PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA CONSTRUCTION DES CENTRALES SUBMERSIBLES BASIC PRINCIPLES OF THE ERECTION OF SUBMERSIBLE POWER PLANTS

par **Helmuth E. FENTZLOFF** ⁽²⁾

English synopsis p. 563

A) GÉNÉRALITÉS

On cherche, dans tous les pays civilisés, à adapter les cours d'eau naturels aux exigences toujours croissantes des transports ou de l'exploitation de l'énergie ou, ce qui est plus rationnel, aux unes et aux autres.

On a constaté, au cours de ces dernières années, que la forme d'aménagement de beaucoup la plus économique était l'aménagement en biefs successifs avec usine-barrage dans le lit même du cours d'eau : ceci permet toujours d'atteindre plusieurs objectifs, tels que la navigation, l'exploitation de l'énergie hydraulique, la bonification des terres, la lutte contre les crues et l'accroissement des possibilités de dégrèvement des biefs.

Après que Kaplan eût introduit en 1912-13 les turbines hélices et les pales orientables et lorsque l'industrie compétente eut mis au point une construction suffisamment sûre de ces machines à partir de 1920 — en Allemagne à partir de 1922 ⁽¹⁾ — une nouvelle ère s'ouvrit pour cet aménagement en biefs successifs de l'énergie hydraulique qui est spécifiquement du domaine des basses et moyennes chutes.

De tout temps, l'ingénieur chargé d'un tel projet s'est efforcé d'adapter le mieux possible les dispositions prévues aux conditions naturelles particulières à chaque cours d'eau, tout en y introduisant des simplifications sensibles au point de vue constructif.

Malgré les grandes variations de débit et les hauteurs de chute relativement faibles, ce résul-

tat a pu être atteint, dans une très grande mesure, grâce à la turbine Kaplan, dont le rendement reste élevé pour une gamme très étendue d'ouvertures.

Pour l'établissement du projet, l'ingénieur n'était plus obligé d'avoir recours, pour augmenter la chute, à des artifices tels que l'aménagement de canaux latéraux, la coupure de grands tronçons de rivière ou même l'utilisation d'un bassin voisin, afin de fournir au constructeur de turbines des conditions favorables à l'obtention de rendements élevés.

Par la suite, un mode de construction nouveau a été introduit, dans lequel la partie de l'ouvrage correspondant à la centrale et à ses canaux d'amenée et de fuite est, en général, située latéralement dans un élargissement local de la rivière, tandis que la partie correspondant au barrage mobile à plusieurs pertuis qui assure l'évacuation des crues se trouve dans le lit normal ⁽¹⁾. Fig. 1.

On emploie, habituellement, dans ce cas, des turbines hélices à simple ou double élément de réglage, avec axe vertical, bêche spirale et tuyau d'aspiration coudé. L'alternateur, directement accouplé, est monté à une hauteur plus ou moins grande au-dessus de cette turbine et est souvent disposé avec son pont roulant et d'autres appareils nécessaires au montage, dans un bâtiment des machines en superstructure. Vers 1930, on vit apparaître en Europe, venant des États-Unis, avec la construction des « alternateurs sous capot ou à l'air libre », le type de centrale « sans superstructure ».

(1). La référence (1) et les suivantes se rapportent à la bibliographie à la fin de l'article.

(2) im Ort 9, Passau (Allemagne).

(1) En allemand, ce type de centrale est appelé de façon très imagée « Buchtenkraftwerk » (littéralement : centrale de baie).

Vue en plan d'une centrale enclavée dans la rive. La centrale est en dehors du cours d'eau.
Extrait de la « Deutsche Wasserwirtschaft », 1934, N° 4.
(DREYER : Exploitation de l'énergie hydraulique de la Basse Inn).

B) HISTORIQUE

Les constructeurs ne se sont pas contentés de ce mode de construction qui n'épuisait aucune-ment les possibilités multiples de nature hydrau-lique que l'on trouve dans une brusque dénivel-lation. Car on peut obtenir ici, par le jeu com-biné du débit turbinable et du débit en excès pendant les crues, des avantages au point de vue de la construction et de l'exploitation.

Il y a longtemps que les ingénieurs hydrauli-ciens du vieux et du nouveau monde cherchent à exploiter les hautes eaux dans les centrales (2). Grâce à la récupération de la chute et à l'effet éjecteur, des résultats substantiels ont été obte-nus quant à l'augmentation de la production d'énergie pendant les hautes eaux (jusqu'à 30 % et plus) (3). Mais les avantages constructifs qu'on pouvait en retirer restaient limités par suite de la subsistance du grand encombrement de la turbine à bêche spirale surmontée de son alternateur. Dans ce domaine, une solution plus perfectionnée et plus économique n'est possible que si, avec une alimentation rectiligne, un nou-

veau type de turbine permet une combinaison plus condensée de la centrale et du barrage.

Durant les années 1928-31, des efforts systé-matiques ont été poursuivis en vue de perfec-tionner dans ce sens la construction des cen-trales en rivières et d'abaisser leur prix de revient. Ces efforts ont abouti au projet d'amé-nagement en biefs successifs de l'Inn (Bavière), sur le tronçon Kempten-Ferthofen, présenté par Mr. R. SCHMICK (4) et l'auteur en mai 1931 au Ministère de l'Intérieur de Bavière. D'une part, ce projet a prouvé que, pour l'exploita-tion hydraulique d'un bassin des Préalpes (5), l'amé-nagement en biefs successifs était économiquement supérieur à un aménagement avec canal latéral. D'autre part, on a ainsi réalisé un ouvrage combiné centrale-barrage qui a indiqué la voie dans laquelle il fallait développer le mode de construction des centrales submersibles. Ce mode de construction est connu depuis 1938 sous la désignation allemande techniquement incorrecte de « Unterwasserkraftwerk » (cen-trale noyée).

L'auteur a déjà, en 1931, précisé les règles fondamentales de la technique des centrales submersibles dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

- 1) Implantation de la centrale dans le lit même de la rivière.
- 2) Répartition du débit aménagé entre plusieurs groupes de même importance.
- 3) Les groupes et les pertuis évacuateurs alternent et sont répartis uniformément sur toute la largeur de la rivière.
- 4) Possibilité de déversement partiel ou complet de l'eau par-dessus le corps commun du barrage et de la centrale.
- 5) Amenée de l'eau aux turbines avec le minimum de courbures et position inclinée de l'axe des turbines correspondant à la direction naturelle de l'écoulement.

Tout récemment encore, à propos de la centrale d'Obernberg sur le tronçon aménagé de l'Inn inférieur, en Bavière (centrale du type « enclavée dans la rive »), l'adoption de la seule caractéristique précédente N° 2 a procuré une

telle économie sur les frais de construction que, pour une chute et un débit identiques, on a prévu deux fois plus de machines que pour le bief d'Ering situé immédiatement à l'amont (6).

Les figures 2 à 5 illustrent ce processus de développement dont les résultats ont constitué la base d'études ultérieures. On a cherché en particulier une combinaison rationnelle des machines hydrauliques et électriques, afin de réaliser un ensemble d'encombrement réduit en même temps qu'avantageux au point de vue hydraulique.

