Utilisation de la crue au maintien de la hauteur de chute de l'usine de Faux-la-Montagne

The use of floods for head maintenance at the Faux-la-Montagne power plant

PAR G. MARQUENET

INGÉNIEUR AU LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE

English synopsis p. 218

L'usine de Faux-la-Montagne (aménagement de la Vienne et de la Maulde, à l'amont de Peyrat-le-Château) est une petite usine automatique de 3 000 kW.

Les terrains à l'aval de l'usine sont marécageux; le plan d'eau de la Maulde dont le lit est incertain, est mal connu en période de crue.

La Direction Régionale de l'Équipement Hydraulique, Massif Central I, craignait, qu'en période de hautes eaux, l'usine se trouve noyée par la montée du plan d'eau aval; pour abaisser le plan d'eau à l'aval de l'usine, elle a été amenée à projeter la jonction du canal de fuite au canal de déversement à forte pente, dans le but de provoquer par écoulement à grande vitesse des eaux en excès dans celui-ci, un effet d'injection à l'extrémité du canal de fuite. La jonction de ces deux canaux, à une soixantaine de mètres en aval de l'usine, s'effectue en plan sous un angle de 26° environ.

Pour vérifier l'efficacité de ce dispositif, une étude sur modèle au 1/25 a été effectuée au Laboratoire National d'Hydraulique à Chatou. Nous avons cherché, non seulement à assurer un fonctionnement régulier de l'usine automatique par un abaissement suffisant du plan d'eau aval, mais également à maintenir constante et maximum la hauteur de chute de l'usine, en période de crue. L'idée de base a été d'utiliser au mieux le canal de déversement comme injecteur à l'extrémité aval du canal de fuite.

C'était ainsi reprendre l'idée des renforceurs de chute; c'est sous cet angle que nous examinerons dans cette note le cas particulier de Faux-la-Montagne.

Nous verrons que le gain relatif, dans ce cas d'espèce, est faible (quelques pour cent). L'intérêt des renforceurs de chute en général n'est pas mis en cause; mais les caractéristiques de cette usine de moyenne chute : hauteur de chute 35,50 m, débit turbiné : 8 m³/s, crue exceptionnelle : 20 m³/s, ne permettaient pas d'espérer davantage. Il était cependant intéressant, sans augmenter le prix de construction, de chercher à utiliser au mieux l'énergie de l'eau non turbinée.

L'idée de maintenir à sa valeur normale la hauteur de chute d'une usine de basse chute en particulier, a fait l'objet de quelques réalisations au début du siècle. Dans l'ensemble, le coût supplémentaire de la construction, qu'entraînaient ces dispositifs, rendait l'opération peu économique. Il semble que les nouvelles conceptions des usines de basse chute (usines piles, usines submersibles) permettent d'obtenir pour ces usines des résultats plus satisfaisants.

C'est pourquoi nous croyons intéressant d'examiner successivement quelques généralités sur les renforceurs de chute, le cas particulier de Faux-la-Montagne, et les conceptions nouvelles en matière d'usines de basse chute.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES RENFORCEURS DE CHUTE

I. — Principe

On sait que la puissance des usines de basse chute diminue en période de crue. Le plan d'eau à l'amont de l'usine est, en général, maintenu à une cote sensiblement constante et voisine de la cote maximum admissible, tandis que le plan d'eau aval s'élève avec la crue. La hauteur de chute brute de l'usine diminue en période de hautes eaux, et parfois dans des proportions extrêmement importantes. Par exemple, pour l'usine aménagée sur le bief de Kachlet, sur le Danube près de Passau, la hauteur de chute tomberait de 9 m à 0,5 m (débit moyen annuel 700 m³/s, débit en période de hautes eaux 6 000 m³/s) (1).

En première approximation, la puissance de l'usine varie comme la puissance 3/2 de la hauteur de chute, en négligeant en particulier la variation du rendement de la turbine avec la charge. On a, en effet, en désignant par :

P la puissance de la turbine,
Q le débit turbiné,
H la hauteur de chute de l'usine,

$$P = kQH \text{ (avec } Q \neq k' H^{1/2}\text{),}$$

soit :

$$P = k'' H^{3/2}$$

1. Economiquement, on ne peut envisager l'installation de turbines supplémentaires destinées à fonctionner exclusivement au moment des crues.

