

sentent des projets bizarres (1) pour que, en présence d'études bien complètes et de marchés sagement compris, elle mette une certaine souplesse dans leur application.

Paul BOUGAULT

Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

TURBINE A VAPEUR ET GROUPES ÉLECTROGÈNES

Système Brown Boveri-Parson's.

L'étude que ce titre annonce parait sortir du cadre de cette Revue, uniquement consacrée aux applications des forces motrices hydrauliques; pourtant, l'appareil dont nous voulons nous occuper ayant, en certains cas, sa raison d'être à côté des moteurs hydrauliques, nous estimons que sa description ici n'est pas déplacée.

Le cas suivant ne se présente-t-il pas quelquefois? Une usine génératrice a été installée pour fournir de l'énergie à une clientèle déterminée; celle-ci s'accroît et demande une fourniture plus importante; mais l'usine est limitée par la puissance de la chute qui l'alimente: pour faire face aux nouveaux besoins, force lui est de recourir à la machine à vapeur; la Houille noire doit venir en aide à la Houille blanche!

Cette solution, qui modifie assez profondément l'économie d'une telle exploitation, n'est jamais admise sans difficultés et l'une des moins négligeables réside dans l'obligation d'agrandir les locaux, de diviser les salles de machines par l'adjonction d'annexes spéciales aux moteurs à vapeur. On cherche donc, autant que possible, à se servir de machines peu encombrantes, pouvant être logées dans l'espace disponible à côté des groupes électrogènes existants.

On a également intérêt à choisir les plus simples de ces machines, non pas tant à cause de leur moindre coût d'acquisition et des divers avantages qu'elles peuvent offrir au point de vue thermo-dynamique qu'en raison de leur plus facile conduite, ce qui évite d'avoir à employer un nouveau personnel.

Or, les appareils qui satisfont le mieux à ces exigences, sont les turbines à vapeur. Sous le rapport des consommations, elles sont, plus ou moins justement, réputées inférieures aux moteurs perfectionnés à allure lente, employés aujourd'hui — nous y reviendrons tout à l'heure; quoiqu'il en soit, dans des cas comme celui qui nous occupe, nous croyons que des conditions d'emploi assez particulières doivent motiver une préférence à leur égard et, souvent, déterminer leur adoption. D'ailleurs, certains types de turbines ont actuellement fait leurs preuves et, à en juger par le nombre d'unités en service en France et surtout à l'étranger, il faut croire qu'ils possèdent des avantages qualifiés.

(1) Voir à ce sujet le refus par le Conseil d'Etat de laisser créer par la ville de Roubaix une pharmacie municipale. *Revue générale d'administration*, 1894, tome 3, p. 435; Sirey, 1901, 3,41; Interpellation de Jules Guesde à la séance de la Chambre des Députés du 20 novembre 1894, etc.

Le problème de la machine à vapeur rotative *simple*, cherché comme on le sait, depuis longtemps, est maintenant résolu par deux types de turbines dites: les unes à *action*, les autres à *réaction*.

Les premières, dont la turbine de Laval est le modèle le plus connu, utilisent la force vive de la vapeur qu'une brusque détente anime d'une vitesse énorme. Aussi, les moteurs appartenant à ce type, tournent-ils parfois à 30.000 tours par minute, réalisant des vitesses à la périphérie de 330 mètres par seconde; leur mécanisme est nécessairement d'une grande précision, mais, pour la commande des machines, ils ont l'inconvénient de nécessiter des réducteurs de vitesse qui diminuent les rendements et s'usent assez vite.

Dans les turbines à réaction, auxquelles appartient le système Brown Boveri-Parson's, la vapeur travaille sous pression et en passant de la pression initiale à celle d'échappement par une détente progressive. Il en résulte que les vitesses engendrées sont relativement faibles, au maximum 4.000 tours par minute, avec 80 mètres par seconde à la périphérie, et que l'attelage de ces moteurs avec les machines commandées peut se faire directement.