On aboutit ainsi au type de machine que nous appellerons « turbine en conduite » qui, comme sa devancière la « turbine à bêche spirale », peut comprendre une roue hélice ou une roue Kaplan. Ce qui est remarquable ici, c'est la création d'un « groupe hydroélectrique » dans lequel la transformation d'énergie s'effectue au cours d'un trajet minimum et qui offre simultanément des bonnes conditions de montage, d'entretien et d'exploitation.

Les figures 6 à 11, représentant les constructions exécutées à ce jour, montrent dans quelle

fig. 2

Usine en rivière. — Usine-barrage non submergée par les crues.
Extrait du projet Schmick-Fentzloff pour l'aménagement de l'Iller moyenne (tronçon Kempten-Ferthofen) de mai 1931.

fig. 3, 4 et 5

Aménagement de l'Iller entre Kempten et Ferthofen

N.B. — La fig. 4 représente un ouvrage non submergé en hautes eaux. La fig. 5 représente un ouvrage submersible.

Aménagement du cours de l'ILLER
entre KEMPTEN et FERTHOFEN
Usine 7 - Km 64 + 750

PLAN D'ENSEMBLE

ECHELLE
0 10 20 30 40 50 m

fig. 6

Vue en plan de la centrale submersible de Steinbach sur l'ILLER (Centrale VII) Bavière.
(Coupe au niveau de l'axe des turbines en conduite).
(Extrait du projet de construction d'avril 1937).

fig. 7

Plan d'une centrale submersible. Bief de Freilassing sur la Saalach (frontière Austro-Bavaroise).
(Extrait du projet de novembre 1941).

fig. 8

Centrale submersible de Rostin sur la Persante (Poméranie).

mesure on est arrivé à marier dans une solution optima de l'ensemble de l'installation, les trois éléments principaux d'une centrale en rivière, à savoir : le génie civil, les machines et les vannes (l'équipement mécanique). Contrairement à la combinaison encombrante et certainement non rationnelle des éléments constitutifs de la centrale enclavée, la centrale submersible constitue un ensemble harmonieux grâce à la disposition de ses éléments étroitement imbriqués et superposés.

On a cherché et réussi à utiliser, de manière satisfaisante à tous les points de vue, les phénomènes accompagnant l'écoulement par-dessus les déversoirs dénoyés et noyés avec leurs effets avantageux possibles.

C) CONSTRUCTIONS RÉALISÉES

Sur les constructions en question, voici les renseignements essentiels complétant les figures :

1) La centrale submersible de « Rostin » sur la Persante, en Poméranie. Date de construction : 1936. Fig. 8.

Le type de turbine en conduite employé ici utilise « l'alternateur entouré d'eau ». La tur-

bine, munie d'un blindage étanche, est placée au centre d'un tuyau enveloppe et est portée par des bras qui servent en même temps de distributeur fixe : les gaines de câbles, ainsi que les tuyauteries d'huile et d'eau de fuite, traversent la directrice inférieure qui est creuse. La roue Kaplan, qui est ici sans ceinture, est montée en porte à faux sur le prolongement côté aval de l'arbre.

L'ouvrage est constitué par un corps entièrement en béton armé comprenant au total 725 m³ de béton et 29,5 t. de fers. La construction a duré de janvier à juillet 1936, soit un peu plus de six mois. Avec une chute de 3 m. 75 et un débit de 12,6 m³/sec. pour les deux turbines, la puissance nominale de l'installation est de 530 CV. Les pertuis évacuateurs et les déversoirs ont été prévus pour une crue maxima de 80 m³/sec. D'après les notes de l'auteur, les frais de construction de l'ouvrage faisant partie de l'ensemble des travaux de régularisation des crues de la Persante se montaient à 280.000-RM, c'est-à-dire à 530-RM par CV installé. La production annuelle moyenne pour la période de 1936-43 a atteint 1,3 millions de KWH (voir aussi chapitre G).

2) **La centrale submersible de « Steinbach » sur l'Ille (Bavière). Date de construction : 1937-38. Fig. 9.**

Le type de turbine en conduite employée ici est monté avec un « alternateur-bague » traversé par la veine liquide. La roue hélice à pales fixes est munie d'une ceinture et, en même temps, joue le rôle de rotor pour l'alternateur. Elle comporte un moyeu de forme hydrodynamique, placé dans l'axe de la conduite enveloppe et s'appuyant à l'amont et à l'aval, par l'intermédiaire de croisillons, sur les anneaux de scellement de la conduite. Ici aussi le bras inférieur du croisillon, de profil hydrodynamique, est creux, afin de permettre le passage des diverses tuyauteries (amenée ou départ de l'huile sous pression, de l'huile de graissage, câbles, fuites, etc...). Le distributeur, attaqué par le courant axialement et comportant des directrices orientables, est placé

juste avant la roue de la turbine. Les directrices, réglables de l'extérieur, sont elles aussi portées avec leurs tourillons intérieurs par le corps du moyeu de forme hydrodynamique. La ceinture de la roue qui constitue un tronçon tournant de la conduite-enveloppe porte les pôles du rotor qu'entoure, comme d'habitude, le stator de l'alternateur. Celui-ci se présente ainsi comme une bague entourant la veine liquide.

Le problème essentiel à résoudre dans la construction d'une turbine en conduite, si l'on veut obtenir une marche sûre, est celui des fuites qui se produisent inévitablement entre la ceinture de la roue et les parties fixes adjacentes de la conduite-enveloppe. Entre la mise en marche et la pleine charge, ces fuites varient entre 50 et 0,24 l./sec., c'est-à-dire de 0,2 à 0,001 % du plein débit. Les pertes par fuites dans les turbines hélices et Kaplan se montent, comme on le

fig. 9

Centrale submersible de Steinbach sur l'Ille (Bavière).
(Extrait du projet d'avril 1937).

sait, à 1,3 - 1,6 % du plein débit. Dans toutes les turbines en conduite à axe incliné, ces fuites sont évacuées automatiquement en les faisant passer dans le tuyau d'aspiration de la turbine.

Grâce à l'expérience d'exploitation acquise, cette question essentielle est maintenant résolue. Après les difficultés initiales et de peu d'importance, les turbines en conduite marchent maintenant, après onze années de service, d'une manière absolument sûre et satisfaisante.

L'ouvrage est construit, suivant les efforts à supporter, avec du béton normal ou faiblement armé, mis en place au moyen de pompes. Le dosage en ciment ne dépasse en aucun cas la composition exigée pour le béton armé. Les parois intérieures de la centrale sont revêtues d'un placage en béton poreux de 5 cm. d'épaisseur recouvert d'un enduit étanche de Torkret. Cette couche poreuse brise la charge des fuites éventuelles et en assure l'évacuation. Les visiteurs sont particulièrement frappés par la sécheresse que l'on obtient ainsi dans les locaux, bien qu'ils soient soumis continuellement à la pression de l'eau. Par ailleurs, ces locaux sont aérés et éclairés par des fenêtres donnant sur l'aval.

