

L'USURE DES TURBINES HYDRAULIQUES

SES CONSÉQUENCES ET LES MOYENS D'Y PARER

(SUITE)

Pour un constructeur de turbines, il semble fort naturel que l'agrandissement et la déformation par l'usure des canaux dont sont composés les distributeurs et les roues motrices des turbines type Francis, les pertes aux joints, etc., doivent préjudicier leur rendement. Bien qu'à cette époque, nous ne possédions pas de données permettant de déterminer ou même d'estimer l'importance de ce préjudice, il nous parut que la connaissance exacte

étaient en service depuis le début de l'exploitation, en mai 1910, c'est-à-dire depuis seize mois, les numéros II et IV venaient d'être réparés et pouvaient être, au point de vue de leur rendement, considérées comme neuves.

La fig. 5 représente le diagramme des puissances des turbines II à l'état neuf et I à l'état usé, la fig. 6, le diagramme des puissances des turbines IV à l'état neuf et III à l'état usé.

On voit que la diminution de puissance due à l'usure est considérable ; au débit normal de 4 m³ par seconde elle atteint

pour la turbine I :

$$4050 - 2730 = 1320 \text{ HP ;}$$

pour la turbine III :

$$4220 - 3600 = 620 \text{ HP, soit :}$$

$$32,6 \text{ et } 14,7 \text{ \% de la puissance à l'état neuf.}$$

Comme nous l'avons dit au début, l'usine de Florida-Alta fut

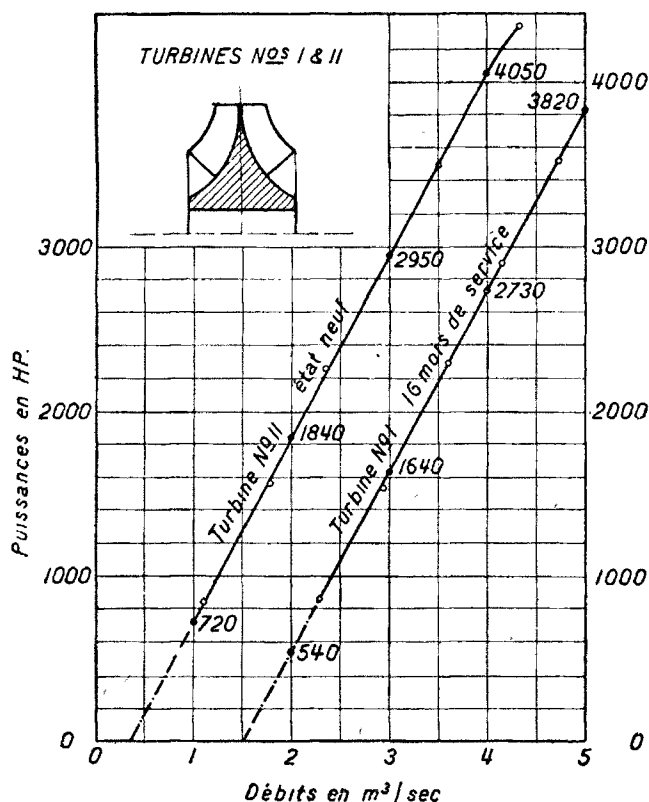


Fig. 5.

