

COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS
COMMENTS AND DISCUSSIONS

Généralités sur les divers types d'usines en rivière Les centrales submersibles

Different types of river-run power plants Submersible power plants

English synopsis, p. 419.

Dans le n° 5-1949 de la revue *la Houille Blanche*, M. H.-E. FENTZLOFF a présenté la description d'une centrale dite submersible (connue sous le nom de système ARNO FISCHER) et en a traité particulièrement les côtés « mécaniques » et « rendement ». A la suite d'une invitation de la rédaction de *la Houille Blanche*, nous nous proposons de comparer les centrales submersibles avec les autres types d'usines en rivière, en particulier dans le domaine de la construction hydraulique.

Sous le nom d'usines en rivière, on entend des ouvrages hydro-électriques ne comportant que barrage et centrale et destinés principalement à la production de l'énergie électrique. Dans ces ouvrages, où la chute est uniquement causée par la retenue, et qui ne comportent pas de canal latéral, le barrage peut être fixe, mobile ou combiné, et la centrale, située dans la rivière, peut comporter des turbines de construction et de disposition quelconque.

Suivant la structure en plan, on distingue (voir fig. 1) les usines en rivière :

- à blocs uniques (a),
- à blocs dédoublés (b) et (c),
- à blocs multiples (d).

Dans les usines en rivière à blocs uniques, le barrage et la centrale constituent chacun un ouvrage unique, cet ouvrage unique pouvant d'ailleurs comporter une seule cellule ou plusieurs

(pertuis du barrage, groupes hydro-électriques). Ce système étant jusqu'à présent le plus souvent exécuté, nous le qualifierons de « classique » ou de « conventionnel ». Si le barrage ou la centrale est scindé en deux, nous parlerons d'usine en rivière à blocs dédoublés. Dans le premier cas, la centrale sera du type « en île », dans le second cas, elle sera du type « sur rives ». En continuant dans cette voie, on distinguerait ensuite les usines en rivière à blocs multiples, où les machines sont installées, une à une ou par groupe, dans des ouvrages en forme de pile séparant les pertuis du barrage (centrales en piles).

Dans chacune de ces dispositions, la centrale peut, dans le sens vertical, être conçue de diverses façons : c'est ainsi que l'on peut distinguer (fig. 2) :

- les centrales avec superstructure (a),
- les centrales à l'air libre (b),
- les centrales submersibles (c), et éventuellement,
- les centrales souterraines.

Les centrales avec superstructure comportent une salle des machines dans laquelle est situé le pont roulant nécessaire au montage des groupes. Dans les centrales à l'air libre, le chemin de roulement du portique est placé sur la plateforme de service et l'on renonce au hall. Les centrales submersibles ou noyées sont caracté-