*
**

La turbine Brown Boveri-Parson's se compose essentiellement:

1° D'une partie mobile, formée d'un arbre horizontal en acier, reposant sur deux paliers à ses extrémités et qui présente des diamètres successivement croissants, constituant ainsi les cylindres A. B. C.;

2° D'une enveloppe fixe, en fonte, composée de deux pièces assemblées suivant des joints latéraux dans un plan horizontal et qui forment des manchons creux ayant des sections correspondantes à celles des cylindres A. B. C.;

3° De couronnes d'aubages ou ailettes, en bronze, occupant l'espace réservé à cet effet entre la partie tournante et l'enveloppe fixe et disposées alternativement sur l'un et sur l'autre de ces organes, de telle façon que les couronnes d'aubes de l'arbre passent entre celles de l'enveloppe; ces ailettes, affectant la forme de petites tuiles, sont fixées normalement aux parois des cylindres et des manchons; celles qui sont mobiles, ont le dos tourné dans le sens du mouvement de rotation de l'arbre, tandis que celles qui sont fixes ont, au contraire, leur concavité tournée dans le sens de ce mouvement.

La vapeur, admise dans ce système par l'extrémité de moindre section, chemine vers l'échappement en décrivant des sinusoides qui ont pour axes les génératrices mêmes des corps cylindriques.

Elle se détend en passant d'une couronne d'aubes fixes P sur la couronne voisine d'ailettes mobiles P₁, et, de ce fait, exerce une action directe sur ces dernières; au passage à la couronne fixe suivante P₂, il y a augmentation de volume, accroissement de la détente et, par suite, réaction s'ajoutant à l'action précédente sur les parties mobiles. Pour rendre continue cette augmentation de volume et, conséquemment, effectuer une détente bien progressive de la vapeur, on fait croître, d'une couronne à l'autre, le volume des aubages en augmentant la hauteur des ailettes; c'est au moment où

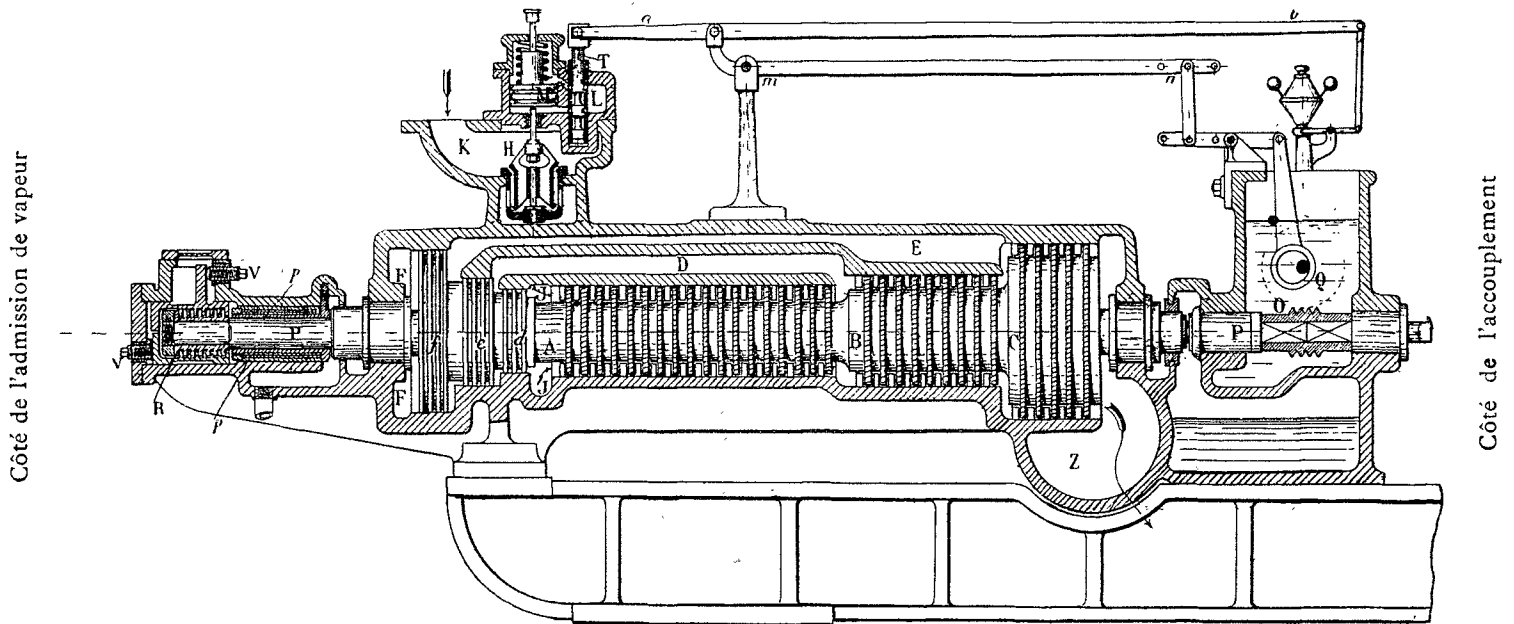
l'on ne peut plus dépasser une certaine hauteur que l'on donne à l'arbre un plus grand diamètre.