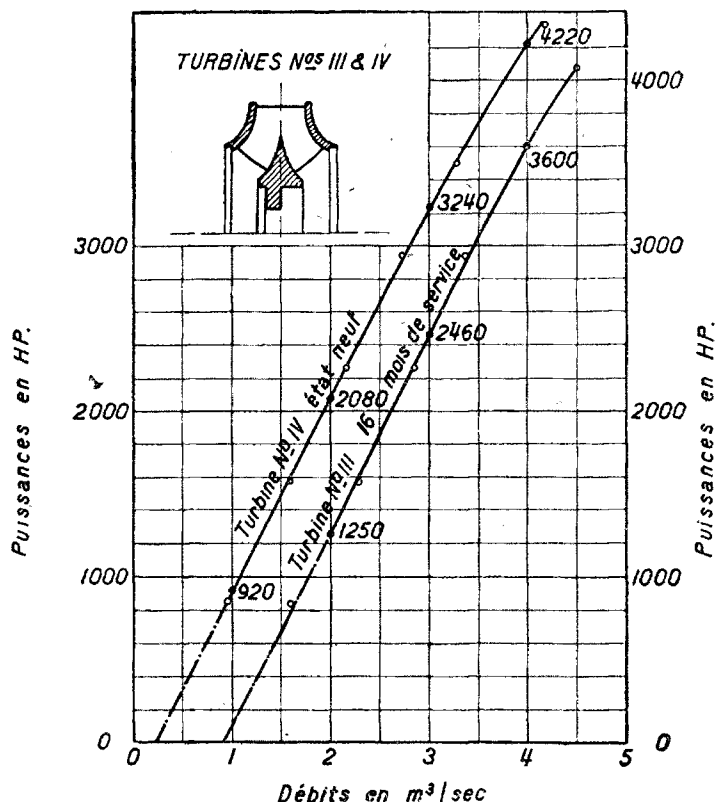


Fig. 6.

Diagrammes des puissances des turbines de Florida-Alta à l'état neuf et après 16 mois de service.

des pertes d'énergie, résultant de l'usure des organes cités, pourrait être un facteur décisif en faveur de la construction du nouveau dessableur et nous proposâmes de procéder à une détermination exacte du débit et de la puissance des quatre turbines.

Il serait trop long de décrire ici, par le détail, les instruments et les méthodes avec lesquels cette détermination fut faite ; nous nous bornerons à dire que l'exactitude et la sécurité des résultats que nous allons citer, sont les mêmes que celles des résultats obtenus par les spécialistes aux essais de réception d'usines hydrauliques importantes.

Les quatre turbines installées et en service en octobre 1911, date de ces expériences, étaient du type Francis à bêche spirale et roue motrice double. Les roues motrices des numéros I et II étaient, comme le montre la fig. 5, à disque-moyeu central sans couronnes latérales ; celles des numéros III et IV, fig. 6, avaient chacune deux couronnes latérales. Les turbines numéros I et III

mise en service en mai 1910 ; jusqu'en avril 1911 sa production d'énergie, qui augmenta rapidement, fut, pour différentes raisons, fort irrégulière, mais, malgré l'usure des turbines, suffisante pour les besoins. Pendant les mois d'hiver, avril et septembre, de l'année 1911, le débit dont disposa l'usine atteignit en moyenne 12 m³ par seconde. En avril, mai et juin, la turbine II resta en réserve ou en réparation, en juillet, août et septembre ce fut le tour de la turbine IV.

La production d'énergie hydraulique ne suffisant pas aux besoins de la ville, l'usine de réserve à vapeur de Santiago dut compenser pendant ces six mois, 3 heures par jour en moyenne, le manque d'énergie dû à l'usure des turbines. En admettant, ce qui est à peu près exact, que pendant ce laps de temps le rendement des turbines usées ne s'est pas modifié, nous obtenons la quantité d'énergie de compensation produite à la vapeur de la façon suivante :

Numéro des Turbines en service	PUISSANCE EN CHEVAUX	
	Etat de neuf	Etat de service
1) Période d'avril à juin.		
I	4050	2730
III	4220	3600
IV	4220	3600
	12490	9930
2) Période de juillet à septembre.		
I	4050	2730
II	4050	4050
III	4220	3600
	12320	10380

La fig. 1 montre en pointillé de quelle façon les dessableurs du nouveau système avec leurs canaux d'aménée et leurs canaux de purge ont été placés dans les bassins de décantation primitifs. Les deux vannes d'entrée et les deux vannes de sortie sont utilisées sans aucune modification ; le grand mur de séparation, également ; le tunnel de purge conserve sa fonction et sert de galerie d'accès aux orifices de purge décrits plus loin. Les deux vannes de fond qui débouchaient dans les tunnels de purge ont seules été démontées.

Les bassins dans lesquels le dessablage de l'eau se produit sont au nombre de 8, ayant chacun une longueur de 24 m., une largeur de 5 m. ; leur profondeur mesurée depuis la couronne du mur de séparation est de 6,5 m. et la hauteur totale jusqu'au fond du canal de purge 8,3 m.

L'ensemble et les détails de ces dessableurs sont représentés par les fig. 7 et 8.

La fig. 9 est une vue prise en 1913 après la construction de la première moitié.