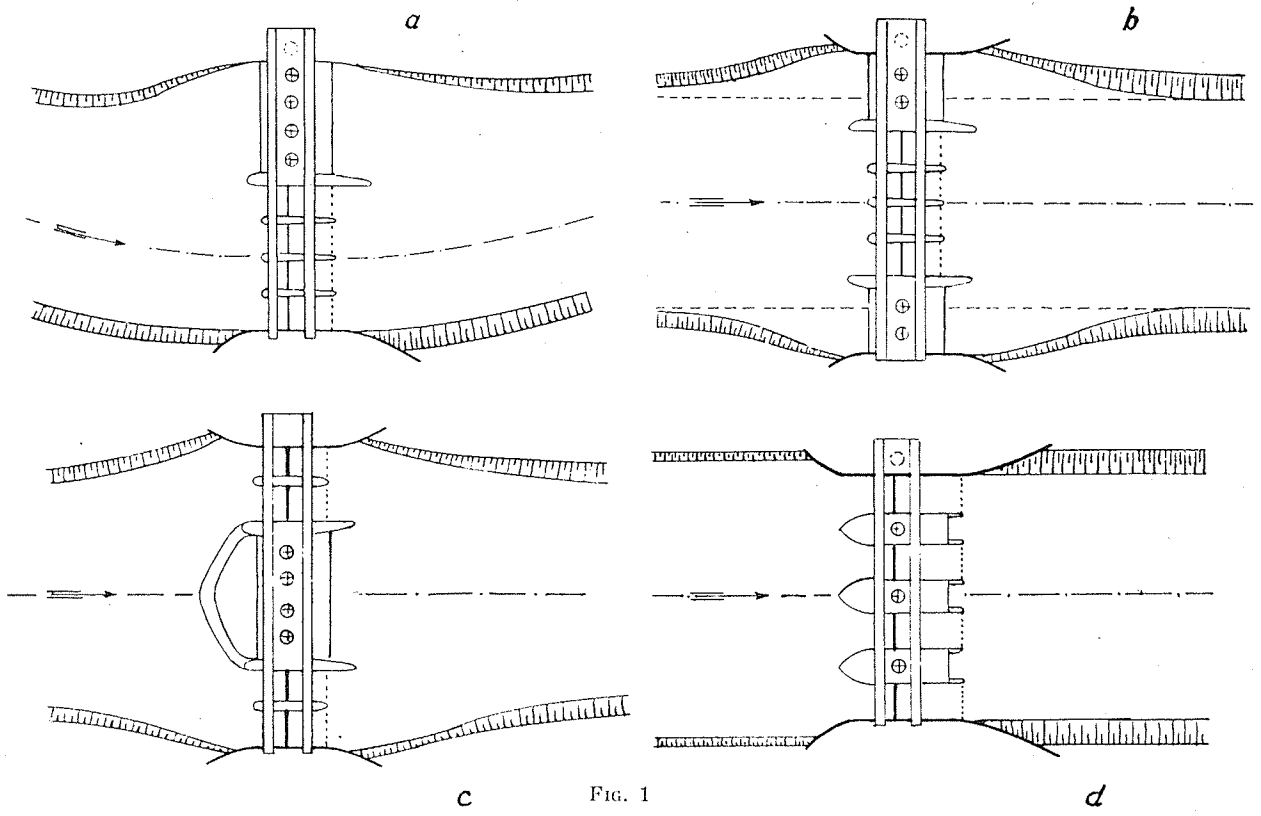


FIG. 1

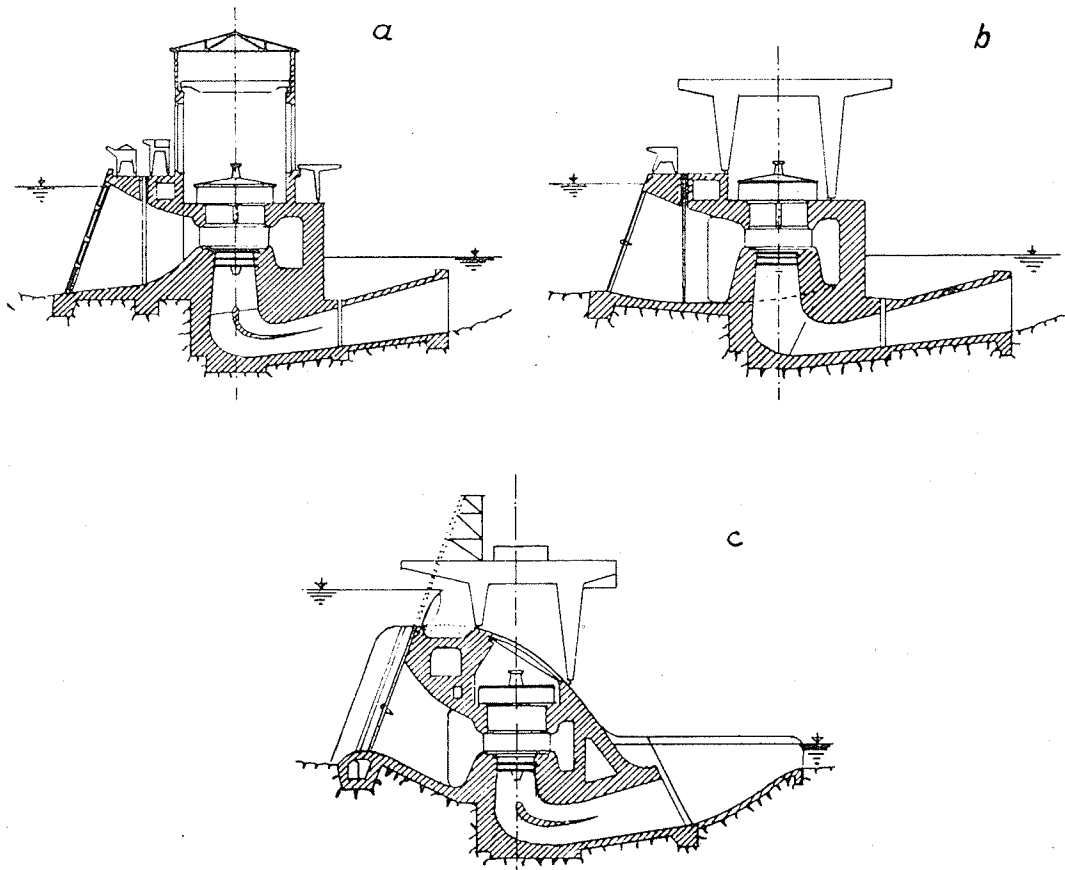


FIG. 2

risées par le fait que la partie des ouvrages dans laquelle sont installés les groupes peut être recouverte par les eaux. Il est également possible de disposer la centrale sous terre, à côté du barrage (centrale souterraine).

On peut classer tous les systèmes d'usines en rivière connus actuellement d'après les dispositions-types ci-dessus ou leurs diverses combinaisons. Le grand nombre de types existants est dû au développement du système à l'air libre qui favorise la dispersion des diverses parties des ouvrages.

L'ingénieur, à qui l'on demande de choisir, dans un cas déterminé, la disposition la plus favorable pour une usine en rivière, se trouve placé en face d'une multitude de possibilités, si bien qu'il risque de se perdre dans l'étude fastidieuse de nombreuses variantes. Il est donc intéressant d'entreprendre une critique des divers types de construction, valable si possible dans tous les cas et permettant de diminuer le nombre de ces variantes.

La tentative que nous faisons ensuite de classer, par ordre de valeur, ces divers types d'ouvrages, est basée sur notre principe fondamental de la satisfaction, au moindre coût, d'exigences techniques données.

La première chose à faire, avant toute comparaison, est de préciser, pour les divers types de construction et leurs variantes, les principales exigences techniques.

Les qualités techniques que l'on peut exiger d'une usine en rivière se rapportent aux points suivants :

- a) capacité hydraulique;
- b) capacité mécanique;
- c) sécurité d'exploitation,

auxquels il convient d'ajouter la valeur esthétique, c'est-à-dire l'aspect extérieur, donc

- d) configuration architecturale.

