

# DOCUMENTATION

## Résultats récents obtenus avec les Turbines-Hélices « Bell », à grande vitesse

par Alexandre PERRIG, Ingénieur diplômé E. P. Z.

Dans l'équipement des chutes hydrauliques on attache de plus en plus d'importance à l'utilisation économique du débit disponible. Le constructeur a donc été amené en particulier ces dernières années, à étudier des turbines qui permettent d'atteindre, avec un minimum de travaux d'aménagement, les rendements les plus élevés et dont les caractéristiques s'identifient, autant que possible, avec les conditions optima d'utilisation économique du régime de la chute.

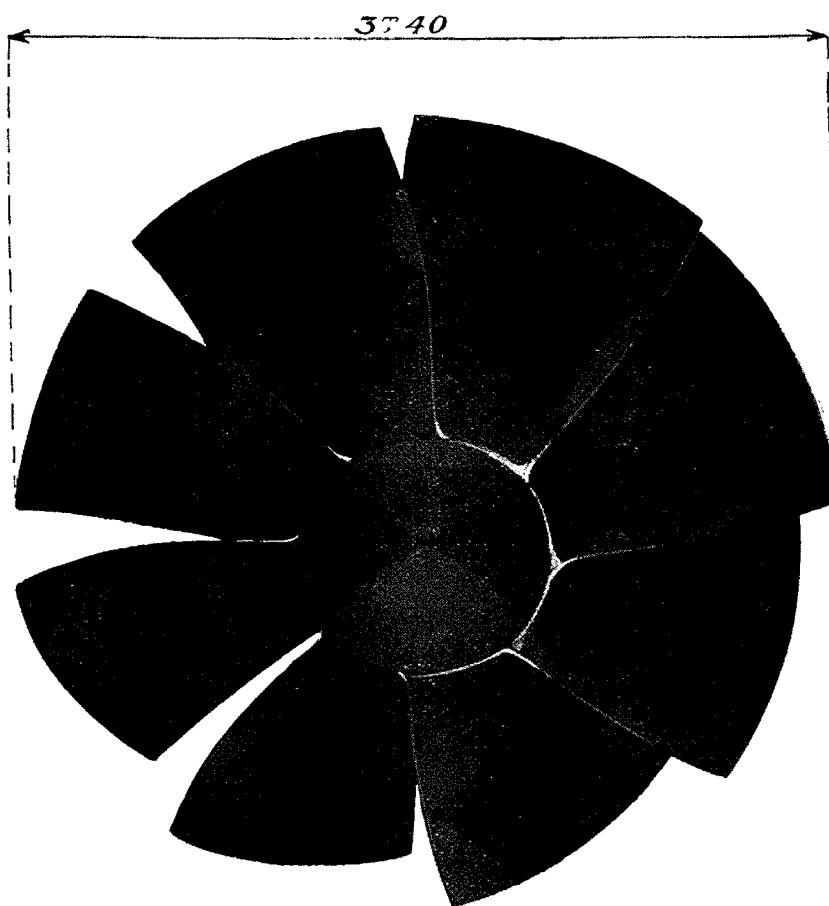
La première condition, c'est-à-dire celle des frais d'installation minima, impose au constructeur de turbines des vitesses spécifiques maxima et, pour lui, le problème, dans son ensemble, se résume donc pratiquement à la réalisation d'un type de turbines caractérisé par une vitesse spécifique aussi élevée que possible, conjuguée à une gamme de rendements atteignant les valeurs les plus élevées pour toute l'étendue du régime d'utilisation.

Une vitesse spécifique élevée permettra d'atteindre, même pour les chutes les plus basses, une vitesse de régime relativement élevée. La conséquence immédiate en sera la simplification, et souvent la suppression totale, des organes intermédiaires

et coûteux qui causent des pertes de rendements. On les remplacera avantageusement par un accouplement direct de la turbine au générateur de courant électrique. Le groupe lui-même en sera réduit dans ses dimensions et par conséquent également le bâtiment de l'usine. Enfin, dans bien des cas la vitesse plus élevée permettra d'adopter des unités plus grandes et donc plus économiques, et étant donné que le nombre de groupes en sera diminué, ceci simplifiera, d'une part, le service de la centrale et réduira, d'autre part, dans de larges proportions, les frais d'installation. Dans le cas d'installations anciennes, pour lesquelles les dimensions de la chambre d'eau sont en général données et ne sauraient être modifiées sans frais coûteux, les turbines à vitesses spécifiques extrêmes donneront la possibilité d'exploiter au maximum la capacité de chaque chambre d'eau et de remplacer des turbines compliquées à plusieurs étages par des turbines simples et partant, plus robustes.