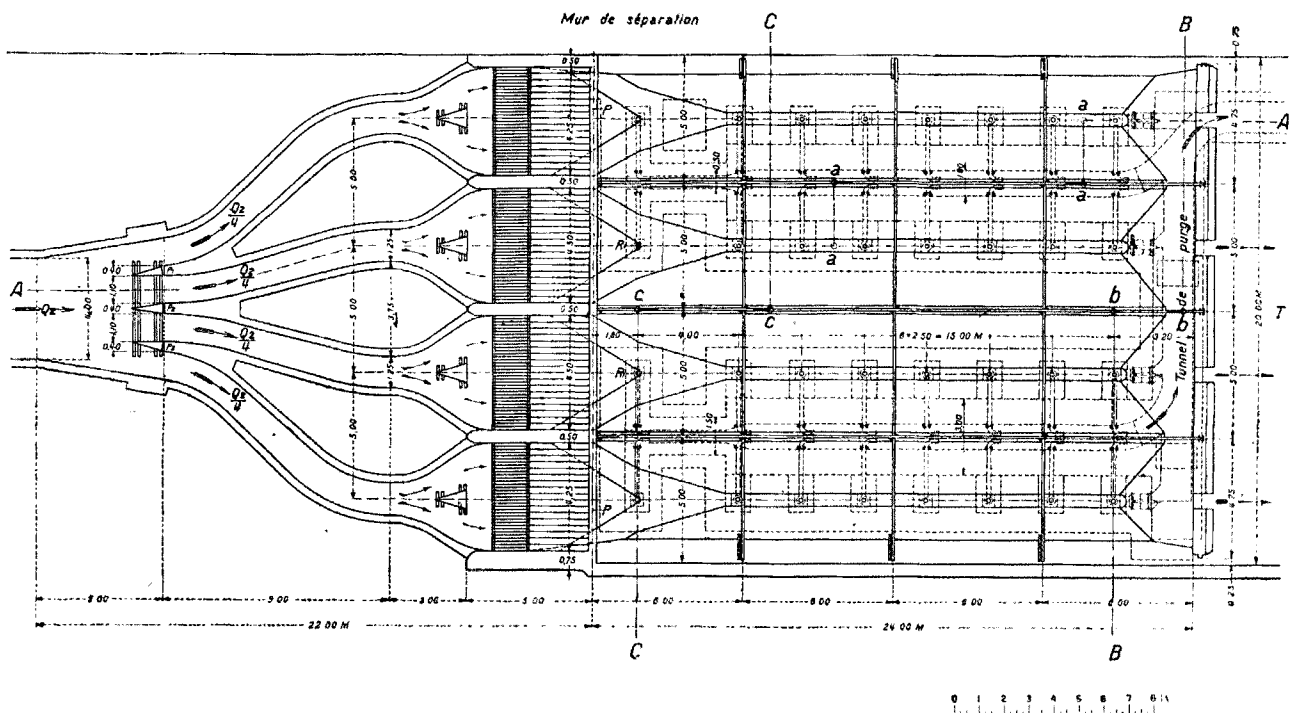


Fig. 7. — Plan du dessableur de Florida-Alta

Energie de compensation nécessaire pour les six mois pendant 3 heures par jour seulement :

$$(12\ 490 - 9930) \cdot 3.91 + (12\ 320 - 10\ 380) \cdot 3.92 = 1\ 234\ 320 \text{ chevaux-heures.}$$

En raison du prix élevé du charbon, des conditions de travail peu économiques des chaudières et machines à vapeur, de la main-d'œuvre, etc., le prix de revient du cheval-heure se montait à 0,06 fr. et celui de l'énergie nécessaire pour compenser l'usure des turbines à :

$$1\ 234\ 000 \cdot 0,06 = 74\ 059 \text{ fr.}$$

Si l'usine à vapeur avait eu à compenser l'énergie perdue pendant 6 heures par jour au lieu de 3, ce qui allait être le cas pour l'année 1912, la dépense aurait été de :

$$\frac{74\ 059 \cdot 6}{3} = 148\ 118 \text{ fr.}$$

Ces chiffres, auxquels il fallait ajouter environ 40 à 50 000 fr. par an pour frais de réparation des turbines, achevèrent de démontrer la nécessité absolue d'un meilleur dessablage de l'eau motrice et la construction du nouveau dessableur, dont le coût était devisé à 250 000 fr., fut immédiatement décidée.