Pour apprécier la capacité hydraulique d'une usine en rivière, le critère le plus important est la perte de charge (différence de hauteur entre le niveau amont et le niveau aval) dans le cas d'écoulement le plus défavorable pendant la construction et pendant l'exploitation. Il faut tenir compte ensuite de l'allure de l'écoulement (zones d'eau morte, contractions, turbulence, rouleaux et vortex, etc), du volume d'affouillements en amont et en aval, des possibilités d'évacuation de la glace et des alluvions, etc.

Dans le cas où la cote définitive de la retenue est notablement plus élevée que le niveau naturel des plus hautes eaux et se trouve, par conséquent, à chaque débit, au-dessus des lignes d'eau, la perte de charge ne constitue qu'une indication qualitative de l'ensemble de la solution hydraulique et ne revêt pratiquement qu'une importance minime. Mais il s'agit, là, de

barrages relativement hauts qui sortent du cadre de la présente discussion.

En ce qui concerne la capacité mécanique, elle est fonction de la production annuelle, du délai de mise en route, du mode d'exploitation (réglage à distance, réglage automatique, etc.).

D'après le point c) ci-dessus, on exige un certain degré de sécurité de la part des ouvrages de génie civil et des constructions mécaniques, dans les conditions normales de fonctionnement, ainsi que dans les conditions exceptionnelles, compte tenu des opérations de révision ou d'arrêt des machines, de la manœuvre et du montage des vannes principales ou des vannes de secours, etc.

Pour comparer entre eux les divers types de construction et leurs variantes, il convient de les placer dans des conditions voisines, telles que chacune réponde aux exigences a), b) c) ci-dessus, ces exigences étant chiffrées dans toute la mesure du possible, c'est-à-dire que l'on doit varier les solutions possibles de façon à obtenir à peu près la même perte de charge, la même production annuelle, la même sécurité de marche, etc... De même l'aspect extérieur doit être à peu près équivalent.

