Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 48 (1922)

Heft: 2

Artikel: L'usure des turbines hydrauliques, ses conséquences et les moyens d'y parer

Autor: Dufour, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-37385

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

le tunnel II sera ouvert à l'exploitation. La partie sud du tunnel I sera alors mise hors de service pour que les travaux puissent s'effectuer rapidement et d'une manière continue. Dans l'ensemble, les avaries causées au tunnel I par la construction du tunnel II ne sont pas très importantes, mais elles auraient pu l'être si l'on n'avait pas agi avec tant de prudence dans le tunnel II.

Au nombre des mesures prises pour garantir le tunnel I, les injections de ciment ont donné d'excellents résultats. Partout où l'on devait craindre que des mouvements ne se produisissent dans la masse, on a d'avance consolidé l'ancienne maçonnerie à l'aide d'injections de ce genre. Sans ces dernières, les détériorations auraient certainement été beaucoup plus considérables.

Il est à peine besoin de dire que les événements qui ont agité le monde à l'époque même où s'exécutaient les travaux, ont créé des conditions toutes différentes de ce qu'elles étaient en 1912 quand on s'est mis à l'œuvre. Le renchérissement formidable de toutes les matières premières et de tous les salaires a eu sa répercussion sur le coût du travail, et encore aujourd'hui, bien qu'une baisse se fasse déjà sentir depuis quelque temps, les frais de construction sont de 200 à 250 % plus élevés qu'avant la guerre. Mais celle-ci a encore eu d'autres conséquences fâcheuses. Le fait que la main-d'œuvre a manqué et que l'exploitation s'est heurtée à de nombreux obstacles a non seulement englouti des sommes importantes, mais encore retardé d'une façon considérable l'achèvement des travaux. Le programme de construction qui avait été établi à l'origine eût certainement été observé dans toutes ses parties si les événements auxquels nous venons de faire allusion n'étaient point intervenus, et le tunnel II aurait pu être ouvert à l'exploitation en 1917, comme on l'avait prévu.

Quant aux frais effectifs qu'entraînera cette œuvre, on ne saurait encore indiquer de chiffre, car les travaux ne sont point encore tous terminés ni les comptes arrêtés. Toutefois, une constatation réjouissante qu'il est permis de faire dès maintenant, c'est que, malgré toutes les difficultés auxquelles on a dû faire face, la somme fixée en 1912 ne sera guère dépassée.

L'usure des turbines hydrauliques, ses conséquences et les moyens d'y parer.

par H. Dufour, ingénieur, à Bâle.

(*Suite*) [1]

VI. L'usure des turbines et le dessablage de l'eau dans les usines à grands débits.

On pourrait croire que l'usure des turbines par les alluvions se produit seulement dans les usines à hautes chutes. Une étude approfondie de cette question nous a montré qu'il n'en est point ainsi et que les phénomènes d'usure, constatés même sous les plus faibles chutes, méritent l'attention des constructeurs et propriétaires d'usines hydro-électriques.

La quantité et la dureté des alluvions traversant les turbines à moyenne et basse chute, envisagées spécialement ici, est parfois très grande ; nous avons trouvé souvent des grains de sable qui, sans préparation spéciale et sous la simple pression des doigts, sont capables de rayer le verre qui se casse ensuite comme celui rayé au diamant.

Dans les turbines du type Francis presque exclusivement utilisé aujourd'hui, les alluvions concentrées sous la forme de véritables veines de sable, usent et déforment les parois et les aubes des distributeurs et des roues motrices. Les grains qui, chassés par la pression de l'eau se coincent entre ces deux organes, sont entraînés par la roue et poussés vers le tube d'aspiration ; en usant les surfaces qui les guident et les compriment ils agrandissent rapidement le jeu radial entre le distributeur et la roue, ce qui provoque une perte d'eau exagérée.