L'eau à dessabler traverse une grille grossière G (fig. 1), se divise entre les deux canaux d'aménée C₁ et C₂ dans lesquels, grâce à sa vitesse réduite, les alluvions en suspension dans l'eau se précipitent peu à peu et, pour finir, se meuvent en partie sur le fond sans cependant former de dépôts. Les prismes séparateurs P₁, P₂ et P₃ (fig. 7) sont placés de façon que les débits à clarifier Q₁ et Q₂ pratiquement égaux soient répartis en parties égales $\frac{Q_1}{4}$ et $\frac{Q_2}{4}$ dans chacun des canaux conduisant aux huit bassins.

Ce dispositif est nécessaire puisque dans une section transversale du canal, la vitesse de l'eau n'est pas uniforme.

Afin de répartir le courant de l'eau sur la largeur des grilles fines, un prisme séparateur est placé devant chacune d'elles. Ces grilles avec 25 mm. de passage retiennent tous les corps étrangers volumineux et concourent à la bonne répartition de la vitesse de l'eau sur toute la largeur des bassins. La paroi P oblige la masse liquide en mouvement à suivre le fond fortement incliné des canaux, les veines des matières précipitées avançant sur celui-ci sont amenées au premier orifice de purge R₁ par les seuils partant des bords et convergeant vers cet orifice.

L'eau, encore chargée d'alluvions, continue à couler vers la droite sur le fond des bassins dont la section transversale a la forme d'un entonnoir ; ses couches supérieures sont déviées et

prennent, sous l'action des parois-guides transversales T_1, T_2, \dots, T_{11} , un mouvement ascendant cependant que les matières en suspension dans l'eau descendent peu à peu et parviennent aux orifices purgeurs répartis sur la partie la plus profonde du fond des bassins. La surface ou section horizontale de 4 bassins étant de : $4 \times 24 \times 5 = 480$ mètres carrés, la vitesse ascensionnelle moyenne de l'eau est de $10 : 480 = 0,021$ m. par seconde ; ne

Les orifices purgeurs dont le détail est représenté sur la fig. 8 sont formés par une plaque en tôle prise dans le béton et munie d'un trou de 130 mm. de diamètre. Ces plaques portent un cadre en fer plat et cornières dans lequel vient se fixer, au moyen de coins en bois, la tuyère, en chêne du Chili, doublée à sa partie inférieure d'une plaque en tôle de 5 mm. La tuyère placée sous le premier orifice à l'entrée du bassin a une ouverture de 100 mm.