Bien entendu, un tel « nivellement » demande une certaine maîtrise et suppose un haut degré d'objectivité. Mais une fois acquise l'égalité des valeurs techniques et constructives par le respect des exigences mentionnées ci-dessus, on en déduit obligatoirement une classification économique, et, par conséquent, la valeur respective, dans les cas envisagés, des divers types ou de leurs variantes.

Tandis que l'égalisation de la capacité mécanique et de la sécurité de marche ne demandent pas de moyens extraordinaires, la critique de la capacité hydraulique réclame nécessairement des essais sur modèle réduit.

Entre 1948 et 1949, l'auteur a donc entrepris, tout d'abord dans son laboratoire de la « Technische Hochschule » à Vienne, une série d'essais sur des modèles schématiques et complets concernant les différents types de centrales en rivière en *ligne droite*. L'équipement du laboratoire n'étant pas suffisant pour des modèles d'échelle plus grande, il a fait effectuer, ensuite, en 1949 et 1950, à la « Staatliche Versuchsanstalt für Wasserbau » du ministère de l'Agriculture et des Forêts, un grand nombre d'essais comparatifs sur un modèle complet des ouvrages projetés sur le Danube à Ybbs-Persenbeug (1). Cet ouvrage sera situé à la fin d'une *courbe* du fleuve et se composera d'un barrage, d'une centrale, et d'écluses de navigation.

(1) Voir GRZYWIENSKI A. — *Das Donauwerk Ybbs-Persenbeug*, Springer Verlag, Wien, 1949.

Pour ce projet, on a très soigneusement étudié les diverses réactions hydrauliques d'un grand nombre de types de constructions.

Les essais à la Technische Hochschule de Vienne avaient déjà confirmé une règle fondamentale énoncée dès 1941 par l'auteur et que l'on pourrait formuler à peu près comme suit :

pour une largeur et une hauteur données de la section mouillée, la capacité hydraulique d'une usine en rivière sera d'autant plus élevée que le milieu du barrage s'éloignera moins de la « ligne de gravité du cours d'eau » et que les piles seront moins larges. Par « ligne de gra-

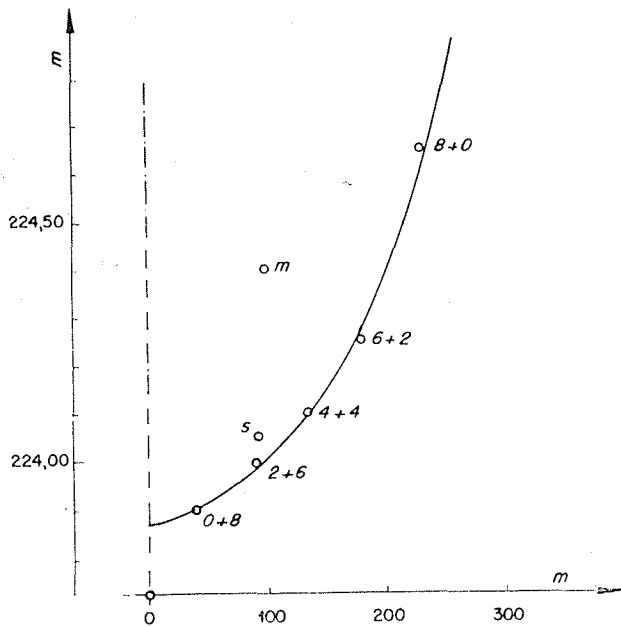


FIG. 3

vité du cours d'eau », nous entendons la ligne joignant les barycentres des vitesses dans les sections transversales successives.

L'exactitude de cette règle se comprend de suite si l'on s'imagine le régime turbulent remplacé par un régime non turbulent.