D'autre part, la surouverture d'une turbine est limitée, elle conduit d'ailleurs à un rendement plus faible.

2. Il faut plutôt chercher à récupérer une partie de la hauteur de chute ainsi perdue, en utilisant l'énergie de l'eau en excès pour abaisser le plan d'eau aval immédiatement à la sortie de la turbine, ou accroître la dépression dans le diffuseur de la turbine.

Différents dispositifs ont été successivement proposés sous le nom, d'ailleurs impropre, de renforceurs de chute. Nous allons examiner les plus intéressants.

II. — Dispositifs proposés

Quelques réalisations sont à retenir : l'usine de Chèvres près de Genève qui a été pourvue par SAUGEY d'une vanne jouant le rôle d'injecteur, quelques installations aux Etats-Unis équipées de renforceurs d'HERSCHELL et de tuyères de FREEMAN, et l'usine du Mitchelldam de l'Alabama Power Company.

1° RENFORCEURS D'HERSCHELL ET DE FREEMAN.

Les dispositifs d'HERSCHELL et de FREEMAN agissent directement sur le diffuseur de la turbine.

a) Le renforceur d'HERSCHELL (1907) conçu pour l'usine de la Plaine à Genève se présente

FIG. 1. — RENFORCEUR DE CHUTE HERSCHELL.
Usine de la Plaine (Genève).

sous l'aspect d'un Venturi de grande dimension, dont le col perforé peut être mis en communication avec la chambre de décharge de la turbine (fig. 1) (II). Les eaux en excès sont évacuées par ce Venturi et provoquent une dépression dans la chambre de décharge. Le rendement du dispositif défini par le quotient :

$$\frac{\text{énergie récupérée}}{\text{énergie de l'eau passant par le renforceur}}$$

varie de 12 à 20 %.

L'effet du renforceur ne commence guère à se faire sentir que lorsque le débit évacué par celui-ci est le double du débit turbiné. Des essais effectués par DUBI semblent montrer que le gain

de chute décroît à peu près linéairement lorsque croît le rapport :

$$\frac{\text{débit de la turbine}}{\text{débit total}}$$

Le mélange de l'eau turbinée et de l'eau en excès n'est assuré qu'à la partie périphérique de l'écoulement. Pour remédier à cet inconvénient DAUCKWERTS avait imaginé plusieurs tuyères coniques disposées concentriquement l'une derrière l'autre et de diamètres croissant dans le sens de l'écoulement.

Les renforceurs d'HERSCHELL conduisent à des cubes de maçonnerie très importants. Leur rendement n'est intéressant que pour des crues déjà notables. Ils n'excluent pas la diminution de la chute aux faibles crues qui, souvent, sont les plus fréquentes.

b) La tuyère de FREEMAN. — Toujours dans le but d'assurer un mélange plus efficace de

FIG. 2. — TUYÈRE FREEMAN.

deux veines, FREEMAN a proposé (1928) de pourvoir l'amont du diffuseur d'une tuyère destinée à faire passer dans celui-ci, et à grande vitesse, l'eau non turbinée pour y accroître la dépression, et ainsi la hauteur de chute effective (fig. 2). Des aubes de guidage communiquent à l'eau un mouvement hélicoïdal et permettent ainsi un meilleur mélange avec l'eau turbinée. L'orifice de la tuyère est de dimension variable et manœuvrable par un levier commandé de l'extérieur.

Des essais effectués par GELBERT ont montré que comparativement à d'autres dispositifs, la tuyère de FREEMAN provoque, toutes choses égales d'ailleurs, une dépression accrue du remous à l'aval de la turbine. La dépression produite dans le diffuseur accroît légèrement le débit de la turbine. Mais, l'augmentation de la vitesse de l'eau turbinée, dans le diffuseur, fait perdre à celui-ci une partie de son rôle qui était

précisément d'augmenter l'énergie cédée à la turbine par récupération des vitesses.

La tuyère de FREEMAN de débit limité est surtout intéressante pour des crues moyennes et d'assez longue durée.

2° DISPOSITIFS DES USINES DE CHÈVRES ET DU MITCHELLDAM.

Ces dispositifs provoquent une dépression de la surface libre immédiatement à l'aval de la turbine.