Ce problème des turbines à très grande vitesse spécifique a, de tout temps, particulièrement retenu l'attention de la Société Anonyme des Ateliers de Construction Th. Bell & C<sup>ie</sup>, à Kriens-Lucerne (Suisse). Par des recherches consciencieuses et de longue haleine dans sa station d'essais (voir R. P. S., vol. 87, N<sup>o</sup> 9-11,

année 1926), complétées par près de 3/4 de siècle d'expérience pratique dans la construction des turbines hydrauliques, elle est arrivée, ces dernières années, à réaliser une série de types de turbines extra-rapides (turbines-hélices) qui ont trouvé de nombreuses applications pratiques. Ces turbines s'adaptent à une gamme étendue de vitesses spécifiques allant de 500 à 1.000 t/m. et plus, tout en conservant dans ces limites des rendements des plus élevés. Elles conviennent donc particulièrement à l'équipement rationnel des basses chutes. Le diagramme N<sup>o</sup> 1 correspond aux résultats obtenus sur une turbine modèle de 500 millimètres de diamètre de roue au cours d'essais effectués dans la station de MM. Bell & C<sup>ie</sup>. Il permet la comparaison des caractéristiques de trois types de roues extra-rapides. Ces types diffèrent principalement par leur topographie



de rendements (courbes de rendements constants en fonction de la vitesse spécifique et de la quantité d'eau absorbée (voir aussi : Prasil, Turbines hydrauliques extra-rapides, R. G. E. 1921, tome XVI, pages 274-280 et 311-322), par l'étendue de la zone des chutes pour lesquelles elles sont utilisables et enfin par leur vitesse d'emballement. Ces turbines se caractérisent surtout par des rendements très élevés à des vitesses spécifiques excessivement variables en sorte que leur domaine d'application pratique est très étendu.

De la formule connue

$$n_s = \frac{n \sqrt{N}}{H \sqrt[4]{H}}$$

dans laquelle  $n$  correspond à la vitesse en tours par minute;  $H$  à la hauteur de chute nette en mètres,  $N$  à