Les essais à la Technische Hochschule ont montré que la perte de charge augmente au fur et à mesure que la ligne de gravité du cours d'eau s'éloigne du milieu du barrage, et ceci, dans bien des cas, non pas linéairement, mais suivant une courbe fortement parabolique, en particulier si la dénivellation entre biefs amont et aval est petite (cas des grandes crues). La figure 3 montre les résultats des essais effectués à la Staatliche Versuchsanstalt sous la direction de M. le Conseiller au Ministère de l'Agriculture, R. EHRENBERGER. Sur l'axe des abscisses est portée la distance entre le milieu du barrage et la ligne de gravité du cours d'eau; en ordonnée on porte la cote absolue du plan d'eau en amont du

barrage lors d'une grande crue de $10.000 \text{ m}^3/\text{sec}$. La capacité hydraulique la meilleure est obtenue lorsque la perte de charge est la plus petite.

Ajoutons que, pour chaque modèle, on a soigneusement pris garde à ce que le débouché du barrage, la cote du seuil et toutes les autres conditions d'essais soient absolument identiques pour tous les types de construction envisagés.

Les chiffres portés sur le graphique indiquent l'implantation des huit groupes par rapport au barrage; par exemple $2 + 6$ signifie : 2 groupes à gauche, 6 groupes à droite du barrage; $0 + 8$ signifie donc une usine de rivières à blocs uniques (projet de l'auteur, figure 4). « S » correspond à une solution $2 + 6$ avec ligne de gravité du cours d'eau déplacée à cause d'une courbure du mur guideau amont de l'écluse, « m » correspond à une construction à blocs multiples. Le point exact correspondant à une usine submersible système FISCHER n'est pas indiqué, mais, d'après les essais à la Technische Hochschule il se situerait certainement au-dessus de « m », à longueur de construction approximativement égale.

La courbe de la figure 3 donne la preuve de l'exactitude de la règle énoncée plus haut. L'usine en rivière à blocs uniques, faisant coïncider le milieu du barrage avec la ligne de gravité du cours d'eau, constitue la meilleure solution dans les courbes du fleuve, et le fait que les écluses puissent ou non participer au passage d'une crue n'a aucune importance.

Pour avoir la même capacité hydraulique qu'une usine à blocs uniques, une usine à blocs multiples devrait comporter un débouché du barrage sensiblement plus important. Mais la plus grande valeur de la perte de charge n'est pas seulement due à une disposition défavorable des groupes, mais aussi à une plus grande largeur des piles, à un mur directeur courbe, à l'obliquité de l'axe et surtout aux parties fixes au milieu du barrage.

Grâce aux essais de l'auteur sur modèle, on sait maintenant en principe, quelle est la meilleure implantation d'une section donnée d'écoulement libre dans une usine en rivière : ceci résulte sans ambiguïté d'un examen de la figure 3.

En ce qui concerne les affouillements, la même valeur sera attribuée à deux solutions, seulement dans le cas où leur réalisation est telle que les affouillements présentent des dimensions à peu près équivalentes : ceci est réalisable en variant les longueurs du radier. Nous ne pouvons pas décrire ici en détail le comportement des différents types de construction dans ce domaine, ni les phénomènes généraux accompagnant l'écoulement (tourbillons, turbulence, etc.),