La détermination exacte des rendements de turbines, comme elle a eu lieu au cours des études précédemment décrites, exige, selon les conditions d'établissement et d'exploitation des usines, une somme plus ou moins grande de préparatifs et de travail. C'est pourquoi, souvent, et particulièrement dans les usines à grands débits, on doit se contenter des appareils et dispositifs de mesure utilisés par l'exploitation. Les résultats ainsi obtenus, quoique approximatifs, ont cependant une grande valeur pour l'exploitant qui sait les interpréter et peuvent pour le moins justifier l'exécution de mesures de précision.

Nous en donnons quelques exemples :

Les figures 35 et 36 représentent les diagrammes des rendements et des puissances disponibles de deux usines travaillant sous des chutes comprises entre 50 et 100 m. Dans le cas de la fig. 35, les turbines sont réparées tous les deux ans ; la baisse de rendement de juin à août est due aux progrès de l'usure, son augmentation successive de novembre à mars aux réparations opérées et au fait qu'en basses-eaux les turbines les plus usées sont hors de service. En mars et avril, toutes les turbines en marche sont nouvellement réparées, mais leurs rendements restent inférieurs à ceux de turbines neuves. La surface hachurée représente la diminution d'énergie disponible par l'usure des turbines, elle atteint pour l'année 21 millions 450 000 kwh. (= 2450 kw. an) ou le 9,8 % de l'énergie disponible avec des turbines neuves.

Dans le cas de la fig. 36 les turbines sont révisées et remises en état chaque année. La diminution annuelle d'énergie disponible se monte à 8 383 000 kwh. (= 957 kwh. an) ou le 10 % de l'énergie disponible avec des turbines neuves.

L'énergie de ces deux usines (diagrammes fig. 35 et 36) étant utilisée en grande partie par l'industrie électrochimique, nous donnons ici, selon l'*Annuaire* de la Chambre Syndicale des Forces Hydrauliques françaises, la

[1] Voir *Bulletin technique* du 29 octobre 1921.

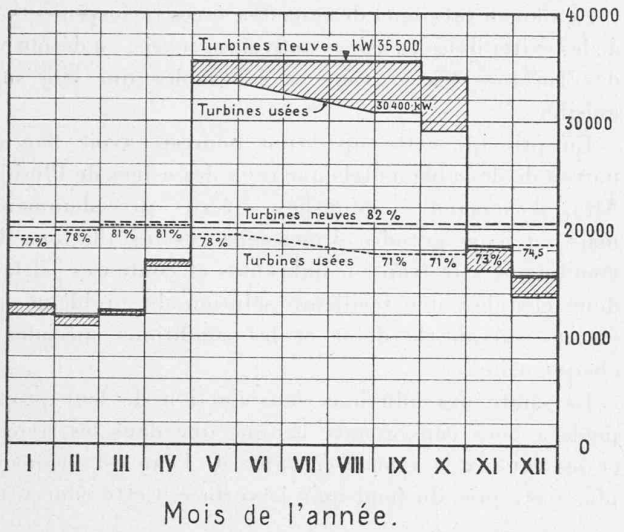


Fig. 35.

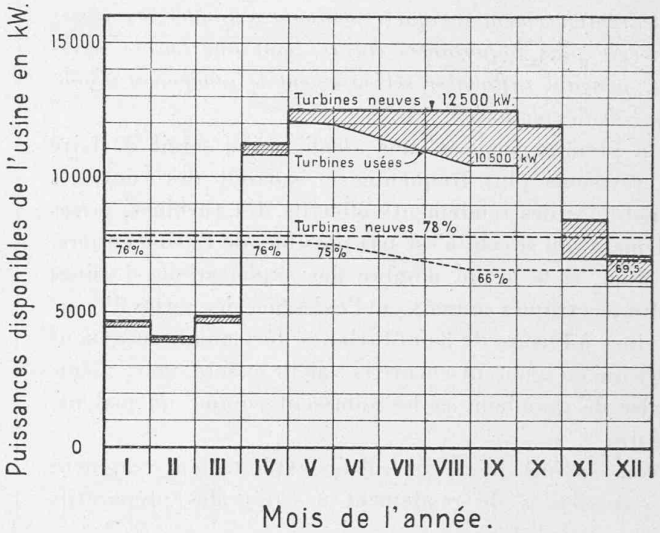


Fig. 36.