La quantité totale de béton mis en place employée a été de 7,420 m³ et celle de fer de construction de 72 tonnes, avec une proportion de coffrage de 1,1 m² par m³ de béton. La construction a duré d'avril 1937 à juillet 1938, soit seize mois. Il est à remarquer que, l'ouvrage étant situé dans le lit même de la rivière, sa construction a nécessité une dérivation provisoire de l'Iller sur la rive gauche. Pendant la période de construction, et malgré les interruptions de travail prolongées provoquées par deux crues dangereuses de plus de 450 m³/sec., le groupe 1 a pu être mis en service avec une retenue partielle le 25 janvier 1938. La mise en eau de la retenue totale et les essais de fonctionnement de toute l'installation ont eu lieu en juin et la mise en exploitation (alimentation du réseau) le 11 juillet 1938.

Avec une chute de 8,70 m. et un débit de 100 m³/sec. pour l'ensemble des quatre turbines en conduite, la puissance de l'installation est de 10.000 CV. Les déversoirs et les pertuis évacuateurs sont prévus pour une crue maximum de 900 m³/sec.

D'après les notes de l'auteur, qui était chargé (comme pour la Persante) de l'étude du projet, des conditions de l'adjudication, de la partie

financière et, en grande partie aussi, de la direction locale de la construction, et d'après les informations complémentaires demandées en automne 1946 et au printemps 1947 aux entreprises intéressées en son temps à la construction de l'ouvrage, les frais d'installation pour la tranche de l'Iller à Steinbach en 1937-38 étaient :

Génie civil	RM	999.420
Fournitures de machines	RM	397.000
Constructions métalliques	RM	120.000
Elévateur pour bateaux	RM	4.000
Poste de distribution électrique	RM	88.000
Transformateurs	RM	60.000
Ouvrages annexes	RM	150.000
		<hr/>
		1.818.420

A ajouter : les frais pour acquisition des terrains, amortissements, les frais d'avant-projet et d'études et les autres travaux non liés directement à la construction locale, environ

TOTAL RM 2.300.000

Ainsi le prix de revient était ici de 230,00 RM par CV aménagé. Dans les années de débit moyen de la période 1938-1944, il a été vendu, annuellement, 20,6 à 22,9 millions de KWH (voir chapitre G). D'après l'évaluation actuelle, l'utilisation du débit aménagé des quatre biefs actuellement exploités de l'Iller, qui est à peu près égale à celle de Steinbach, a été, en 1947, de 92 %, et en 1948 de 87 %.

Comme le montre la coupe par l'axe de l'ouvrage sur la fig. 9, ce bief comporte des turbines et des pertuis évacuateurs répartis non uniformément sur la largeur de la rivière, s'écartant ainsi des postulats établis déjà en 1931. La solution de compromis des quatre groupes rassemblés du côté de la rive gauche avait été adoptée sur la demande expresse du constructeur des turbines qui, pour cette première réalisation à grande échelle, comptait, en groupant les machines, faciliter grandement leur surveillance et leur entretien. Les craintes que l'on avait à ce point de vue n'ont pas été justifiées, mais, comme on pouvait s'y attendre, du fait de l'écoulement dissymétrique, le groupe 1, le plus proche de la rive, accuse, par rapport au groupe 4, le plus éloigné de la rive, un abaissement de puissance se montant par moment à 2,8 %.

fig. 10

La centrale submersible-type de l'aménagement du Lech (Bavière).
(Extrait du projet modifié du printemps 1940).

3) Les centrales submersibles du Lech (Bavière) en construction depuis 1940. La construction standard. Fig. 10.

Si l'on considère la section de l'installation passant par l'axe longitudinal des turbines, on est frappé par la position horizontale et avec cela très basse des turbines en conduite, position qui s'écarte aussi des postulats fondamentaux. Les bons résultats obtenus sur l'Iller (Bavière) avec des groupes à axe incliné et aux abords dégagés, de surveillance et d'accès faciles étant considérés par le Maître de l'œuvre comme encore insuffisants, la position horizontale de l'axe fut imposée pour les biefs successifs du Lech. Cela entraînait d'abord un accroissement des dépenses pour le génie civil du barrage ; puis, dans la suite, on rencontra fatalement des difficultés de montage, d'entretien et d'exploitation.

Par conséquent, si l'on ne connaît pas l'enchaînement des événements, il paraît compréhensible que le visiteur des biefs du Lech ait, ici, l'impression d'une construction défectueuse et il risque de déduire d'erreurs évitables, signalées dès l'origine par les auteurs du projet, le soi-disant manque de valeur de cette technique en général.

Pour la totalité des neuf installations du Lech, les ouvrages sont exécutés aussi en béton armé en prenant les mêmes mesures que sur l'Iller, afin que les locaux intérieurs soient secs. Au total, la quantité de béton mis en place par usine était en moyenne de 11.500 m³, avec 320 tonnes de fers. En raison des conditions créées par la guerre, la durée et les frais de construction ont subi l'effet de facteurs anor-

maux qui excluent toutes considérations comparatives.

Avec une chute de 8,10 m. et un débit de 120 m³/sec. des six turbines en conduite par centrale (bief standard), la puissance de l'aménagement est de 11.100 CV. Les déversoirs et les pertuis évacuateurs sont dimensionnés pour des crues maxima de 1.180 m³/sec.

4) **La centrale submersible de Freilassing, sur la Saalach (Bavière-Autriche), en construction depuis 1942. Fig. 11.**

Cette installation a pu être projetée et aménagée presque sans compromis. Par conséquent, elle représente la construction la plus perfectionnée, comme le montre la comparaison avec les trois types d'ouvrages submersibles précédents.

Des arrêtés spéciaux du temps de guerre interdisaient l'adoption de nouveaux modèles dans la construction de grosses machines. Pour cette raison, le débit de 60 m³/sec. du bief de la Saalach a été réparti entre trois groupes, en

employant le modèle de turbines en conduite utilisé sur le Lech (Bavière).

Une répartition de la puissance aménagée entre quatre machines groupées deux par deux aurait eu comme résultat un ouvrage plus économique et des machines encore plus accessibles.

On retrouve ici les bons résultats obtenus avec la position inclinée de l'axe des turbines en conduite. La preuve en avait déjà été fournie, à cette époque, par les résultats des installations de la Saalach avec leurs turbines en conduite à axe incliné permettant un accès commode et facile. Notons que la turbine centrale sera une Kaplan.

Les difficultés dues à la guerre dans l'approvisionnement de matériaux appropriés ont malheureusement empêché ici l'aménagement de fenêtres dans la partie submersible du centre de l'ouvrage ; pour les mêmes raisons, le rythme de la construction s'est trouvé ralenti. Tandis que la dérivation de la rivière entraînait des travaux coûteux du fait de l'élévation des rives, les travaux de fondation de cet ouvrage divisé en trois tronçons se heurtaient à de sérieuses difficultés

fig. 11

Centrale submersible de Freilassing sur la Saalach (Bavière-Autriche).
(Extrait du projet de novembre 1941).

fig. 12

La centrale submersible de Rostin sur la Persante.

dues à une couche profonde de sable très fin d'origine détritique. Ces difficultés auraient été surmontées assez rapidement si on avait pu disposer d'une quantité de palplanches suffisantes et si on avait pu employer des procédés de consolidation appropriés (par ex. l'électroosmose). La disposition la meilleure pour l'assise des fondations aurait consisté à adopter un filtre TERZAGHI : l'uniformité de la base de ces fondations d'une rive à l'autre, qui est l'une des caractéristiques de ce mode de construction, convenait tout particulièrement.