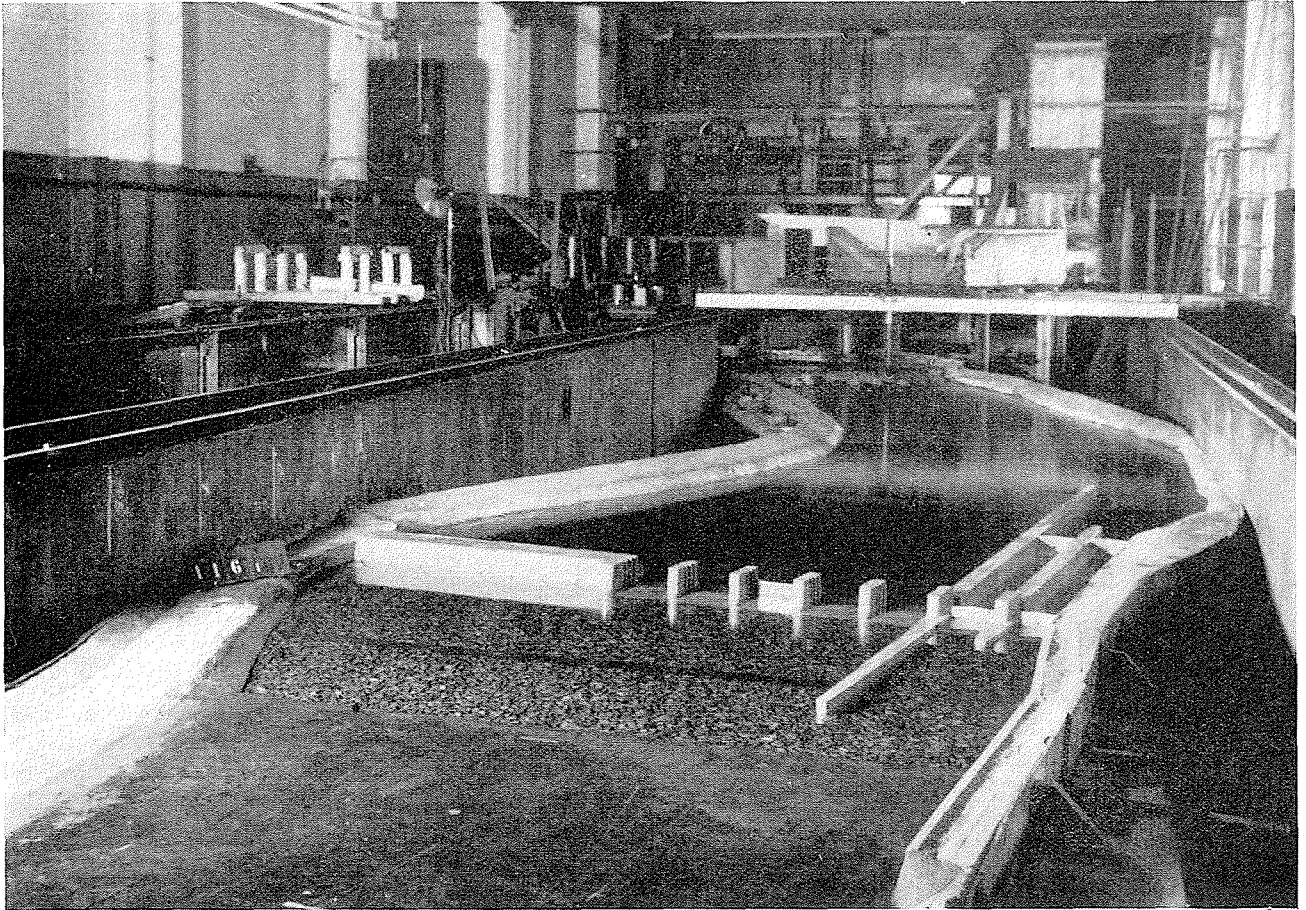


FIG. 4. — Essai sur modèle réduit au Laboratoire de la « Staatliche Versuchsanstalt für Wasserbau ».

mais ils ont fait l'objet d'études particulières dans les deux laboratoires (2).

Devant l'impossibilité de discuter, dans le cadre de cet article, les avantages et les inconvénients de tous les types de construction, nous nous contenterons de présenter quelques considérations sur les centrales submersibles, à la lumière des essais sur modèle réduit.

Comme nous l'avons déjà dit, le type « submersible » peut se combiner avec toutes les autres formes de construction.

(2) Voir GRZYWIENSKI A. — *Flusskraftwerke und Stromwerke*, Springer-Verlag, Wien, 1948.

Si l'on emploie des barrages avec partie fixe centrale (système ARNO FISCHER), il faut compter avec une perte de charge relativement importante, comme l'a montré l'essai de la Technische Hochschule. Ceci est un élément défavorable à la fois pendant la construction et pendant l'exploitation en cas de crues. Ce désavantage doit être compensé par une augmentation de longueur, ce qui amène des frais supplémentaires. Ce type de construction s'adapte donc mieux à des barrages relativement hauts.