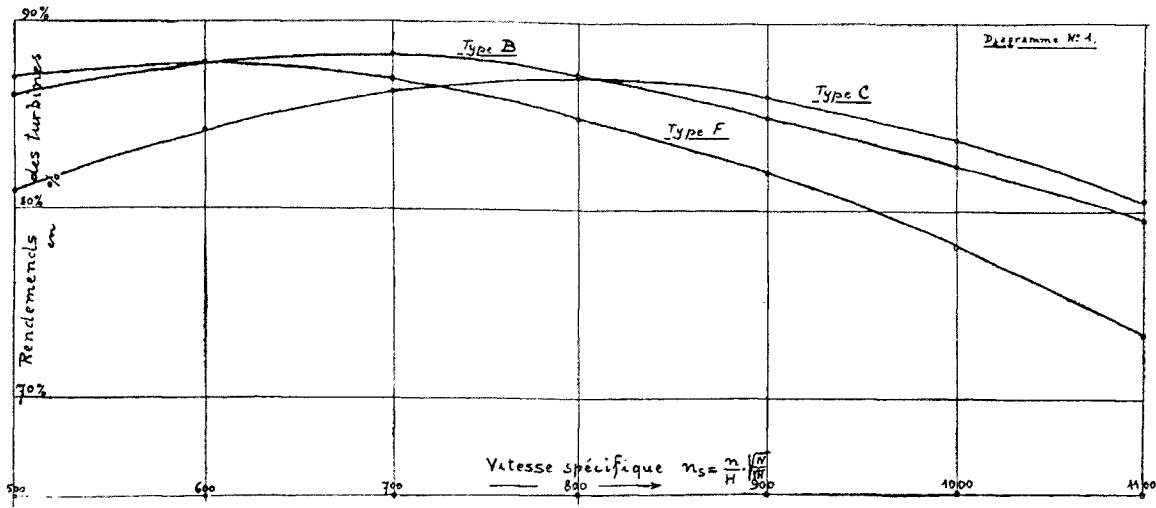


Diagramme N° 1

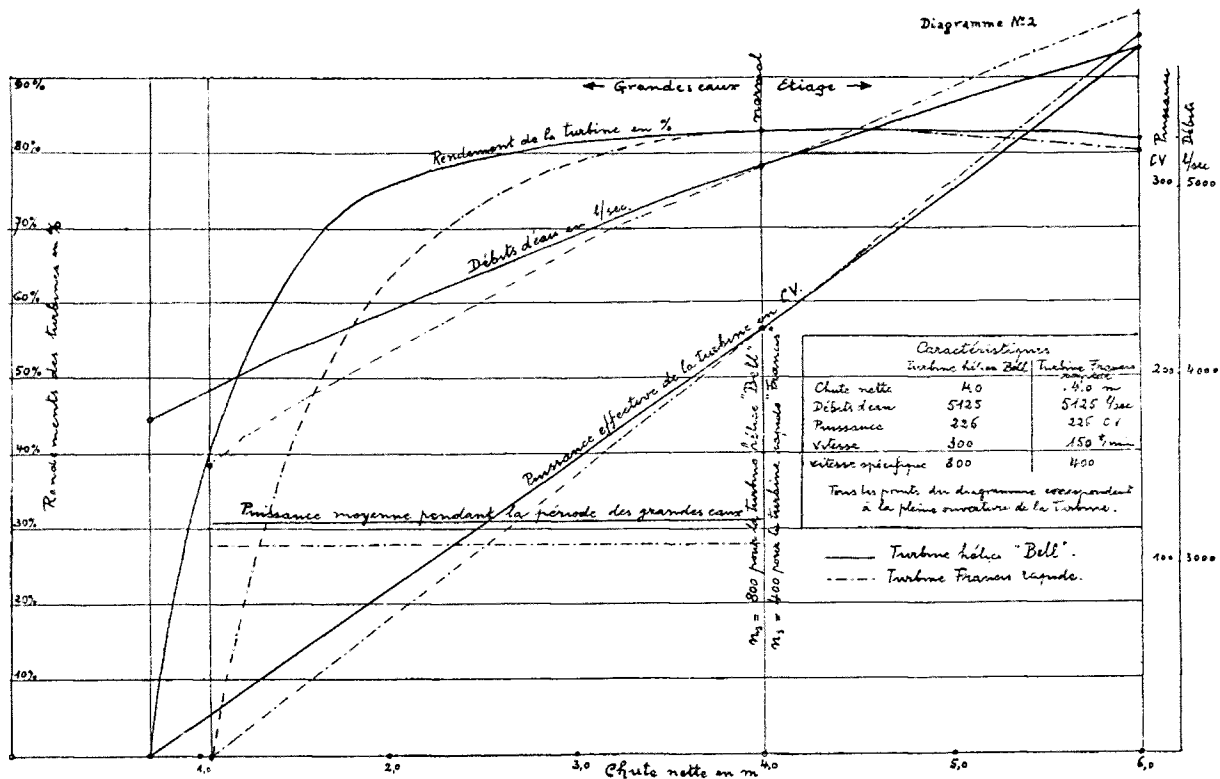


Diagramme N° 2

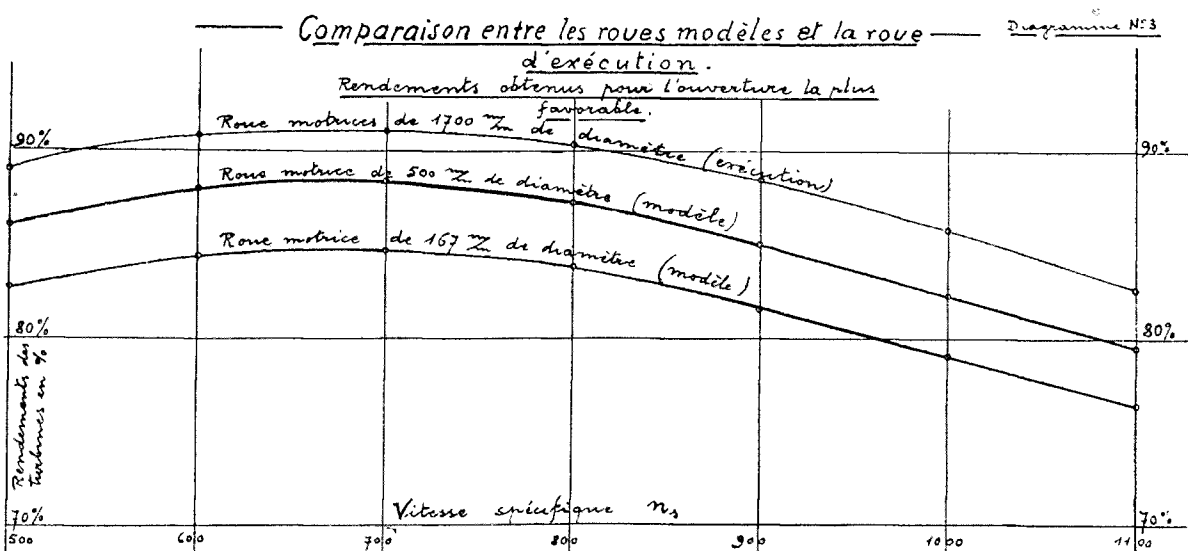


Diagramme N° 3

la puissance effective en chevaux, on déduit que pour une vitesse constante de la turbine une variation de la vitesse spécifique correspond pratiquement à une variation de la chute. L'écart considérable qu'on relève dans le diagramme N<sup>o</sup> 1 entre les vitesses spécifiques extrêmes qui limitent la zone des rendements élevés de la turbine, fait donc ressortir que ce type de turbines continue à fonctionner avec des rendements élevés, même sous une forte variation de la chute et est donc pratiquement insensible à ces variations. Cette qualité est illustrée d'une façon encore plus frappante par le diagramme N<sup>o</sup> 2 qui donne le rendement de la turbine en fonction de la chute et qui a été relevé, lors de la réception officielle, sur une turbine extra-rapide Bell livrée en 1924 à MM. Hurlimann fils à Brunnen (Suisse).