La construction de cet ouvrage qui est, lui aussi, protégé contre les infiltrations possibles grâce aux procédés déjà décrits, a nécessité 11.987 m³ de béton et 114,9 t. de fers avec une

proportion de coffrages se montant à 0,8 m² par mètre cube de béton

Avec une chute de 8,23 m. et un débit de 60 m³/sec. des trois turbines en conduite, la puissance développée est de 5.600 CV. Les déversoirs et les pertuis évacuateurs sont dimensionnés pour des crues maxima de 1.000 m³/sec. Comme dans les installations du Lech, il n'est pas possible de se livrer ici à des considérations comparatives en ce qui concerne la durée et les frais de construction, car les travaux ont été exécutés pendant la guerre dans les conditions les plus difficiles. Les fig. 12 à 15 (la fig. 13 est la photographie illustrant la couverture de ce numéro) illustrent les centrales submersibles décrites ci-dessus. Leur étroite alliance avec la nature et le paysage s'y manifeste clairement, respectant ainsi de façon satisfaisante cette condition, actuellement si importante, d'une harmonie entre le progrès technique et notre niveau d'évolution artistique.

D) LES MACHINES

Les fig. 16 et 17 donnent, en vue d'une comparaison, les coupes d'une turbine en bêche spirale et d'une turbine en conduite de même diamètre et munies d'alternateurs correspondants. Ce qui frappe un observateur critique, ce sont, sans aucun doute, les différences entre les modes d'écoulement de l'eau, entre les combinaisons des forces mises en jeu, entre les encombrements des groupes et — ceci est moins intuitif — entre les poids. Ce dernier point a pu être

fig. 14

La centrale submersible de Denklingen sur le Lech (bief II).
(Vue prise le 2 novembre 1942).

fig. 15

La centrale submersible de Freilassing sur la Saalach.
(d'après le peintre H.-A. Craemer. Munich, 1948).

fig. 16

Turbine Kaplan en bache spirale et son alternateur.

vérifié rigoureusement à plusieurs reprises au cours de calculs comparatifs concernant divers projets ; et ceci reste encore vrai même si, à puissance égale, l'adoption des turbines en conduite amène à multiplier par deux ou davantage le nombre de groupes correspondant à une installation classique avec bache spirale.

Si l'on compare les poids des machines proposées, par exemple, pour l'aménagement du Lech en Bavière ($120 \text{ m}^3/\text{sec.}$ sous $7,5 \text{ m.}$), on trouve les chiffres suivants :

- 2 turbines Kaplan en bache spirale (y compris le régulateur et non compris la grille et la vanne de garde) 225.180 kg.
- 6 turbines hélices en conduite (y compris le régulateur et non compris la grille et la vanne de garde) 146.950 kg.

Cette différence de poids (7), en faveur de la

turbine en conduite, tend à diminuer lorsqu'on augmente le diamètre de la roue. Il y a des conditions concordantes pour les alternateurs.

A ce sujet, il est intéressant de considérer la comparaison entre les courbes de rendement des turbines en bache spirale et en conduite donnée par les fig. 18 et 19. L'écoulement plus avantageux au point de vue hydraulique dans la turbine en conduite avec son distributeur à alimentation axiale est la cause principale de la forme aplatie de la courbe de rendement ; de ce fait, la turbine hélice en conduite se situe entre la turbine Kaplan et la turbine hélice en bache spirale quant à ses possibilités de production. Il en résulte que le rendement global d'une centrale submersible équipée de plusieurs groupes ayant un seul élément de réglage et ayant une telle courbe de rendement individuelle ne comporte pas, aux petits débits ou aux débits variables,

des baisses de puissance nuisibles, comme on l'a souvent affirmé.

Ceci a été confirmé par l'expérience d'exploitation des centrales submersibles construites en Bavière.

La production d'énergie de pointe des trois biefs de l'Iller (Bavière), représentée sur la fig. 20 pour différents débits moyens de la rivière, est une preuve de facilité d'adaptation aux variations de la charge journalière. Cette qualité est assurée, d'une part, par la régularisation du débit résultant de l'aménagement en biefs et, d'autre part, par la répartition correcte du débit aménagé entre plusieurs turbines hélices en conduite de même grandeur. Il y a lieu aussi de remarquer ici le fonctionnement sans perte de chute, caractéristique de la production d'énergie de pointe des biefs intermédiaires d'un tel aménagement, ainsi que le fonctionnement continu

des groupes dans la zone de leur rendement optimum. Au dernier stade de l'aménagement des biefs V à VIII de l'Iller, il avait été prévu que la quatrième turbine de chaque centrale serait du type Kaplan en conduite. La facilité avec laquelle il est prouvé que les centrales submersibles s'adaptent à la production journalière d'énergie de pointe, liée au degré élevé d'utilisation du débit aménagé (92 % en 1947) qui en résulte, a incité la Direction de l'exploitation à réserver seulement au gradin VIII — fonctionnant comme usine de compensation — l'adoption d'une turbine Kaplan en conduite et à double réglage.

Ainsi, le double réglage, même appliqué à seulement 25 % de la puissance installée, est considéré comme satisfaisant dans ce cas, malgré les exigences sévères qui doivent être imposées à l'exploitation du bief VIII comme usine de compensation.

fig. 17

Turbine en conduite et son alternateur.

fig. 18 (1)

Rendement du modèle de la turbine en conduite « Iller 40 ».
(d'après le rapport d'essai sur modèle 1013 du 21 décembre 1941. Escher Wyss, Ravensburg).

fig. 19

Courbe de rendements de la turbine en conduite « Iller 40 » comparée aux courbes de turbine hélice et Kaplan en bêche spirale. Rendements des turbines en bêche spirale d'après Canaan : « Les turbines Kaplan durant ces vingt dernières années », Wasserkraft und Wasserwirtschaft, N° 12, 1935, p. 147.

(1) n est exprimé en t/min.

Les difficultés rencontrées initialement dans les centrales du Lech au point de vue de la lutte contre les fuites ont été complètement vaincues grâce à l'utilisation rationnelle et heureuse de l'expérience acquise par la Direction de l'exploitation et par le constructeur des turbines en conduite. Grâce à tous les avantages qu'offre l'aménagement en biefs successifs, l'exploitation satisfait toutes les exigences de la production d'énergie.

Le rendement satisfaisant de l'usine et une bonne utilisation de l'énergie hydraulique brute vont de pair avec la sécurité d'exploitation.

Comme il a été déjà établi par ailleurs (2) (3) on avait constaté dans les biefs du Lech que les turbines en conduite avaient, pendant les hautes eaux, des puissances plus élevées que celles qui auraient été produites avec la chute normale. Les essais de rendement effectués en

REMARQUE :

Chiffres romains = Numéro du bief

Chiffres arabes = Nombre de turbines employées

Extrait du rapport d'exploitation de la S^{té} "Lech-Elektrizitätswerke-Aktien Gesellschaft" — Augsburg, du 28.3.49.

fig. 20

Exploitation en pointe des biefs V à VII de l'Ille moyenne pour différents débits moyens.

fig. 21

Croquis montrant le principe du montage d'un groupe avec turbine en conduite.