FIG. 3. — ESSAIS DE SAUGEY à l'usine de Chèvres.

a) Usine de Chèvres près de Genève. — Essais de SAUGEY (III) :

SAUGEY, pour l'usine de Chèvres, a utilisé les vannes du barrage de retenue comme éjecteur fruste, afin d'abaisser le plan d'eau à l'aval des turbines. Il a effectué quelques essais intéressants en 1905 directement dans le Rhône. Notamment, il a fait jouer à un pertuis du bar-

FIG. 4. — PRINCIPE DE L'USINE DE BÉRÉSAÏSK (puissance normale 144 kW).

rage de retenue le rôle de turbine fictive, les pertuis latéraux servant de canaux injecteurs. Il en résulte que le niveau aval est localement déprimé.

La figure 3 donne les résultats d'un essai dans les conditions suivantes : débit de la turbine fictive : $15 \text{ m}^3/\text{s}$, débit de l'éjecteur, variable de 30 à $290 \text{ m}^3/\text{s}$. Le gain absolu sur la hauteur de

chute passe par un maximum de 1,50 m environ; sa valeur pour les débits extrêmes est de 0,80 à 0,90 m. Le gain relatif sur la hauteur de chute est de 15 à 30 %.

Des essais sur modèle de GELBERT montrent que la dépression de la surface libre se distribue d'une manière sensiblement uniforme dans toute la section. L'action unilatérale d'une vanne dans les mêmes conditions de débit total est également sans influence notable.

Dans le même ordre d'idée que les essais de SAUGEY, EGOROFF (IV) signale l'aménagement de petites usines russes par écoulement des eaux en

excès de chaque côté du diffuseur vertical, selon le dispositif de la figure 4 (Centrale de Bérésaïsk). Pour cette usine équipée de trois turbines de 82 ch, sous une chute de 3,90 m (débit de $1,87 \text{ m}^3/\text{s}$) la chute diminue de moitié pour la crue maximum ($160\text{-}180 \text{ m}^3/\text{s}$). Les dispositions prévues permettraient :

- Pour la crue de $180 \text{ m}^3/\text{s}$ de ramener la puissance théorique de la centrale de 144 kW tombée à 53 kW, à la valeur de 88 kW.
- Pour toute crue inférieure à $60 \text{ m}^3/\text{s}$ de maintenir la puissance normale.

FIG. 5. — USINE DU BARRAGE DE MITCHELL (1923).

b) Usine du Mitchelldam :

A la suite des essais d'injection de jets à grande vitesse dans les diffuseurs des turbines aux Etats-Unis dont les résultats n'ont pas été entièrement satisfaisants, on a cherché à provoquer une dépression du remous immédiatement à l'aval des diffuseurs des turbines.

A l'usine du Mitchelldam, on assure, par déversement des eaux en excès sur le barrage, la formation d'un ressaut à l'aval du diffuseur (fig. 5). Les essais effectués sur un modèle au 1/10 ont donné, par exemple, pour un type de jonction étudié, les résultats représentés figure 6.

FIG. 6. — USINE DE MITCHELL-DAM.
Essai sur modèle au 1/10.

Le gain relatif sur la hauteur de chute passe par un maximum et atteint près de 30 % de la hauteur de chute normale.

Les réalisations que nous avons examinées n'ont pas, en général, été renouvelées. Les frais de construction supplémentaire diminuaient notablement l'intérêt de ces dispositifs.

Pour les usines de types classiques, certains cas particuliers peuvent justifier la réalisation

d'un renforceur de chute. Dans le cas de l'usine de Faux-la-Montagne, celui-ci existait implicitement et pouvait être réalisé correctement sans augmentation des frais de construction.

Le problème des usines piles et submersibles est plus complexe et nécessite initialement une étude détaillée, en particulier du phénomène d'échange de quantités de mouvement entre deux ou plusieurs veines de vitesses différentes.

CHAPITRE II

ÉTUDE DE LA JONCTION DU CANAL DE FUITE ET DU CANAL DE DÉVERSEMENT DE L'USINE DE FAUX-LA-MONTAGNE

I. — Le problème

On a vu que pour atténuer la remontée du plan d'eau aval en période de crue et assurer un bon fonctionnement de l'usine automatique de Faux-la-Montagne, on avait été conduit à réunir le canal de déversement et le canal de fuite à une soixantaine de mètres à l'aval de l'usine.