Le diagramme N<sup>o</sup> 3 donne les mêmes caractéristiques, pour la roue type B. Il a été établi pour démontrer la concordance des résultats obtenus aussi bien dans la station d'essais, sur les roues modèles, qu'en pratique sur des roues installées et en service.

rapide Bell répond donc pour ainsi dire idéalement aux conditions d'exploitation *optimum* d'une basse chute avec ses périodes fréquentes de gros débits qui entraînent simultanément une réduction considérable de la chute disponible. Cette turbine s'adapte ainsi d'une manière parfaite au régime naturel de la chute. A notre connaissance, cette qualité essentielle de la turbine Bell n'est approchée, et encore moins dépassée, par aucun type de turbine à grande vitesse. Dans le diagramme N<sup>o</sup> 2, cette supériorité de la turbine extra-rapide Bell est mise en relief par comparaison avec une roue Francis, d'un type spécialement étudié pour chute variable. Ce diagramme montre que pour une réduction de chute de 4 mètres (normale) à 1 m. 05, la roue Bell extra-rapide donne en moyenne un excédent de puissance de 9 1/4 % par rapport à la roue Francis. A ce gain de puissance, il y a lieu d'ajouter encore celui qui résulte, pour le générateur, du fait de son utilisation dans une zone de meilleur rendement. Dans le cas de l'exemple, ce gain atteint en moyenne 2 %.

Par ailleurs, la turbine Bell extra-rapide absorbera relativement moins d'eau que la roue Francis, lorsque la chute augmen-

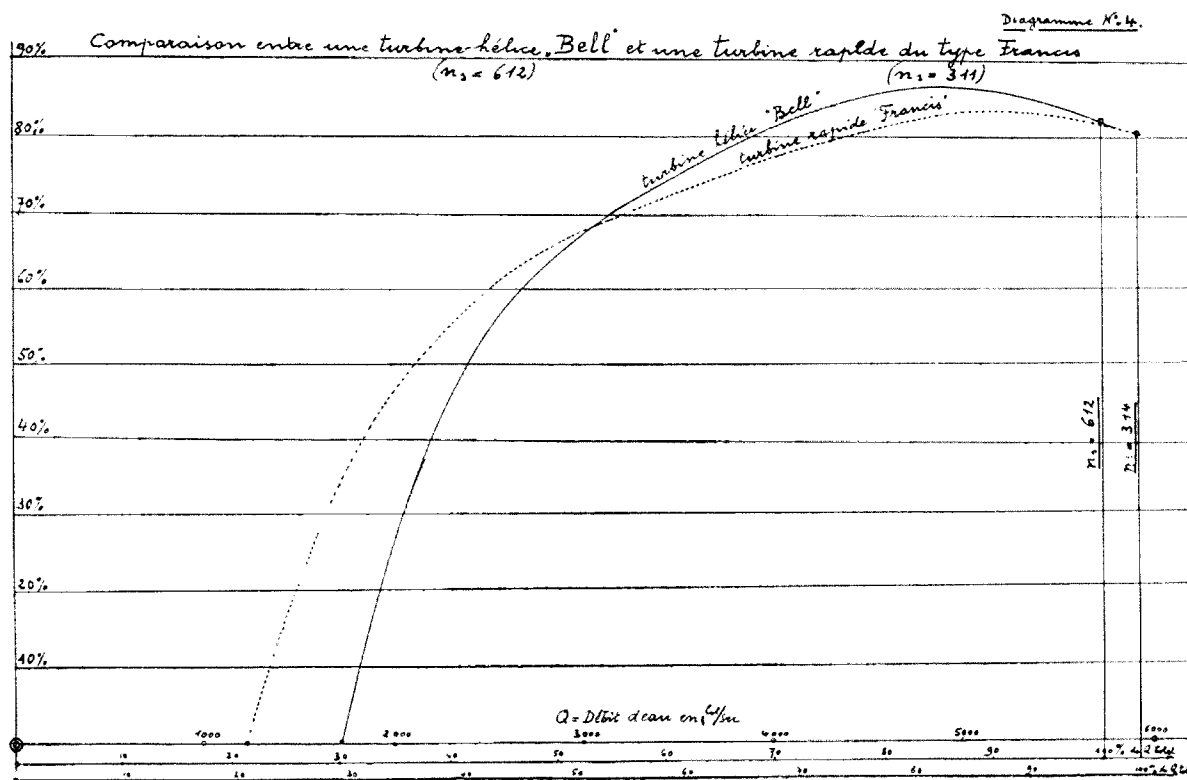


Diagramme N<sup>o</sup> 4

On remarquera et appréciera en particulier que cette insensibilité extrême aux variations de la chute est encore complétée par une autre qualité de la plus haute importance. Le diagramme N<sup>o</sup> 2 démontre en effet que ce type de roue absorbe proportionnellement plus d'eau lorsque la chute diminue. Si on compare donc cette turbine à une turbine Francis, on trouvera que le débit absorbé et par suite aussi la puissance développée par la roue Francis tombera rapidement si la chute diminue, alors que pour la roue Bell la perte de puissance sera beaucoup moins importante pour les mêmes conditions de chute.