L'admission de la vapeur est intermittente et réglée par un appareil qui se compose : de la soupape H dont le soulèvement périodique est obtenu par le levier *m n*, recevant son mouvement de l'excentrique Q calé sur un pignon d'engrenage hélicoïdal; d'un piston M, lié à cette soupape par une tige verticale, soumis à l'action d'un ressort sur sa face supérieure et à celle de la vapeur d'admission sur sa face inférieure; d'un petit tiroir cylindrique T commandé par un régulateur de vitesse, à l'aide du levier *ab*. Lorsque ce tiroir découvre les lumières L, la vapeur passe de la chambre K sur la face supérieure du piston où elle peut s'échapper dans l'atmosphère, le ressort agit alors pour fermer la soupape et restreindre l'admission; au contraire, lorsque le tiroir couvre les lumières L, la pression de la vapeur sur la face inférieure du piston le soulève et la sou-

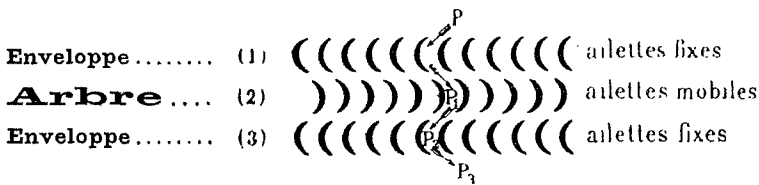
On voit, qu'en somme, cet appareil est simplement composé d'une série de turbines en cascade sur le même axe et que la vapeur traverse successivement en se détendant de l'une à l'autre

La répartition du travail moteur dans ce système se faisant entre un très grand nombre d'aubes, l'effort que supporte chacune d'elles est très faible et ne dépasse pas 37 grammes dans les machines de 500 chevaux, c'est-à-dire 1/40^e à peine de la résistance qu'offre leur assemblage en couronnes; il en résulte aussi, que les ailettes ne s'usent pas. Celles ci sont ajustées en queue d'aronde dans des rondelles en bronze dur, serrées à bloc sur les cylindres tournants et sur l'enveloppe, de manière à former corps avec eux; leurs extrémités libres arasent, mais sans frotter, les surfaces cylindriques de l'arbre et les parois intérieures de l'enveloppe avec une précision assez grande pour empêcher des fuites de vapeur appréciables; l'usure des

COUPE LONGITUDINALE DE LA TURBINE BROWN-BOVERI-PARSON'S



SCHEMA DE LA DISPOSITION DES AUBAGES



pape s'ouvre davantage. Ce dispositif assure à la turbine une quantité de vapeur, travaillant à pleine pression, toujours proportionnée à la charge de la machine.