(Croquis de l'auteur d'avril 1937).

automne 1948 ont permis de déterminer dans quelle mesure étaient accrus le débit et, de ce fait, la puissance des turbines en conduite pendant les hautes eaux, grâce à la récupération de la chute due aux déversements et à l'effet éjecteur des pertuis évacuateurs situés de part et d'autre des tuyaux d'aspiration (remarque en bas de page).

Ce fait présente une analogie avec la surouverture des roues Kaplan obtenue, dans les centrales submersibles, non pas par un moyen mécanique spécial (double réglage), mais sans frais supplémentaires par une coordination rationnelle des effets pouvant être obtenus grâce à tous les éléments de l'aménagement, donc grâce à la conception d'ensemble des turbines en conduite à un seul élément de réglage. On men-

Remarque. — En se basant sur les essais sur modèle pour l'aménagement du Lech, l'auteur a fait d'avance un calcul pour prévoir l'augmentation de la puissance et, de ce fait, de la production annuelle. Nous nous proposons de faire une comparaison entre le calcul et les données de l'expérience, lorsque nous connaîtrons les productions annuelles des biefs du Lech.

tionnera seulement, pour que l'exposé soit complet, que l'installation des turbines en conduite à double réglage fournit des avantages supplémentaires pour la production de l'énergie.

Comme compléments aux coupes des fig. 9 à 11, les fig. 21 à 25 (la fig. 22 est la photographie constituant le frontispice du numéro, p. 561) montrent les parties les plus marquantes d'un groupe avec turbines en conduite et sa situation dans la salle des machines de la centrale submersible. On signalera ici, en particulier, la facilité de démontage de l'enveloppe de l'alternateur qui ne ressort pas clairement de la figure. Les avantages qu'elle offre ont été confirmés un grand nombre de fois : en effet, les enroulements du rotor et du stator peuvent ainsi être dégagés et bénéficient d'un contrôle rapide, commode, etc..., de même que les cuvettes collectrices et les étanchéités-caoutchouc disposées côté pression et côté aspiration pour parer aux fuites d'eau.

Lorsqu'on respecte fidèlement les règles fondamentales de ce type de construction, règles basées sur l'expérience acquise après des années dans l'exécution des projets et dans l'exploitation des installations hydrauliques et exposées au début, on constate que l'on dispose d'un grand espace pour le montage, l'entretien et l'exploitation, qui ne comporte aucun danger

fig. 23

Turbine en conduite.

(Vue d'amont, distributeur ouvert).

physique ou psychique pour le personnel de service.

Ce qui saute aux yeux, c'est la bonne disposition de l'ensemble et, en même temps, l'accès très aisé des groupes, par opposition à l'allongement vertical (fig 16), caractéristique du montage des turbines en bêche spirale avec alternateurs séparés.

A ce sujet, on signalera l'expérience acquise pendant des années d'exploitation satisfaisante pour l'homme et la machine, surtout en Italie et en Suisse, dans les centrales souterraines (installations de hautes chutes) disposées à grande profondeur dans la montagne (10). Les conditions correspondantes sont incomparablement plus favorables dans les locaux des centrales submersibles dont l'éclairage naturel et l'aération (voir fig. 25) sont assurés dans tous les cas.

E) ÉVACUATION DES CRUES

Les volets déversants et les pertuis évacuateurs ont donné pleine satisfaction à tous les débits dans toutes les installations submersibles, qu'il s'agisse dans ces pertuis de vannes secteurs ou de vannes plates. Des crues atteignant presque la valeur catastrophique et comportant un grand débit solide — comme par exemple en mai 1940 et en novembre 1944 sur l'Iller (Ba-

fig. 25

Les groupes avec turbine en conduite à l'intérieur de la centrale submersible.

vière) — sont passées sans mettre en péril les organes d'obturation et les ouvrages.

On ne dispose, pour toutes les installations submersibles, d'aucunes observations sur les conditions concernant le passage de débit solide. Les effets de l'aménagement en biefs successifs sur le transport de matières solides d'une rivière, tels qu'ils sont connus dans leurs grandes lignes, ne subissent aucune modification par suite du choix de centrales submersibles comme ouvrages de retenue, lorsque — comme cela a été le cas jusqu'ici — les pertuis évacuateurs uniformément et judicieusement répartis sur toute la largeur de la rivière sont dimensionnés de manière suffisante.

On connaît les dangers que présente, aux points de vue hydraulique, constructif et technique (affouillements par ex.) une évacuation des eaux latérale et concentrée ; ces inconvénients sont évités si l'on adopte les centrales submersibles (8). Dans les biefs de l'Iller, les phénomènes d'affouillements n'ont été observés que d'une manière très réduite au voisinage des débouchés des pertuis évacuateurs et des turbines. De même pour les biefs du Lech, ainsi que pour la centrale de la Saalach, on n'a pas observé d'affouil-

fig. 24

Un groupe avec turbine en conduite.

Le stator de l'alternateur est traversé par le courant d'eau.

lements notables ou dangereux pour la stabilité de l'ouvrage (cf. remarque au bas de la page).

Comme dans les barrages à volets déversants en Norvège et en Lettonie (9), de même, dans les centrales submersibles de Bavière, de grandes débâcles — telles celles des hivers très rigoureux de 1939 et 1940-1941 avec des blocs de glace atteignant 70 cm. d'épaisseur (Iller) — ne produisent aucun dégât ni aux dispositifs d'obturation, ni aux corps des barrages. D'après des expériences d'exploitation récentes, on a réussi à stocker dans les retenues, puis à faire fondre la presque totalité des épaisses couvertures de glace. Outre les avantages de cette mesure, il est intéressant de noter que l'on n'a jamais signalé l'apparition de glace de fond dans une installation submersible.

Il y a lieu de noter, pendant la troisième tranche de construction du bief de la Saalach (Bavière), le passage d'une forte crue qui charriait des troncs d'arbres entiers avec des racines et des branches encombrantes. Un phénomène typique consistait en ce que les arbres se plaçaient verticalement dans le remous d'entrée des pertuis évacuateurs — le plus souvent avec les racines en avant — disparaissaient sans encombre dans ces pertuis et sortaient sans avoir subi d'altérations par les ouvertures de sortie. Dans les installations terminées de tels matériaux charriés passent la plupart du temps par-dessus les déversoirs vers l'aval, ce qui, dans les centrales submersibles, n'est gêné d'aucune manière du fait de l'absence de piles. Les résultats d'exploitation, y compris ceux relatifs à la centrale inachevée de la Saalach, prouvent qu'on ne peut, en aucun cas, parler d'une aggravation, par ce mode de construction, des dangers d'obstruction des ouvrages. Ils permettent plutôt d'affirmer que l'on court vraisemblablement, ici, le minimum possible de dangers. Outre les bons résultats d'exploitation dus aux dispositifs de contrôle des hautes eaux des centrales submersibles, on notera les avantages obtenus dans le montage et dans les poids du matériel fourni en comparaison avec l'emploi de vannes équivalentes entre les piles d'un barrage classique. Nous nous contenterons de mentionner, ici, que les efforts dus à la nappe déversante et l'effet éjecteur des

évacuateurs de fond — phénomènes connus dont l'utilisation constitue les derniers perfectionnements apportés à ces constructions par les études de l'auteur — exercent une influence favorable sur le dimensionnement des pertuis, des organes d'obturation et de leurs commandes.