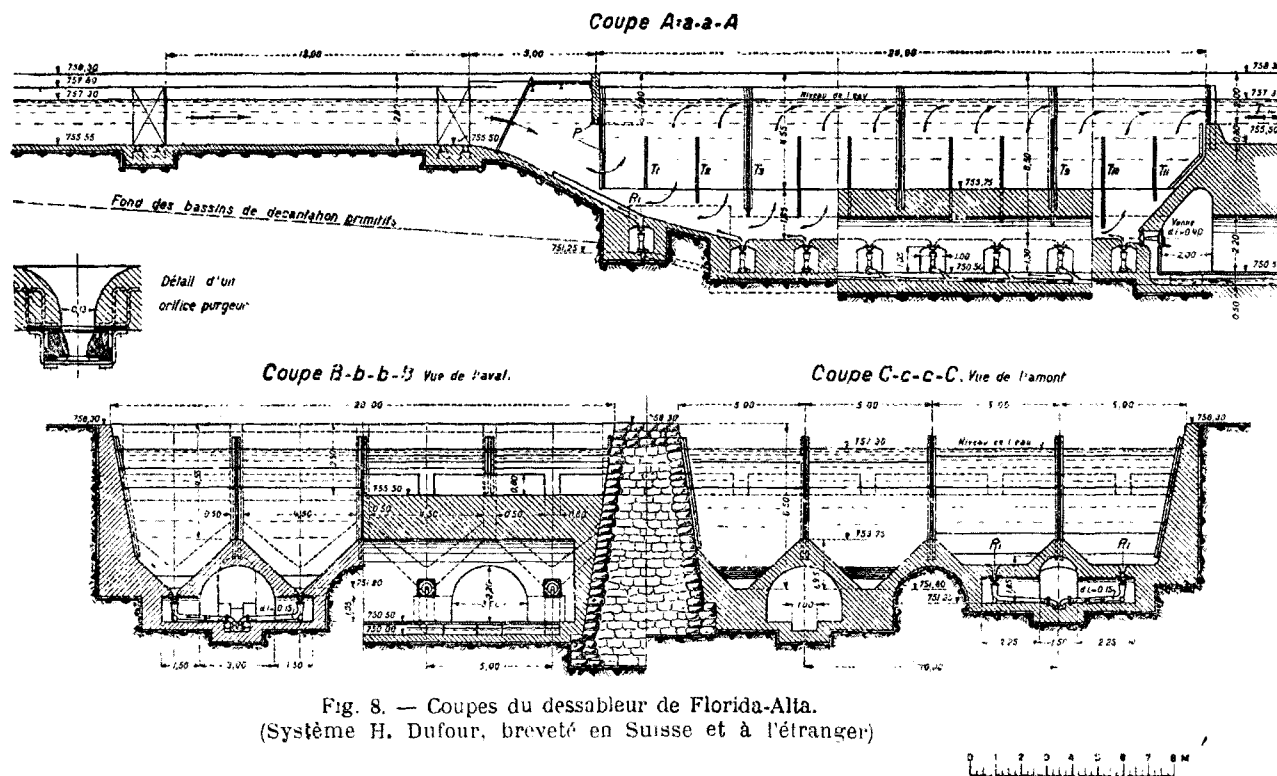


Fig. 8. — Coupes du dessableur de Florida-Alta. (Système H. Dufour, breveté en Suisse et à l'étranger)

pouvant suivre ce mouvement ascendant, toutes les alluvions dont la vitesse de précipitation dans l'eau tranquille dépasse légèrement cette faible valeur, continuent à se précipiter et arrivent, pour finir, dans l'un des orifices purgeurs situés vers la sortie des bassins.

L'arête inférieure des parois-guides est placée de telle façon que

de diamètre. En raison de la plus petite quantité d'alluvions à évacuer, l'ouverture des tuyères diminue du côté de la sortie des bassins où elle n'est plus que de 70 mm.

Les coupes A-A, B-B et C-C de la fig. 8 montrent comment l'eau de purge chargée d'alluvions est recueillie par des tuyaux en fonte et conduite par un système de canaux dans le tunnel de purge des bassins de décantation primitifs.

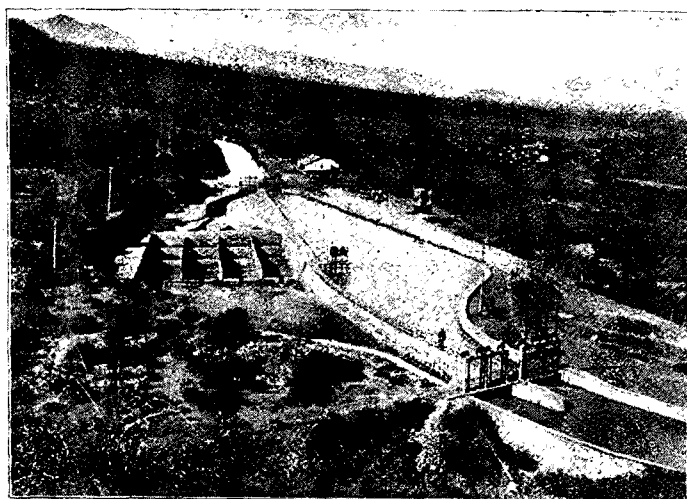


Fig. 9. — Vue prise en 1913 après la construction du nouveau dessableur dans le bassin de droite



Fig. 10. — Vue du deverson, du canal de décharge. du château-d'eau et des conduites forcées de l'usine de Florida-Alta

la vitesse de l'eau, coulant de gauche à droite entre ces arêtes et le fond du bassin, soit suffisante pour entraîner les alluvions les plus grosses sur la partie inclinée du fond, à l'entrée des bassins et les alluvions plus légères sur les parties horizontales du fond, comprises entre deux orifices de purge. Arrivée à la partie supérieure des parois-guides, l'eau s'écoule vers la droite et le canal T (fig. 1, 7 et 8).