La poussée longitudinale de la vapeur sur la partie mobile de la turbine, est équilibrée par la même pression sur trois pistons *d, e, f*, de diamètres respectivement égaux à ceux des couronnes d'aubages des cylindres A.B.C. et dont les faces internes sont en communication par les canaux E.D.F., avec les trois chambres où s'effectue la détente. Ces pistons sont canelés et tournent, sans frottement, dans des canelures correspondantes pratiquées dans l'enveloppe; grâce à cette disposition leur étanchéité, que l'on explique par l'influence de la force centrifuge, est parfaite.

La chambre Z est mise en relation avec un condenseur.

coussinets ne risque pas d'amener de frottements, car il y a environ un millimètre de jeu à la périphérie des ailettes. Entre les couronnes fixes et mobiles il existe un espace faible (3 à 5 millimètres selon les turbines) suffisant pour que le jeu longitudinal de l'arbre ne puisse provoquer par leur rencontre, le bris des aubages.

Toutes ces pièces n'étant soumises à aucun frottement ne s'usent pas et ne nécessitent pas non plus de graissage, avantages importants à considérer sous le double rapport des rendements organiques et de l'entretien des machines.

Les seules parties frottantes sont les portées P de l'arbre moteur sur ses coussinets. Ceux-ci sont formés de trois manchons concentriques *p, p*, en acier, laissant entre eux un certain jeu dans lequel on fait pénétrer de l'huile sous pression. Cette huile forme alors des couches minces ratchetant, d'une part, les différences de centrage de l'arbre qui tourne autour de son axe de gravité et faisant, d'autre part, office de matelas qui rendent la rotation très douce. Après avoir passé dans les coussinets, l'huile retourne à un réservoir où elle se refroidit et, de là, est de nouveau renvoyée aux coussinets par la pompe de circulation. Les

garnitures sont constituées par des bagues épousant la forme de gorges taillées dans l'arbre et réalisant une fermeture étanche, quoique sans frottement.

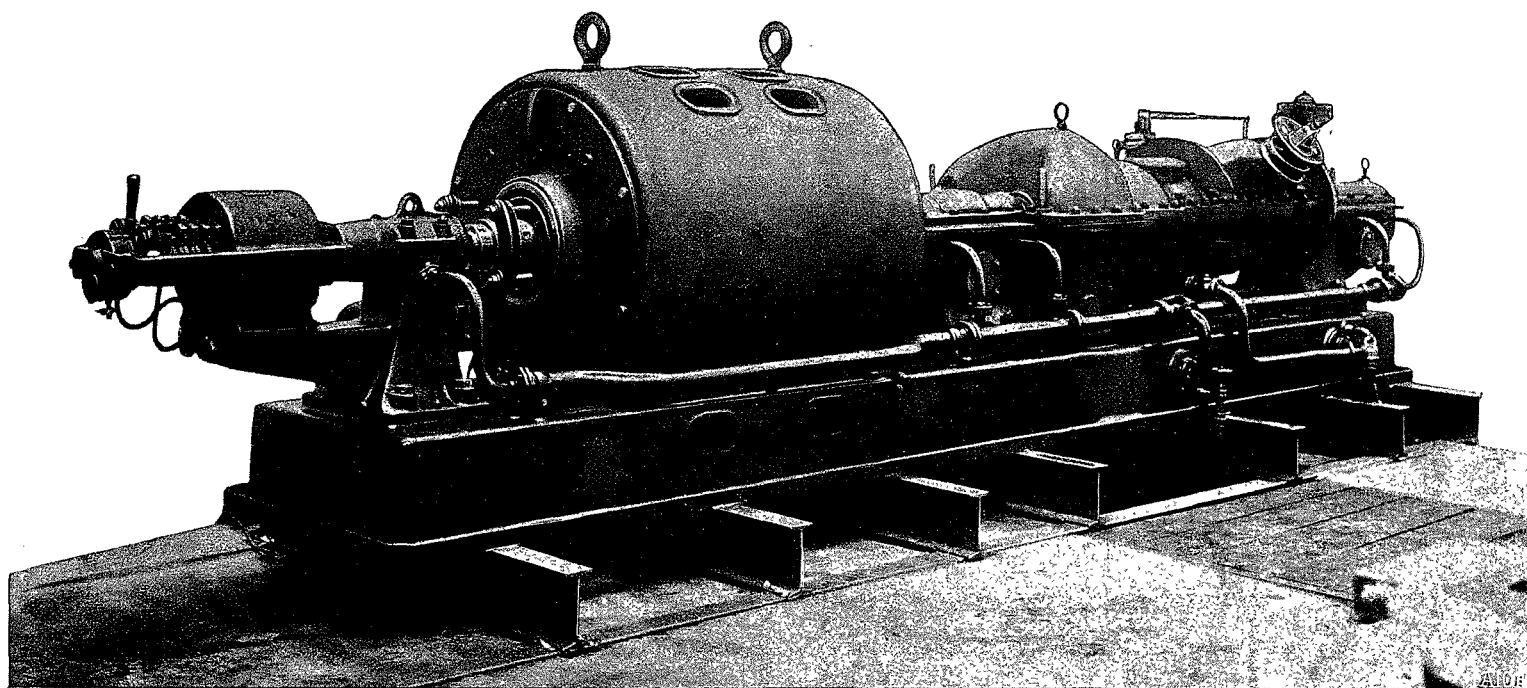
On comprend donc que la consommation d'huile soit très faible dans ces moteurs.

