque chute, nous faisons une étude spéciale, et que nous pouvons construire toutes les turbines de tous les types et de toutes les dimensions.

L'agrandissement récent donné à nos ateliers, les machines-outils nouvelles et perfectionnnées que nous possédons, nous permettent de travailler avec la plus grande précision des pièces énormes : les quelques vues comprises dans le présent catalogue peuvent donner à nos clients une idée de notre outillage et de nos moyens.

Classification des Turbines

Une turbine se compose essentiellement de deux parties : *Une roue mobile*, portant des *aubes*, et un *distributeur*, cloisonné par des *directrices* dont la fonction est de conduire l'eau sur les aubes de la roue mobile, sous un angle déterminé.

Les croquis ci-après montrent ces deux organes dans les différentes positions qu'ils peuvent occuper l'un par rapport à l'autre.

Au point de vue du mode d'action de l'eau, on distingue deux classes de turbines : celles dites à *libre déviation*, et celles dites à *réaction*.

Dans les premières, l'eau sort du Distributeur avec toute la vitesse que peut lui donner la chute : $V = \sqrt{2gH}$;

Dans les secondes, au contraire, elle sort du Distributeur avec une vitesse réduite : $V = K \times \sqrt{2gH}$, K étant un nombre plus petit que l'unité.

On peut encore dire que, dans le cas de la libre déviation l'eau agit sur la roue mobile par sa vitesse : c'est la forme cinétique de l'énergie ; tandis que dans le cas de la réaction, elle agit à la fois par sa vitesse et par sa pression : cette seconde action est due à l'énergie potentielle.

Dans chacune de ces deux classes, nous trouverons deux genres : turbines à arbre vertical et turbines à arbre horizontal.

Enfin, chaque genre comporte trois types :

1° **Turbine parallèle ou axiale** *(fig. 8)*. — Les molécules d'eau traversent la roue mobile en se déplaçant sur une surface cylindrique circulaire ayant pour axe, l'axe de rotation.

2° **Turbine radiale centrifuge** *(fig. 9)*. — Les molécules d'eau traversent la roue mobile en se mouvant dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation, en s'éloignant de cet axe.

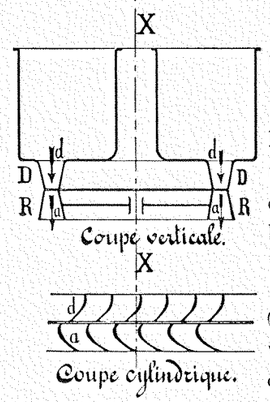


FIG. 8

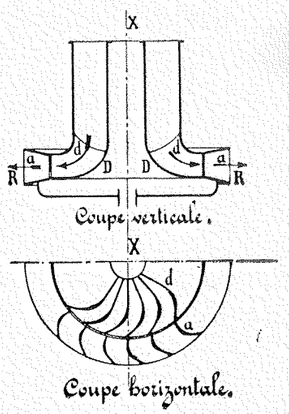


FIG. 9

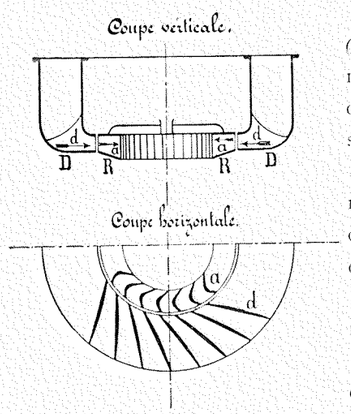


FIG. 10

3° **Turbine radiale centripète** *(fig. 10).* — Les molécules d'eau se meuvent encore dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation, mais en s'en rapprochant.

Enfin, on considère parfois le type mixte dérivant de la turbine axiale et de la turbine radiale ; on ne l'a exécuté qu'en **centripète parallèle** *(fig. 11)* et souvent on l'appelle simplement, mais vicieusement **centripète**.

Dans les *fig. 8* à *11*, l'admission de l'eau est faite sur tout le pourtour de la roue mobile : on la dit totale. DD est le distributeur fixe, *d d* sont les directrices, R R est la roue mobile avec ses aubes *a a*.

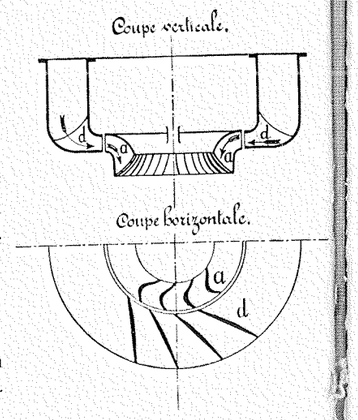


FIG. 11

Avec les turbines à libre déviation, on peut n'admettre l'eau qu'en certains points de la roue : on a alors l'admission partielle. L'injection de l'eau, dans ce cas, est faite par un ou plusieurs segments de distributeur, soit au moyen de buses convenablement inclinées par rapport aux aubes de la roue mobile.

Sans vouloir faire ici l'historique des turbines, nous tenons à signaler que tous les types en furent créés en France.

C'est BURDIN qui, en 1826, fit construire le premier moteur portant le nom de *Turbine* ; c'est FONTAINE-BARON qui, en 1839, créa la turbine parallèle, suivi par FOURNEYRON, qui donna la turbine centrifuge en 1841.

La première des turbines centripètes (dites maintenant Américaines), fut installée en 1849 à la poudrerie du Bouchet.

Enfin, c'est GIRARD, qui dès 1851, fit connaître l'admission partielle.

Description des Turbines

Les exemples de turbines sont extrêmement nombreux, aussi n'avons-nous pas la prétention de les décrire tous.

Cependant, nous allons en examiner au moins un de chaque type, en indiquant succinctement quels sont ses points spéciaux. Nous ne décrirons que des machines qui ont été exécutées dans nos ateliers, et suivrons l'ordre de la classification précédente.

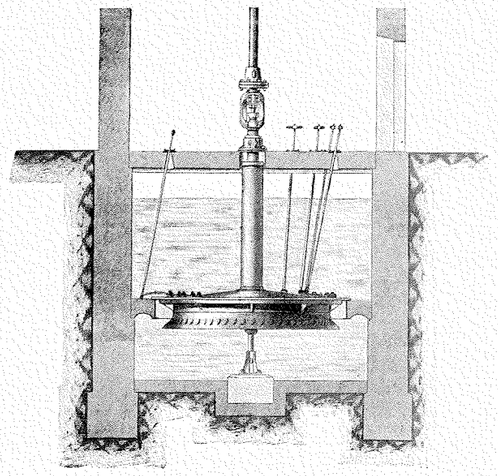


FIG. 12.

LIBRE DEVIATION

ARBRE VERTICAL

Turbine parallèle à admission totale, à chambre ouverte (fig. 12).

Cette turbine correspond au type représenté *fig. 8*. Le distributeur est réduit à la couronne des directrices, scellée au fond de la chambre d'eau ; la roue mobile tourne juste au-dessus de la surface de l'eau dans le canal de fuite, et est montée sur un arbre creux avec pivot supérieur (voir plus loin). Le vannage s'opère en obturant un certain nombre des canaux du distributeur, au moyen de clapets à charnières manœuvrés à la main, de la chambre supérieure.

Ce vannage n'est point fait pour obtenir la régularité de la vitesse, mais seulement pour augmenter ou diminuer la puissance de la turbine suivant les besoins.

Remarquer qu'on fonctionne alors à admission partielle.

Turbine parallèle à admission totale à chambre ouverte (fig. 13).

Analogue à la précédente, mais la fermeture des canaux du distributeur est faite par des vannettes manœuvrées par un seul volant.

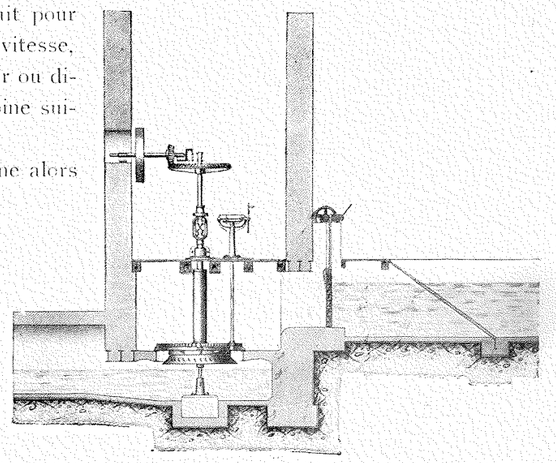


FIG. 13.

Turbine parallèle à admission totale à chambre ouverte (fig. 14 et 15).

La moitié des orifices d'entrée du distributeur débouchent sur une surface conique intérieure et l'autre moitié sur une surface conique extérieure.

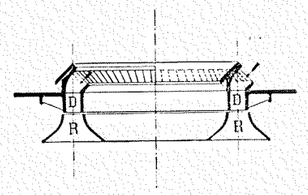


FIG. 14.

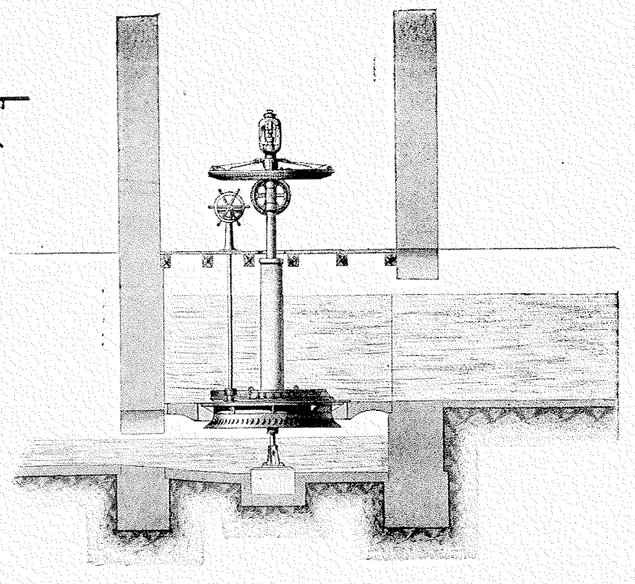


FIG. 15.

Chacune des séries d'orifices peut être individuellement obturée par chacun des tiroirs *t* et *t*, formés de deux demi-cônes glissant sur les surfaces coniques précédentes.

Ce vannage permet un réglage de la vitesse et peut être mis sous la dépendance d'un régulateur.

Les trois turbines précédentes, à chambre ouverte, peuvent s'employer pour des chutes allant jusqu'à 4 ou 5 mètres.

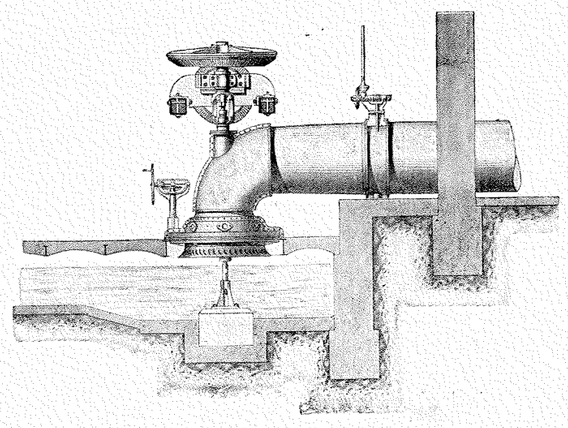


FIG. 16.

Turbine parallèle à admission totale, à huche (fig. 16).

La machine représentée par la fig. 16 peut être placée sous des chutes de 6 à 12 mètres.

Elle est construite comme celle de la fig. 15, mais le distributeur et les tiroirs sont enfermés dans une huche close qui termine la conduite d'amenée.

Elle peut être gouvernée, ainsi que celles des fig. 17 et 18, par un régulateur.

Turbine parallèle à admission partielle (fig. 17).

Le distributeur, formé d'un seul secteur, termine la conduite d'amenée.

On peut fermer ses orifices à l'aide d'un tiroir circulaire plan. Cette machine convient pour débits plus faibles que ceux des machines précédentes, et peut être placée sous des chutes très diverses.

On en construit d'analogues avec deux secteurs symétriques par rapport à l'axe.

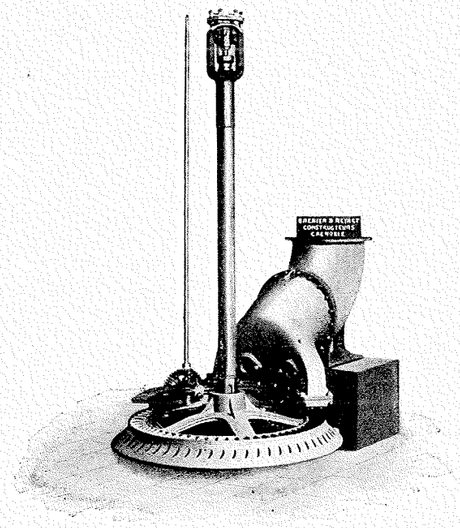


FIG. 17.

Turbine parallèle à admission partielle (fig. 18).

Dans cette turbine, l'admission est faite sur deux quarts opposés de la roue mobile. Les orifices d'entrée de l'eau dans le distributeur débouchent dans une cuve cylindrique et peuvent être masqués par deux tiroirs occupant chacun un quart de cylindre. Ces deux tiroirs sont symétriques par rapport à l'axe et, par suite, équilibrés relativement aux pressions de l'eau ; leur manœuvre est donc très douce. On voit bien ce dispositif sur la fig. 27 b..

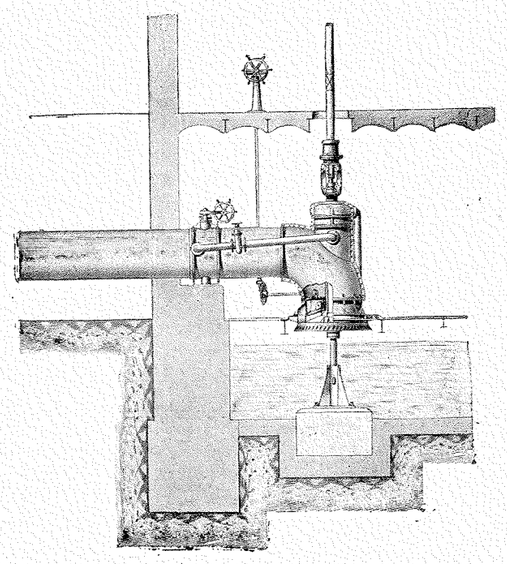
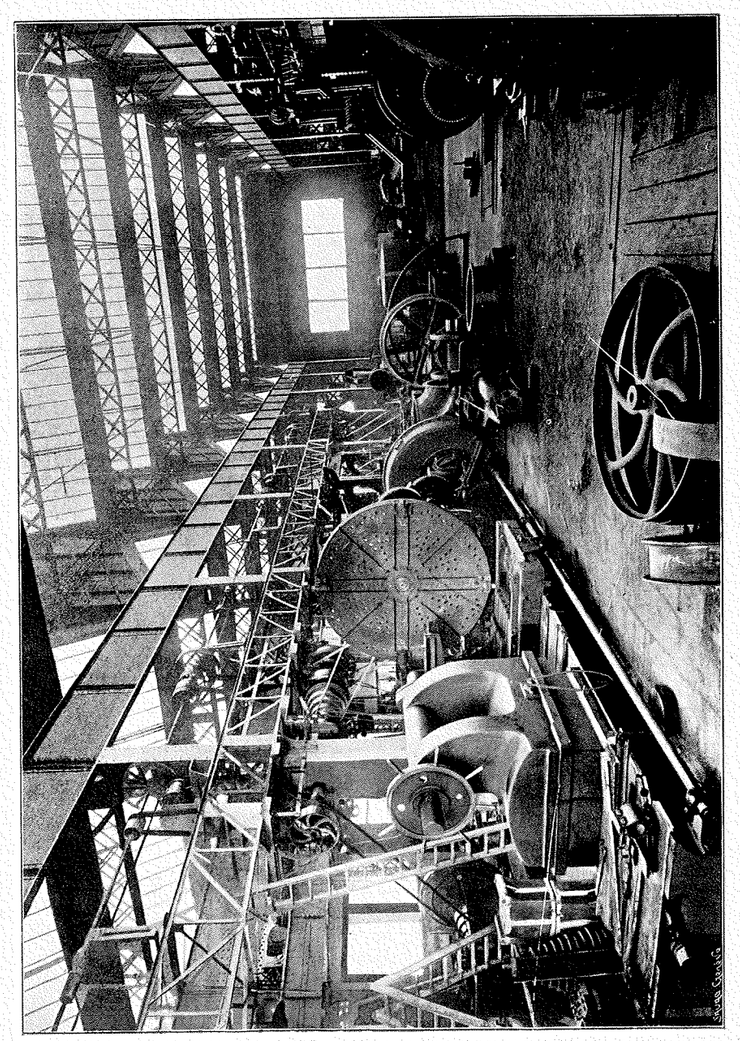
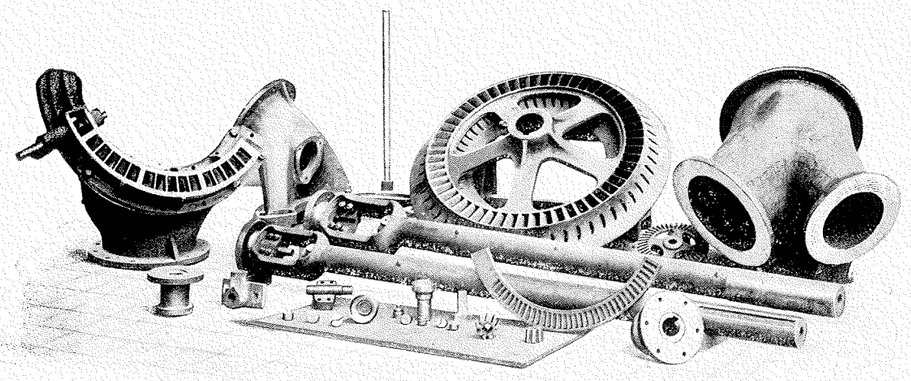


FIG. 18.



LE GRAND TOUR PARALLÈLE. — Hauteur de pointes : 1m60. — Longueur entre pointes : 5m00.



Turbine centrifuge, à admission totale (fig. 19).

Cette machine est du type de la fig. 9, mais a été construite dans des conditions tout à fait spéciales. La roue mobile coiffe le distributeur auquel l'eau est amenée par dessous ; elle est supportée par un pivot hydrau-

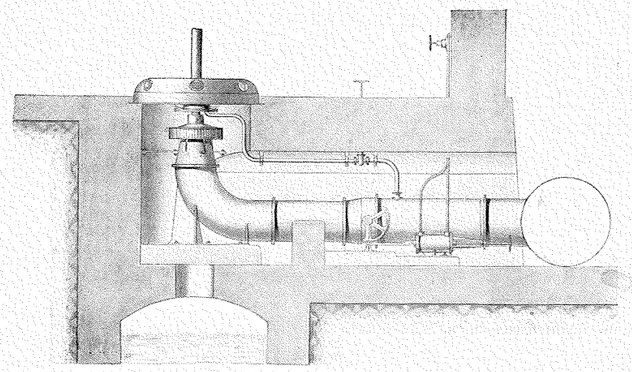


FIG. 19

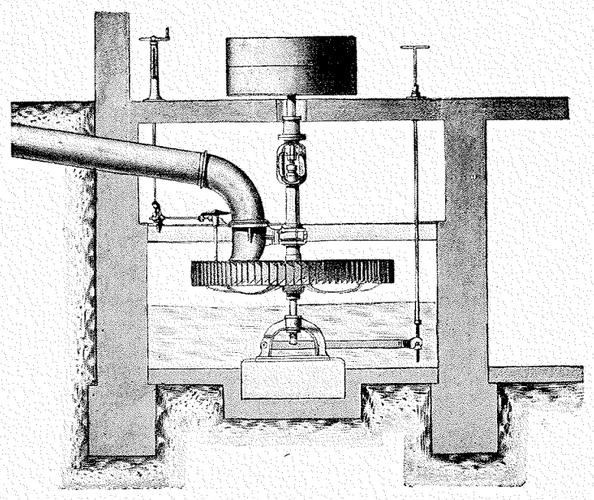


FIG. 20

lique. Les manœuvres des vannages s'opèrent à l'aide de cylindres hydrauliques conduisant des papillons.