On saisira immédiatement l'énorme importance de cette caractéristique lorsqu'on songe que pour les basses chutes la diminution de la hauteur de chute est presque toujours la conséquence d'une crue et coïncidera donc justement avec un débit important qu'on a aucun intérêt à économiser. La turbine extra-

tera, c'est-à-dire dans la période d'étiage. On trouvera là une compensation très appréciable au fait que pour les charges partielles les rendements décroissent un peu plus rapidement que pour la roue Francis, comme l'indique le diagramme comparatif N<sup>o</sup> 4.

C'est d'ailleurs cette décroissance plus prononcée des rendements à charges partielles qui est le seul inconvénient de la turbine extra-rapide et encore il ne se fait sentir pratiquement que dans des cas exceptionnels au point de vue du rendement global de l'usine. Mais là encore les recherches inlassables de la Société Bell ont permis d'élaborer, après plusieurs années d'études, un type de roue, qui, tout en travaillant à des vitesses spécifiques extrêmes, donne à charge et débits partiels, des rendements nettement supérieurs à ceux des turbines à hélices les plus renommées dont les résultats soient connus. Les diagrammes N<sup>os</sup> 4, 5, 6 et 7 qui indiquent les valeurs obtenues au cours d'essais

officiels de réception de la turbine de la centrale de Matte (Usine de la ville de Berne) et de la turbine de MM. Hurlimann fils à Brunnen, en sont une démonstration éclatante.

Il est intéressant de se rendre compte à partir de quelle fraction de la pleine charge, une turbine donnée, atteint un rendement déterminé. Cette limite est en effet, comme l'indique le tableau ci-dessous, en relation avec la vitesse spécifique de la

Pour une vitesse spécifique :

$n_s = 900$
800
700
600

Le rendement de 70 % est atteint dès que la charge de la turbine dépasse :