L'arbre est formé de deux parties accouplées par une douille : l'une est constituée par les cylindres A.B.C, l'autre est destinée à la transmission du mouvement hors de l'enveloppe. La partie externe de l'accouplement porte une vis hélicoïdale O qui, par l'intermédiaire d'engrenages, commande le régulateur de vitesse, la pompe à air du condenseur et la pompe à l'huile. A l'autre extrémité, en R, se trouve une butée de réglage formée de deux sections, mobiles longitudinalement en sens inverse à l'aide des vis de rappel VV; elle ne supporte aucun effort de la part de l'arbre.

Suivant leur grandeur, ces appareils tournent à des vitesses de 750 à 4000 tours, et dans les machines puis-

sions de la turbine et de celles de la dynamo, en raison des vitesses engendrées; la suppression des lourdes fondations et l'absence de trépidations; la dépense d'huile de graissage extrêmement réduite; le fait de n'avoir aucun organe frottant sous vapeur qui évite tout entraînement d'huile au condenseur et permet à l'eau de condensation d'être réintroduite directement dans les chaudières; les frais d'entretien peu appréciables que nécessitent les organes en mouvement, tels sont les avantages les plus frappants de la *turbo-dynamo*.

A ces avantages, il importe d'ajouter celui d'une régulation extrêmement sensible. Quand la turbine conduit une dynamo, elle est munie d'un régulateur de voltage qui agit sur l'amplitude des oscillations de la soupape d'admission; il est constitué par une bobine en dérivation aux bornes de la dynamo et dont le noyau de fer doux se déplace en agissant sur le levier du tiroir. Il en résulte qu'avec ce dispositif, d'une extrême sensibilité, les écarts



Turbo-alternateur. — Courant triphasé (200 Kw., 2000 volts). — Station centrale de la ville de Coire (Suisse).

santes, pour en faciliter la construction et le montage, on fait opérer la détente dans deux ou trois turbines successives.

La turbine Brown Boveri-Parson's n'est donc pas destinée à la commande mécanique de transmission à faible vitesse; mais elle est particulièrement propre à l'accouplement direct avec les génératrices électriques.

**

Le groupement d'une turbine à vapeur avec une dynamo forme ce que les constructeurs Brown Boveri-Parson's appellent la *turbo-dynamo*. L'expérience a aujourd'hui prouvé la possibilité pratique de son emploi, même pour des puissances supérieures à 3000 et 4000 chevaux.

La grande simplicité du moteur et par suite la sûreté de son fonctionnement; le faible encombrement total du groupe (moitié moindre, à puissance égale, que celui d'une machine à vapeur) dû à la fois à la réduction des dimen-

de vitesse constatés ne dépassent guère 2 o/o pour le passage de la pleine charge à la marche à vide. Enfin, remarquons encore que l'on n'a pas besoin de réchauffer les cylindres de la machine avant sa mise en marche qui peut alors se faire instantanément; les entraînements d'eau n'ont d'autre effet qu'un ralentissement momentané de la vitesse.