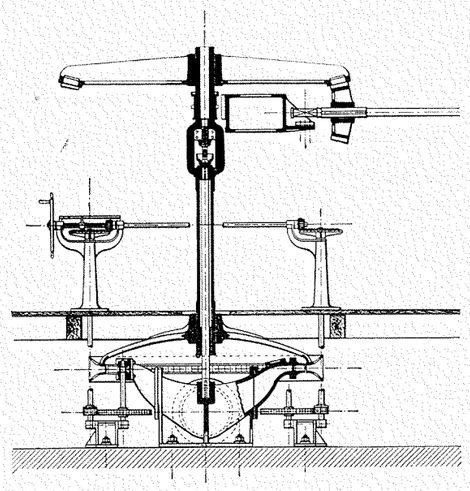


FIG. 21

Turbine centrifuge, à admission partielle (fig. 20).

Le vannage s'opère dans cette machine à l'aide d'un tiroir cylindrique.

Dans cet exemple, la turbine conduit directement un moulin à ciment et on a prévu un dispositif de relevage.

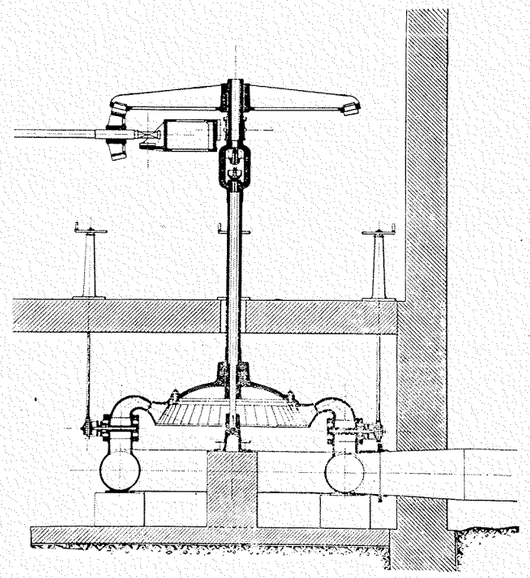


FIG. 22

Turbine centrifuge, à admission partielle (fig. 21).

Analogue à la précédente.

Turbine centripète à admission partielle (fig. 22).

Cette machine se rapporte au type de la fig. 10.

LIBRE DEVIATION

ARBRE HORIZONTAL

Turbine parallèle à admission partielle, dite « ROUE HÉLICE GIRARD » *(fig. 23).*

Ce genre de machine est très peu employé. Néanmoins, il peut rendre des services dans certains cas particuliers.

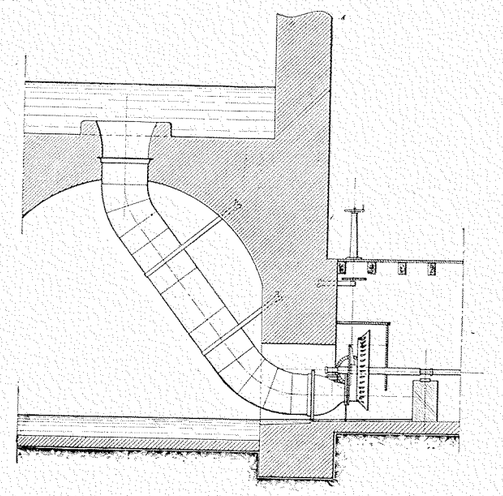


FIG. 23

Turbine parallèle double à admission partielle, dite « ROUE PELTON. » *(fig. 24)*

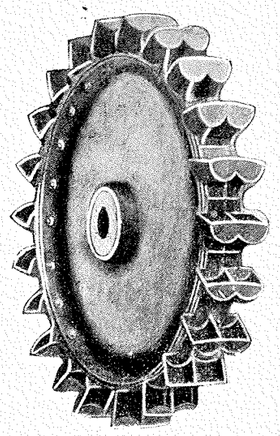


FIG. 24

Les aubes ont, en apparence, une forme toute difrente de celles que nous avons rencontrées jusqu'ici.

Elles sont composées *(fig. 25 et 26)* de deux portiens de cylindres accolées l'une à l'autre, de façon à donner une arête vive, A B.

Le distributeur est formé d'une ou plusieurs tuyères à orifice variable, au moyen d'une languette et construites de façon à maintenir constante la direction du jet, quelle que soit l'ouverture.

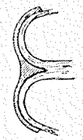


FIG. 25

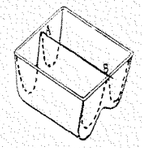


FIG. 26

Le jet, sortant d'une tuyère, se divise sur l'arête médiane de l'aube, et l'eau s'échappe par les bords externes ; en sorte qu'en a deux turbines parallèles ne formant qu'une seule roue mobile.

Pour les grandes puissances, comme on ne peut pas disposer un nombre bien grand de jets autour de la roue, on cale plusieurs roues sur le même arbre.

Cette turbine est simple, robuste et écenomique. On peut, d'ailleurs, l'employer pour des hauteurs de chute quelconques au-dessus de 20 mètres.

Turbine centrifuge, à admission partielle (fig. 27 a *et 27* b*).*

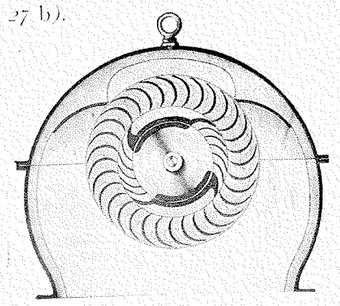


FIG. 27 *b*

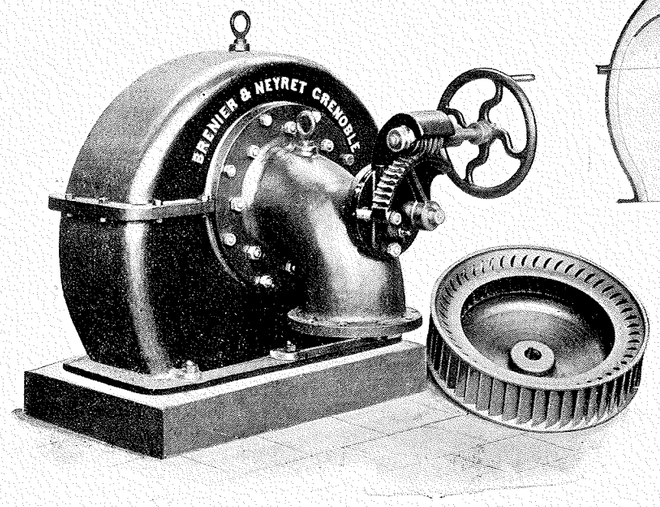


FIG. 27 *a*

C'est une turbine d'un type très courant ; nous la construisons soit avec des secteurs de distribution symétriques, par rapport à l'axe avec

tiroirs équilibrés, soit avec un seul secteur de distribution avec tiroir cylindrique simple, soit enfin avec distributeur à languettes.

Turbine centrifuge, à admission partielle (fig. 28 a, b *et* c*).*

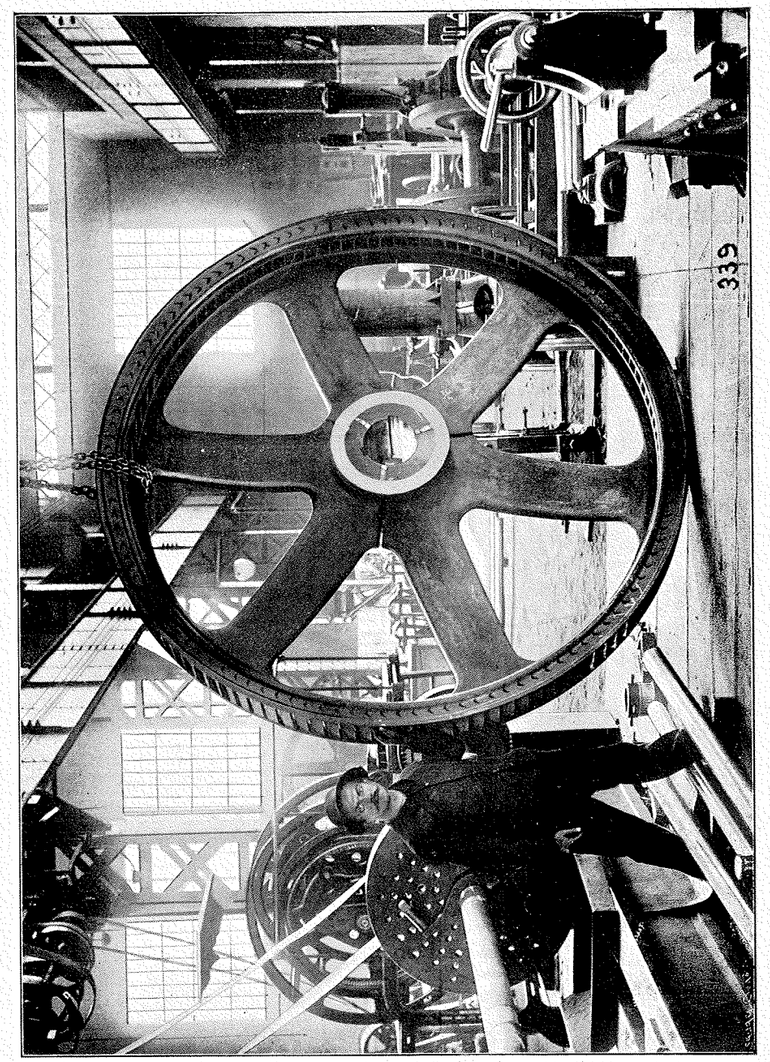


FIG. 28 *a*

Machine destinée aux très hautes chutes ; pour obtenir un nombre de tours à la minute admissible, on est obligé de faire des roues très grandes en diamètre.

Souvent la couronne d'aubage est en fonte, rapportée avec emboîtage sur une jante en acier, coulée avec la brassure, et formant volant; souvent aussi nous faisons la roue mobile complètement en acier moulé, ou en fonte serrée par des frettes en acier laminé.

Malgré ces précautions, lorsqu'on a de très hautes chutes, les emballements peuvent devenir dangereux pour la turbine aussi bien que pour la dynamo accouplée; aussi, un régulateur est-il absolument nécessaire, ou, au

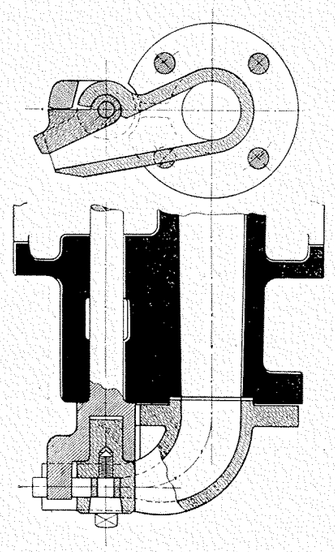


FIG. 28 *b*

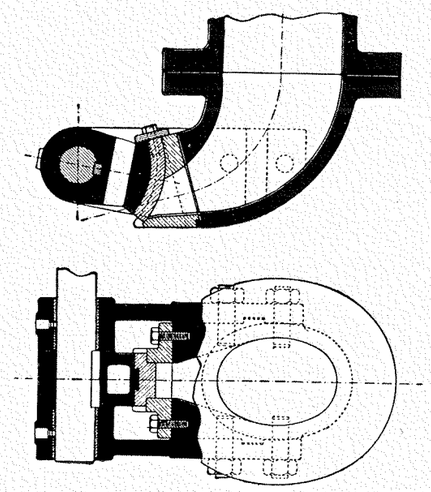


FIG. 28 *c*

moins, un limiteur de vitesse qui ferme complètement l'admission d'eau dès que la vitesse dépasse une certaine valeur.

L'appareil de distribution de ces grandes turbines est presque toujours composé soit de tuyères à languettes (*fig. 28* b), soit de tuyères à bascules (*fig. 28* c); rarement c'est un secteur à tiroir; les deux premiers dispositifs se prêtent facilement à l'action rapide d'un régulateur.

Turbine centripète à admission partielle (fig. 29 a *et* b*).*

Cette turbine ressemble, à première vue à la roue PELTON, mais son fonctionnement n'est pas du tout le même : les aubes sont incurvées, comme dans toutes les turbines radiales, et l'eau suit franchement leur surface, en

allant de la périphérie vers le centre. Le distributeur est formé de buses à languettes ou à bascule. Ce type est couramment employé.

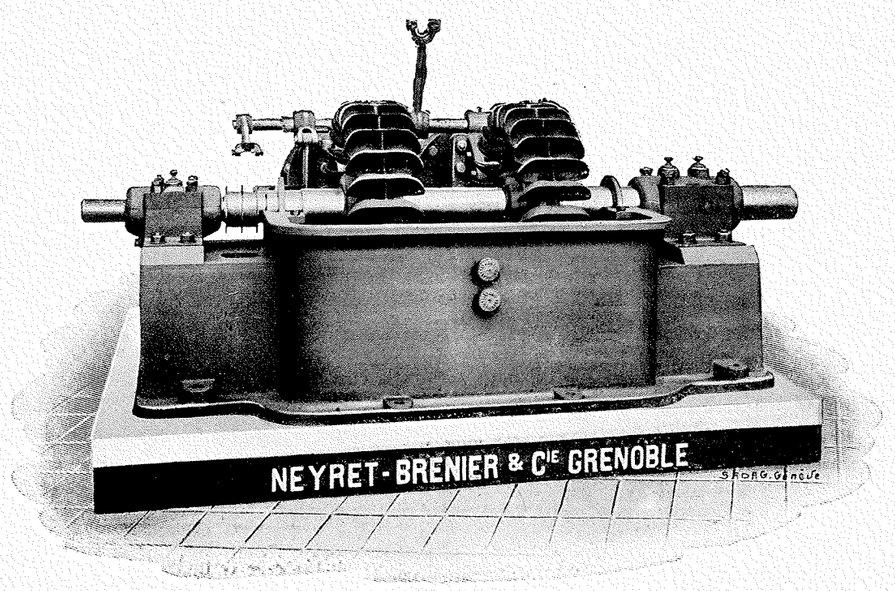


FIG. 29 *a*

Turbine centripète à admission partielle (Pelton), à deux distributeurs doubles et deux roues motrices.

Nous bornons là l'énumération des types appartenant à la classe Libre déviation.

Avec l'emploi de ces machines nous garantissons un rendement de 75 %, lorsque nous pouvons les installer dans des conditions normales.

Elles sont surtout commodes avec l'admission partielle, dans les cas de hautes chutes, car en variant le diamètre des roues mobiles, nous pouvons donner à nos clients la vitesse qui leur convient le mieux.

On a pu voir, à l'inspection des figures ci-dessus que les roues mobiles des turbines à libre déviation tournent toutes au-dessus du niveau aval; elles sont dénoyées. C'est qu'en effet, ce genre de turbine ne peut être placé sous l'eau; avec l'injection partielle, on aurait un choc violent, chaque fois

qu'un canal de la roue mobile arriverait sous le premier canal d'un distributeur, choc produit par l'eau injectée frappant sur l'eau morte entraînée par la roue.

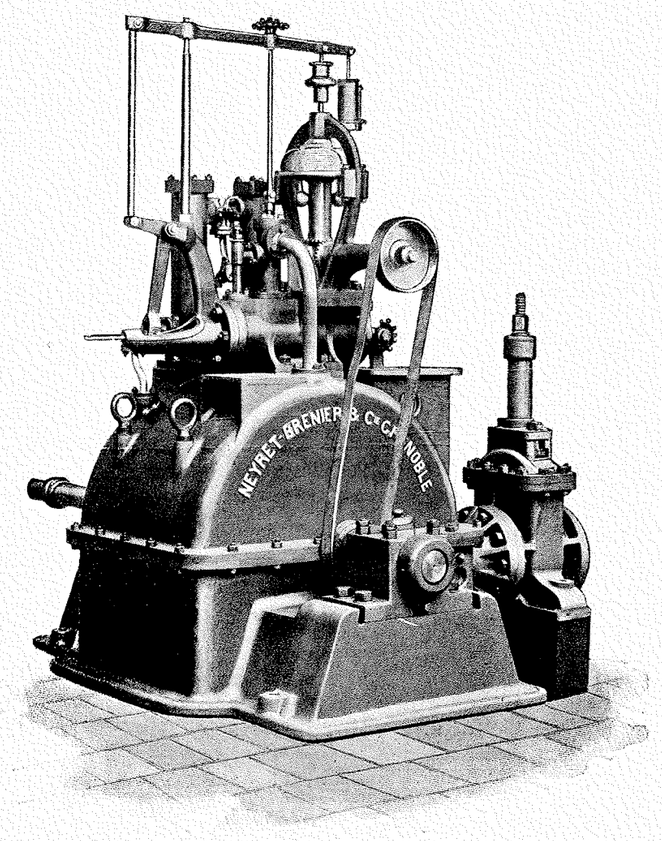


FIG. 29 *b*

Indépendamment des ébranlements de la machine, toujours nuisibles, on aurait à subir, de ce chef, une sérieuse perte de rendement.

Il en va tout autrement avec les turbines à réaction que nous allons examiner maintenant : elles fonctionnent noyées, mais par contre, ne peuvent pas s'accommoder de l'admission partielle.

REACTION
ARBRE VERTICAL

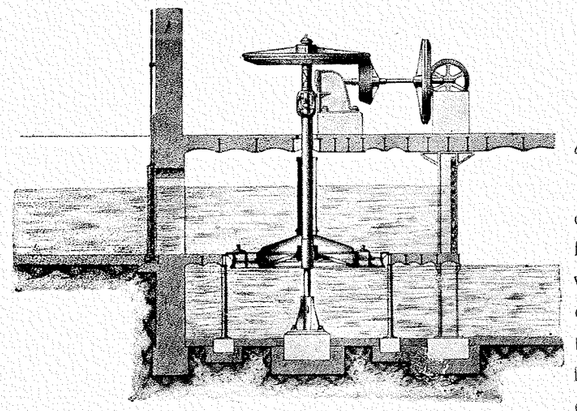


FIG. 30.

Turbine parallèle à chambre ouverte (fig. 30).

La roue mobile est à double couronne. Les orifices du distributeur peuvent être masqués à l'aide de tampons manœuvrables à la main (on peut les faire manœuvrables de la chambre supérieure). On utilise soit l'une soit l'autre des couronnes, soit enfin les deux à la fois. De sorte que cette turbine correspond à trois puissances de la chute. On peut donc la placer dans un cours d'eau à régime variable. Mais il faut remarquer qu'on ne doit pas fermer quelques-uns seulement des orifices d'une couronne, sans quoi, comme nous l'avons dit, on soumettrait la machine à des chocs violents. Les tampons ne ne sont pas faits pour obtenir un réglage de vitesse, mais seulement pour faire correspondre la puissance de la turbine à celle de la chute. L'admission doit toujours être totale sur la ou les couronnes utilisées.

Turbine parallèle à buche (fig. 31)

Cette turbine n'a qu'une seule couronne et ne convient qu'à des cours d'eau à régime constant.

La mise en marche et l'arrêt s'obtiennent en levant ou baissant la vanne de tête de la conduite en tôle.