Par contre, la capacité hydraulique peut être améliorée par une solution qui, en submergeant

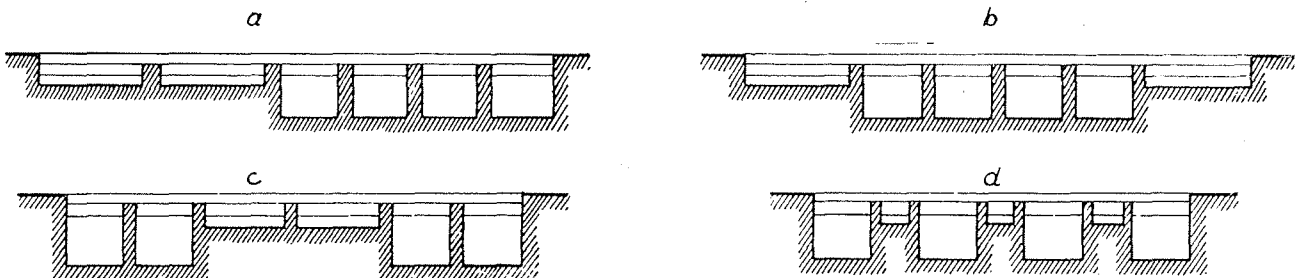


FIG. 5

la centrale, permet d'augmenter le débouché des ouvrages (3).

Dans la figure 5 nous avons schématisé les débouchés d'une centrale submersible à blocs uniques (a), à blocs dédoublés (b) et (c) et à blocs multiples (d). La figure 6 montre quelques détails de construction d'une centrale submersi-

bles équipant la partie « barrage » sont installés sur le portique. Ce système est susceptible de provoquer un effet « éjecteur » relativement favorable. Les turbines Kaplan sont installées dans des piles « machines ».

Ce type de centrale submersible exige des piles intermédiaires. On ne peut y renoncer qu'en