Le point le plus discuté dans l'emploi des turbo-dynamos est la consommation de vapeur. Certaines turbines ont la réputation d'être des « gouffres de vapeur » d'où le discredit qui pèse à ce sujet sur tous les systèmes connus. Il y a cependant lieu de voir s'il n'en est pas qui échappent à cette réputation. De par leur principe, les turbines à réaction, utilisant la détente progressive de la vapeur semblent, *à priori*, devoir donner de meilleurs rendements que les turbines utilisant la force vive de la vapeur; la pratique vient confirmer ces prévisions.

Etant donné leur puissance et la grande vitesse de rotation dont elle sont animées, on ne peut pas mesurer au frein

le travail des turbines; on l'évalue en kilowatts aux bornes de la dynamo qu'elles actionnent.

Or, d'essais faits à l'occasion de leur réception, sur les groupes électrogènes, système Brown Boveri-Parson's, récemment mis en service, il ressort que les consommations de vapeur sont, en moyenne, les suivantes :

Puissances des turbo-dynamos exprimées en kilowatts aux bornes.

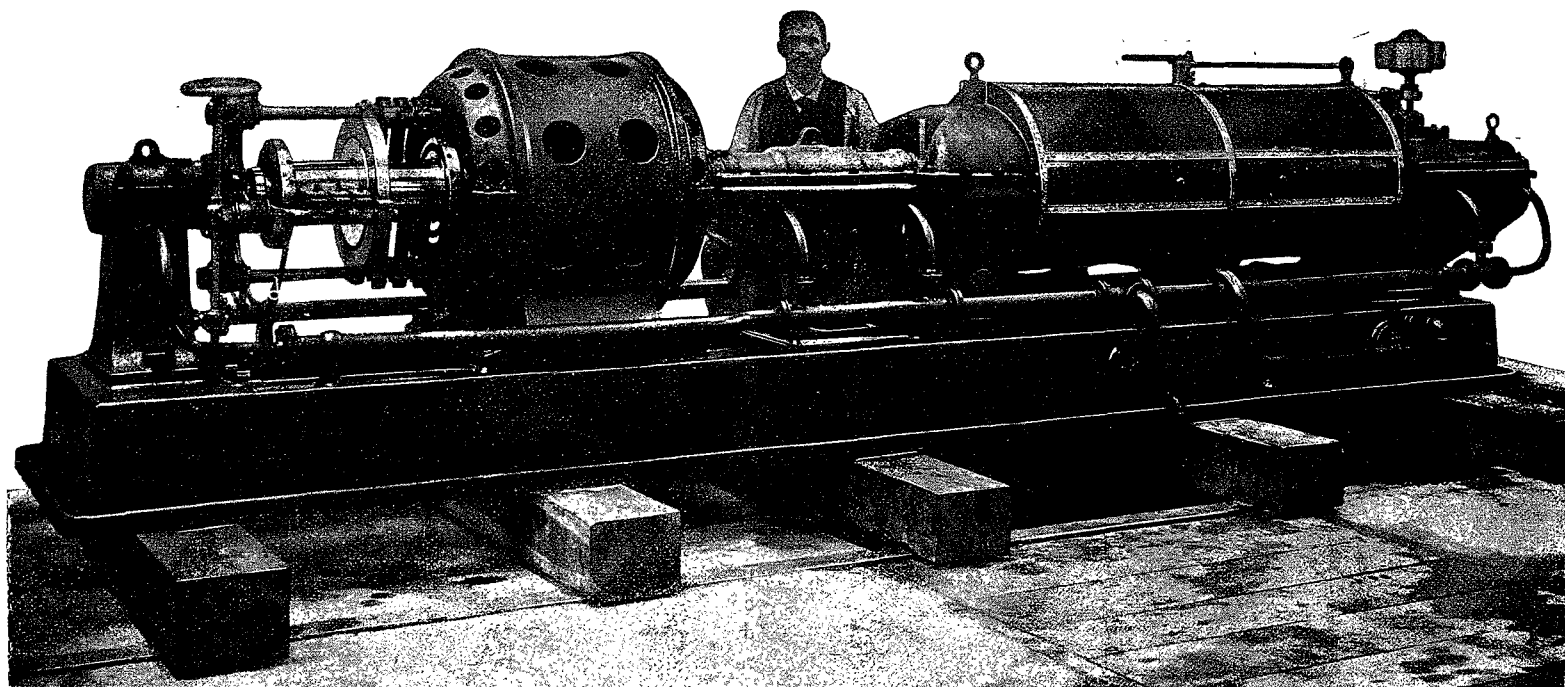
	100	200	300	400	600	1000	3000
--	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Dépenses de vapeur en kilogramme par kilowatt-heure effectif.