On remarquera que la turbine est placée bien au-dessus du niveau aval et

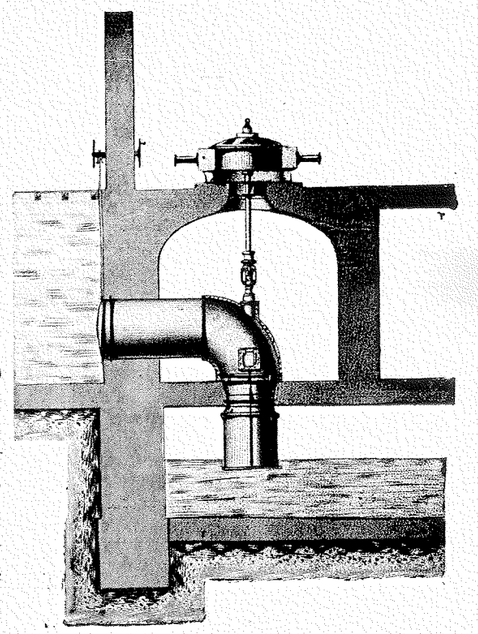


FIG. 31

que l'eau qui la traverse est conduite au canal de fuite par un tuyau : la machine travaille par pression et par aspiration, et utilise absolument toute la chute.

Ce dispositif, dû à JONVAL, est d'une application très courante dans la construction des turbines à réaction.

Turbine centrifuge à chambre ouverte (fig. 32).

C'est la turbine de FOURNEYRON. Le vannage s'obtient par un tiroir cylindrique placé entre le distributeur et la roue mobile qui est divisée en trois zones.

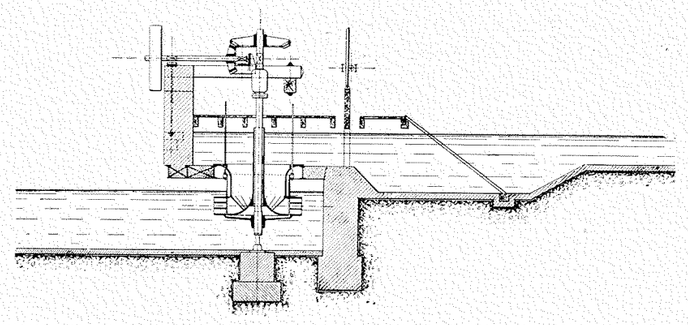


FIG. 32

Ce dispositif a pour but de rémédier à ce que l'on a appelé l'*obstruction partielle des ouvertures*; lorsque le tiroir est incomplètement levé, il se produit en *m (fig. 33)* un remous qui occasionne une perte de charge (l'eau est, en effet, en pression en ce point, puisque nous avons affaire à une turbine à réaction), et un abaissement du rendement de la machine lorsqu'elle ne travaille pas à pleine admission. Par l'adjonction des cloisons, cet effet nuisible ne porte que sur la fraction de couronne qui n'est pas complètement ouverte, et le rendement est bien mieux conservé.

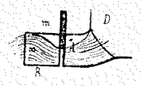


FIG. 33

Turbine centripète ou mixte à chambre ouverte (fig. 34)

C'est celle-ci qu'on appelle souvent américaine; son vannage est obtenu, comme dans la turbine précédente, par un tiroir cylindrique placé entre le distributeur et la roue mobile, et manœuvré de la chambre supérieure; dans les turbines de grandes dimensions, le tiroir est placé à l'extérieur du distributeur.

Comme toutes les turbines à réaction, elle peut travailler par aspiration avec un tube JONVAL, et c'est le cas général de son emploi.

On la construit aussi avec une huche en tôle placée à l'extrémité de la conduite d'amenée et on a ainsi la *Turbine centripète ou mixte à huche en tôle (fig. 35)*.

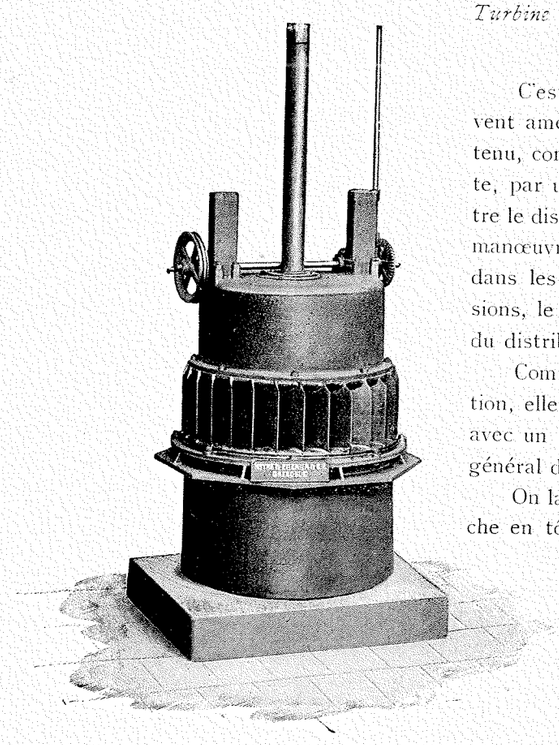


FIG. 34

Pour le même motif que dans la turbine de FOURNEYRON, il est très utile de cloisonner les roues de ces turbines lorsqu'on emploie un vannage par tiroir cylindrique. C'est là une grosse

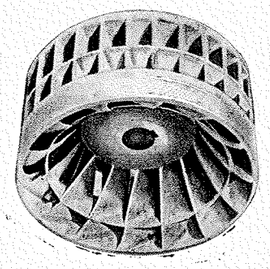


FIG. 36 *a*

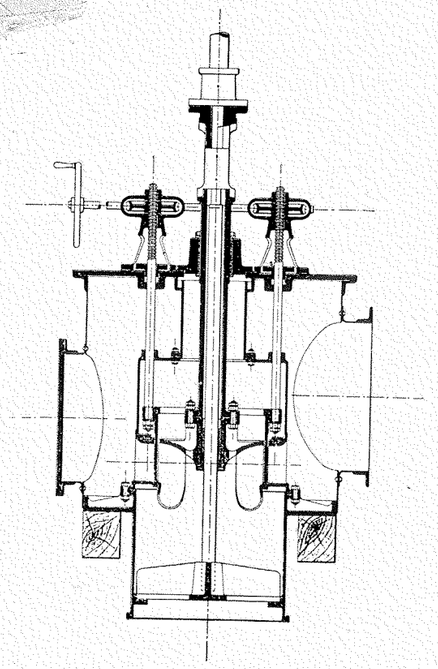


FIG. 35

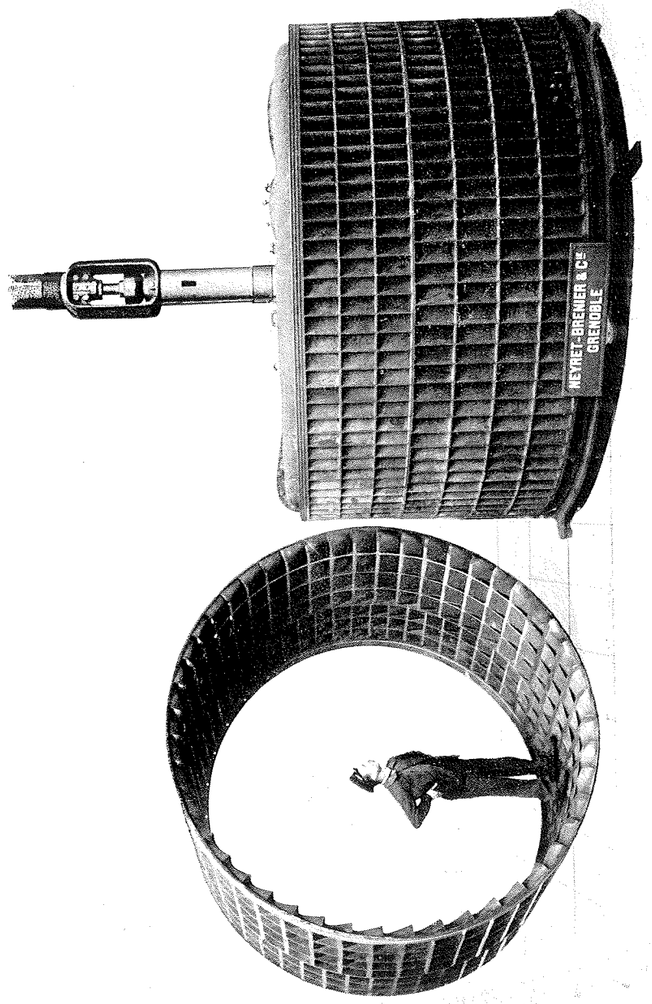


FIG. 36 *b*

Turbine donnant 155 HP sous chute variable de 1m300 à 0m950. Livrée à MM. Amelin Frères, à Tours-sur-Marne. Diamètre ext. de la roue, 3m125; Diamètre ext. du distributeur, 3m110.

difficulté de construction, mais nous sommes arrivés à la vaincre; la *fig. 36 a* nous montre une roue cloisonnée pour turbine mixte; la *fig. 36 b* montre une roue et un distributeur cloisonnés pour une turbine mixte, dont le tiroir est placé à l'extérieur du distributeur.

Dans le même but de conserver un bon rendement en dehors de la pleine

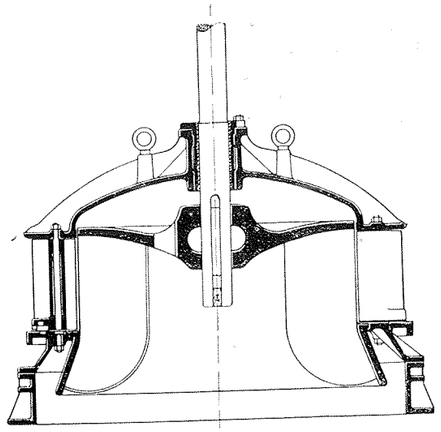


FIG. 37 *a*

charge, nous construisons des turbines à directrices mobiles analogues à celle des *fig. 37 a, b* et *c*, et *fig. 38*, dans le genre vertical, à chambre ouverte, ou à huche en tôle. On a ainsi la *Turbine centripète ou mixte à directrices mobiles (fig. 37 a, b, c, 38)*.

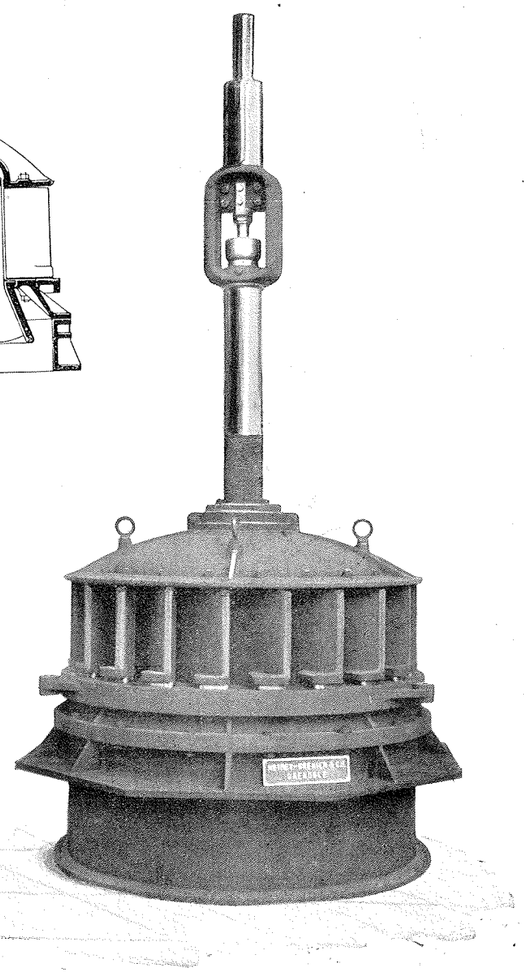


FIG. 37 *b*

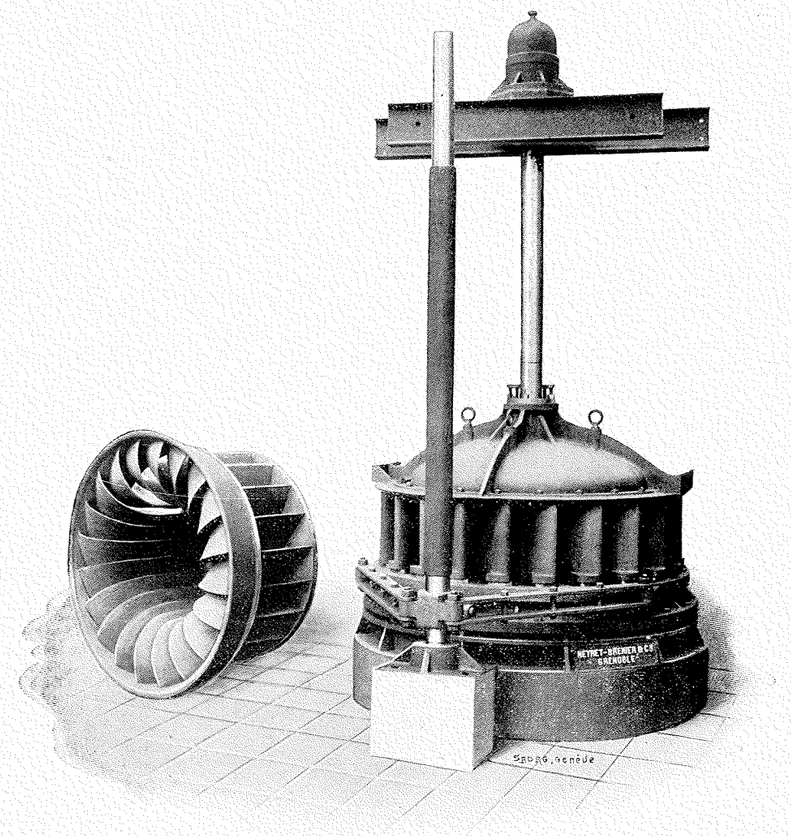


FIG. 37 *c*

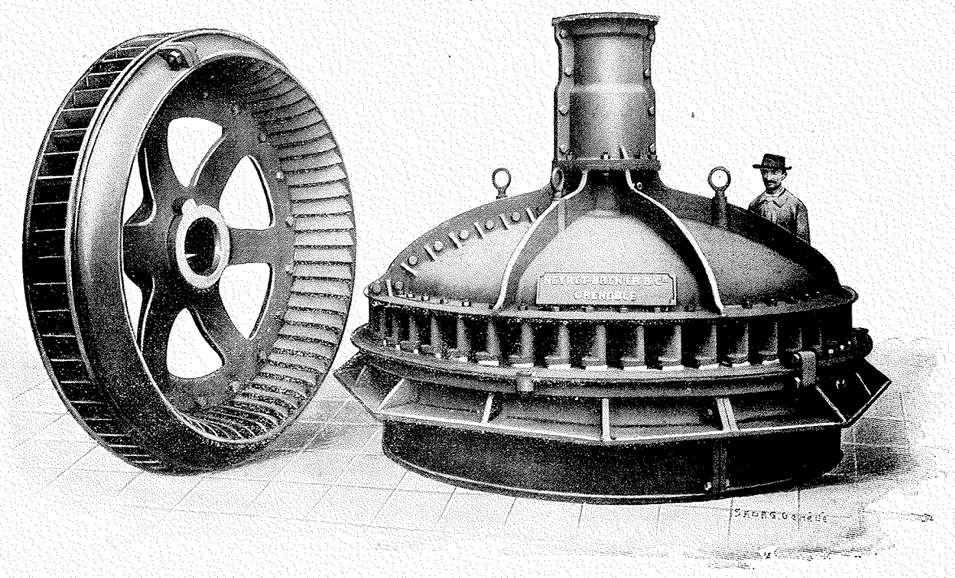


FIG. 38.

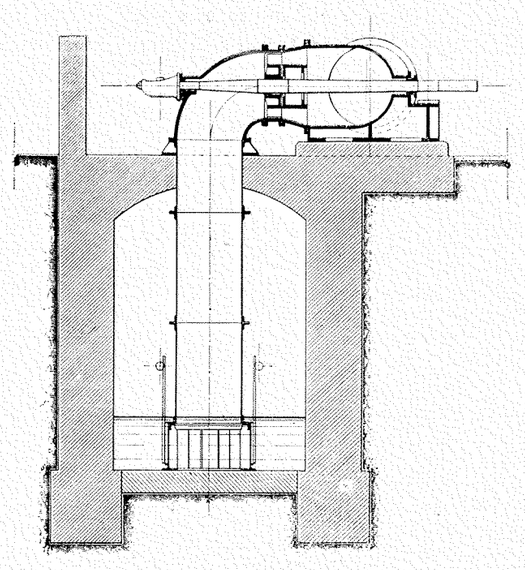


FIG. 39

REACTION

ARBRE HORIZONTAL

Turbine parallèle à buche (fig. 39).

Elle fonctionne exactement comme celle de la fig. 30 ci-dessus.

Elle est pourvue d'un tube de succion en bas duquel se trouve une vanne cylindrique obturant plus ou moins la sortie de l'eau : c'est le vannage imaginé par JONVAL. On ne l'emploie presque plus aujourd'hui, car il agit en faisant naître une contre-pression derrière la roue mobile, autrement dit, il diminue la chute sous laquelle travaille la machine. Il en résulte un abaissement considérable du rendement quand la turbine ne fonctionne pas à pleine charge.

Turbine centrifuge à buche (fig. 40)

Cette machine n'est autre que celle de la *fig. 32*, mais avec l'arbre horizontal.

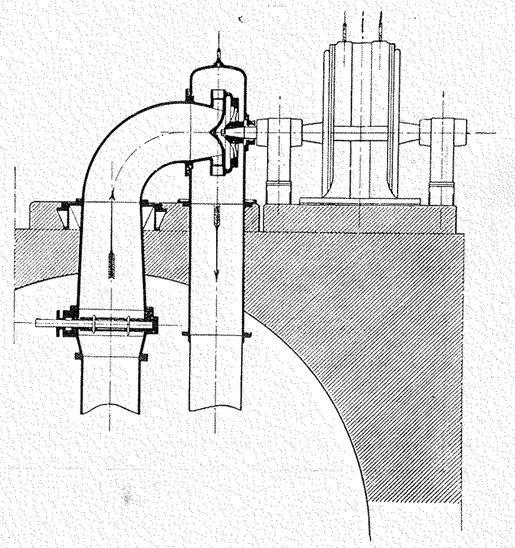
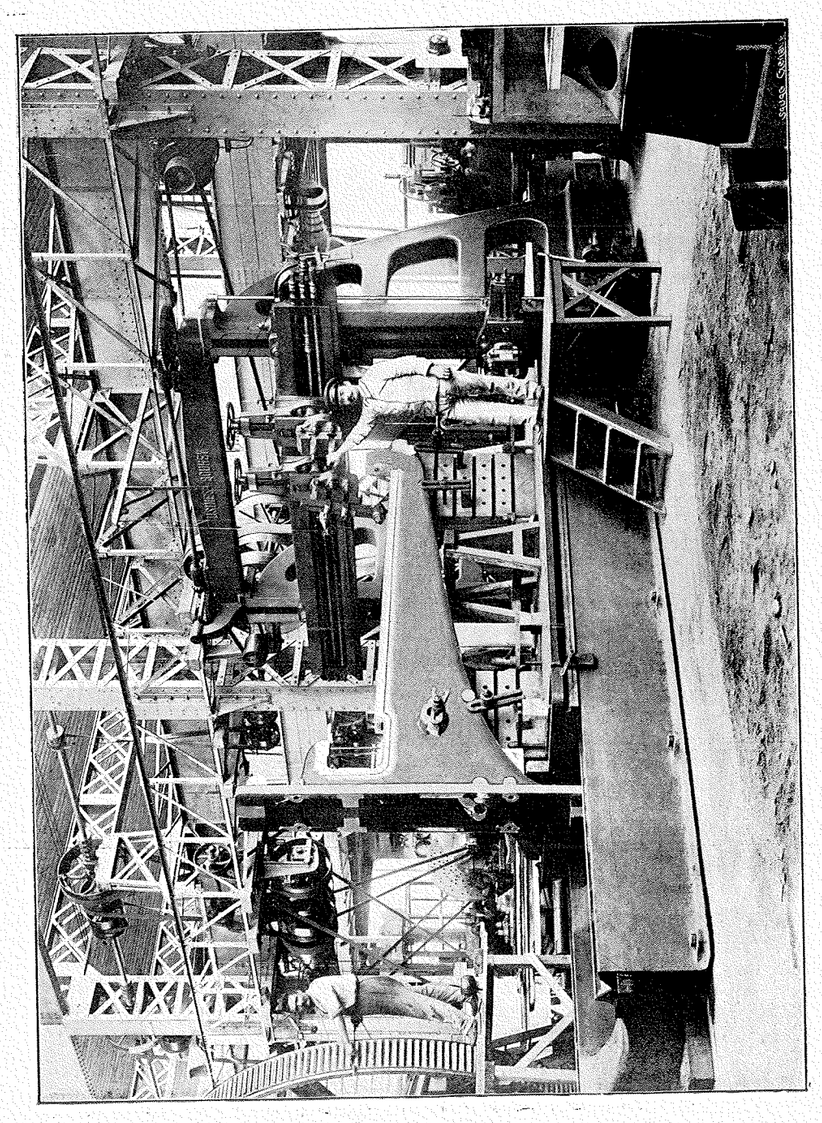


FIG. 40



La Grande Raboteuse. — Longueur de course : 6m,00.