Rendement et puissance disponible de deux usines fonctionnant sous des chutes comprises entre 50 et 100 m., avec turbines neuves et à différents degrés d'usure.

capacité de production d'un kilowatt-an pour quelques produits principaux :

Soude . . .	2200 kg.	Aluminium .	290 kg.
Potasse . . .	3000 »	Fonte . . .	3300 »
Carb. de calc.	2200 »	Acier . . .	8760 »

Il résulte de ces chiffres que les déchets de production causés à ces deux usines par l'usure de leurs turbines sont considérables.

Nous avons aussi observé des phénomènes d'usure très prononcés dans deux grandes usines, consommant chacune de 200 à 300 m³/sec. sous des chutes extrêmes comprises entre 5 et 14 mètres.

Les turbines de l'usine *A*, installées il y a quelque vingt ans, accusaient après huit ans de service une usure et une baisse de rendement telles que la question de leur remplacement fut déjà étudiée. L'usure ayant fini, malgré de fréquentes et coûteuses réparations, par compromettre la sécurité de marche de ces turbines, il fallut les remplacer à grands frais, pendant la guerre. En 1919, le rendement moyen d'un groupe de turbines dont le quart venait d'être remplacé, était de 53 % seulement, alors que le rendement moyen de ces machines à l'état neuf avait été voisin de 70 %.

L'énergie disponible annuelle de cette usine avec ses turbines neuves est d'environ . . . . . 85 940 000 kwh
avec ses turbines usées d'environ . . . 64 950 000 kwh
la diminution de l'énergie disponible due à l'usure des turbines s'élève donc pour une année à environ . . . . 20 990 000 kwh

Prochainement les deux tiers des turbines de cette installation auront été remplacés.

Les turbines de l'usine *B*, installées à la même époque que les précédentes, furent tellement maltraitées par les alluvions et les débris végétaux charriés par l'eau, qu'il fallut les remplacer après huit à douze ans de service. Les turbines actuelles doivent aussi subir de fréquentes et coûteuses réparations ; elles ont déjà beaucoup souffert du passage des alluvions et une d'entre elles sera remplacée en 1922. En 24 ans le même emplacement aura vu se succéder trois turbines. La fig. 37 montre quelles en sont les parties les plus usées. L'usure des joints a_1 et a_2 est très rapide ; après un an le jeu atteint 30 à 40 mm. et la baisse du rendement, que l'on peut du reste contrôler par le calcul, estimée à 10 %. L'augmentation du jeu continue jusqu'au moment où les plus gros graviers pouvant traverser la grille passent sans se coincer. En dix à treize ans, les parois du distributeur sont perforées comme le montre la fig. 37 et l'eau s'échappe dans le tube d'aspiration par les grands trous de la paroi inférieure.

Ces turbines, dont la puissance à l'état neuf était de 1200 kw. n'en donnent plus actuellement que 800 et leur rendement doit être bien inférieur à 50 %.