L'étude sur modèle au 1/25 de la jonction de ces deux canaux a porté sur les points suivants :

1° Maintenir aussi faible que possible le tirant d'eau dans le canal de fuite à l'usine, quelle que soit la crue; ceci dans les conditions essentielles suivantes :

La cote du canal de fuite à radier horizontal, est fixée à 668,25 m. Le canal de déversement au voisinage de la jonction a une pente de 15 à 18 %.

Le débit turbiné est de 8 m³/s; la crue maximum est estimée à 20 m³/s; il en résulte que, lorsque l'usine fonctionne, le débit dans le canal de déversement peut varier de 0 à 12 m³/s.

2° La réunion de l'écoulement de fuite et de crue, dont les vitesses sont essentiellement différentes, doit s'effectuer dans des conditions hydrauliques acceptables et la restitution à la Maulde se faire en régime fluvial.

3° Pendant la construction ou réparation de l'usine, l'eau est évacuée par le canal de déversement. Il convenait d'examiner si le niveau de l'eau qui, ainsi, pénètre dans le canal de fuite pouvait être suffisamment abaissé, pour supprimer le batardeau de l'usine, et le remplacer par de simples batardeaux en terre dans le canal de fuite.

La variation du plan d'eau de la Maulde où

s'effectue la restitution est défini par la loi 1 approximative.

<i>Débit restitué à la Maulde</i>	<i>Cote de la Maulde</i>
8 m ³ /s	668,70 m
10 m ³ /s	669, m
20 m ³ /s	669,50 m

II. — Principe et étude de la solution

1. — En ce qui concerne le canal de fuite, on recherche quel que soit le débit évacué par le canal de déversement à imposer à l'extrémité aval du canal de fuite le passage par le tirant d'eau critique.

En effet, si le tirant d'eau critique est obtenu à l'extrémité aval du canal de fuite, l'écoulement à la jonction même, n'a aucune influence sur l'écoulement dans ce canal. Le tirant d'eau à l'usine qui ne dépend plus, pour un débit donné, que des pertes de charge dans le canal, est maintenu constant et minimum. Pratiquement, on impose le tirant d'eau critique en un point du canal de fuite par décrochement brusque du radier, moyen parfaitement efficace si le niveau aval n'est pas excessif.

2. Pour le canal de déversement, il y a lieu de rechercher le profil optimum de ce canal qui permette l'injection la plus efficace de la veine de crue dans l'écoulement de fuite.

On diminue ainsi l'importance du tirant d'eau dans la jonction à l'aval du canal de fuite, et

facilite l'obtention de l'écoulement critique à l'extrémité aval du canal de fuite.

On est ainsi conduit :

- D'une part, à limiter la dissipation d'énergie dans le canal de déversement avant la jonction, en diminuant l'importance des pertes par frottement sur les parois, par augmentation du rayon hydraulique et en évitant toute perte d'énergie causée par un élargissement trop brusque du canal de déversement avant la jonction.

Sur modèle, l'utilisation de parois mobiles permet de rechercher rapidement la position optimum.

- D'autre part, à faciliter l'échange des quantités de mouvement des deux veines à vitesses différentes. L'échange apparemment le plus favorable a été obtenu en cherchant à superposer les deux veines, la veine à grande vitesse se trouvant en-dessous.

On réalise approximativement la superposition des deux veines en fixant le radier du canal de déversement à une cote légèrement inférieure à l'extrémité aval du canal de fuite.

3. — La jonction a un double but à remplir :

- a) Sa forme, particulièrement en plan, doit être telle que l'écoulement s'effectue avec le

tourbillons à axes verticaux dont le déplacement en rouleaux s'oppose à l'écoulement du débit turbiné. On constate sur modèle que la formation de ce courant de retour est très atténué lorsque le raccordement en plan de la rive gauche du canal de fuite à la jonction est réalisée par un angle vif et non par une courbe de grand rayon.

b) Elle doit également assurer la localisation du ressaut qui marque le passage de l'écoulement torrentiel de crue à l'écoulement fluvial.

Un bassin d'amortissement de dimensions acceptables permet d'assurer la formation d'un ressaut stable lorsque la crue exceptionnelle de 20 m³/s passe entièrement par le canal de déversement, l'usine étant arrêtée.

L'étude sur modèle de ces différents principes conduit à la solution définitive (fig. 7) qui donne la plus forte dépression à l'aval du canal de fuite.