F) DÉGRILLAGE

Au point de vue de l'exploitation, il est intéressant de remarquer la faible proportion d'encrassement des grilles qui caractérise les centrales submersibles et qui est due à la grande profondeur des entrées de turbines au-dessous du niveau de la retenue. Pour cette raison, les quatre biefs de l'Iller (Bavière), par exemple, ne sont pas encore munis de dégrilleurs. Leur installation ne s'est jamais présentée comme une nécessité urgente. Le dégrillage se fait ici, suivant l'encrassement, toutes les 2 à 4 semaines, simplement à la main, à partir d'un bac qui passe le long des volets déversants au-dessus de la centrale.

On est aidé, dans ce procédé, par le phénomène suivant grâce auquel on obtient, sans autres moyens supplémentaires, un bon dégrillage, même pendant les hautes eaux. Lors de la mise en service et de la mise hors service des divers groupes, il se forme un flux d'air qui, en s'échappant, traverse la grille à contre-courant. On voit, d'après la fig. 9, qu'à la fermeture du papillon placé immédiatement à l'amont de la bêche de la turbine il s'accumule une certaine quantité d'air qui s'échappe à la réouverture en produisant sur la grille l'action décrite. Les corps flottants entraînés vers le haut sont évacués en rabattant légèrement le volet déversant correspondant.

Malgré les expériences d'exploitation, on ne renonce pas à un dégrillage mécanique dans les centrales submersibles, d'autant plus que celui-ci peut être facilement et économiquement installé en le combinant avec le charriot mobile du batardeau qui se déplace sur la crête du barrage. Au repos, ce charriot est d'habitude garé sur le côté aval de l'ouvrage dans une sorte de dock creusé dans la rive (voir la fig. 7).

Celui-ci peut être mis à sec, de sorte que le charriot ne soit pas continuellement immergé. Comme on le voit d'après les fig. 8 à 11, les grilles des turbines et les commandes des volets déversants et des évacuateurs de fond sont situées si profondément au-dessous du niveau

Remarque. — L'auteur a fait des calculs préalables sur la position et les caractéristiques à donner au ressaut pour que, aux divers débits, il tende à diminuer les affouillements. Nous comptons publier cette étude mathématique lorsqu'on connaîtra les résultats de l'exploitation des biefs du Lech et les phénomènes d'affouillement qui s'y sont produits.

fig. 26

Diagramme de production de la centrale submersible de Rostin sur la Persante (Poméranie).
(Extrait du projet de l'auteur).

de l'eau et sont si bien abritées dans le corps creux du barrage, qu'il n'y a pas de danger de blocage par le gel. Ce fait a été également confirmé par les résultats d'exploitation des centrales submersibles avec turbines en conduites. Par contre, même pour les installations futures avec turbines à bâches spirales et barrages classiques, il faudra prévoir, pour parer à ce danger, les moyens habituels et des mesures d'exploitation particulières.

G) LA PRODUCTION D'ÉNERGIE ANNUELLE

Pour les centrales submersibles de « Rostin » sur la Persante et de « Steinbach » sur l'Iller, les fig. 26 à 29, ainsi que le tableau ci-contre, donnent une idée de leur production d'énergie.

Récapitulation de la production des centrales submersibles

Année	Rostin Persante	Steinbach Iller	
1937	1,394 mill. kWh		Années moyennes
1938	1,628 »		
1939	1,499 »	22,125 mill. kWh	
1940	1,086 »	18,890 »	
1941	1,448 »	20,641 »	
1942	0,959 »	15,077 »	Années sèches
1943	1,090 »	12,959 »	
1944		22,923 »

fig. 27, 28, 29

Diagrammes de production de la centrale submersible de Steinbach sur l'Ilser (Bavière).

(Extrait de Fentzloff : l'état actuel - 1946 - de la question des centrales submersibles, 21 février 1947, non publié).

N.B. — Les quatre turbines hélices en conduite (THC) comportent une ceinture et un alternateur annulaire traversé par le courant d'eau.

En tenant compte du degré d'utilisation du débit aménagé signalé dans le paragraphe C-2 et qui est, par exemple, pour les biefs de l'Iller, de 90 %, il y a une bonne concordance entre les productions annuelles calculées d'après les programmes de production représentés sur les figures et les KWH produits pendant une année de débit moyen.

Pour la centrale de Steinbach sur l'Iller, on a étudié (fig. 27 à 29), en comparant les puis-

sances des turbines en conduite et des turbines à bâches spirales de même débit maximum :

- a) différentes répartitions du débit aménagé entre 4 à 8 groupes ;
- b) différentes répartitions de la charge entre des groupes à double réglage et des groupes à simple élément de réglage.

En prenant comme base la production annuelle de deux turbines Kaplan à bêche spirale, les moins-values des productions annuelles des turbines en conduites sont :

Pour a) :	Débit aménagé	Production annuelle	Moins-values
2 turbines Kaplan en bêche spirale...	2.50 = 100 m ³ /s.	26,93 millions KWH	± 0,0 %
4 turbines hélices en conduite	4.25 = 100 m ³ /s.	24,35 » »	— 10,6 %
6 » »	6.16,7 = 100 m ³ /s.	25,20 » »	— 6,8 %
8 » »	8.12,5 = 100 m ³ /s.	25,40 » »	— 6,0 %
Pour b) :	Débit aménagé	Production annuelle	Moins-values
2 turbines Kaplan à bêche spirale ..	2.52,5 = 105 m ³ /s.	27,00 millions KWH	± 0,0 %
3 turbines hélices en conduite	3.25	} = 105 m ³ /s	— 4,4 %
1 turbine Kaplan en conduite	1.30		
2 turbines Kaplan à bêche spirale ..	2.55,0 = 110 m ³ /s.	27,05 » »	± 0,0 %
2 turbines hélices en conduite	2.25	} = 110 m ³ /s.	— 1,4 %
2 turbines Kaplan en conduite	2.30		

Ces moins-values sont calculées d'après les productions annuelles en exploitation continue. Mais en fait, les biefs de l'Iller sont exploités en pointe (chapitre D), fig. 20. Du fait des avantages caractéristiques de ces derniers, concernant l'utilisation du débit et du rendement, les courbes de puissance des turbines à bêche spirale et en conduite sont pratiquement plus rapprochées et il en résulte des différences de production et des moins-values pour les turbines en conduites plus faibles que celles qui ont été calculées ci-dessus.

Les évaluations comparatives des prix, pour 6 et 8 groupes de turbines en conduite, ont montré que la répartition de la puissance installée entre 4 groupes est optimum. De même, en ce qui concerne l'économie des poids et des prix, on a constaté ici la supériorité de la centrale submersible par rapport à la centrale classique équipée de 2 turbines Kaplan à bêche spirale. La plus-value calculée de la production annuelle de la centrale classique aurait eu comme contrepartie des frais de construction considérablement plus élevés.