Ces quatre exemples prouvent que dans les rivières charriant des alluvions, les turbines même à basses chutes, peuvent souffrir très fortement de l'usure. Pour ces usines, comme pour celles à hautes chutes, les frais de réparation

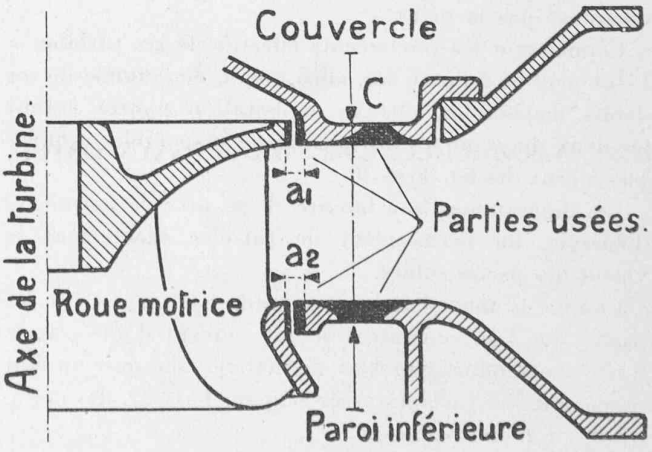


Fig. 37.

et de remplacement auxquels viennent s'ajouter les pertes d'énergie plus importantes encore, sont une lourde servitude, pouvant influencer sérieusement le rendement économique de l'exploitation.

Un premier pas vers une amélioration serait de faire des révisions plus fréquentes et surtout des contrôles périodiques des rendements effectifs des turbines, prises isolément, ou si cela n'est pas possible, de l'usine entière. En effet, si le grand nombre des exploitations d'usines hydro-électriques connaissent l'existence des pertes d'énergie dues à l'usure de leurs turbines, fort nombreuses sont celles qui en ignorent encore la valeur exacte, voire même l'ordre de grandeur, et les subissent comme un mal nécessaire.

Nous savons qu'en général les exploitations craignent les expériences de rendement à cause des préparatifs nécessaires, des complications possibles pour leur service, de leur coût parfois assez élevé et souvent, il faut le dire, à cause du peu de confiance quelles ont dans l'exactitude des résultats. Si ces craintes ont pu être justifiées autrefois, elles ne le sont plus aujourd'hui lorsqu'on s'adresse à des spécialistes ayant une expérience suffisante et ne craignent pas la peine.

Connaissant les rendements effectifs de ses turbines à l'état neuf et à l'état usé, ainsi que le diagramme de ses débits disponibles, chaque exploitation pourra établir les deux diagrammes des puissances disponibles semblables à ceux des fig. 35 et 36.

Ces diagrammes, son horaire et ses prix de fourniture d'énergie, lui permettront de calculer exactement la valeur des pertes subies.

Comme le montrent les nombreux exemples cités, les pertes que l'on constatera seront souvent d'une importance inattendue, capables de motiver une mise en état immédiate des turbines usées et, pour l'avenir, des mesures de protection efficaces.

* * *

Le moyen rationnel de remédier à ces inconvénients et de les éviter dans les usines nouvelles, consiste à détourner des turbines les graviers et les sables qui leur sont nuisibles.

En principe cette opération pourrait avoir lieu au moyen de dessableurs tels que ceux des usines de Florida-Alta, Ackersand et Monthey, décrits précédemment ; mais vu leurs grandes dimensions ces installations deviendraient vite trop encombrantes et coûteuses ; il faut donc chercher une meilleure solution du problème qui variera suivant le débit et les conditions spéciales à chaque usine.

La chute des alluvions sous l'action de leur propre poids a pour conséquence logique que dans les rivières et les canaux la teneur en sable de l'eau est beaucoup plus forte près du fond qu'à la surface. Cette concentration des alluvions dans les couches profondes a lieu surtout par la chute des matérieux les plus gros, nuisibles aux turbines, qui disparaissent complètement des couches supérieures.