- Le radier horizontal du canal de fuite est maintenu à la cote 668,25, sauf à l'extrémité aval qui se présente sous l'aspect d'un double décrochement; celui-ci, d'une part, permet d'imposer le tirant d'eau critique sauf aux faibles crues, et d'autre part facilite, à la jonction, la superposition des deux veines liquides.
- Le canal de déversement s'élargit progressivement de 1,50 à 3,50 m sur une longueur de 50 mètres; sa pente est voisine de 18,6 %.
- La jonction sert de bassin d'amortissement; la longueur et la profondeur en sont minimum. La cote supérieure du seuil aval est fixée à 668,10 m.

III. — Les résultats obtenus

Compte tenu de la loi I de variation du plan d'eau de la Maulde au voisinage de la restitution, précédemment énoncée, les essais ont mis en évidence les résultats suivants :

1. — Variation du tirant d'eau dans le canal de fuite à l'usine, lorsque l'usine fonctionne normalement, en fonction du débit q_c d'eau en excès, évacué par le canal de déversement.

Le tirant d'eau dans le canal de fuite à l'usine passe par un maximum pour un débit de crue voisin de 4 m³/s. L'amplitude de cette variation est de 0,19 m. Il est intéressant de comparer cette courbe (fig. 8, courbe 1) :

- D'une part, à la courbe (2) tracée lors d'une étude préliminaire légèrement différente de la solution définitive. On voit ainsi l'intérêt d'étudier avec soin les meilleures conditions d'injection et d'écoulement.

FIG. 7. — JONCTION DU CANAL DE FUITE ET DU CANAL DE DÉVERSEMENT. SOLUTION ADOPTÉE.

minimum de perturbations et ainsi ne provoque pas de surélévation exagérée du plan d'eau dans le canal de fuite.

L'inégale répartition des vitesses dans une section du canal de déversement due à la courbure en plan du canal, produit à la jonction des

FIG. 8. — VARIATION DU TIRANT D'EAU DANS LE CANAL DE FUITE A L'USINE EN FONCTION DU DÉBIT DE CRUE POUR DIFFÉRENTES FORMES DE LA JONCTION.

— D'autre part, à la courbe (3) dans l'hypothèse où le débit évacué par le canal de déversement est supposé arriver à la jonction pratiquement sans vitesse. La différence des ordonnées des courbes (1) et

FIG. 9. — VARIATION DU TIRANT D'EAU DANS LE CANAL DE FUITE A L'USINE EN FONCTION DU DÉBIT DE CRUE.

FIG. 10 ET 10 bis. — LIGNES D'EAU DANS LE CANAL DE FUITE ET A LA JONCTION.

(3) met en évidence l'action de l'éjecteur réalisé.

On peut rechercher l'influence de la variation du plan d'eau de la Maulde en période de crue. La loi I admise, présente certainement une sécurité. La loi II ci-dessous :

Débit restitué	Niveau de la Maulde
$8 \text{ m}^3/\text{s}$	668,40 m
$10 \text{ m}^3/\text{s}$	668,70 m
$20 \text{ m}^3/\text{s}$	669,20 m

qui fait correspondre au débit restitué une cote inférieure de la Maulde, conduit pour la variation du tirant d'eau dans le canal de fuite à l'usine, à la courbe (2) de la figure 9. La courbe (3) est relative à une loi encore plus pessimiste que la loi I. On voit ainsi que, pratiquement, le

FIG. 11. — ECOULEMENT A LA JONCTION.
Débit turbiné : $8 \text{ m}^3/\text{s}$. - Débit de crue : $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

dispositif adopté permet de maintenir constante à quelques centimètres près, la hauteur de chute de l'usine.

2. — Les lignes d'eau dans le canal de fuite et à la jonction font apparaître l'effet de l'injection, notable à partir d'un débit de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le canal de déversement (fig. 10).

FIG. 12. — ECOULEMENT DANS LE BASSIN D'AMORTISSEMENT.
Débit turbiné : $8 \text{ m}^3/\text{s}$. - Débit de crue : $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

3. — Lorsque l'usine ne fonctionne pas et que l'eau passe exclusivement dans le canal de déversement, le plan d'eau dans le canal de fuite atteint au maximum 38 cm au-dessus du radier. On voit qu'il est possible de supprimer le batardeau de l'usine. Pour des crues supérieures à $6 \text{ m}^3/\text{s}$, il n'y a plus d'eau dans le canal de fuite.