Pleine charge :	13	11,9	11,5	11	10,5	10	8,2 (1)
Demi-charge :	15,3	13,7	12,9	12,2	11,5	11	»

teur triphasé sous 150 volts, de 1.350 chevaux). Les installations étrangères les plus importantes sont à : Francfort (Station centrale de la ville, 1 turbo-alternateur triphasé sous 3.000 volts, de 4.500 chevaux); Milan (Société Générale italienne Edison d'électricité, 2 turbo-alternateurs triphasés sous 3.700 volts, l'un de 4.500 chevaux, l'autre de 3.000); Orjehowo, en Russie (Etablissements Sawa Morosow, 1 turbo-alternateur triphasé sous 350/400 volts, de 1.500 chevaux), etc. (2)

Nous terminerons donc en concluant que ces groupes électrogènes constituant des machines peu encombrantes et simples, robustes et économiques aux grandes puissances, ont par conséquent, comme nous l'avons dit au



Turbo-Dynamo (100 Kw.), courant continu (220 volts). Société des Halles et Entrepôts frigorifiques de Berlin.

Ces chiffres s'entendent à la pression de 10 à 12 kilos à la soupape d'admission de la vapeur, sans surchauffe; ils sont encore réduits de 10 0/0 environ avec une surchauffe de 50° C. — Ceci montre que, pour des puissances même relativement faibles, la consommation de vapeur de ces *turbo-dynamos* est au moins aussi économique que celle de la plupart des moteurs à marche lente d'égale puissance; en aucun cas, elles ne méritent donc d'être considérées comme des « gouffres de vapeur ».

La meilleure preuve que ces machines répondent à un but pratique, c'est qu'au 1^{er} avril 1902, deux ans après avoir entrepris leur construction, la Société Brown Boveri et Cie, en avait pour 21.050 chevaux en service ou en cours d'exécution, la puissance des unités variant de 100 à 5.000 chevaux. Dans ce nombre, nous devons citer deux applications en France : l'une à Indret aux Etablissements de la Marine Nationale (une turbo-dynamo de 420 chevaux produisant du courant continu sous 250 volts, à trois fils); l'autre à Troyes, aux filatures de Schappe (1 turbo-alterna-

début de cet article, leur raison d'être dans des stations hydro-électriques ou la Houille noire est appelée en aide à la Houille blanche.

E.-F. COTE,
Ingénieur
Rédacteur en chef.

LE MOIS HYDRO-ÉLECTRIQUE

en France et à l'Étranger

INFORMATIONS DIVERSES

Très hautes et très basses chutes.

Il nous paraît intéressant de rapprocher les deux hauteurs de chute extrêmes qui ont pu être utilisées jusqu'à présent.

La plus haute, de 940 mètres, est en ce moment en voie d'aménagement à Vouvry dans le Valais (Suisse) près du lac de Genève ;

(1) Consommation correspondant à 5 kilos par cheval indiqué et sans surchauffe de la vapeur.

(2) Tous ces renseignements nous ont été fournis par la Compagnie Electro-Mécanique (Paris-Lyon).