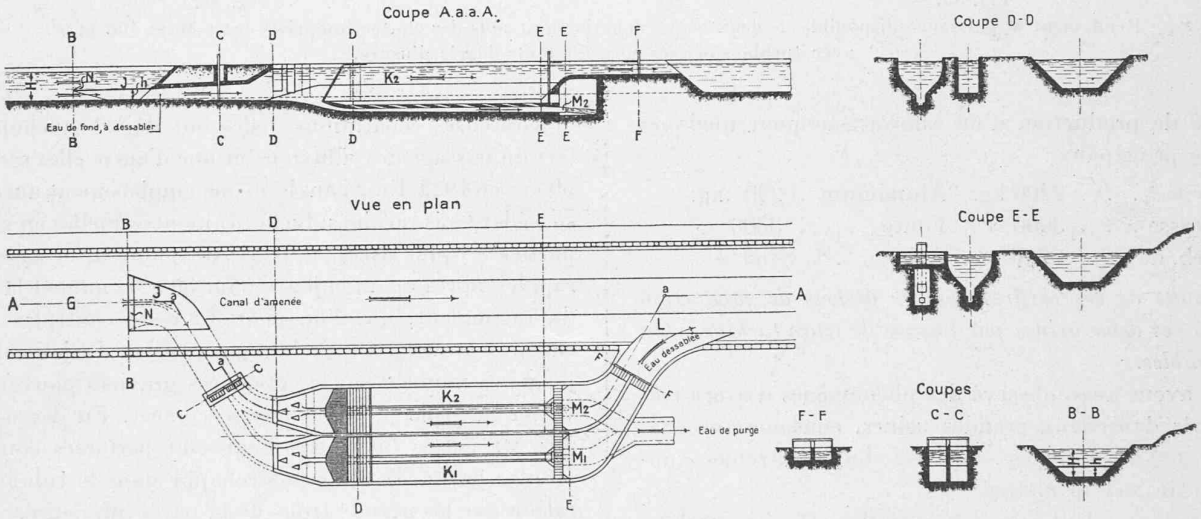
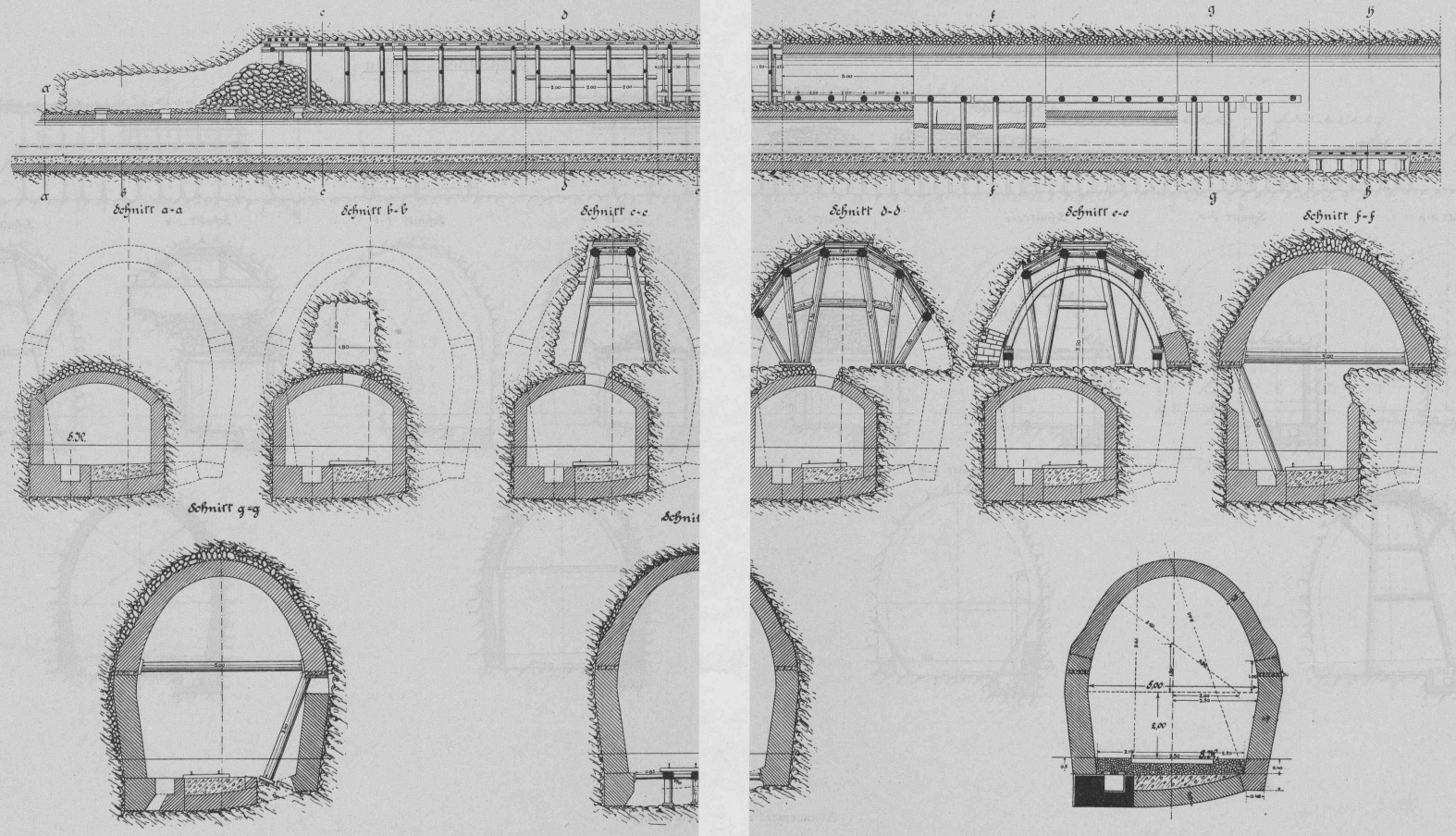