Les photographies n^{os} 11-12-13 et 14 donnent l'aspect de l'écoulement, pour différents débits du canal de déversement et compte tenu de la loi I du niveau de la Maulde.

FIG. 13. — ECOULEMENT A LA JONCTION.
Débit turbiné : $8 \text{ m}^3/\text{s}$. - Débit de crue : $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

IV. — Conclusions

L'étude sur modèle au 1/25 de la jonction du canal de déversement et du canal de fuite a permis de réaliser, sans augmentation des frais de construction, un dispositif permettant de maintenir très sensiblement constante, en période de crue, la hauteur de chute de l'usine.

Le gain relatif de ce dispositif, dans le cas d'espèce d'une usine de moyenne chute, est nécessairement faible. Mais cette étude laisse supposer que dans des cas bien adaptés de basse chute, la réalisation de renforceurs de chute puisse être justifiée. A ce sujet, nous allons examiner quelques nouvelles conceptions dans la construction d'usines de basses chutes.

FIG. 14. — ECOULEMENT A LA JONCTION.
Débit turbiné : $8 \text{ m}^3/\text{s}$. - Débit de crue : $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

CHAPITRE III

LES NOUVELLES CONCEPTIONS DES USINES DE BASSE CHUTE

En examinant les nouvelles conceptions qui se sont développées pour la construction des usines de rivières, notre but est simplement ici de faire apparaître brièvement les possibilités d'exploitations de ces usines en hautes eaux.

I. — Les usines piles

SAUGEY proposait en 1905 de fractionner les usines de rivières construites en un seul bloc près d'une rive, et de répartir les groupes de machines dans l'ensemble de l'ouvrage de retenue, en alternant avec les pertuis du barrage mobile. Son idée directrice était de récupérer une partie de la chute perdue en hautes eaux. Ce projet n'eut aucun succès à l'époque par suite de l'augmentation continue de la hauteur de chute des usines de rivières, au cours des années suivantes.

FIG. 15. — SCHÉMA DE PRINCIPE DES USINES-PILES.

Quelques réalisations particulières furent entreprises pendant la première guerre mondiale, sur le Main : usines de Krotzenburg, Kesselstadt, Mainkur. Les centrales se présentaient sous forme d'une pile comprenant tous les groupes, et implantée parallèlement à l'écoulement (fig. 15) (VI).

Dans les quinze dernières années la conception d'usines piles a été reprise à la faveur des arguments suivants : diminution de la longueur totale de l'ouvrage de retenue par suppression des piles du barrage, — amélioration de l'aspect extérieur de l'ouvrage, — répartition plus uniforme du débit entre les turbines et à l'aval du

barrage, — possibilité de récupérer une partie de la chute perdue en hautes eaux. Les principales réalisations furent effectuées sur la Drave (Usine d'Unter-Drauburg, Usine de Marburg).

En ce qui concerne la récupération d'une partie de la chute perdue en hautes eaux, les usines piles permettent de concevoir les solutions suivantes :

— Utilisation des pertuis entre piles comme injecteurs de part et d'autre des turbines (idée de SAUGEY).

FIG. 16. — PROJET D'USINES-PILES D'APRÈS B. SCHULTZ.

— Réalisation dans la pile même de canaux injecteurs au-dessus du diffuseur de la turbine (projet de SCHULTZ). L'effet d'injection est obtenu par la superposition des deux écoulements; l'écoulement à grande vitesse se trouve à la partie supérieure (fig. 16) (VII).

- Réalisation d'un canal injecteur sous le diffuseur de la turbine. Il y a superposition des deux écoulements mais l'écoulement à grande vitesse se trouve cette fois à la partie inférieure.
- Mise en place de déflecteurs sous les volets de déversement pour concentrer l'énergie des eaux en excès près des sorties des turbines.

II. — Les usines submersibles

Le développement des usines submersibles a été surtout lié à la réalisation d'un nouveau type

FIG. 17 a. — CENTRALE SUBMERSIBLE DE FREILASSING, SUR LA SAALACH (BAVIÈRE-AUTRICHE).

(Extrait du projet de novembre 1941.)

FIG. 17 b. — CENTRALE SUBMERSIBLE DE STEINBACH SUR L'ILLER (BAVIÈRE).