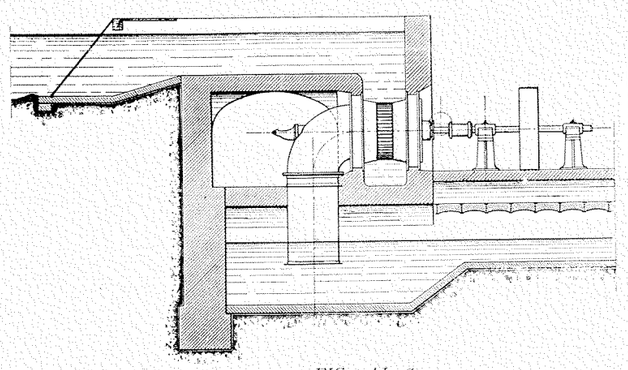


FIG. 41 *a*

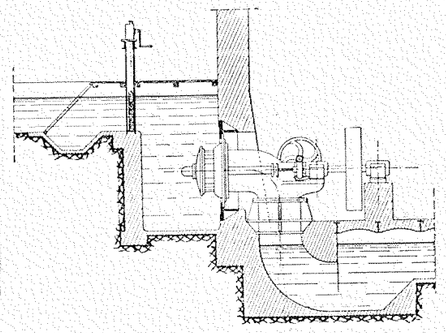


FIG. 41 *b*

Turbine centripète ou mixte à chambre ouverte (fig. 41 a et *b).*

L'évacuation se fait par un coude surmontant le tube de succion; c'est dans ce coude qu'est placé le tiroir de vannage, cette disposition d'installation est assez coûteuse comme maçonnerie, mais le pivot-butée, placé sur le coude même, est parfaitement accessible. Dans un but d'économie, on emploie la disposition de la *fig. 41 b*, qui ne présente pas le même avantage.

Turbine centripète ou mixte à bâche spiraloïde (fig. 42).

Le fonctionnement est le même que celui de la machine précédente.

Le distributeur est entouré d'une bâche dont la section est constamment proportionnelle au débit qui doit la traverser. De cette façon, la vitesse de l'eau est constante et on n'a, dans la bâche, ni remous ni perte de charge autres que ceux dus au frottement.

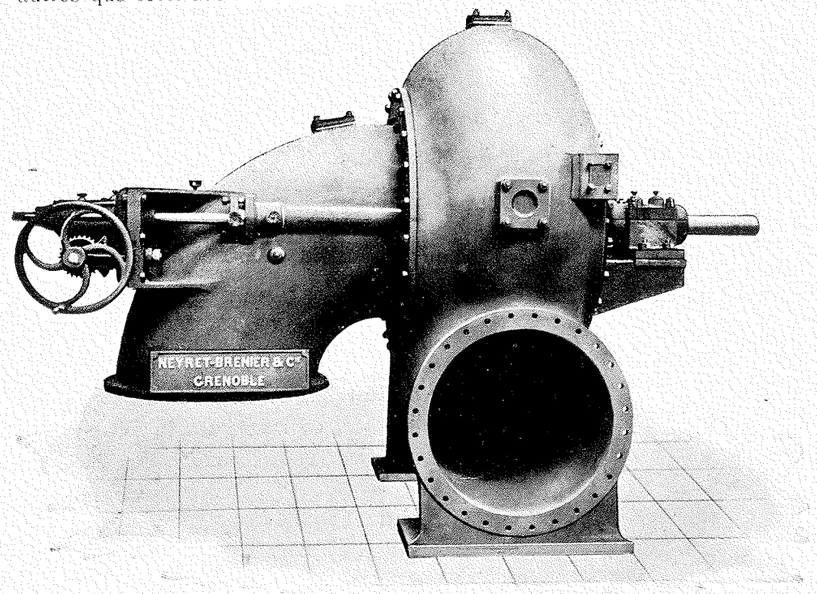


FIG. 42

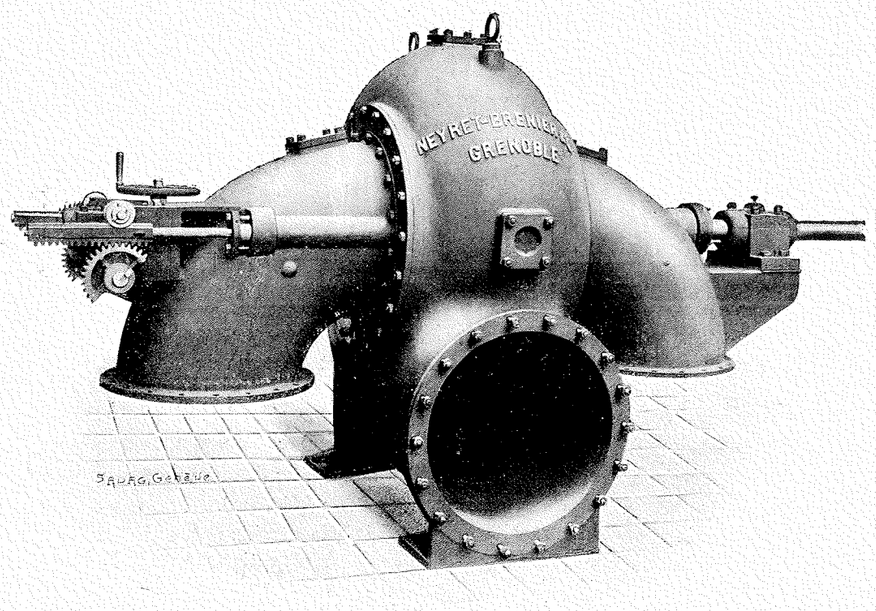


FIG. 43

Turbine centripète double à huche spiraloïde (fig. 43).

Elle est formée de deux turbines simples dont les roues mobiles et les distributeurs sont accolés. Cette disposition permet d'avoir une grande puissance, tout en conservant une grande vitesse.

Il y a deux tiroirs de vannage qui s'ouvrent et se ferment en même temps de la même quantité ; on équilibre ainsi les poussées dans le sens de l'axe.

Lorsqu'on veut obtenir, sous une chute relativement faible et à gros débit, une turbine puissante et à grande vitesse, on monte sur le même arbre un plus grand nombre de roues et on obtient de la sorte des turbines dites multiples.

Il faut remarquer ici que la turbine double peut être montée avec un seul tube de succion pour les deux roues qui sont alors deux roues simples dégorgeant dans les deux branches d'un T dont le tube de succion forme le pied, comme sur les *fig. 45 et 46*.

Turbine centripète à huche spiraloïde à directrices mobiles (fig. 44).

Les cloisons du distributeur sont toutes mobiles, chacune autour d'un axe propre.

On peut les faire tourner toutes ensemble du même angle, et par suite faire varier l'espace qu'elles laissent entre elles, c'est-à-dire la section du distributeur.

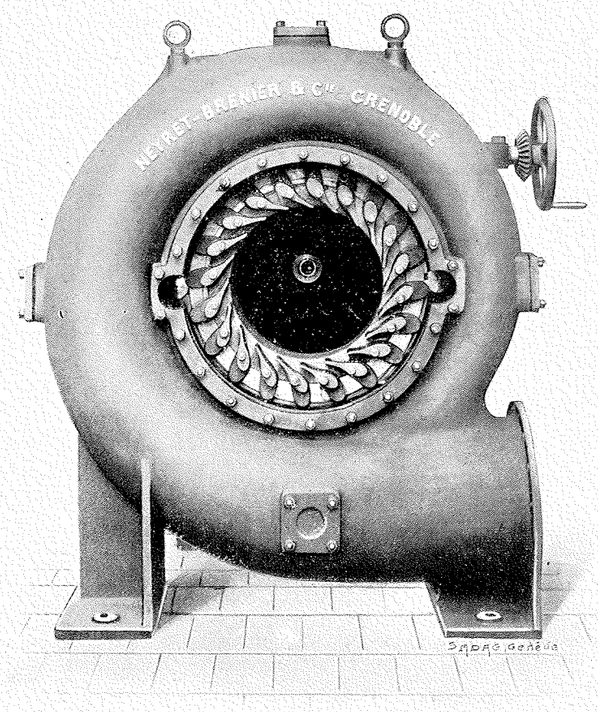
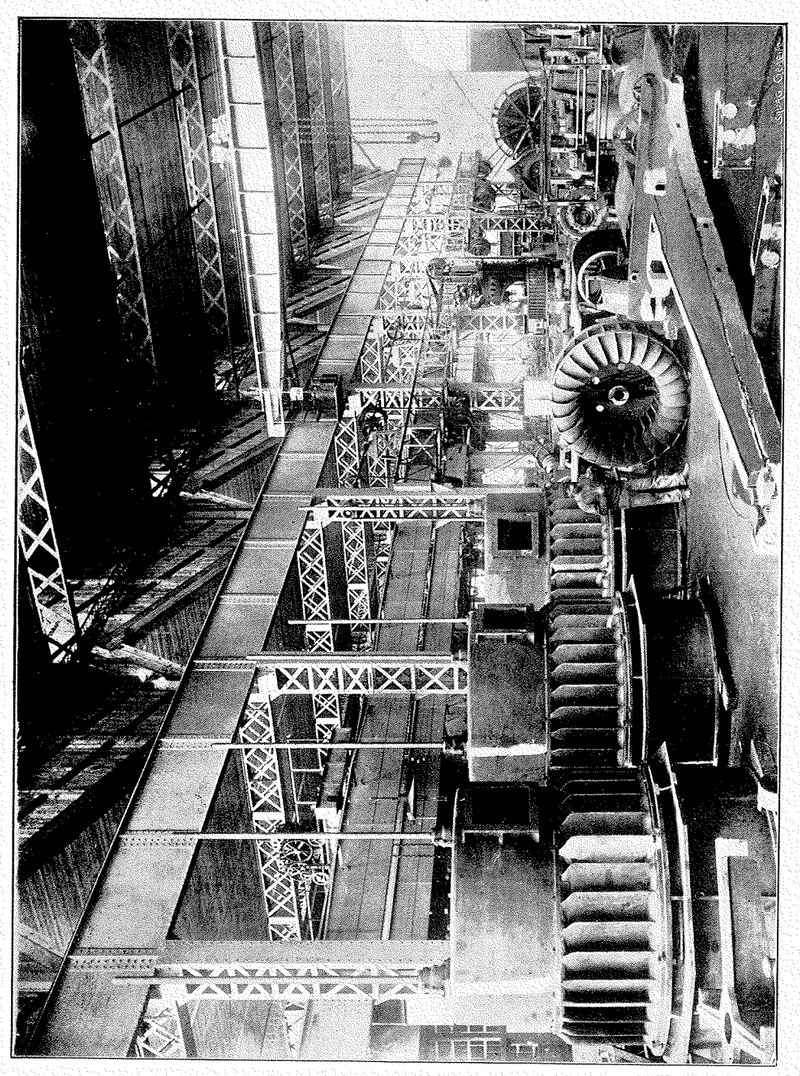


FIG. 44

Ce vannage conserve mieux le rendement que le tiroir cylindrique, mais est moins robuste que celui-ci lorsqu'on a affaire à des eaux charriant des sables durs.

Il se prête mieux qu'un tiroir à l'action rapide d'un régulateur et peut s'adapter aux turbines multiples sans aucune difficulté, comme dans la Tur-



TROIS TURBINES DE 150 HP. — DÉBIT : 5.500 LITRES PAR TURBINE. — DIAMÈTRE DES ROUES : 1m800.

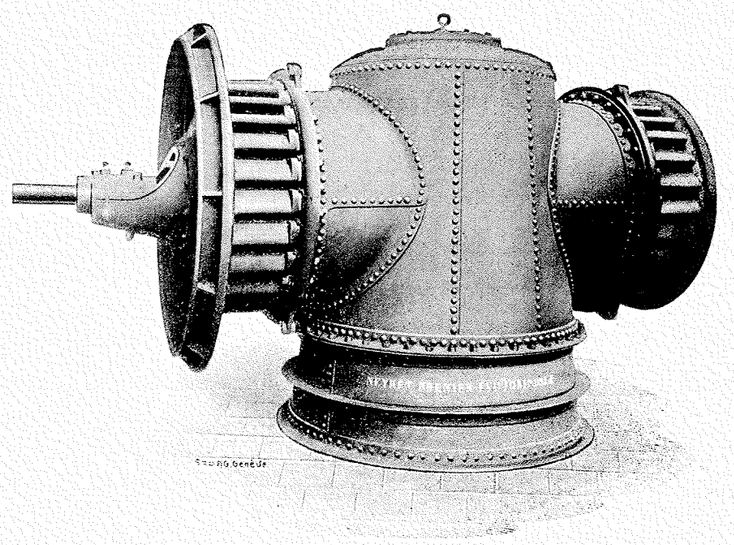


FIG. 45

bine double à directrices mobiles, à chambre ouverte *(fig. 45)* ou les Turbines centripètes doubles ou quadruples à directrices mobiles, à chambre ouverte *(fig. 46)* avec axe horizontal, ou *(fig. 47* et *48)* avec axe vertical.

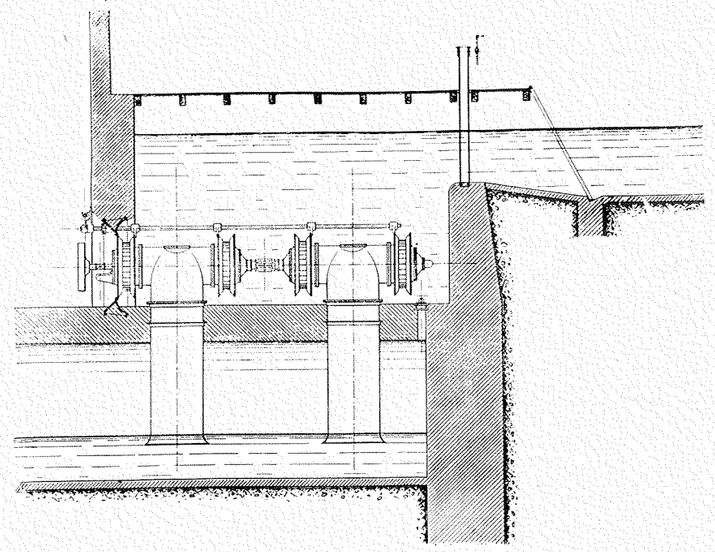


FIG. 46

Nous en avons fini avec les turbines à *réaction*. Dans les mêmes conditions que pour les turbines à libre déviation, nous garantissons pour ces machines un rendement de 80 % pour les centripètes et 75 % pour les centrifuges et parallèles. Dans les essais les rendements ont souvent atteint 82 et 85 %.

Nous avons vu que ces turbines s'emploient presque toujours avec un tube d'aspiration.

Un des grands avantages de ce dispositif, outre qu'il utilise la chute complète, est de permettre de placer la turbine à plusieurs mètres au-dessus du niveau aval. La visite de la machine peut ainsi se faire très facilement sans qu'il soit besoin de vider le canal de fuite, opération nécessaire pour visiter les turbines noyées dans le bief d'aval.

On a bien essayé des dispositifs qui devaient permettre de placer de même les turbines à libre déviation bien au-dessus du niveau aval, en leur adjoignant un tube de succion pour ne pas perdre la chute, et en injectant de l'air au niveau de la roue pour la dénoyer, mais on n'a obtenu que des résultats peu satisfaisants; on arrive bien à dénoyer la roue, mais on perd sur la chute, la moitié environ de la hauteur du tube d'aspiration.

Aussi n'employons-nous ces dispositions spéciales (dites d'hydro-pneumatisation) que lorsque les circonstances de lieux l'exigent, et en prévenant nos clients de la perte qu'ils doivent fatalement subir quant à la puissance de leur chute.

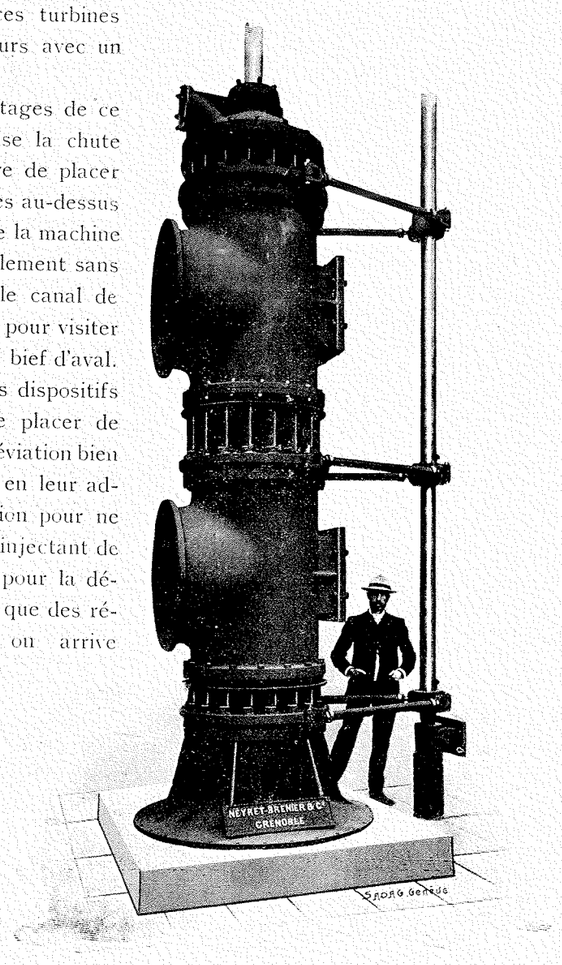


FIG. 47

Nous donnerons encore un renseignement qui a son importance. A chute égale, une turbine à réaction tourne plus vite qu'une turbine à libre déviation de même puissance : c'est là un avantage sérieux pour la commande directe des dynamos.

On ne peut pas employer les centripètes à réaction pour les hautes chutes, mais dans ce cas, on peut facilement obtenir la vitesse voulue en employant des turbines à libre déviation à injection partielle.