Pour vider rapidement les bassins lors d'une révision, d'une réparation, etc., comme aussi pour en évacuer rapidement les petits dépôts de matières qui pourraient s'y être formés, leur côté opposé à l'entrée est muni de vannes de fond, à obturateur conique.

La première moitié de ce nouveau type de dessableur à écoulement continu des alluvions, fut mise en service au mois de

juin 1912. On installa la lumière électrique dans les voûtes où sont placés les tuyaux de fonte et le dessableur devint une des parties les plus volontiers visitées et non la moins utile de toute l'installation. Son action très efficace se fit bientôt remarquer et après une courte période d'observation, les sociétés intéressées décidèrent la construction de la seconde moitié qui fut mise en service en janvier-février 1914.

Les travaux ont été exécutés d'après nos plans dont les fig. 7 et 8 sont une reproduction, sous la direction de M. J. Lindacker, ingénieur en chef de la « Compania Alemana », et M. A. Lynch, ingénieur de la « Chilian Electric » et neveu de l'amiral chilien Lynch. Une partie des pièces mécaniques sort de la « Fundicion Libertad », maison suisse fondée en 1877 par M. Kupfer, et conduite actuellement par ses quatre fils, dont l'un, M. Albert Kupfer est notre sympathique consul à Santiago.

Selon les divers rapports que nous avons reçus de Santiago, de 1912 à 1918, ce dessableur dont la « Chilian Electric » est très satisfaite, a procuré à l'exploitation de l'usine de Florida-Alta des conditions très acceptables ; à part les dépôts de sable qui se forment dans les angles morts et dont la hauteur se stabilise après un certain temps, l'écoulement automatique et continu de toutes les alluvions précipitées se fait très bien. L'usure des turbines et les pertes d'énergie qui en résultaient ont diminué dans une forte proportion, ce qui, pendant la guerre où dès l'année 1916 les pièces de réserve ne purent plus être obtenues d'Europe et où le charbon pour l'usine de secours à vapeur était excessivement cher, fut un avantage inappréciable.

A notre dernière demande de renseignements, la « Compania Alemana Transatlantica de Electricidad à Santiago du Chili, répondait le 19 octobre 1920 :

« Sur la base de vos expériences et propositions, la Direction s'est décidée en 1912 à transformer d'abord un bassin ; le résultat obtenu ayant été extrêmement satisfaisant, la transformation du second bassin fut commencée aussitôt. Comme preuve frappante du résultat final obtenu, on peut citer : au début de l'exploitation, après environ 2.000 heures de marche, les turbines devaient être transformées au complet (remplacement des aubes directrices, des roues motrices, des tourillons, des parois du distributeur, etc.) et la longue durée de la machine entière était mise en doute. Aujourd'hui, c'est seulement après environ 7 à 8.000 heures de marche, que les turbines doivent subir une révision, sans réparation générale et sans avoir souffert les avaries subites et graves du début. Bien que les frais de la transformation du dessableur, qui eut lieu pendant le service de l'usine, aient été importants, les économies sur le matériel, les dépenses de main-d'œuvre et de traitements, par suite de la simplification et de la plus grande sécurité du service, ont prouvé que dans ce cas ils étaient pleinement justifiés. Jusqu'à ce jour les dessableurs travaillent à notre entière satisfaction, ils ne demandent qu'une faible surveillance et peu d'entretien. »

Pour les lecteurs que l'usine de Florida-Alta pourrait intéresser plus spécialement, nous dirons que la *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen*, chez Oldenburg, Munich et Berlin, en a publié en 1916 une description détaillée signalant le fonctionnement excellent du dessableur.

Ce système de dessableur, avec écoulement automatique et continu des alluvions éliminées (breveté en Suisse et à l'étranger) a été perfectionné et surtout simplifié par la suite. Appliqué dernièrement au dessablage de l'eau motrice d'une de nos usines hydro-électriques du Valais, dont la puissance est de 24.000 HP sous une chute de 722 mètres, il en élimine toutes les alluvions dont le diamètre des grains dépasse 0,5 à 0,6 mm., modifiant ainsi radicalement les conditions d'usure et de mauvais rendement des turbines.