Fig. 38. — Dessableur automatique breveté, en dérivation sur un canal à grand débit. — Echelle 1 : 800.

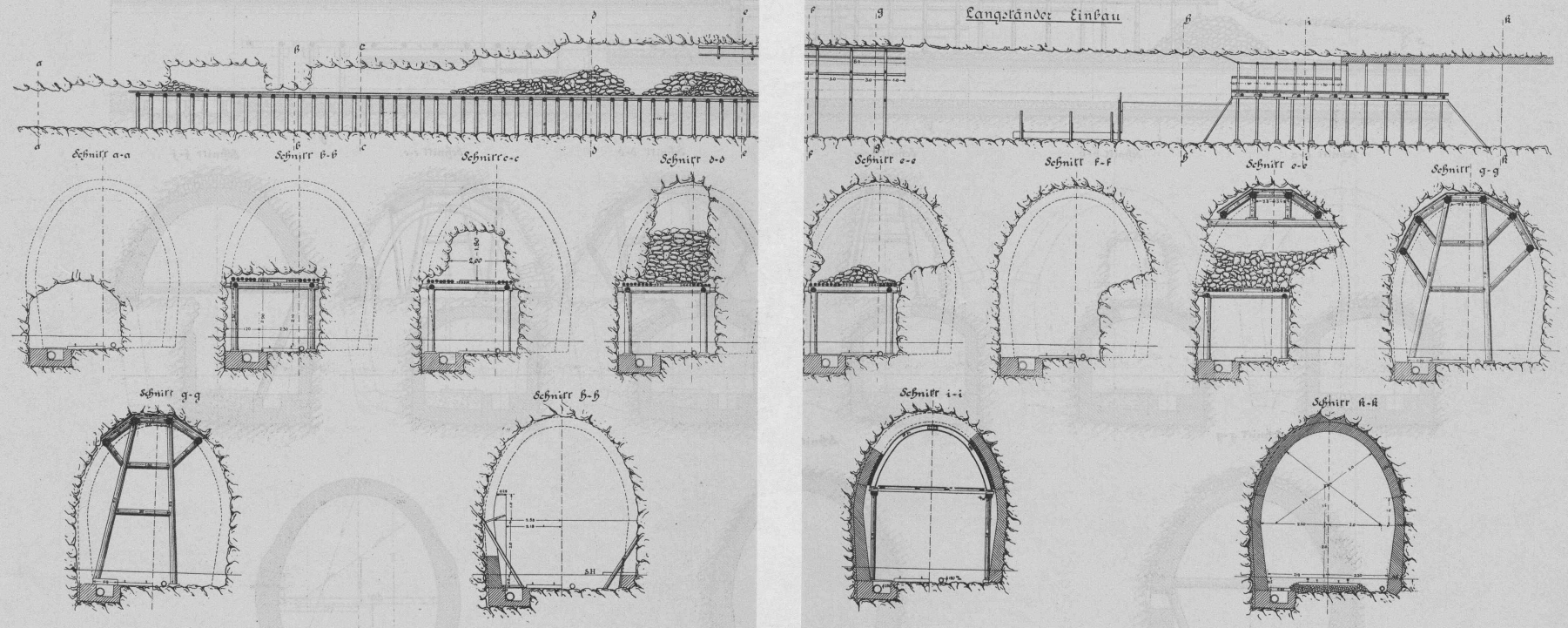
Cette propriété des alluvions les plus grosses, la faculté pour les usines à moyenne et basse chute de limiter l'efficacité du dessablage de leurs eaux à l'élimination des grains dépassant certaines dimensions et l'emploi du dispositif de purge automatique excluant la formation de dépôts, rendent possible le dessablage de gros débits au moyen d'installations relativement compendieuses.