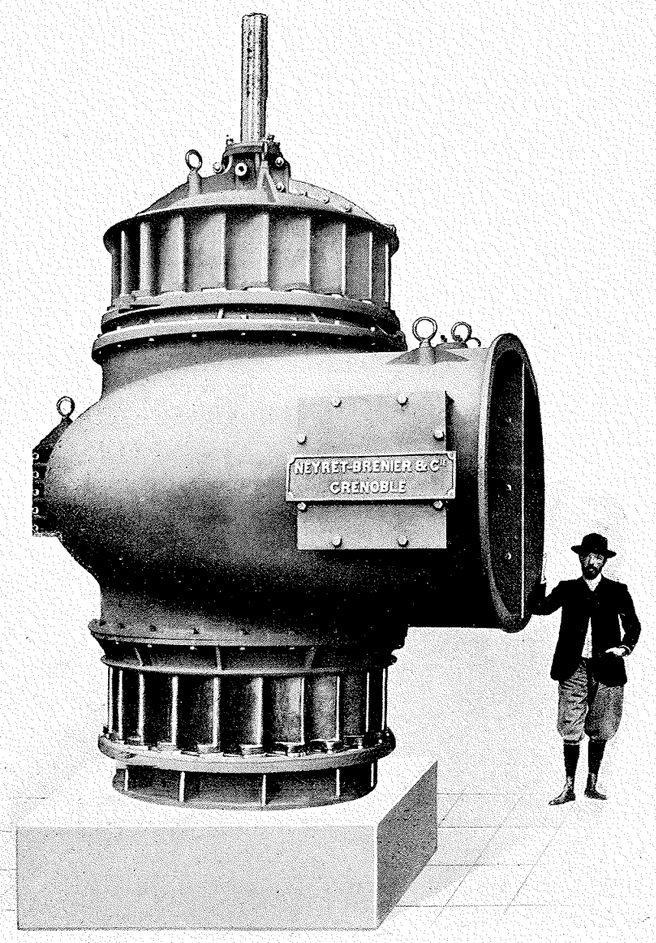


FIG. 48

Un Mot sur les turbines limites

Il faut remarquer, sur les figures se rapportant à la libre déviation, une série d'ouvertures tout autour de la roue mobile ; ce sont les *évents* qui assurent la circulation de l'air derrière chaque aube *(fig. 49)*. Ils permettent à la veine liquide de s'épanouir librement sur la face active des aubes : d'où le nom de libre déviation.

Si ces évents n'existaient pas, dès que l'air aurait été entraîné par le passage de l'eau, il y aurait entre le dos d'une aube et la veine liquide agissant sur la face de l'aube précédente, accumulation d'eau inactive, entretenue en tourbillons tumultueux aux dépens de l'énergie de l'eau active, d'où diminution du rendement.

FIG. 49

On peut tourner la difficulté, sans ménager d'évents, en donnant au dos d'une aube une forme telle qu'elle s'applique exactement contre la veine agissant sur l'aube suivante : on dit que la veine est moulée *(fig. 50)*. Ceci peut se faire aussi bien pour une turbine à libre déviation que pour une turbine à réaction.

FIG. 50

Prenons maintenant une turbine dans laquelle la vitesse de sortie de l'eau du distributeur est égale à $\sqrt{2gH}$ et faisons-là à veine moulée : nous aurons une turbine limite.

Les modèles de ces turbines sont en tous points semblables à ceux des turbines à réaction et nous n'insisterons pas davantage sur cette classe spéciale.

Pivots

Le pivot est toujours un point très délicat de la turbine.

Dans le cas d'un arbre vertical, il a à supporter le poids des machines et les poussées de l'eau ; dans le cas d'un arbre horizontal, ce sont seulement ces poussées qui le chargent : elles sont souvent très considérables.

Aussi nous attachons-nous à lui assurer un graissage abondant et une surveillance facile.

Nous employons avec les arbres-verticaux, le pivot à lanterne système ARSON *(fig. 51)*.

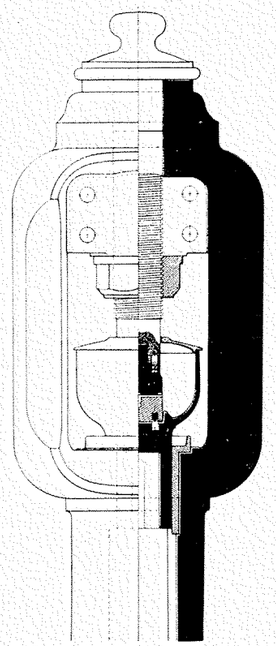


FIG. 51

Un arbre plein, solidement fixé est surmonté d'un gobelet au fond duquel est un grain d'acier. C'est sur ce grain que repose un pivot fileté supportant un arbre creux auquel est fixée la turbine. Le réglage est fait par un écrou que l'on peut facilement manœuvrer grâce à deux larges fenêtres ménagées dans un renflement de l'arbre creux. Ces fenêtres permettent également de retirer et remplacer le grain, le pivot ou le gobelet : il suffit pour cela de soutenir la turbine par un échafaudage.

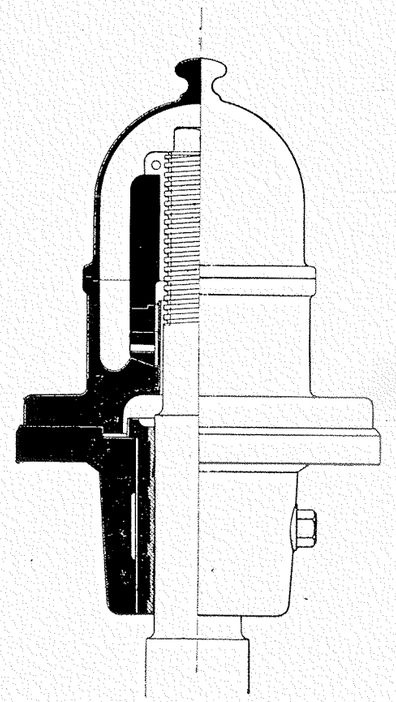


FIG. 52

Le pivot supérieur est sans doute plus coûteux que le pivot inférieur en gaïac, placé sous l'eau, mais ce dernier a le grand défaut de n'être accessible que si l'on vide le canal de fuite, et en outre de s'user très rapidement si l'eau charrie du sable.

Quand la pression sur le pivot n'est pas trop considérable, ni la vitesse

de rotation trop grande, nous employons le pivot annulaire à suspension représenté par la *fig. 52*.

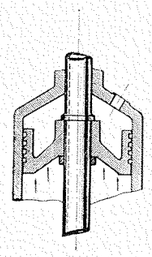


FIG. 53

Lorsque la charge à supporter est trop forte, nous soulageons le pivot par l'emploi d'un piston fixé à l'arbre *(fig. 53)* et sous lequel on admet l'eau sous pression.

Un tuyau d'échappement fixé à la partie supérieure du cylindre dans lequel tourne ce piston permet l'écoulement de l'eau qui suinte entre le piston et son cylindre (1).

Nous construisons aussi les pivots hydrauliques de GIRARD *(fig. 54)*, qui donnent d'excellents résultats et font un très bon usage.

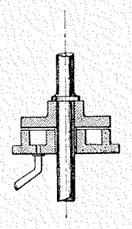


FIG. 54

Un plateau est fixé sur l'arbre ; sous ce plateau est une cuvette annulaire dans laquelle on injecte de l'eau sous pression. Le réglage s'obtient en élevant ou abaissant cette cuvette au moyen de vis disposées à cet effet.

Dans le cas des arbres horizontaux nous employons des pivots-butées à graissage à bague avec grains à rotule ; un palier supporte l'arbre tout près du pivot *(fig. 55)*.

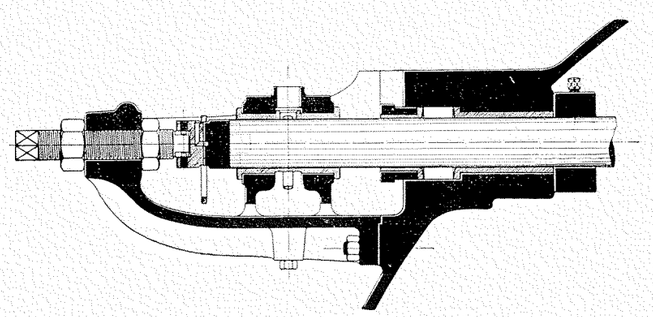


FIG. 55

Dans certains cas spéciaux, nous employons des paliers à cannelures, mais ces derniers sont d'un entretien et d'une visite beaucoup moins faciles que les butées.

(1) Nous combinons quelquefois ce dispositif avec la roue même de la turbine. C'est ce que nous avons réalisé à l'usine de Servoz pour la Compagnie P.-L.-M. (Tractions électrique du Fayet-Saint-Gervais à Chamonix).

Nous avons suivi l'installation d'une chute depuis son point de départ jusqu'à l'usine. Nous connaissons les machines qui doivent l'utiliser ; il nous reste à faire la liaison entre la chute et la turbine.

Dans le cas d'une turbine à chambre ouverte, la chose est forte simple : la turbine est placée dans la chambre d'eau et n'est séparée du canal d'amenée que par une vanne ; une vanne de décharge permet de vider la chambre d'eau.

Dans le cas d'une turbine à huche, une tubulure la relie au collecteur et c'est sur cette tubulure que sont placés les appareils d'arrêt. Ce sont des robinets-vannes ou des papillons.

Un robinet-vanne de vidange est généralement placé au bas de la turbine, destiné à la purger complètement lors d'une visite.

Nous allons examiner rapidement ces différents appareils.

Vannes

Voici quelques dessins ou photographies montrant ce que nous faisons, comme vannes à tabliers, depuis les petites vannes ordinaires, jusqu'aux vannes-barrages.

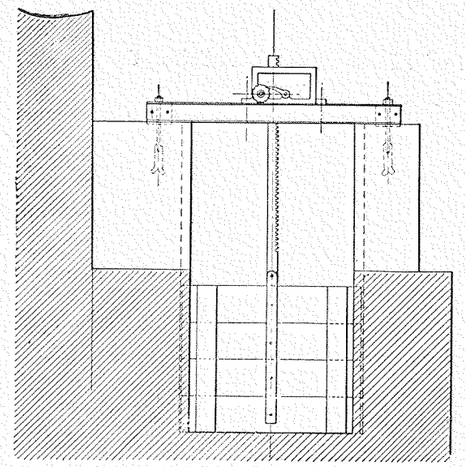
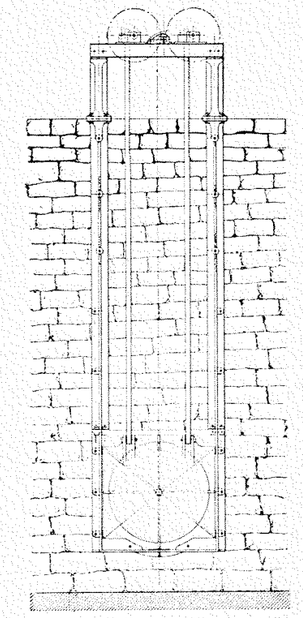


FIG. 56

La *fig. 56* représente une petite vanne à tablier bois.

La *fig. 57* montre une vanne en fonte ; c'est une vanne de décharge, soit de barrage, soit de chambre d'eau, appelée vanne de fond.

Pour les vannes plus fortes, le mécanisme de levage est plus complexe *(fig. 58)* et le tablier ordinairement en tôle.



57

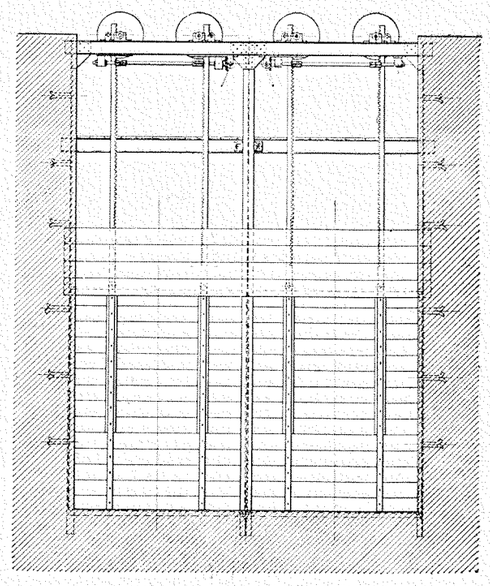
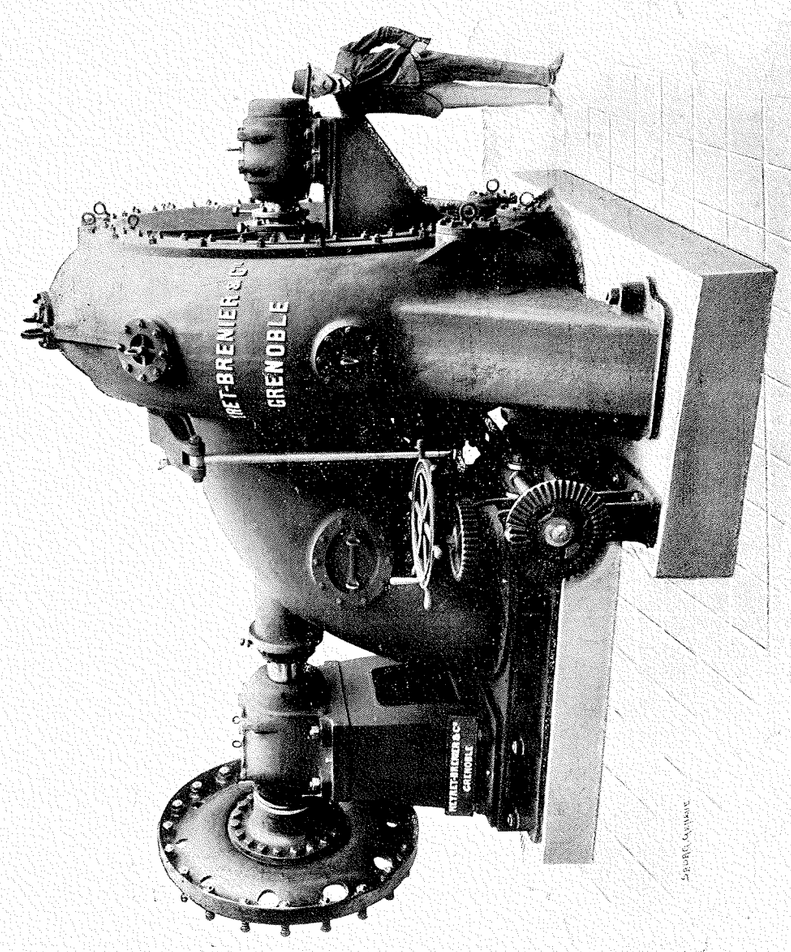
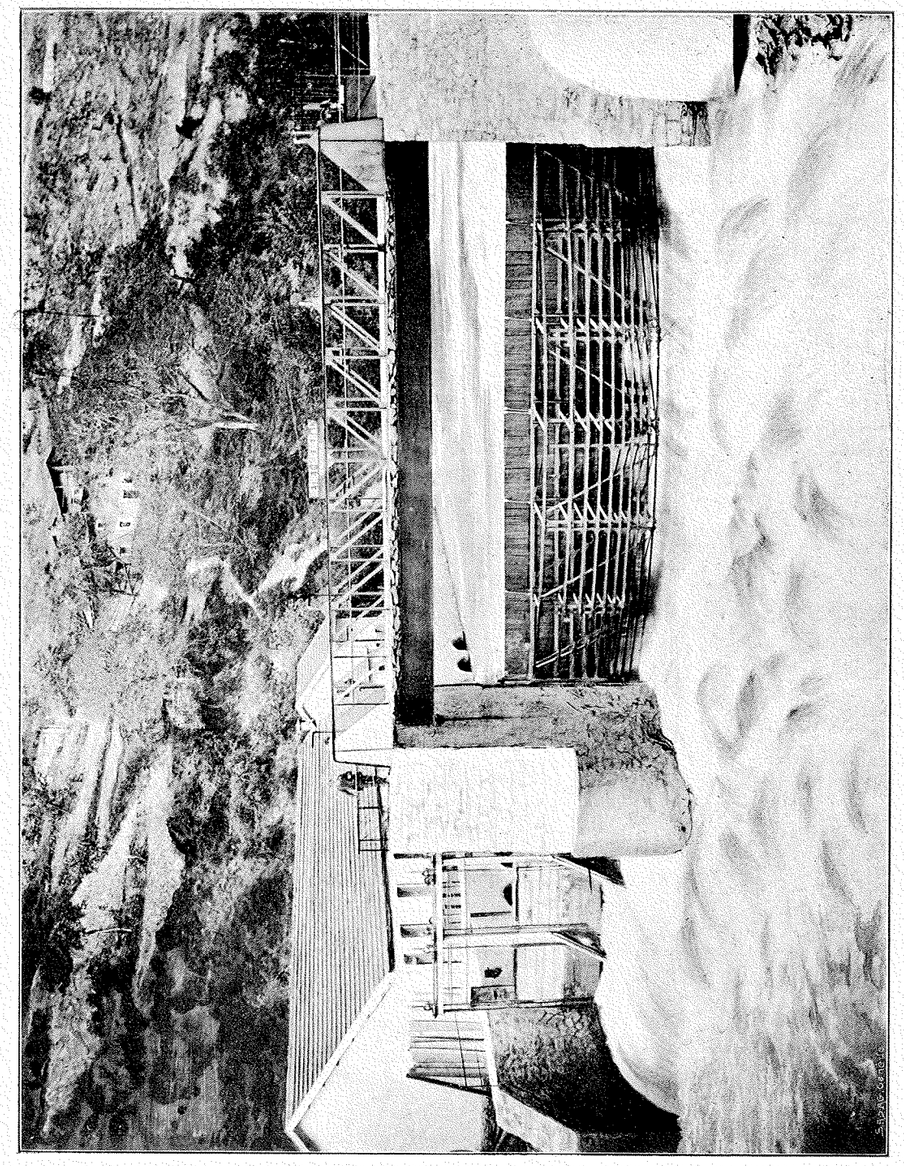


FIG. 58

La *fig. 59* représente une vanne constituant à elle seule le barrage établi sur l'Arc, à la prise d'eau de l'USINE DE LA PRAZ (Savoie) ; elle a 16 mètres de portée et 4 mètres de hauteur. Le tablier en bois est soutenu par une série de fermes métalliques ; l'étanchéité est obtenue par des dispositifs spéciaux, la vanne prenant appui sur des glissières par l'intermédiaire de galets de roulement indispensables pour diminuer l'effort nécessaire au levage.



Turbine de 4.500 HP, sous chute de 115 mètres
Livrée à la Société Ferrière di Voltri, à Darfo (Italie).



VANNE-BARRAGE DE 16 MÈTRES DE LARGEUR A LA PRAZ
FIG. 59

La *fig. 60* représente une vanne-barrage à deux ouvertures ayant chacune 7 mètres par 4 mètres, installée sur l'Arly, à Ugine (Savoie), à la prise

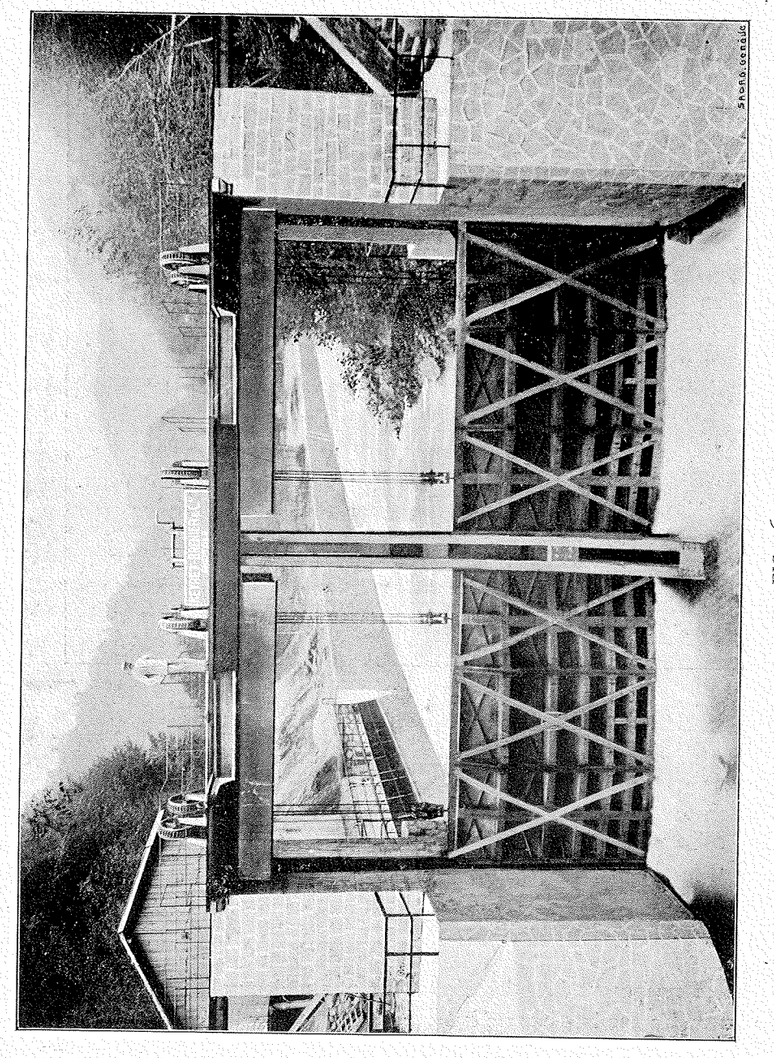


FIG. 60

d'eau de la Société Electro-Métallurgique P. Girod ; la *fig. 61* représente le mécanisme de manœuvre de cette vanne.