(Extrait du projet d'avril 1937.)

de turbine à axe incliné de dimensions plus réduites que les turbines du type classique et généralement connue sous le nom de turbine A. FISCHER.

La répartition des groupes est effectuée dans l'ensemble de l'ouvrage qui barre complètement la rivière. La crue est évacuée en partie par des chasses situées en général entre les turbines (Usine de Rostin sur la Persante, Usine de Freilassing sur la Saalach...) exceptionnellement sur un côté de l'usine (Usine de Steinbach sur l'Iller) et par déversement sur l'ensemble de l'ouvrage. Les chasses entre les turbines jouent le rôle de canaux injecteurs et devaient permettre dans l'esprit des constructeurs une récupération d'énergie de 30 % pendant les hautes eaux (fig. 17) (IX).

Les résultats de l'exploitation de ces usines pendant les périodes de crue ne sont pas publiés. On pense que le gain serait de 10 à 12 %.

Les usines submersibles permettent de concevoir le maintien de la chute en période de hautes eaux par des dispositifs semblables à ceux des usines piles.

L'intérêt des renforceurs de chute et l'importance qu'il convient de leur donner sont essentiellement dominés par une question économique. Certains dispositifs coûteux (par exemple canal injecteur sous le diffuseur de la turbine) ne peuvent se justifier que par un bon rendement.

Une étude systématique de laboratoire relative, d'une part, à l'échange des quantités de mouvement entre écoulements à vitesses différentes, et, d'autre part aux dispositifs pratiques utilisables pour les centrales hydro-électriques est à la base de toute conception rationnelle d'usine de basse chute. Cette étude est actuellement abordée au Laboratoire National d'Hydraulique à Chatou.

BIBLIOGRAPHIE

- (I) R. GELBERT. — *Gefällvermehrung bei Niederdruck-Wasserkraftanlagen*. Augmentation de la hauteur de chute des usines de basse chute. Berlin, 1930. — Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn.
- (II) D. EYDOUX. — *Hydraulique industrielle et usines hydrauliques*. Paris. J.-B. Baillièrre et Fils, 192, pp. 418-420.
- (III) FOCH. — Utilisation des crues pour renforcer les chutes. *La Houille Blanche*, mars-juillet 1923.
- (IV) EGOROFF. — Renforceur de chute pour petites centrales hydrauliques. *Constructions Hydrotechniques U.R.S.S.*, 1949, n° 8, pp. 20-25.

- (V) X***. — Usine-barrage Mitchell (1923) : Essai de compensation de la perte de chute en hautes eaux. *Electricité de France*. Traduction. Février 1950.
- (VI) STAINBACH. — Les centrales aménagées dans les piles de barrage hier et aujourd'hui. *Schweizerische Bauzeitung*, 5 juillet 1947.
- (VII) SCHULZ. — *Eine neue Pleiterkraftwerksbauart*. Un nouveau type d'usine hydro-électrique : l'usine-pile. *Die Wasserwirtschaft*, n° 2, 1949-1950.
- (VIII) — Centrales hydro-électriques submersibles, type A. Fischer. *Rapport Electricité de France*.
- (IX) H. FENTZLOFF. — Principes fondamentaux de la construction des centrales submersibles. *La Houille Blanche*, septembre-octobre 1949.

COMMENTAIRE DE M. LE PRÉSIDENT

Je remercie M. MARQUENET, pour la clarté de son exposé, et aussi pour la façon précise avec laquelle il s'est conformé au programme qui lui avait été imposé.

Naturellement, M. MARQUENET aurait pu nous donner beaucoup d'autres détails, mais finalement, dans le temps que nous lui avons consacré, il a réussi à dire tout ce qu'il avait à dire. Je le félicite, par conséquent, pour la bonne proportion qu'il y a entre les moyens utilisés et les résultats obtenus.

D'autre part, l'étude nous laisse entendre pour plus tard des compléments. Par conséquent, je crois qu'il n'y a pas lieu de faire une très grande discussion sur ce mémoire, dont les deux parties sont nettement séparées : l'une historique, qui rappelle ce qui a été fait antérieurement, et la deuxième qui est relative aux essais qui ont été faits à Chatou. La troisième partie viendra ultérieurement, par conséquent.

Je remercie M. MARQUENET, et je souhaite de le revoir à une ultérieure session.