69% de la pleine charge.	—
58%	—
50%	—
47%	—

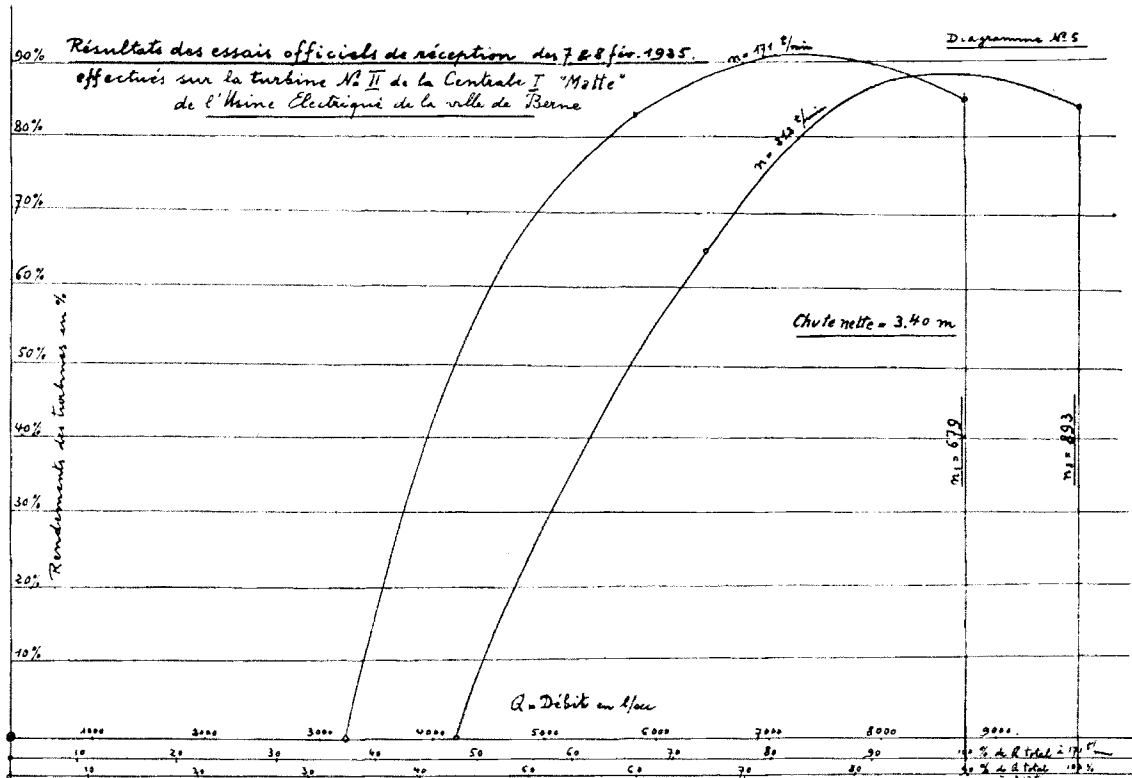


Diagramme N° 5

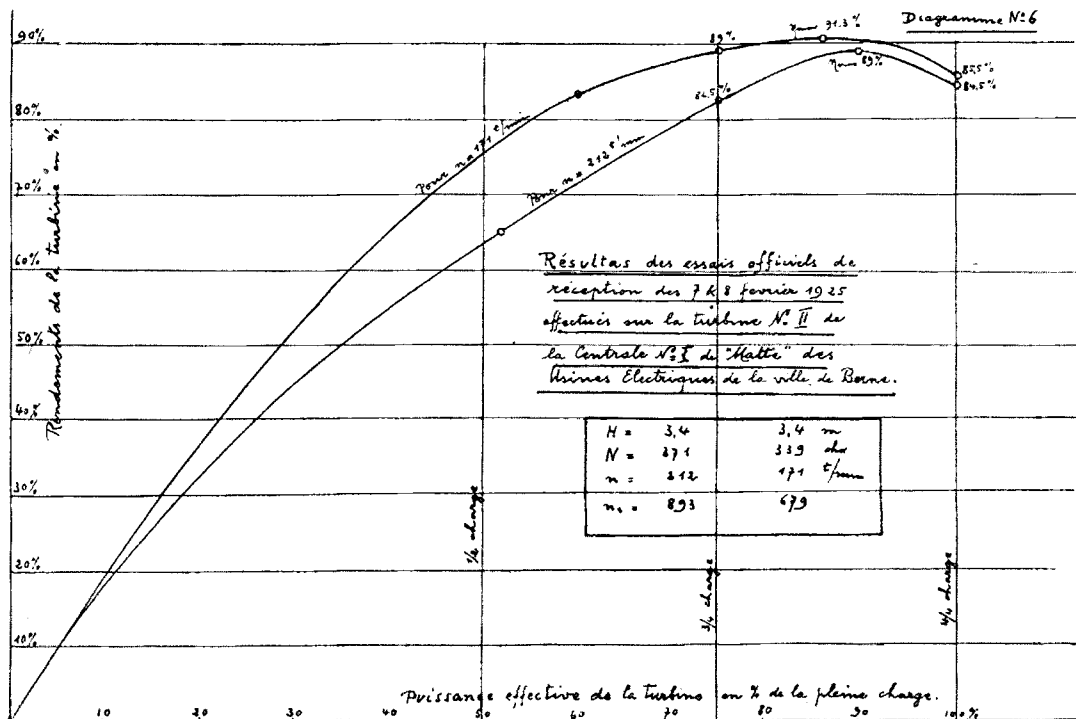


Diagramme N° 6

turbine. Dans ce tableau, établi pour une roue « Bell » de dimensions moyennes, nous donnons en % et en regard de la vitesse spécifique à pleine charge, le degré de charge à partir duquel le rendement atteint et se maintient au-dessus de 70 %.

Etant donné cependant que très souvent on rencontre des opinions erronées sur l'importance qu'il y a lieu d'attribuer à la décroissance plus ou moins rapide des rendements à charges partielles, il n'est pas inutile d'insister ici sur ce point et d'exa-

miner les cas où cette question revêt une importance effective ou, au contraire, ne mérite pas de retenir l'attention.

Nous constatons, premièrement, que des rendements élevés à charge partielle sont désirables lorsqu'il s'agit d'une usine travaillant avec accumulation et qu'en outre la charge des groupes implique souvent la marche des turbines à charge partielle, et deuxièmement dans les cas où les turbines sont appelées par suite d'insuffisance du débit, à travailler à charge réduite en temps d'étiage.

Dans le premier cas, on fera toujours abstraction de l'utilisation de turbines extra-rapides. Dans le second cas également, sauf s'il est possible de répartir la puissance de la centrale sur plusieurs unités (le cas échéant de capacité d'absorption différente, ou même, en combinant des unités de vitesse spécifique différentes), de façon à permettre à tout moment l'utilisation du débit disponible à des rendements élevés. Ces deux cas exceptés, seul le rendement à pleine charge est intéressant, car pour les charges partielles il y aura toujours excédent d'eau évacué par le déversoir et dans ce cas le rendement de la turbine est indifférent.

ximum, nous trouvons comme limite des hauteurs de chutes en-dessous desquelles les turbines extra-rapides Bell peuvent être utilisées sans risques de cavitations dangereuses :

Chute maximum m.	Haut. max. d'aspiration correspondante en mètres	Vitesse spécifique t/min.
25	3,0	500
20	2,5	700
15	2,0	900
10	1,5	1000

Ces zones exemptes de cavitations dangereuses sont à égalité de vitesses spécifiques très sensiblement supérieures en étendue à celles de n'importe quel autre type de turbine à très grande vitesse. C'est ainsi que, d'après Engelson (Wasserkraft Jahrbuch, (annuaire de la force hydraulique) année 1924, page 455 (paru en 1925), il résulte que pour les roues Kaplan on ne peut pas dépasser une hauteur de chute de 15 m. pour une vitesse spécifique de 600 t/min. Cette différence marquée à