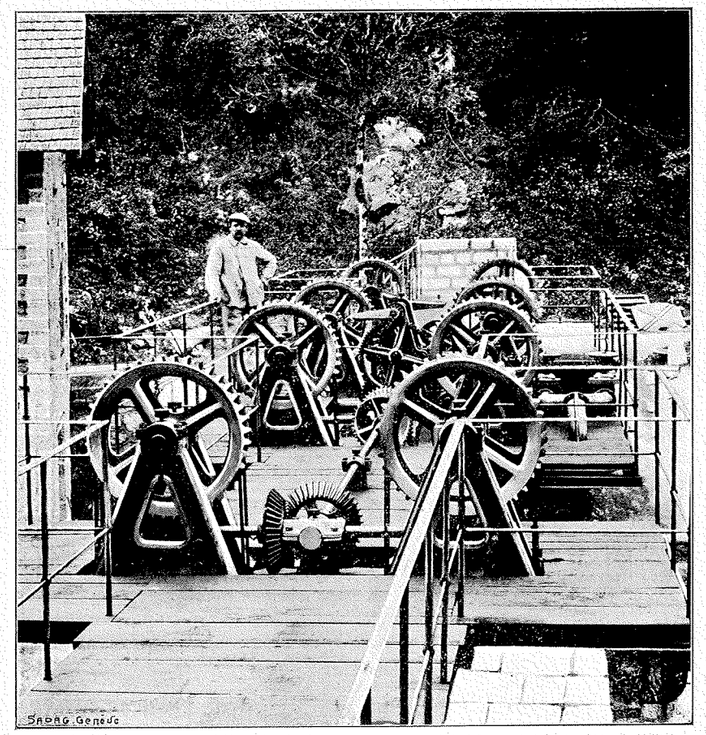


FIG. 61

Robinets-Vannes

Ils se composent d'une lentille coulissant sur deux glissières, et peuvent être intercalés sur le parcours d'une conduite : deux brides servent à les y fixer *(fig. 62)*.

Une petite vannette permet d'établir l'équilibre des pressions des deux côtés de la lentille dont la manœuvre est ensuite relativement facile : néanmoins elle est longue.

Aussi, pour les très hautes chutes, nous construisons des robinets-vannes à manœuvre hydraulique ; la commande peut en être placée en un point quelconque de l'usine, bien à la portée du surveillant : la fermeture ou l'ouverture demande quelques secondes seulement.

Nous ne saurions trop recommander ce système, même pour des chutes qui ne l'exigeraient pas, car en cas d'accident, il permet d'isoler très rapidement l'usine de la conduite et évite ainsi les dangers d'inondation, d'emballement, etc.

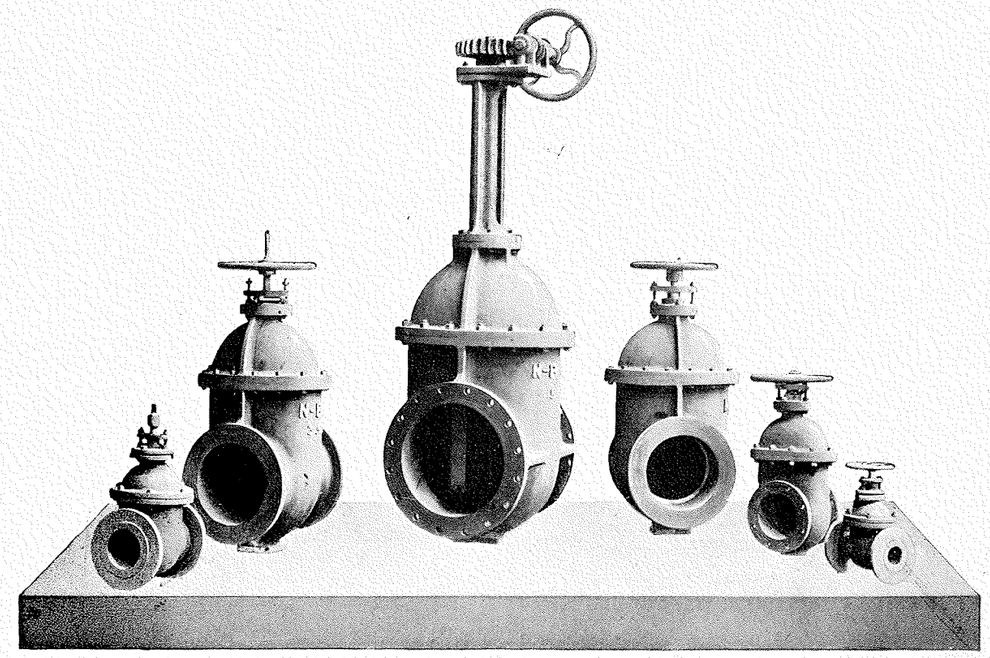


FIG. 62

Nous avons toujours en magasin la série complète des robinets-vannes pour chutes ordinaires : ils sont tous essayés à 15 kilogrammes.

Pour les hautes chutes, jusqu'à 1.000 mètres, nous les construisons sur commande et les essayons au double de la pression qu'ils doivent supporter.

Papillons

Nos papillons sont équilibrés et généralement manœuvrés à bras *(fig. 63)*; néanmoins, nous en construisons aussi à manœuvre hydraulique.

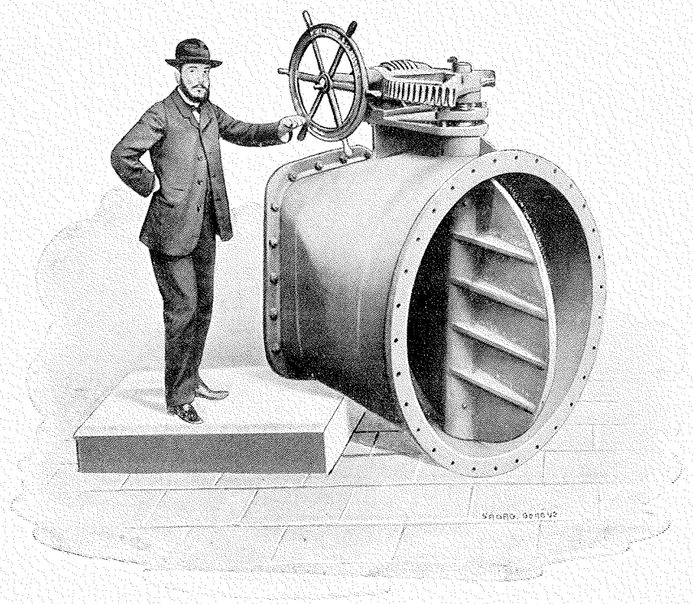


FIG. 63

Régulateurs

L'importance du réglage de la vitesse des turbines s'est surtout fait sentir depuis leur application à la conduite des dynamos, et, en particulier, des alternateurs; dans ces dernières machines, il faut en effet maintenir constante la tension aux bornes, et aussi la fréquence, c'est-à-dire le nombre d'alternances du courant à la seconde; ce nombre est proportionnel à la vitesse.

La condition de constance de la vitesse exige qu'à chaque instant la puissance de la turbine soit égale à la somme des résistances à vaincre. En d'autres termes, il faut, si l'on appelle r le rendement de la machine dans les conditions spéciales où elle travaille, q son débit et h la hauteur de chute effective (déduction faite de toutes les pertes de charge), il faut, disons-nous, que le produit $r \times q \times h$ soit constamment égal à la somme des résistances.

En agissant sur le vannage, on fait varier, suivant le genre de turbine, soit l'une, soit plusieurs des quantités r, q et h, et, par suite, leur produit. C'est donc cet organe qu'il faudra mettre en action pour opérer le réglage.

On emploie, généralement, pour mesurer la vitesse d'une machine, un tachymètre à force centrifuge.

En voici un exemple *(fig. 64)* :

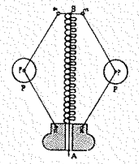


FIG. 64

Un arbre vertical A B, entraîné par la turbine tourne toujours à la même vitesse que celle-ci, ou à une vitesse toujours proportionnelle; des bielles articulées en *m m* sur une traverse fixée à l'arbre A B, en *n n* sur un manchon pesant et en *p p*, sur des boulets P P, supportent ces derniers.

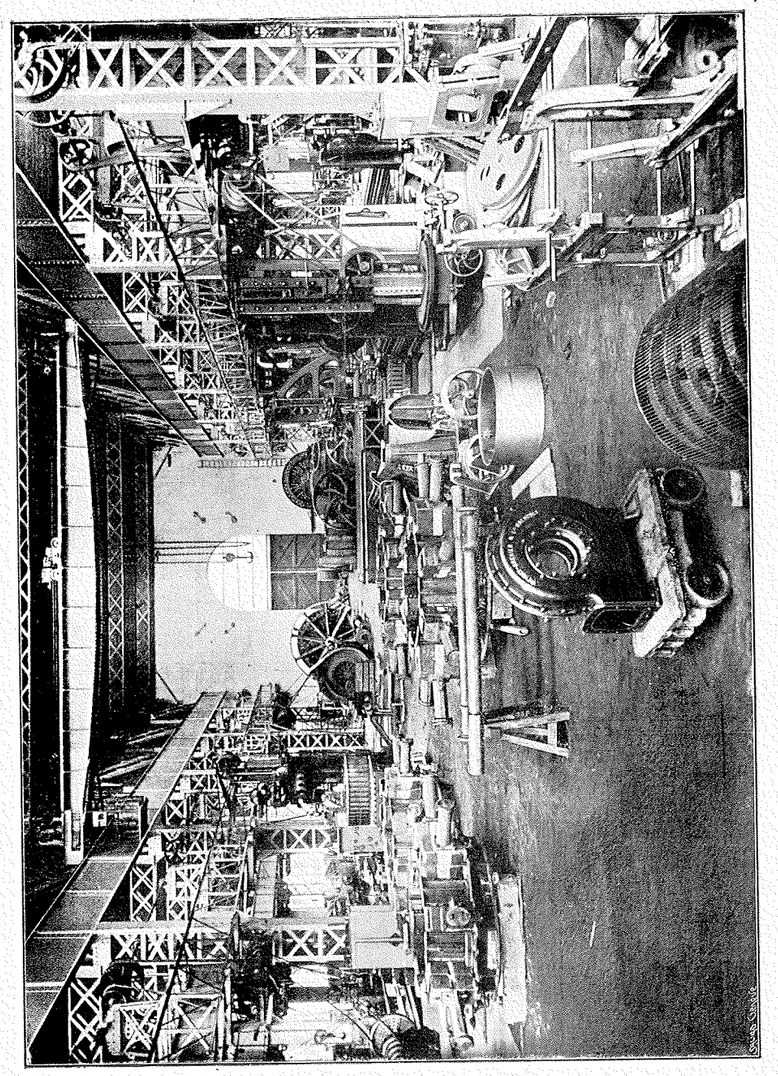
Le manchon peut coulisser le long de l'arbre et est constamment sollicité vers le bas par son propre poids et par un ressort prenant appui sur la traverse.

Lorsque l'arbre A B tourne, sous l'action de la force centrifuge, les boulets P tendent à s'écarter, en soulevant le manchon et comprimant le ressort. Pour chaque vitesse, il y a une position du manchon correspondant à l'équilibre entre son poids augmenté de l'effort de compression du ressort d'une part et les efforts centrifuges d'autre part.

La position du manchon peut donc indiquer à quelle vitesse tourne l'arbre A B, c'est-à-dire celui de la turbine.

Dans le cas des machines à vapeur, les organes à déplacer pour modifier la puissance (tiroirs de lanterneaux, déclics de détentes, etc.), sont suffisamment légers pour qu'on puisse demander au manchon l'effort nécessaire à ce déplacement; l'organe de réglage est directement relié au manchon, et, pour cette raison, le régulateur est dit à **Action directe**.

Dans le cas des turbines, il en est tout autrement; les vannages sont toujours lourds, et leur déplacement exige des efforts souvent considérables; on ne peut pas les faire conduire directement par le manchon du tachymètre. On demande alors la puissance nécessaire à un moteur auxiliaire placé sous la dépendance de celui-ci.



VUE GÉNÉRALE DU HALL DES MACHINES-OUTILS

La *fig. 65* fera bien comprendre ces dispositions, mais nous nous empressons de dire que l'appareil qu'elle représente ne fonctionnerait pas.

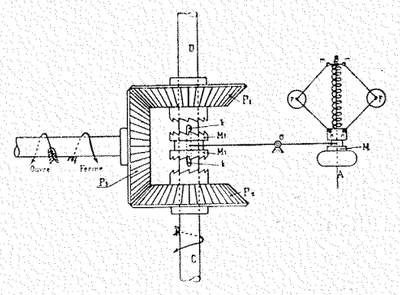


FIG. 65

Le manchon M du tachymètre, par l'intermédiaire d'un levier oscillant autour d'un point fixe O, déplace un manchon d'embrayage à crans, M1, le long d'un arbre C D tournant constamment dans le même sens et entrainant M1, par le prisonnier k k.

Deux pignons d'angle P1 et P2, montés fous sur l'arbre C D, portent des crans correspondant à ceux de M1, en sorte que si M s'abaisse, c'est P1 qui tourne avec l'arbre C D, et si M s'élève c'est P2 qui tourne avec le même arbre.

Donc suivant que M montera, descendra, ou restera à sa position moyenne, le pignon P3, claveté sur l'arbre commandant le vannage, tournera dans un sens ou dans l'autre, ou restera au repos.

Le manchon du tachymètre agit ainsi sur le vannage par l'intermédiaire d'un moteur auxiliaire ou relais moteur que nous venons de décrire ; on dit le régulateur à **Action indirecte**.

La pratique a montré qu'un tel régulateur, au lieu de maintenir constantre la vitesse d'une turbine, affole complètement celle-ci.

M. LÉAUTÉ, le premier (1885), a donné de ce phénomène qu'il appelle *Oscillations à longue période*, une remarquable théorie. Il y établit les conditions particulières que doivent remplir la machine et le régulateur indirect pour que l'ensemble puisse être stable ; ces conditions sont presque inapplicables étant donnés les besoins actuels des usines électriques.

Heureusement, M. J. FARCOT avait montré, bien avant, que l'on peut, en employant un relais-moteur asservi aux indications du tachymètre, c'est-à-dire dont l'amplitude des mouvements est proportionnelle aux déplacements du manchon, manœuvrer les vannages lourds avec la même précision que s'ils étaient conduits directement par le tachymètre.

Dans son livre, le *Servo-Moteur*, publié, en 1873, il signale en effet qu'il a imaginé le moteur asservi, pour la manœuvre des organes de réglage des machines marines, avant de vouloir l'appliquer à la manœuvre rapide et sûre de la barre des gros navires. Il y décrit, d'une façon très nette, outre l'asservissement simple, l'emploi de plusieurs servo-moteurs superposés se commandant l'un l'autre successivement.

C'est donc bien à tort que l'on attribue parfois à l'industrie Suisse le mérite de ces inventions. S'il est vrai que la première turbine à régulateur indirect à servo-moteur ait paru en Suisse en 1885, il ne faut pas oublier que

ce genre d'appareils est né en France, et que si FARCOT en a fait des applications comme moteurs asservis à vapeur quinze ans plus tôt, il n'a pas oublié de signaler, dans son ouvrage, que l'on peut construire des servo-moteurs hydrauliques ou de toute autre espèce; c'est lui qui a fait connaître tous les avantages des servo-moteurs, et, dans les applications qu'on en a faites, on n'a rien changé aux principes qu'il a établis.

Pour montrer en quoi consiste l'asservissement, nous donnerons tout d'abord le schéma de son application au relais-moteur de la *fig. 66*.

L'axe d'oscillation O du levier du tachymètre n'est plus absolument fixe, il est porté par une bielle O R.

L'arbre du vannage porte un filetage sur lequel peut se déplacer un écrou E, qui ne peut pas tourner; lorsque P_3 tourne dans un sens ou dans l'autre, l'écrou E se déplace donc à droite ou à gauche.

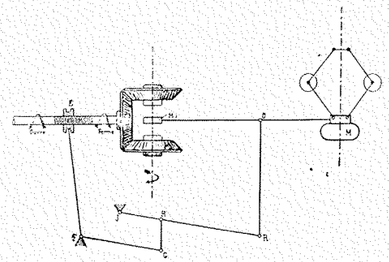


FIG. 66

Le levier coudé E F G, pivoté en F, la bielle G H et le levier J H R, pivoté en J, transmettent par l'intermédiaire de R O les mouvements de l'écrou E à l'axe d'oscillation O.

Faisons abstraction du jeu de l'embrayage, c'est-à-dire supposons que l'embrayage se produise dès que M_1 quitte sa position moyenne, et examinons ce qui va se passer si le manchon M s'élève d'une certaine quantité; M_1 embraye P_2, et P_3 tourne dans le sens de la fermeture; l'écrou E se déplace de droite à gauche, entrainant l'équerre E F G; le point G, ainsi que les points H, R et O s'élèvent; lorsque le point O aura décrit un chemin proportionnel au déplacement du manchon M du tachymètre, le rapport de proportionnalité étant $\frac{M_1\ O}{M_1\ M}$, le manchon d'embrayage M_1 sera évidemment revenu à sa position moyenne, ce qui provoquera le débrayage.

A ce moment, l'écrou E aura aussi effectué un parcours proportionnel à celui de M, et, par suite, le pignon P_3, aura tourné et le vannage aura été fermé dans la même proportion.

Donnons, comme second exemple, l'application de l'asservissement à un relais-moteur hydraulique *(fig. 67)*.

Un piston différentiel P peut se déplacer dans un cylindre, et sa tige T commande directement le vannage. La cavité annulaire J J est en communication constante avec l'eau sous pression par la tubulure P_1; la cavité H peut être mise en communication soit avec l'eau sous pression par la tubulure P, soit avec l'échappement par la tubulure *e*, suivant la position du petit piston-soupape M_1; les pistons N et N_1, reliés à M_1 ont pour but de soustraire tout

l'ensemble N M_1 N_1 à l'action des pressions; cet ensemble forme une soupape équilibrée. Elle est commandée par le levier du tachymètre, dont l'axe d'oscillation O est porté par un tige verticale constamment sollicitée vers le bas par un ressort *r* prenant apppui sur un guidage fixe *g* d'une part, et sur une traverse *t* fixée à la tige d'autre part.

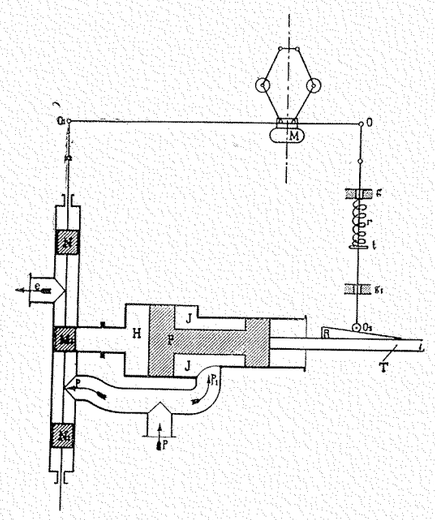


FIG. 67

O O_2 prend appui, par l'intermédiaire du galet O_2 sur une rampe R portée par la tige du piston P.