La production annuelle d'énergie des centrales submersibles sur le Lech et sur la Saalach a été évaluée, par les ingénieurs projecteurs, à 36 millions de KWH pour le bief normal de l'aménagement du Lech et à 22 millions de KWH pour la centrale de la Saalach.

Lorsqu'on connaîtra les productions d'énergie réelles de ces usines, il sera particulièrement intéressant de constater dans quelle mesure, pendant les hautes eaux et les crues, la récupération de chute des déversoirs et l'effet éjecteur des évacuateurs de fond ont contribué à l'accroissement de la puissance (voir aussi le chapitre D).

En vue de réaliser une économie sur la fourniture des alternateurs, on avait initialement prévu, pour les turbines en conduite, des vitesses de rotation relativement élevées. Les groupes du bief de Steinbach sur l'Iller, centrale VII, tournent, par exemple, à la vitesse de 250 t./min. Par suite de l'aplatissement de la forme de la courbe de rendement qui accompagne la réduction de la vitesse, on a déjà été amené à adopter

214 t./min. pour les groupes des centrales V, VI et VIII des biefs de l'Iller, pour ceux des neuf biefs du Lech et pour ceux de la centrale de la Saalach.

Eu égard à l'ordre de grandeur de ces groupes, la vitesse synchrone immédiatement inférieure de 187 t./min. paraît particulièrement avantageuse pour la production d'énergie, surtout dans le cas de centrales à marche continue et de centrales de compensation, donc dans le cas d'une exploitation qui n'est pas nettement de pointe.

Outre la répartition du débit aménagé entre un plus grand nombre de groupes, cette particularité de la variation du rendement des turbines hélices en conduite est à l'origine du fait non encore pris en considération, que la proportion d'emploi du système à double réglage, qui atteint souvent 100 % de la puissance installée dans les centrales classiques, subit une réduction considérable. L'expérience future avec des turbines hélices en conduites plus lentes montrera dans quelle mesure le système à double réglage — même s'il n'est que partiel — sera économiquement remplaçable.

A ce sujet, il est intéressant de se poser la question suivante : étant donné que la turbine Kaplan est celle qui convient le mieux à la disposition en conduite, l'adoption d'un système à simple élément de réglage (directrices fixes, pales orientables) satisfera-t-il, aux points de vue construction et exploitation, les exigences d'une production de courant bon marché et sûre, en même temps que celles de l'utilisation maximum possible de l'énergie hydraulique brute ? (cf. remarque au bas de la page).

Un rapport d'exploitation de la Lech-Elektrizitätswerke A. G. - Augsburg (Bavière) - de fin 1945 sur la centrale submersible de Steinbach sur l'Iller se termine ainsi :

« Lorsque nous avons pris possession, en 1938, de l'usine de Steinbach, nous ne nous attendions pas à ce que l'exploitation avec des machines d'un type tout à fait nouveau, où la turbine et l'alternateur sont combinés, puisse être assurée aussi facilement que cela a été effectivement le cas par la suite. La centrale de Steinbach doit être qualifiée en toute objectivité comme un succès complet à tous points de vue. A l'appui de cette affirmation, il suffit de citer le fait

que cette centrale a fourni jusqu'à maintenant 128 millions de KWH. Toutefois, il convient de remarquer que l'installation n'a pu être complètement utilisée qu'après la mise en service du transformateur de 8.000 KVA fin 1939 et que, depuis le mois d'août 1944, l'usine ne peut produire que la moitié de la puissance à cause de la défectuosité des têtes de câbles qui n'ont pu être remplacées jusqu'à ce jour ».

H) CONCLUSIONS

En se basant, d'une part, sur son expérience acquise après des années de recherches et d'études de projets, d'autre part sur l'interprétation des résultats de plus de dix ans d'exploitation des centrales submersibles, l'auteur s'est attaché à perfectionner ce type de réalisation qui, dans les cas traités, affirme sa supériorité, en particulier dans le domaine de la construction.

Si l'on compare les anciens projets de centrales submersibles et de centrales classiques établis avant 1942-1943, on ne constate, en aucun cas, une infériorité des centrales submersibles en ce qui concerne les quantités des matériaux mis en œuvre. Ceci est également vrai pour une comparaison faite récemment par des techniciens non prévenus et qui, de plus, utilisent une installation submersible datant de 1937 et de conception périmée. Mais, par la seule introduction de redevances de licence excessivement élevées, on aboutissait ici à des frais d'installation supérieurs pour le type submersible (11). Or, une telle évaluation de licence n'était pas décisive dans le passé et ne sera pas forcément exacte dans l'avenir.

Si l'on se place dans des conditions comparables au point de vue du terrain de fondation (1), de la topographie du cours d'eau, du débit solide et de la courbe de débits classés, la centrale submersible entre en compétition partout où, sans canal latéral (presque plus discutable dans la construction moderne des centrales), une centrale en rivière représente la solution avantageuse.

L'emploi du mode de construction submersible ne subit des restrictions que lorsque la valeur de la « chute relative » qui est le rapport :

$$\frac{\text{chute maximum au droit du barrage}}{\text{écart entre les niveaux naturels extrêmes}}$$

Remarque. — Deux turbines Kaplan en conduite de ce type à simple élément de réglage et de 400 CV chacune destinées au bief II de la Persante, à Körlin (Poméranie), ont été mises en fabrication en 1942, mais, à cause de la guerre, n'ont pas été installées.

(1) Par exemple, la centrale de la Saalach (Bavière-Autriche) repose entièrement sur une épaisse couche de sable mouvant. A 23,80 m. au-dessous du niveau de la retenue, des palplanches de 8 mètres de longueur n'ont pas réussi à atteindre un terrain imperméable ou un fond rocheux.

est inférieure à 1. Pour le choix du mode de construction le plus avantageux et compte tenu des derniers perfectionnements techniques acquis dans ce domaine, les possibilités suivantes devront être étudiées lors de l'établissement des projets futurs de centrales en rivières :

- a) la centrale « enclavée dans la rive » avec turbines à bêche spirale ;
- b) la centrale submersible avec turbines en conduite ;
- c) la centrale dans les piles, avec turbines à bêche spirale ou en conduite.

Il est intéressant de remarquer la systématisation moderne qui apparaît dans l'étude des projets de centrales submersibles pour le choix des caractéristiques aux points de vue de l'hydraulique et de la production, pour le choix des éléments de construction, etc...

Depuis longtemps les Ingénieurs, dans les bureaux d'étude, cherchent à réaliser une utilisation multiple des fleuves et des rivières au sein de nos régions économiquement évoluées, conciliant les points de vue scientifique, technique et économique sans oublier les soucis d'ordre esthétique. Ce sont ces efforts qui sont à l'origine des études systématiques ayant abouti à la « centrale submersible » qui est la solution donnant les résultats d'exploitation les meilleurs.

Il est infiniment regrettable que la dénomination choisie en allemand (« Unterwasserkraftwerk » = centrale noyée) soit erronée ; de même, c'est bien à tort que certains ont supposé ou prétendu qu'il s'agissait là d'une invention passagère, d'un à côté technique.