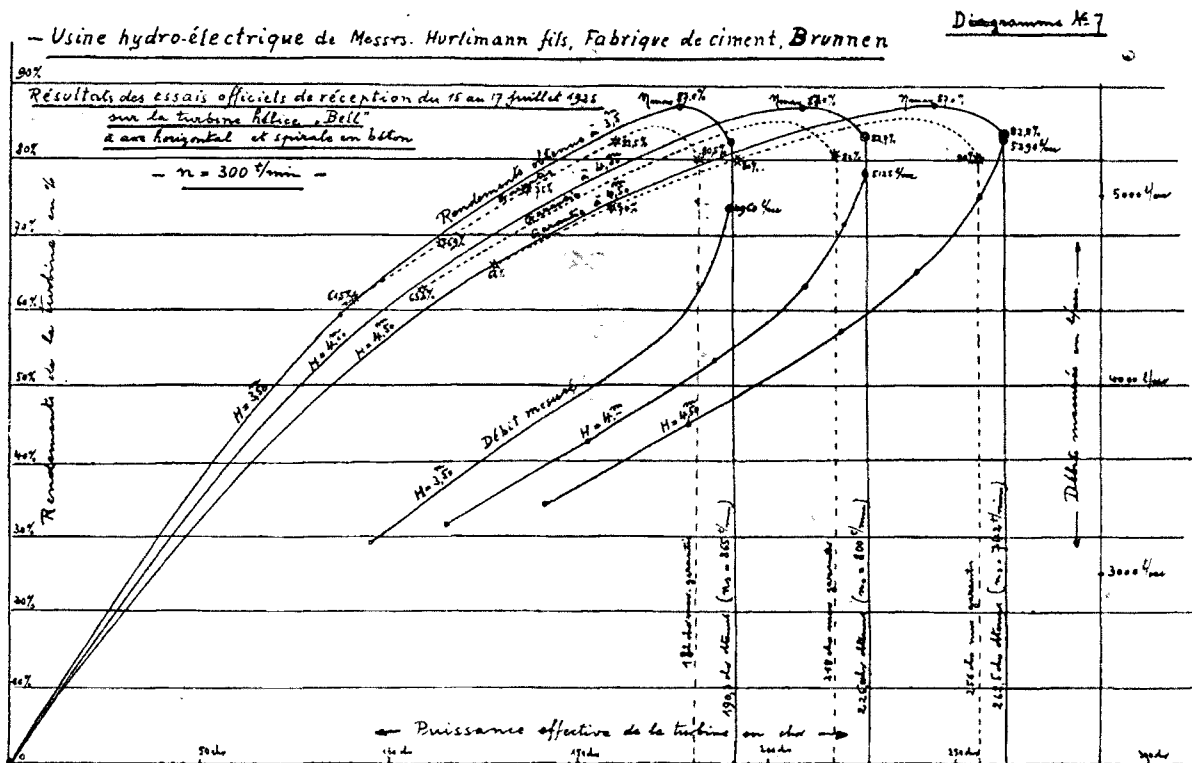


Diagramme N° 7

L'expérience, acquise depuis l'utilisation des turbines à très grande vitesse, et des essais particulièrement poussés portent de plus en plus à conclure que chaque type de turbine et en particulier chaque type de roue extra-rapide convient plus spécialement à une zone nettement définie d'utilisation et qu'en dehors de cette zone la turbine ne donne pas seulement des rendements inférieurs, mais est rapidement détruite dans ses parties essentielles par des effets de corrosion. Ces corrosions ou cavitations sont la conséquence de décollements de la veine liquide avec formation de vides à la surface des aubes. Nous ne pouvons pas approfondir ni même esquisser dans cet article ce problème très intéressant des cavitations, et nous devons nous contenter ici de relater les résultats vérifiés sur les turbines extra-rapides Bell.

Pour une altitude ne dépassant pas 500 mètres au-dessus du niveau de la mer et à une température de l'eau de 25° C. au ma-

l'avantage de la roue Bell provient entre autres surtout de la construction très étudiée de la roue, c'est-à-dire de la forme appropriée des aubes et de la faible pression spécifique de l'eau sur les aubes. Cette pression réduite n'a pu être obtenue que par une augmentation de la surface des aubes et le fait que malgré cette augmentation la roue Bell a donné les rendements élevés cités plus haut, démontre péremptoirement avec quel soin l'étude de cette roue a dû être faite et donne en même temps une vague idée de la somme considérable de recherches et d'études continues et inlassables qui a été nécessaire pour arriver à concilier avec succès dans une même turbine ces deux conditions toutes opposées : une pression spécifique réduite et des rendements élevés.