A la simple inspection de la figure, on voit que cet appareil constitue un relais-moteur asservi au manchon M du tachymètre.

Si, à cause des frottements, le déplacement de la soupape équilibrée est trop dur, M. FARCOT nous a montré que rien n'est plus facile que de la commander par un second servo-moteur de plus faible puissance, dont la soupape, extrêmement douce à manœuvrer, sera sous la dépendance directe du manchon M.

C'est ce que l'on exécute effectivement pour les servo-moteurs très puissants des régulateurs des grosses turbines.

Nous voici donc en mesure de faire pour les turbines, des régulateurs, indirects à servo-moteurs, agissant exactement comme les régulateurs directs des machines à vapeur, avec cet avantage qu'on n'a pas de variation périodique de vitesse par tour, comme cela a lieu avec ces dernières machines.

Mais les régulateurs directs ont un défaut qu'ils comuniquent naturellement aux régulateurs indirects, à servo-moteurs; l'ensemble Machine-Régulateur est d'autant moins stable que la machine est moins chargée.

M. MINEL a montré comment on peut rémédier à ce défaut pour les machines à vapeur, par les formes des valves d'admission.

De patientes recherches théoriques nous ont permis, dans le cas des régulateurs indirects à servo-moteurs, de résoudre le même problème, et l'expérience a confirmé nos calculs.

En sorte que nous pouvons offrir à nos clients des régulateurs d'une stabilité parfaite et d'une très grande sensibilité.

Pour les grandes stations de distribution électrique, nous munissons nos régulateurs de dispositifs spéciaux, permettant de coupler avec la plus grande facilité les alternateurs en parallèle, de passer la charge d'une machine à l'autre, etc....

En outre, depuis quelques années, nous munissons nos régulateurs à servo-moteurs mécaniques ou hydrauliques d'un compensateur (analogue au compensateur Denis) qui maintient constante la vitesse normale de réglage quelle que soit la charge de la turbine. Ceci n'a pas lieu avec les régulateurs ordinaires qui règlent toujours à une vitesse d'autant plus élevée que la machine est moins chargée ; la différence des vitesses entre la marche à vide et la marche en charge atteint alors généralement 4 à 5 %, soit 2 à 2·5 % en plus ou moins, relativement à la vitesse normale. Avec notre compensateur, la vitesse de réglage est la même à vide qu'à pleine charge.

VANNES COMPENSATRICES OU DECHARGEURS

Lersqu'on emploie des régulateurs pour maintenir constante la vitesse des turbines alimentées par de longues conduites, on peut craindre que l'action brusque de ces appareils soit cause de quelque accident ; ceux-ci sont de deux sortes :

1° Lors d'une fermeture brusque du vannage, il se produit dans la conduite une surpression qu'on appelle un coup de bélier, et qui peut la faire sauter.

2° Lors d'une fermeture ou d'une ouverture brusques du vannage, il se produit dans la conduite, soit une surpression soit une dépression qui, changeant momentanément la valeur de la chute, sous laquelle travaille la turbine, rendent le rôle du régulateur plus difficile, et peuvent l'affoler. Ce phénomène est surtout gênant lorsqu'on a plusieurs turbines branchées sur la même conduite ; le fonctionnement du régulateur de l'une d'elles rend très pénible le fonctionnement des régulateurs des autres.

On a employé plusieurs moyens pour obvier à ces inconvénients.

Les américains ont préconisé l'emploi de la « *Cheminée d'Equilibre.* » C'est une conduite verticale du diamètre de la conduite d'amenée branchée sur celle-ci tout près de l'usine et ayant pour hauteur la hauteur de la chute ; lors d'une variation de débit, ce dispositif diminue bien un peu la variation de pression concomittente, mais ce n'est là qu'un palliatif applicable seulement aux chutes faibles et moyennes.

Un meilleur moyen est l'emploi des **Vannes compensatrices**, appelées encore **Déchargeurs** : ils sont de deux sortes :

1° Ceux qui maintiennent constant le débit de la conduite quel que soit le degré d'ouverture des vannages des turbines.

2° Ceux qui n'ont pour but que d'éviter la production des surpressions ou coups de bélier.

Les premiers sont les simples et les meilleurs, car dans le cas d'une usine comportant plusieurs turbines, le fonctionnement du régulateur de l'une d'elles, soit pour ouvrir, soit pour fermer, ne peut en aucune façon apporter des perturbations dans la marche des autres.

Ils consistent, en principe, en une vanne conduite par le régulateur, et construite de telle façon que lorsque le vannage de la turbine se déplace et en fait varier le débit, elle se déplace aussi et fait varier son propre débit de la même quantité, mais en sens inverse ; le régime de la conduite est donc constant.

Le seul reproche que l'on puisse faire à ces déchargeurs est de ne pas économiser l'eau ; mais c'est un grief généralement plus apparent que réel, car, pour une usine située sur un cours d'eau, il n'y a pas d'économie d'eau possible ; ce qui ne passe pas dans les turbines doit passer au déversoir de la chambre d'eau, de telle sorte que le débit du cours d'eau en aval soit constant, pour ne pas gêner les industriels établis en dessous.

Si le cours d'eau est à régime variable et si une ou plusieurs turbines de l'usine ne doivent pas fonctionner à plein débit, il est très facile de régler leurs déchargeurs pour leur débit maximum.

Il n'y a qu'un cas où l'économie d'eau aux déchargeurs ait une utilité réelle, c'est celui d'usines alimentées par des lacs ou des réservoirs quelconques. Alors on devra employer les déchargeurs du deuxième système.

Ceux-ci sont sans action lors de l'ouverture du vannage de la turbine ; ils n'évitent donc pas les dépressions ou coups de bélier négatifs dans la conduite ; mais lorsque le régulateur ferme brusquement le vannage de la turbine, il ouvre aussi brusquement la vanne du déchargeur de la même quantité ; cette vanne se referme ensuite très lentement, ce qui évite les coups de bélier ; ils protègent la conduite, font l'office de soupapes de sûreté, mais ne permettent pas le réglage d'une turbine sans amener des perturbations dans le réglage des autres turbines de l'usine. Ils sont donc plus compliqués, plus onéreux et moins actifs que les précédents, mais leur emploi s'impose dans certains cas, faute de mieux.

Enfin, nous construisons encore un troisième genre de régulateurs de pression (on désigne souvent ainsi les déchargeurs), qui n'est plus sous la dépendance du régulateur de vitesse, la pression de la conduite agit pour bander plus ou moins un ressort taré d'avance ; dès qu'une surpression lui fait subir une variation de longueur, la vanne compensatrice qui lui est asservie subit un déplacement proportionnel. C'est, somme toute, une soupape de sûreté à servo-moteur. Pas plus que les déchargeurs du second système, celui-ci n'évite les dépressions.

Chacun de ces systèmes de déchargeurs a ses avantages et ses inconvénients, et, dans chaque cas particulier, un choix judicieux s'impose.

La *fig. 68* représente un turbine hélico-centripète double avec déchargeur.

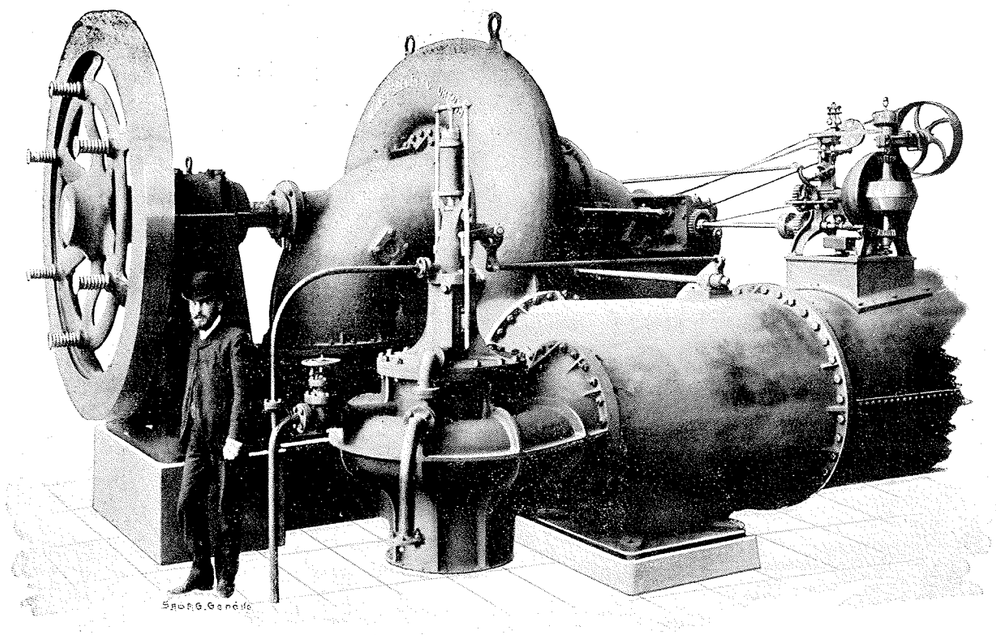


FIG. 68

REGULATEURS-ABSORBEURS

En dehors des régulateurs proprement dits, proportionnant constamment le couple moteur au couple résistant, on peut imaginer des machines servant à maintenir constante la vitesse d'un moteur, en rétablissant à chaque instant le couple résistant à une valeur fixe: lorsque la résistance utile diminue, ce genre de régulateurs oppose à la turbine une résistance passive qu'il fait varier de la même quantité, mais en sens inverse de la variation de la résistance utile. On les appelle des **Régulateurs-Absorbeurs**. Nous les construisons très simplement de la façon suivante :

La turbine actionne une pompe à circulation qui puise de l'eau dans une bâche et la rend au même réservoir, en lui faisant traverser un orifice réglé par un tachymètre : c'est donc le débit au refoulement qui varie, et, par suite, la charge de la turbine augmente ou diminue en même temps que la vitesse qu'on arrive ainsi à maintenir dans des limites très resserrées.

Nous donnons ci-après quelques spécimens de nos régulateurs.

Les *fig. 69* et *70* représentent nos deux types de régulateurs à servo-moteur mécanique avec compensateur.

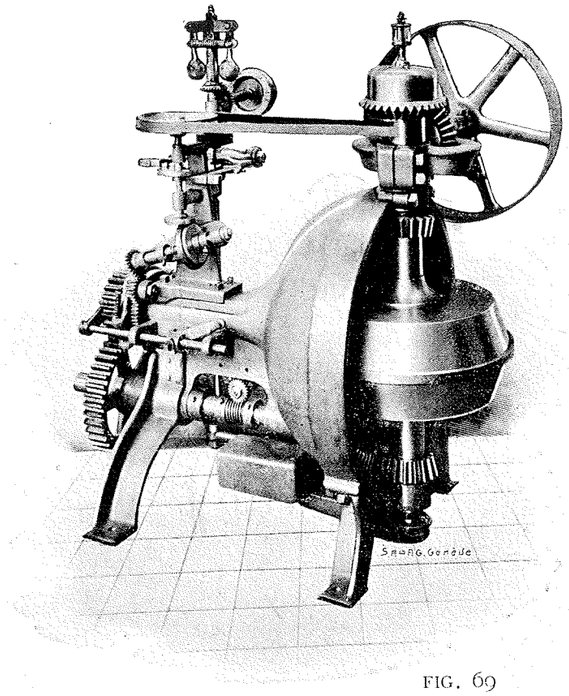


FIG. 69

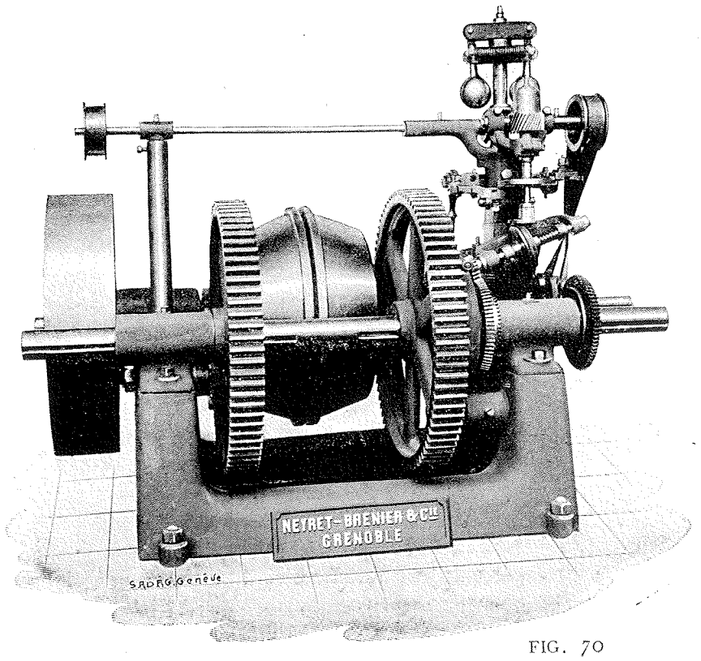


FIG. 70

Le régulateur représenté par la *fig. 70* est un appareil très puissant que nous employons dans les cas où le vannage à manœuvrer est très lourd.

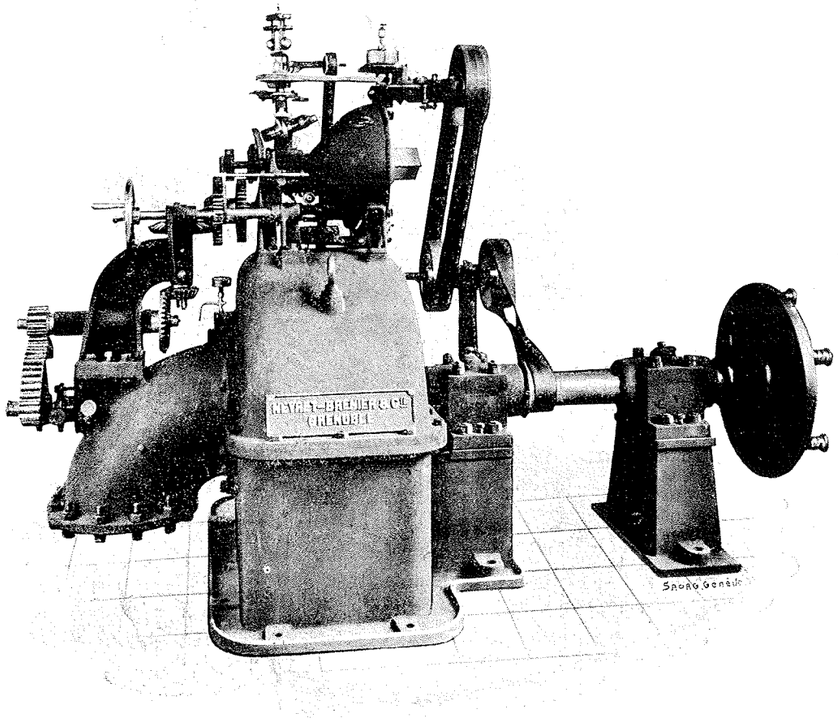


FIG. 71

La *fig. 71* représente une turbine Girard munie d'un régulateur à servo-moteur mécanique.

La *fig. 72* montre une turbine centripète à directrices mobiles pourvue d'un régulateur à servo-moteur hydraulique, sans vanne compensatrice.

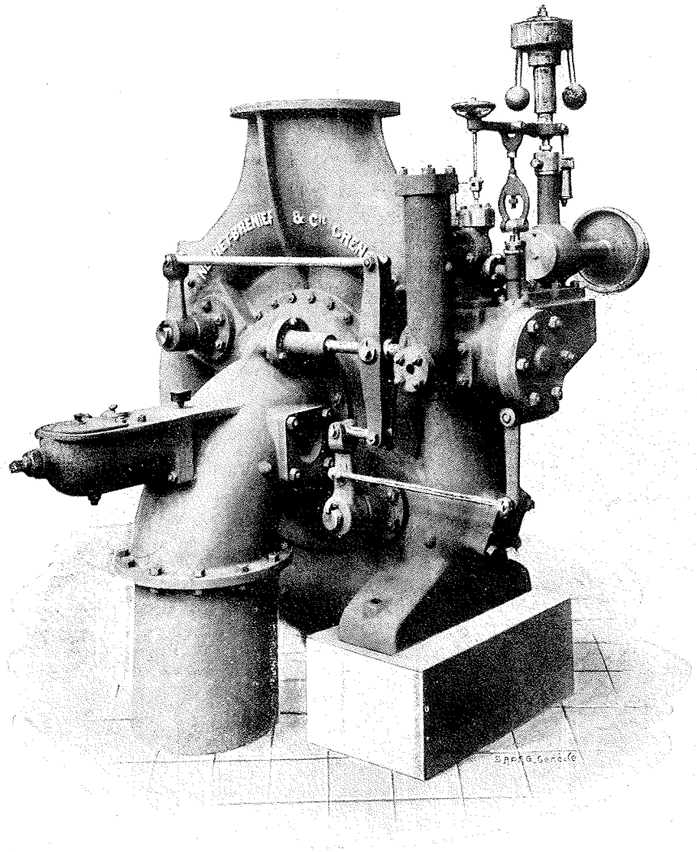


FIG. 72

La *fig. 73* fait voir l'ensemble d'une turbine de 1.500 chevaux gouvernée par un régulateur à servo-moteur hydraulique ; c'est un groupe de l'usine

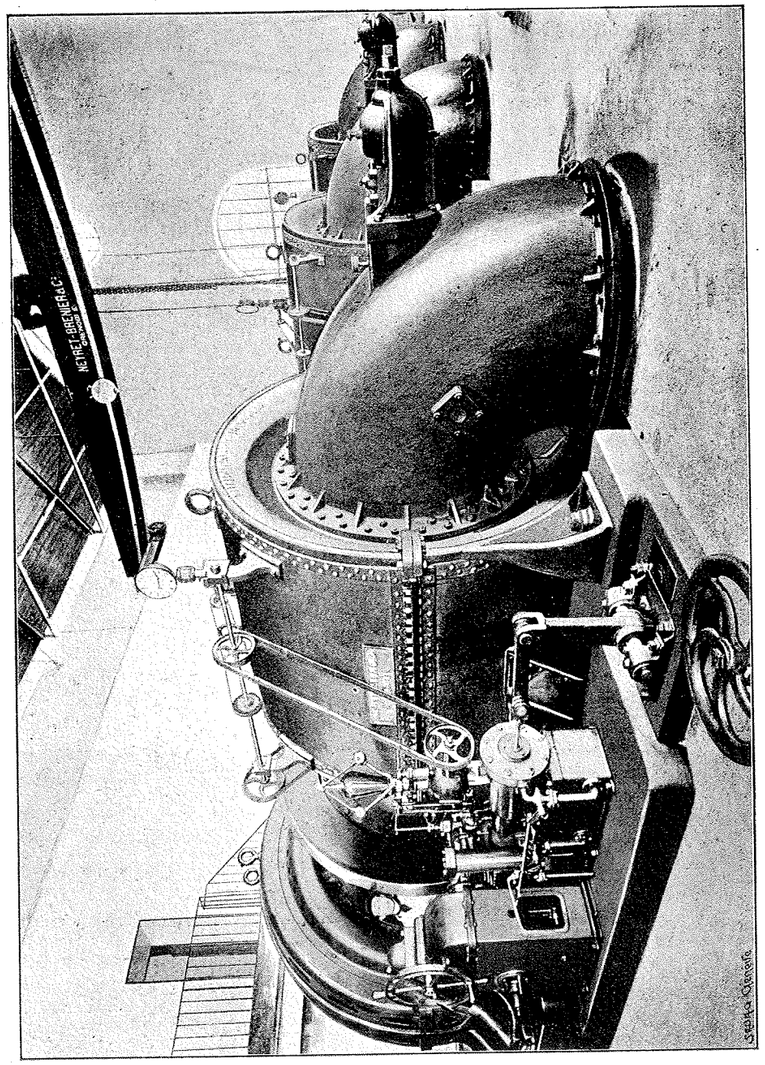


FIG. 73

de la SOCIÉTÉ HYDRO-ÉLECTRIQUE DE FURE ET MORGE, au Pont de Champ. La conduite d'amenée d'eau, construite partie en ciment armé, partie en tôle,

a 3m300 de diamètre et près de 6 kilomètres de longueur.