Pour terminer, nous dirons que nous avons conservé le meilleur souvenir de notre voyage au Chili, par Buenos-Ayres, le chemin de fer Transandin, et du retour par le détroit de Magellan, comme aussi de notre séjour de neuf mois dans ce pays, ressemblant à la Suisse par ses belles montagnes et ses rivières.

Henri DUFOUR,
Ingénieur.

(A suivre.)

ÉLECTRICITÉ

DE LA CONSTRUCTION DE GÉNÉRATRICES pour des usines hydrauliques

L'utilisation progressive des forces hydrauliques disponibles a fait croître dans des proportions considérables le nombre des turbines hydrauliques et des génératrices accouplées qui, avec une chute d'eau élevée, conduit presque à des vitesses analogues à celles demandées dans la construction des turbines à vapeur, tandis qu'avec les stations à basse chute d'eau, le nombre de tours de la turbo-unité peut s'abaisser à quarante par minute. En déterminant la vitesse et en même temps le diamètre de la génératrice — le rendement étant donné — la chute d'eau nette disponible est le facteur décisif. Les parties tournantes de la génératrice doivent être construites de telle manière que nulle pièce n'ait à fournir un travail excédant la demi-limite d'élasticité, en cas que la turbine s'emballé — chose qui est toujours à prévoir — le régulateur étant par exemple mis hors d'usage pour une raison quelconque, et la turbine, en même temps, déchargée de telle façon qu'elle puisse s'emballer. En même temps, le nombre normal de tours de l'unité double.

En fixant le rendement de la génératrice, on doit tenir compte de la turbine aussi bien que de la génératrice, sa valeur est en effet, influencée par le facteur de charge, le mode d'action de l'eau. Les génératrices devront fonctionner à peu près à pleine charge, si faire se peut. Le montage d'une seule turbo-unité n'est pas recommandable, excepté dans les cas où, par la jonction avec d'autres centrales, la réserve nécessaire peut être obtenue. Dans les centrales indépendantes le nombre d'unités ne doit pas être au-dessous de quatre. Pour satisfaire aux exigences tant électriques que mécaniques, des rotors de turbine à basse vitesse spécifique seront choisis pour une chute d'eau élevée, on obtient en effet par ce dispositif une petite vitesse.

Les génératrices peuvent être à axe horizontal ou vertical, ce dernier type s'emploie d'une manière générale pour les stations à basse chute où il est désirable que la génératrice soit placée au-dessus du niveau de grande crue pour la protéger dans le cas d'inondation.

La roue magnétique pour des génératrices à construction horizontale est presque exclusivement construite à pôles marqués, cette construction étant plus simple, d'ailleurs, chaque bobine d'inducteur peut être mise sur le noyau de pôle ou peut être démontée, contrastant en cela avec l'enroulement propre aux génératrices de turbines à vapeur. Quant aux machines à grande vitesse on s'abstient de faire entrer de la fonte dans la construction de la pièce tournante, celle-ci étant uniquement faite d'acier coulé ou forgé. En outre, dans la machine à grand effet la pièce tournante se divise verticalement sur l'axe principal, la subdivision y pouvant aller à un point tel que le rotor se compose de plaques d'acier laminées. De cette manière l'emploi de matière homogène pratiquement sans défaut est garanti. Pour des effets plus petits et de petits diamètres la pièce tournante peut être construite massive, pour des effets plus grands elle se compose d'une jante polaire liée au moyeu par des croisillons. Les pôles sont fixés à la pièce tournante par des queues d'aronde ou boulonnés sur celles-ci. Il faut que la pièce tournante contienne assez de masse métallique pour obtenir l'effet de volant nécessaire. Les bobines d'inducteur sont faites de cuivre poli. Si les bobines deviennent trop longues il faut les soutenir par des plots intermédiaires pour éviter que l'enroulement soit ventru.

En général l'enveloppe du stator, qui est faite de fonte, est divisée horizontalement et possède une section transversale en forme de boîte. Dans l'enveloppe ainsi que dans le fer efficace on a placé des conduits de refroidissement. L'enroulement du stator est fait dans des rainures ouvertes qui permettent un remplacement rapide des bobines, si cela est nécessaire. Les têtes d'en-