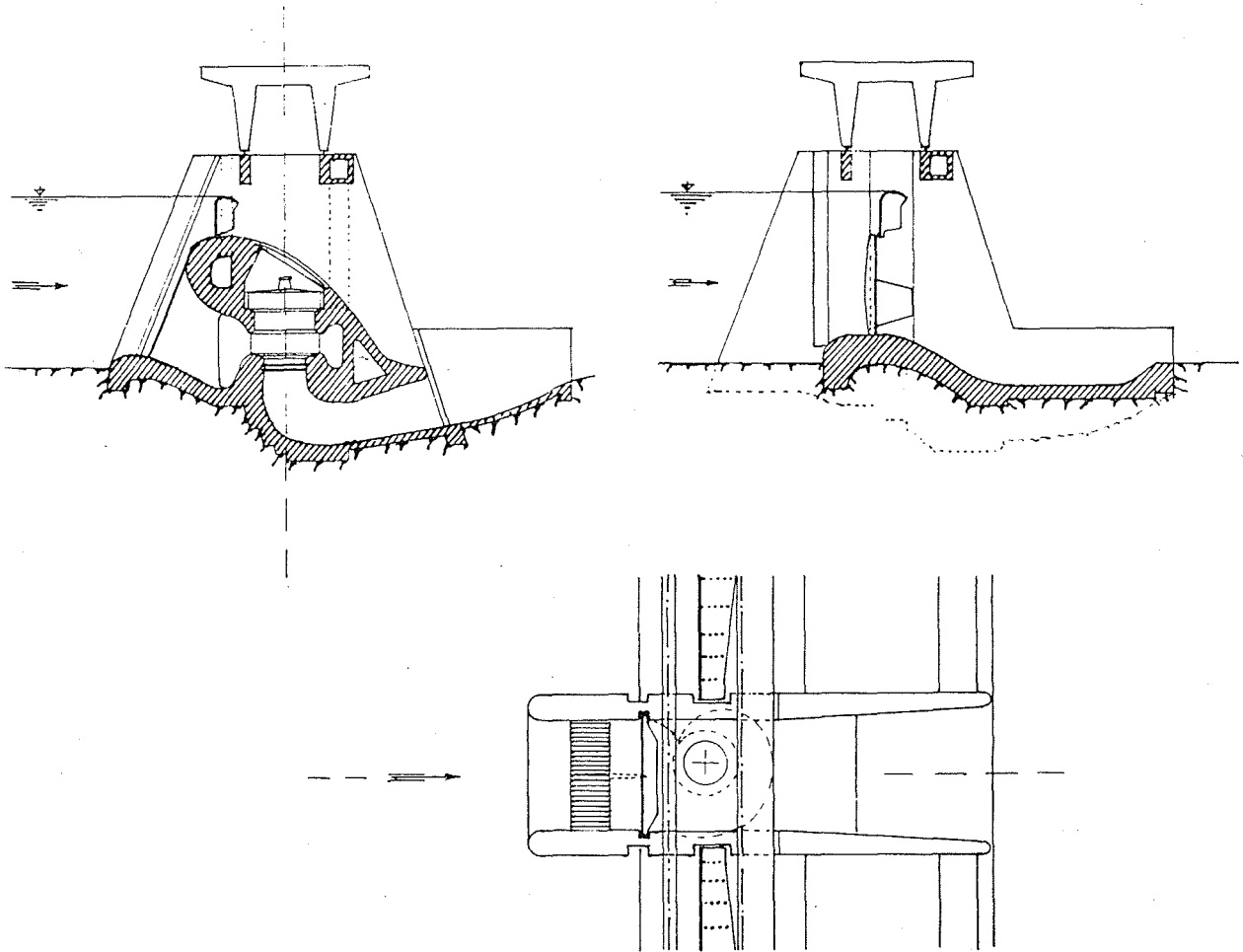


FIG. 6

ble à blocs multiples d'après le système de l'auteur; on y voit :

- En haut et à gauche, une coupe en travers d'un pertuis contenant un groupe submersible;
- En haut et à droite, une coupe en travers de l'un des pertuis-barrages;
- Et en bas, la vue en plan d'un pertuis contenant les machines.

Les treuils de manœuvre des volets déversants surmontant la partie « centrale » et des vannes

adoptant une partie centrale fixe dans le barrage. Mais cette solution n'est, généralement, admissible que si la section à déboucher en cas de crues est relativement petite par rapport à la section mouillée de la retenue. Elle convient donc spécialement aux barrages relativement hauts. Dans les autres cas, l'adoption d'une partie fixe centrale exige un approfondissement du débouché au-dessous du lit du fleuve.

Quant à l'équipement mécanique des centrales submersibles, la réalisation de turbines d'encombrement réduit en hauteur permettrait de s'assurer une diminution de la surface bâtie et par conséquent un progrès. Aussi, une turbine en conduite à double réglage assurant une grande sécurité d'exploitation devrait constituer

(3) Pour le genre de construction de centrales submersibles avec groupes hydroélectriques à axe vertical tel qu'il est schématisé dans les figures 2, 5 et 6, le brevet d'invention fut demandé par l'auteur.

un progrès tant au point de vue « écoulement » que hauteur de construction.

Si l'on se pose la question de savoir dans quelle direction on trouvera le type de construction le plus avantageux, c'est-à-dire le plus économique, voici ce que, dans l'état actuel de la technique hydraulique, on pourrait répondre.

Lorsqu'il s'agit de tronçons de rivières généralement sinueux, la solution la plus favorable devrait comporter une usine à l'air libre, peut-être avec centrale recouverte par les eaux. On réalisera des économies :

d'abord en évitant toute superstructure au-dessus des rails du portique ou du pont de service; ces rails eux-mêmes étant placés aussi bas que possible;

ensuite en utilisant des barrages à poutrelles dont les treuils sont installés sur le portique;

enfin en diminuant la hauteur de construction du groupe, etc.

Lorsqu'il s'agit de tronçons rectilignes, une disposition symétrique similaire (centrale non enterrée à blocs dédoublés ou à blocs multiples) pourra s'avérer comme la meilleure solution hy-

draulique, mais l'écart avec une usine à blocs uniques bien orientés sera minime, si bien que, dans la plupart des cas, les avantages d'économie et d'exploitation font préférer le type classique.

Ces quelques considérations sur les divers types d'usines en rivière (4) montrent que, comme c'est souvent le cas dans la technique hydraulique, le vrai progrès ne va pas par bonds et n'est pas le fruit de dispositions complètement nouvelles s'adaptant à tous les cas, mais qu'il résulte de la progression continue de dispositions éprouvées, rendues meilleures et moins chères.

Au point de vue technique et économique, l'usine en rivière classique à blocs uniques s'avère, dans la plupart des cas, la plus favorable.

Prof. Dr. Ing. ANTON GRZYWIENSKI *,

(4) Voir aussi le rapport de l'auteur pour l'United Nations Scientific Conference on the conservation and utilisation of resources, Lake Success, New-York, août 1949.

Modern principles for the construction of Hydro electric Stations and river Development Projects.

* IX. Wasagasse 6 Wien. — Autriche.