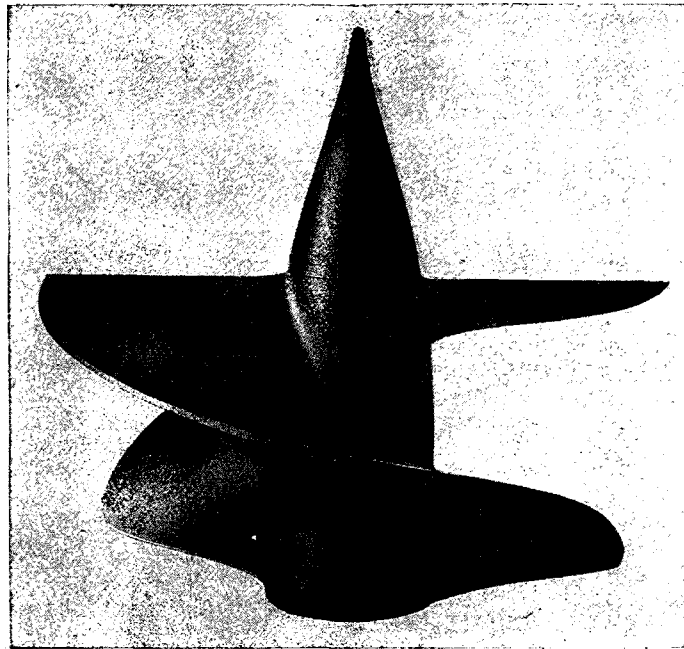
Il est intéressant de remarquer à cette occasion que les essais persévérants et systématiques de la Société Bell & C<sup>ie</sup> ont permis à cette firme de réaliser au bout de plusieurs années d'efforts un

type d'aspirateur convenant pour des roues de vitesse spécifique allant jusqu'à 800 t/min. et qui est beaucoup plus réduit dans ses dimensions que les aspirateurs qui étaient nécessaires jusque là pour les roues Francis à grande vitesse, et sans que cette réduction des dimensions de l'aspirateur et par suite de toute l'infrastructure de la centrale n'entraîne soit une diminution des rendements, soit une réduction de la sécurité du service.

Le nombre élevé des turbines Bell extra-rapides installées à ce jour, parmi lesquelles une de 27,000 chevaux sous 1.740 m. de chute, est la meilleure preuve des qualités

hors ligne de cette turbine tant au point de vue des rendements qu'à celui de la sûreté de marche des groupes. La liste comporte des turbines de chutes et de puissances les plus diverses avec des dispositions très variées et des vitesses allant jusqu'à l'extrême des vitesses spécifiques qui aient été atteintes en pratique.

En tout 38 installations totalisant 70 turbines Bell extra-rapides et une puissance installée de 160.000 chevaux (y compris les installations en cours d'exécution) attestent de la qualité de cette turbine.



### Montage d'un convertisseur de puissance de 40.000 kVA...

Le nouveau convertisseur de fréquence, récemment sorti des ateliers de Shenectady de la « G. E. C. » est destiné aux usines de la « Delaware-Hudson Riv. ». Les dimensions tout à fait inusitées de cet engin ont rendu très difficile son montage comme son transport. L'armature, mesurant 4,00 × 6,19 m., et pesant 120 T., dépassait de beaucoup, à elle seule, les limites de poids

et dimensionnement possibles sur les chemins de fer, et l'on dut, à titre exceptionnel, rendre libre la 2<sup>e</sup> voie pendant toute la durée du transport. La sortie même de cette armature des ateliers de Shenectady nécessita la démolition de divers pans de murs et cloisons, pour l'agrandissement des ouvertures.

*Elelctrotecnica*, 5 décembre 1926 (Cron.).

J. B.

### Construction et applications des moteurs polyphasés à collecteur

Dans cette intéressante étude, l'auteur examine d'abord les divers moyens actuellement employés pour améliorer la commutation (bobines d'inductance — cage d'écureuil — multiplication des phases, pôles de commutation, etc.); puis il expose les conditions de limitation de la puissance des moteurs à collecteur, ainsi

que les différents types adoptés pour ces moteurs et leur amorçage. Pour terminer, il indique, enfin, les principales applications industrielles de ces derniers, en particulier montages en cascade pour amélioration du cos  $\phi$  et réglage de la vitesse.

*Bulletin Société Française des Electriciens*, août 1926.

J. B.

### Les plus grands transformateurs monophasés à refroidissement naturel

Les plus grandes unités de transformation monophasées, à refroidissement naturel, construites jusqu'à ce jour, semblent bien devoir être celles récemment fournies et installées par la « General Electric Co » à la « Philadelphia El. Co » pour sa sous-station de Skuykill.

Chacune d'elles atteint l'énorme puissance de 20.000 KVA, et transforme en 60 périodes, sous tensions de 13.800/724,50 V., en triangle-étoile. 6 de ces unités viennent d'être installées, pour une puissance totale de 120.000 KVA.

*Elelctrotecnica*, 15 décembre 1926 (Cron.).

J. B.