La fig. 38 représente un type de dessableur à purge automatique pour grands débits, avec dispositif de prise sur le canal d'amenée. G est la partie inférieure d'un tronçon si possible rectiligne du canal, dans laquelle a lieu la concentration des alluvions vers le fond. Le plancher J sépare la couche inférieure de la couche supérieure déjà décantée, et la détourne vers les canaux de décantation K_1 et K_2 dont la construction est connue. L'eau de cette couche inférieure, une fois dessablée, rejoint le canal d'amenée par le raccordement L, pendant



Avancement s méthode belge.

PARACHÈVEMENT DE LA ME GALERIE DU SIMPLON



Avancement a[illegible]orts allongés.

PARACHÈVEMENT DE LA I[illegible]ME GALERIE DU SIMPLON

que l'eau de purge avec toutes les alluvions éliminées est rendue à la rivière.

Le seuil N provoque en amont de la section B-B, le léger remous du niveau de l'eau nécessaire pour permettre l'écoulement de la couche inférieure par le dessableur.

En basses-eaux les tuyères M_1 et M_2 sont fermées. Si la rivière charrie encore quelques alluvions, ce qui sera rarement le cas, elles se déposeront dans les canaux K_1 et K_2 pour être évacuées par des chasses périodiques.

La hauteur h de la couche inférieure est une fraction de la profondeur de l'eau H ; la faible largeur du fond du canal favorise la réduction du débit de cette couche et par conséquent des dimensions et du prix du dessableur.

La séparation des couches supérieures et inférieures de l'eau par un plancher, et la dérivation de cette dernière, peut aussi avoir lieu lorsque le canal d'amenée est en galerie. Le dessableur formera une seconde galerie ou sera placé si possible à ciel ouvert. Dans certains cas on se servira tout simplement d'une fenêtre d'attaque aménagée à cet effet.

(A suivre.)

Note sur un nouveau procédé de mesure du rendement des turbines hydrauliques

(Méthode thermométrique).

On peut, à cet égard, envisager l'emploi d'une nouvelle méthode, dont la réalisation pratique ne met en jeu qu'une mesure d'échauffement suivant un mode opératoire déjà réalisé, à mettre tout à fait au point, des essais satisfaisants ayant déjà été exécutés à ce sujet.

Soit une turbine hydraulique absorbant, en régime établi, un débit de Q litres par seconde, sous une hauteur de chute, lue au manomètre, de H mètres.