Avec un pareil volume d'eau en mouvement, il fallait craindre les coups de bélier : Aussi le régulateur commande, par le levier que l'on voit au premier plan, une vanne compensatrice simple.

La *fig. 74* est la reproduction d'une courbe de vitesse de la machine relevée au cinémomètre enregistreur pendant une journée. On voit que notre régulateur limite les écarts de vitesse à moins de 2 % en plus ou en moins, dans la marche courante. Nous ne construisions pas encore à ce moment les régulateurs à compensateur.

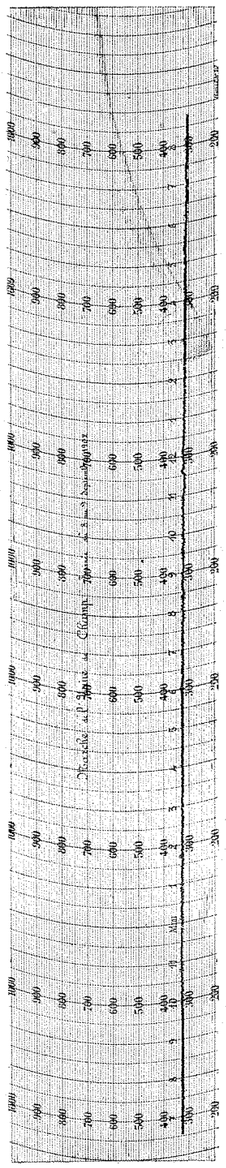


FIG. 74

La *fig. 75* représente une turbine à libre déviation GIRARD, placée sous une chute de 360 mètres, conduisant une génératrice pour la traction électri-

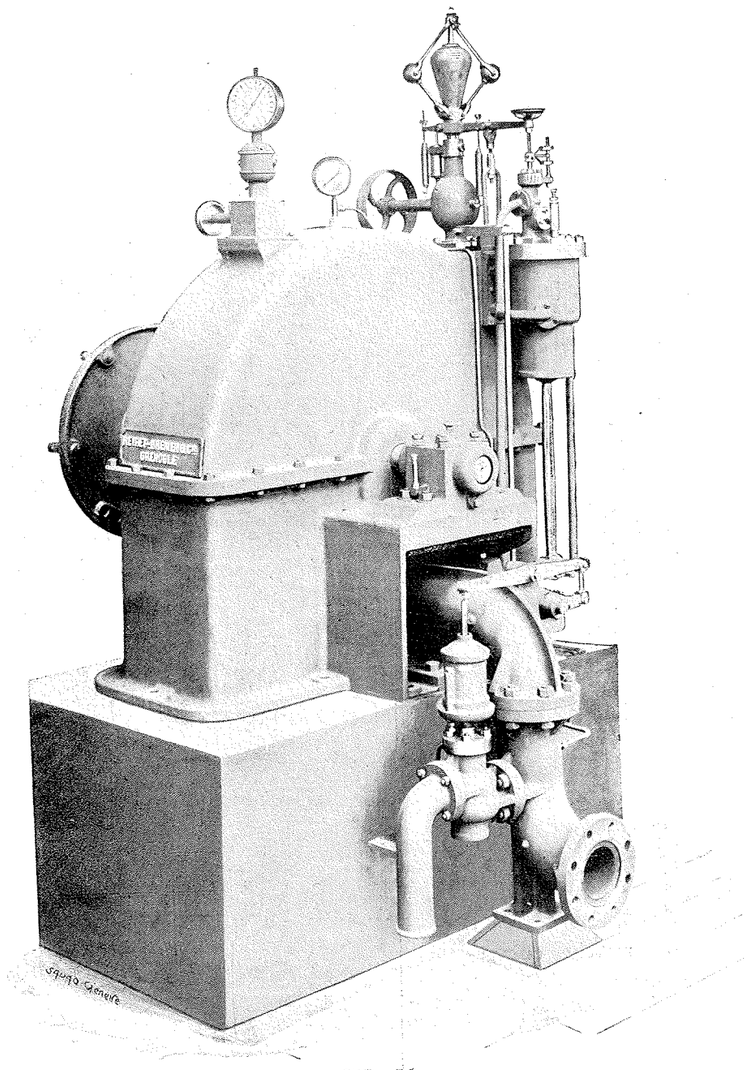


FIG. 75

que sur le réseau des Voies Ferrées du Dauphiné. Elle est gouvernée par un régulateur à servo-moteur hydraulique.

La *fig. 76* représente une turbine du même genre installée sous chute de 560 mètres.

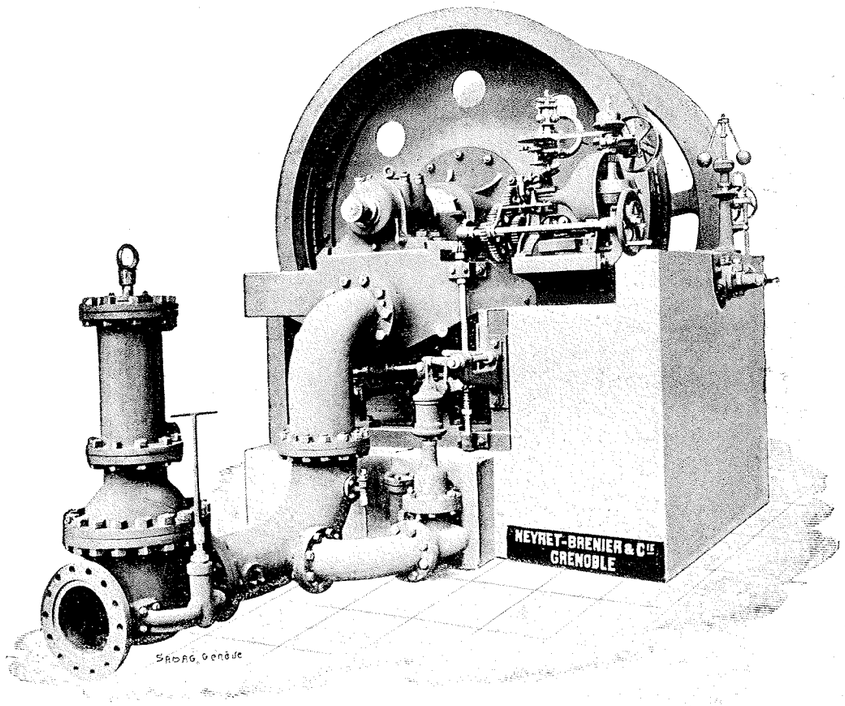


FIG. 76

Turbine de 1.500 HP, à 375 tours. Chute : 560 mètres.

Livrée à la Société Hydro-Electrique de Fure et Morge, à St-Pierre-de-Mésage (Isère)

Elle est gouvernée par un régulateur à servo-moteur mécanique.

Les deux *fig. 75* et *76* sont des turbines munies d'un déchargeur à fermeture lente.

La turbine représentée par la *fig.* 77 est munie d'un régulateur à servo-moteur hydraulique à deux relais, avec compensateur.

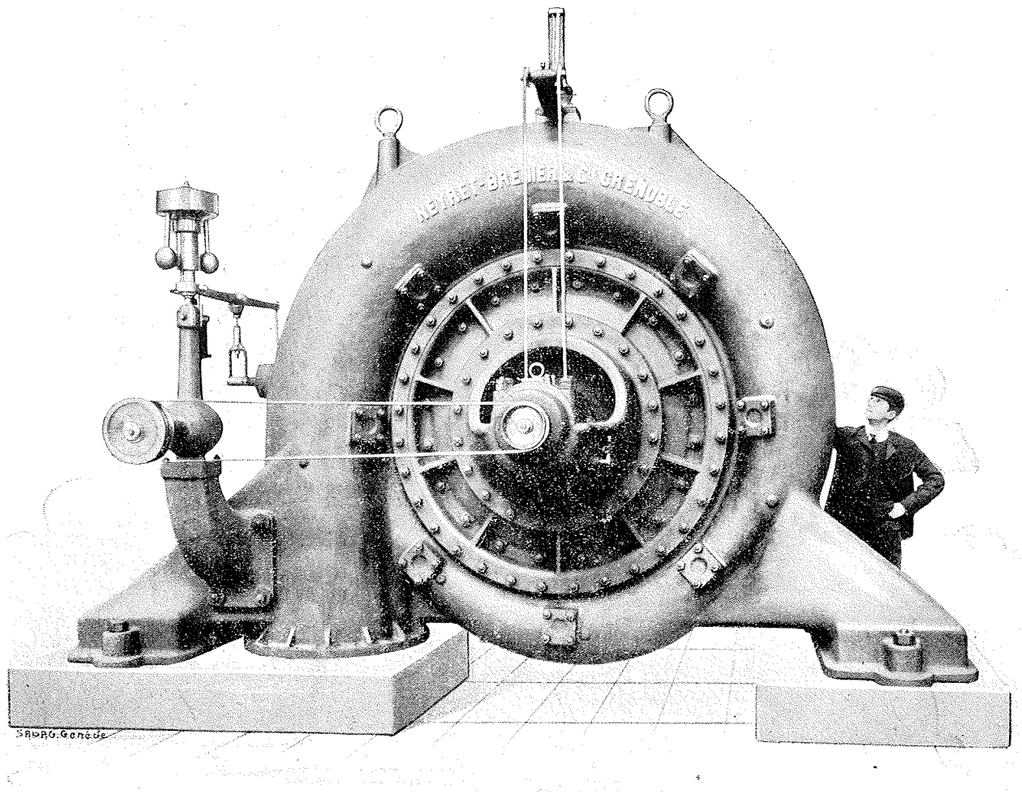


FIG. 77

Turbine de 1.700 HP, à 375 tours, Chute : 94 mètres.
Livrée à la Cie des Chemins de fer P.-L.-M, Usines des Chavants, près Chamonix

Sur la *fig.* 78, qui montre l'ensemble de l'usine de la SOCIÉTÉ DES FORCES MOTRICES DU HAUT-GRÉSIVAUDAN, à Pontcharra, on voit au premier plan, à gauche, une vanne compensatrice à soupape.

Deux des groupes sont munis de régulateurs à servo-moteurs mécaniques, et les deux autres, de régulateurs à servo-moteurs hydrauliques.

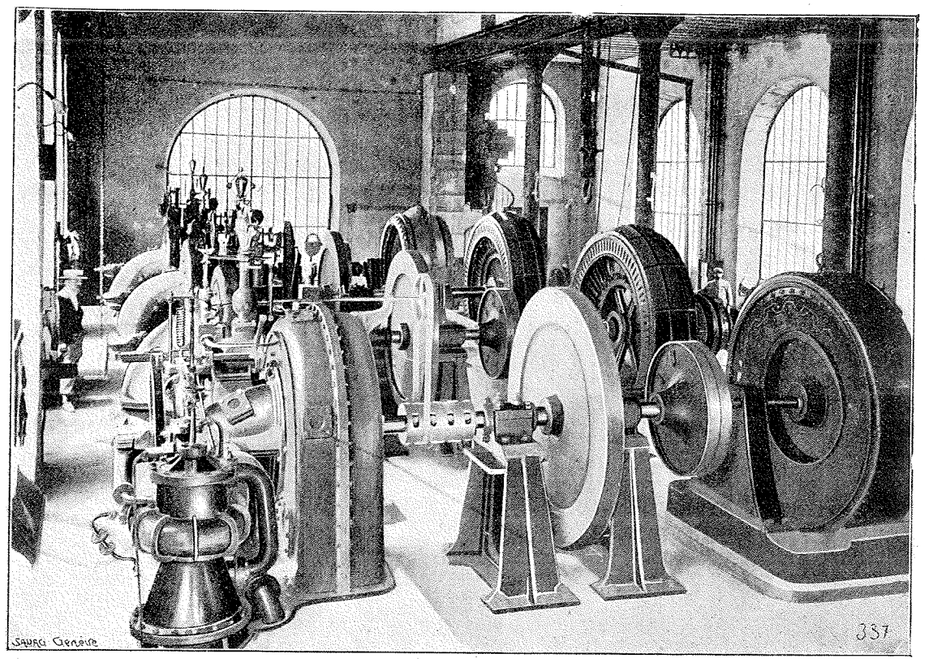


FIG. 78

Manchons d'Accouplement

Dans la plus grande majorité des cas, du moins toutes les fois que la chose est possible, on relie directement la turbine à la machine qu'elle doit conduire, par un manchon d'accouplement.

Sans vouloir ici insister sur ces appareils, nous indiquerons cependant qu'on peut les diviser en deux classes : les accouplemnts rigides et les accouplements élastiques.

Les premiers établissent une liaison absolue entre l'arbre de la turbine et celui de la machine conduite ; ils exigent naturellement que ces arbres soient *parfaitement* en ligne, et de plus, ils forcent la roue mobile de la turbine à participer au va-et-vient continuel, dans le sens de l'axe de la pièce tournante de la dynamo : c'est là un inconvénient très préjudiciable à la conservation des butées.

Aussi emploie-t-on généralement les accouplements élastiques qui, au

contraire, peuvent permettre un léger défaut dans le montage en ligne et, surtout, ne font pas participer la turbine au jeu latéral de la dynamo.

Nous en construisons de différents systèmes, mais nous n'attirerons ici l'attention de nos lecteurs que sur le **Manchon d'accouplement élastique à cordage moufflé** *(fig. 79 et 80).*

Le lien ordinaire des accouplements élastiques est soit le caoutchouc, soit une courroie de cuir. Le premier a l'inconvénient de coûter fort cher et d'être rapidement mis hors de service, quant à la seconde, son agraffage est toujours long et pénible.

Le manchon à cordage moufflé évite ces défauts, et sa construction simple et robuste en fait un appareil dont le bon et long fonctionnement est certain.

En voici la description :

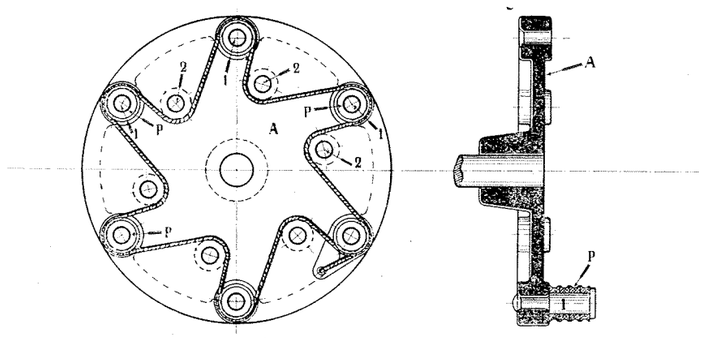


FIG. 79

Un plateau A *(fig. 79)* est monté à l'extrémité d'un des arbres à réunir Il porte une série de tourillons 1 1..... sur les lesquels peuvent tourner des galets P. Le deuxième arbre porte un plateau tout semblable, mais les tourillons sont répartis sur une circonférence de diamètre moindre ; ils sont projetés sur la figure en 2,2..... Puis un cordage est passé sur les poulies alternativement en dessus et en dessous. Les extrémités de ce cordage sont fixées l'une à un plateau, l'autre au second.

Les montages et démontages sont ainsi rendus extrêmement faciles, et, de plus, en faisant varier le nombre des brins, on peut faire travailler le cordage à un taux aussi faible qu'on le veut et obtenir ainsi la sécurité qu'on désire.

Nous avons fait de nombreuses applications de ce système de manchons d'accouplement et parmi nos principaux clients qui en font usage nous citerons seulement :

La SOCIÉTÉ FERRIERE DI VOLTRI à Darfo (Italie), (4.500 HP à 360 tours).

Les USINES DE RIOUPEROUX, à Rioupéroux (Isère) (850 et 200 chevaux, à 425 tours) ;

La SOCIÉTÉ HYDRO-ELECTRIQUE DE FURE ET MORGE ET VIZILLE, à St-Pierre-de-Mésage (Isère) (1.500 HP., à 375 tours) ;

La SOCIÉTÉ HYDRO-ELECTRIQUE DE VIZILLE, à Mésage (Isère) (900 HP., à 300 tours) ;

La SOCIÉTÉ DU LAC DE GUÉRY, au Mont-Dore (230 HP., à 500 tours) ;

La SOCIÉTÉ DES USINES DU CASTELET, à Ax-les-Thermes (760 HP., à 600 tours) ;

La SOCIÉTÉ BITERROISE DE FORCE ET LUMIÈRE, à Truscas (500 HP., à 500 tours) ;

La COMPAGNIE UNIVERSELLE D'ACÉTYLÈNE, aux Clavaux (1300 HP., à 375 tours) ;

La COMPAGNIE ELECTRIQUE DE LA LOIRE, à Pont-de-Lignon (1000 HP., à 375 tours) ;

LA SOCIÉTÉ ELECTRO-CHIMIQUE DE TERUEL, à Reus (Espagne), (540 HP., à 450 tours) ;

LA SOCIÉTÉ ANONYME WESTINGHOUSE, à Mésage (Isère) (265 HP., à 610 tours) ;

MM. MATUSSIÉRE FILS ET FOREST (pour accouplement de turbines et de défibreurs à pâte de bois, puissance transmise : 400 HP., à 180 tours).

Etc...., etc....

Toujours nos manchons d'accouplement à cordes, ont donné satisfaction à nos clients, à tous points de vue : sécurité, robustesse et simplicité.

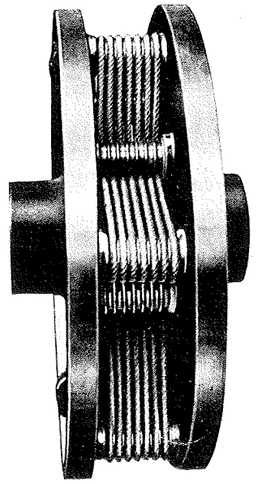


FIG. 80

Renseignements à fournir pour l'Etablissement d'un Devis

1° — Quel est le débit à utiliser?

2° — Ce débit est-il constant ou variable; dans ce dernier cas indiquer :

a Son maximum à utiliser;

b La durée de ce maximum;

c Son minimum;

d La durée de ce minimum;

3° — Quelle est la hauteur de chute, c'est-à-dire la différence de niveau entre les plans d'eau amont et aval?

4° Cette chute est-elle constante ou variable; dans ce dernier cas, indiquer :

a Son maximum à utiliser;

b La durée de ce maximum;

c Son minimum;

d La durée de ce minimum;

5° — Dans le cas où l'eau doit être amenée à la turbine par une conduite forcée :

a Si cette conduite existe, quel est son diamètre et quelle est sa longueur; donner le nombre et les valeurs angulaires des coudes.

b Si cette conduite est à créer, donner un lever topographique à grande échelle indiquant le tracé que l'on veut suivre.

6° — Que doit actionner la turbine?

7° — Quelle est la vitesse de la machine ou de la transmission actionnée par la turbine?

8° — Que est le sens de la rotation?

9° — Quelle est la cote du sol de l'usine par rapport au niveau aval?

10° — Si la turbine doit être installée dans des bâtiments existants, donner les plans et coupes de ces bâtiments à l'emplacement projeté de la turbine.

11° — Si l'on doit faire une construction neuve, donner sa situation par rapport au cours d'eau.

IMPRESSIONS
D'ART
J. DARDELET
GRENOBLE