En fait, et dans le cadre des avantages de l'aménagement en biefs successifs de l'énergie hydraulique, la centrale submersible constitue un grand pas en avant dans le domaine de l'aménagement des rivières en permettant la construction pratique et économique de barrages aussi larges que l'on veut, sans piles intermédiaires et sans superstructures visibles de loin (13)

BIBLIOGRAPHIE

(1)

a) **ENGLESSON** : Kaplanturbinen oder Propellerturbinen (Turbines Kaplan ou turbines hélices) ; Wasserkraftjahrbuch 1924, p. 452.

b) **CANAAN-LELL** : 30 Jahre Kaplanturbinen (30 ans d'exploitation des turbines Kaplan) ; Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1944, N° 2-3.

c) **STOREK** : Zuschrift zu « 30 Jahre Kaplanturbinen » (Correspondance au sujet de « 30 ans d'exploitation de

turbines Kaplan ») Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1944, N° 5-6.

(2)

a) **GRUNER** : Die Ausnützung von Hochwasser bei Wasserkraftanlagen (L'utilisation des hautes eaux dans les centrales hydrauliques) Zeitschrift VDI 1906, p. 1821.

b) **KREY** : Die Wirkungen von Ejektorschützen (Les effets des vannes-éjecteurs). Zentralblatt der Bauverwaltung 1922, N° 22, p. 472.

(3)

a) Nordamerikanische Versuche und Bauausführungen (Essais et constructions réalisées aux Etats-Unis). Zentralblatt der Bauverwaltung 1922, N° 22, p. 566.

b) idem : Mechanical Engineer, août 1922, p. 505.

c) idem : Engineering News Record, 13-6-1922, p. 77.

d) **GELBERT** : Gefällvermehrung bei Niederdruck-Wasserkraftanlagen (Augmentation de chute dans les centrales de basse chute). Edition W. ERNST & SOHN, Berlin, 1930, p. 4.

(4)

L'auteur : Wasserkraft & Wasserwirtschaft, 1934, N° 1, p. 10-11 ; SCHMICK s'est fait connaître aussi en Suisse par le projet, puis l'aménagement des centrales en rivières entre Wynau et Wangen sur l'Aar et par son projet pour l'aménagement d'ensemble des affluents de l'Aar de Grimsel jusqu'à Oberhasli au début du siècle. C'est à lui que revint, en 1904, la première suggestion et l'étude du projet pour l'aménagement de l'usine connue du Lac de Walchen (Bavière). En 1909, SCHMICK comptait parmi les lauréats du prix du concours d'Etat pour le projet de l'usine du Lac Walchen construit en 1918-1924.

(5)

CANAAN-LELL : 30 Jahre Kaplanturbinen : Neuere Anlagen (30 ans d'exploitation des turbines Kaplan : Nouvelles installations). Wasserkraft & Wasserwirtschaft 1944, N° 3, p. 65-66.

(6)

VAAS : Ueber das Unterwasserkraftwerk (La centrale noyée) ; Oesterr Bauzeitschrift 1946, N° 5-6, p. 121.

(7)

ESCHER WYSS : Maschinenfabrik Ravensburg (Würt) ; Offres N° 37074 du 22 août 1940 et 37097 du 29 août 1940.

(8)

a) **TH. REHBOCK** : Die Ausführung der Sturzbetten bei Ueberfallwehren und Talsperren (La construction des radiers aval dans les barrages déversoirs et les grands barrages). 1^{er} Congrès des Grands Barrages ; Stockholm, 1933.

b) **E. MEYER-PETER** : Aus der Versuchsanstalt der E. T. H. Zurich : Wehr des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein (Laboratoire de l'Ecole Polytechnique de Zurich : Le barrage de la centrale Rapperswil-Auenstein) ; Wasserkraft & Wasserwirtschaft, 1943, N° 11, p. 287.

(9)

a) **SOMMER** : Hohler Eisenbetondamm mit selbsttätigem Ueberfall-Klappenwehr (Barrage creux en béton armé avec volet déversant automatique) ; Zeitschrift V. D. I., 1916, p. 953.

b) **SCHMIDTHENNER** : Neue Konstruktionen auf dem Gebiet der Wasserkrafttechnik (Nouvelles constructions dans le domaine de la technique de l'énergie hydraulique). Wasserkraft & Wasserwirtschaft 1943, N° 2, p. 38-39.

c) **SCHNYDER** : Steuerung nicht torsionsfester Wehrklappen (Commande des volets sujets à la torsion) ; Wasserkraft & Wasserwirtschaft 1944, N° 3, p. 71-74.

(10)

a) **A. BERNI** : Bau von Kavernenkraftwerken (Construction de centrales souterraines). *Wasserkraft & Wasserwirtschaft* 1943, N° 10, p. 260.

b) **CH. JAEGER** : Das Kraftwerk Innertkirchen der Kraftwerke Oberhasli (La centrale Innertkirchen des centrales du Oberhasli). *Wasserkraft & Wasserwirtschaft* 1943, N° 2, p. 27-30.

(11)

CHRISTALLER : Das Unterwasserkraftwerk im Vergleich zu einem Flusskraftwerk in Kaplanbauweise (La centrale noyée comparée à une centrale en rivière avec le type de

construction Kaplan). *Bulletin Schweiz Elektrotechn. Vereine*, vol. 39, 1948, N° 24.

(12)

FORTSCHRITT und TECHNIK : Die Bayerischen Unterwasserkraftwerke (Progrès et Technique : Les centrales noyées en Bavière). *Westdeutsche Wirtschafts-korrespondenz* (actuellement « *Industriekurier* »). Dusseldorf, 3^e année, 1948, N° 70 et 77.

(13)

B. KÖRNER : Die Flusskanalisierung Erfahrungen und Lehren (La canalisation des rivières - Expérience et enseignement). *Das Wasser* 1948, N° 1, p. 16-22.

AVIS DE CONCOURS

Un concours est ouvert pour le transport à pied-d'œuvre et la pose des canaux portés, de leurs supports et des pièces préfabriquées, pour l'équipement d'un bloc de 9.000 hectares dans le périmètre d'irrigation des BENI-MOUSSA, et d'un bloc de 3.100 hectares dans le périmètre des BENI-AMIR.

Le dossier du concours pourra être consulté dans les bureaux de :

- M. l'Ingénieur en chef de la Circonscription de l'Hydraulique et de l'Electricité, à RABAT ;
- M. l'Ingénieur, Chef de l'arrondissement de l'Hydraulique du TADLA, à FQUIH-BEN-SALAH ;
- M. le Directeur de l'Office du Maroc, 21, rue des Pyramides, à PARIS.

Un concours est ouvert en vue de la construction du premier lot du canal de rocade AKHDAR N'FIS (région de Marrakech) compris entre le P. M. aval zéro et le P. M. amont (1944,00).

Consultation du dossier dans les bureaux de :

- M. l'Ingénieur en chef de la Circonscription de l'Hydraulique et de l'Electricité, à RABAT ;
- M. l'Ingénieur des Ponts et Chaussées, Chef de l'arrondissement de l'Hydraulique de MARRAKECH ;
- M. le Directeur de l'Office du Maroc, 21, rue des Pyramides, à PARIS.

Les offres des entrepreneurs, accompagnées des références, devront parvenir à M. l'Ingénieur des Ponts et Chaussées, Chef de l'arrondissement d'Hydraulique de MARRAKECH, avant le 13 décembre 1949, à 12 heures.