La puissance-eau fournie à la turbine est :

$$(1) \qquad P = QH \text{ kgm/sec.}$$

En admettant que les diverses pertes d'énergie dans cette turbine se transforment intégralement en chaleur, *évacuée par l'eau elle-même* (sous réserve de justification ultérieure), l'échauffement de l'eau (différence entre la température θ_2 de l'eau à la sortie, et celle θ_1 à l'entrée de la turbine (en degrés centigrades) sera proportionnel aux pertes de puissance p, et l'on pourra écrire :

$$(1') \qquad p = 425\,Q\,(\theta_2 - \theta_1)$$

Le rendement sera alors :

$$\eta = \frac{P - p}{P} = \frac{QH - 425\,Q\,(\theta_2 - \theta_1)}{QH}$$

Ou :

$$(2) \quad \eta = \frac{H - 425\,(\theta_2 - \theta_1)}{H} = 1 - \frac{425\,(\theta_2 - \theta_1)}{H} \text{ kgm/sec.}$$

expression dans laquelle le débit Q, qui était précisément le facteur difficilement mesurable, est éliminé.

La valeur du rendement est ainsi obtenue (1) instantanément, par une lecture de différence de température, et une lecture de pression manométrique.

Pour évaluer l'ordre de grandeur de cet échauffement, imaginons que nous ayons affaire à une chute de 300 mètres, et une turbine ayant environ 0,80 de rendement. L'échauffement de l'eau sera :

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{p}{425\,.\,Q} = \frac{0{,}20\,.\,QH}{425\,.\,Q} = \frac{0{,}20\,.\,H}{425}$$

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{0{,}20 \times 0{,}30}{425} = 0{,}141$$

Il faudrait donc disposer de thermomètres, simples ou différentiels, sensibles à des différences de température de l'ordre du centième de degré, avec une précision suffisante.

Cela est déjà réalisable avec des thermomètres existants, convenablement étudiés et perfectionnés.

L'emploi des couples thermo-électriques (*fer constantan*) de grande sensibilité permet également de réaliser avec précision cette mesure différentielle.

Lorsque l'eau n'est pas pure, parfois même très sablonneuse, quelques rectifications sont à apporter à la formule (1).

Si δ est la densité de l'eau sablonneuse, et c sa capacité thermique spécifique, on a :

(1)[1] puissance-eau :

$$P = Q\delta H \text{ kgm/sec.}$$

(1')[1] pertes :

$$p = 425\,Q\delta c\,(\theta_2 - \theta_1) \text{ kgm/sec.}$$

(2)[1] rendement :

$$\eta = \frac{Q\delta H - 425\,Q\delta c\,(\theta_2 - \theta_1)}{Q\delta H} = 1 - \frac{425c\,(\theta_2 - \theta_1)}{H}$$

Or, le manomètre indique δH, et non H ; on prendra pour H la hauteur de chute réelle, lue au manomètre *quand l'eau est pure*, et bien connue à l'usine.

Quant à la capacité thermique spécifique c de cette eau, une mesure très simple permet de la déterminer, par rapport à celle de l'eau pure, et d'en tenir compte dans le calcul de η d'après la formule (2).

Remarque.

Remarque I : Dans l'hypothèse de l'exactitude de la méthode, les appareils de mesure des températures pourraient rester en permanence installés et donner à chaque instant, et à toutes les charges des turbines, la valeur de leur rendement.

Installé pour chaque turbine, ce système donnerait au chef d'usine d'utiles indications sur l'état des organes (aubes et distributeurs).

Remarque II : Si l'on soutire de l'eau de la conduite directement dans une enceinte, sans lui faire produire de travail mécanique, son énergie intrinsèque se transforme intégralement en chaleur (rendement = 0), d'où, (si θ'_2 est la température de l'eau calme sous-tirée) :