Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 32 (1906)
Heft: 6

Artikel: La récupération des chutes d'eau
Autor: Bernoud, Alph.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-25567

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

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

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

Download PDF: 09.07.2025

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

32me Année. 25 mars 1906. N° 6.

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef : M. P. HOFFET, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Secrétaire de la Rédaction : M. F. GILLIARD, ingénieur.

SOMMAIRE : *La récupération des chutes d'eau*, par M. Alph. Bernoud, Docteur ès-science. — *Usine de Hauterive*, par M. A. Wæber, ingénieur (suite et fin). — *Irrigation pérenne des Bassins de la Moyenne Egypte*, par M. Edm. Béchara, ingénieur (suite). — **Divers** : Tunnel du Ricken : Bulletin mensuel des travaux. Février 1906. — Tunnel du Simplon : Extrait du XXIXe rapport trimestriel sur l'état des travaux au 31 décembre 1905. Etat des travaux au mois de février 1906. — *Informations*. — *Nécrologie* : G. Brélaz. — *Sociétés* : Société suisse des ingénieurs et des architectes : Propositions du Comité central pour la modification des principes à suivre dans les concours publics d'architecture. — *Correspondance* : A propos des concours publics d'architecture. — *Concours* : Salle de concerts, à Granges (Soleure). — Maisons ouvrières, à Lausanne. — Immeubles locatifs de Bon-Port, à Montreux.

La récupération des chutes d'eau.

Par M. ALPH. BERNOUD, Docteur ès-sciences.

L'entraînement latéral qu'une veine d'eau jaillissant en vitesse exerce sur les couches voisines peut être utilisé pour récupérer tout ou partie de la chute perdue en temps de crue par une rivière. Nous l'avons montré ici-même dans un article précédent[1]. Une forte veine d'eau, coulant sous une pression de quelques mètres au niveau d'une nappe liquide, aspire l'eau morte des régions contiguës ; si l'on installe une turbine entre deux jets de ce genre, deux éjecteurs, le niveau de sortie de cette turbine est abaissé par leur succion et la puissance utile de la chute s'en trouve augmentée d'autant. Cette récupération peut atteindre 30 % de la chute naturelle lorsque l'abondance d'eau permet de faire fonctionner les éjecteurs sans abaisser le niveau d'amont.

Les expériences exécutées à l'usine de Chèvres, sur le Rhône, ont établi que la récupération pouvait même dépasser le tiers de la chute naturelle lorsque le débit des éjecteurs était le décuple environ de celui de la turbine. La chute dans ces expériences ne descendait pas au-dessous de 4 mètres.

Il importait de savoir quelle était la hauteur de chute au-dessous de laquelle la force vive de l'éjecteur n'était plus suffisante pour entraîner l'eau sortant de la turbine. A cet égard, des essais entrepris à l'usine de Vessy sur l'Arve nous ont parfaitement renseignés, dans le cadre des expériences du moins.

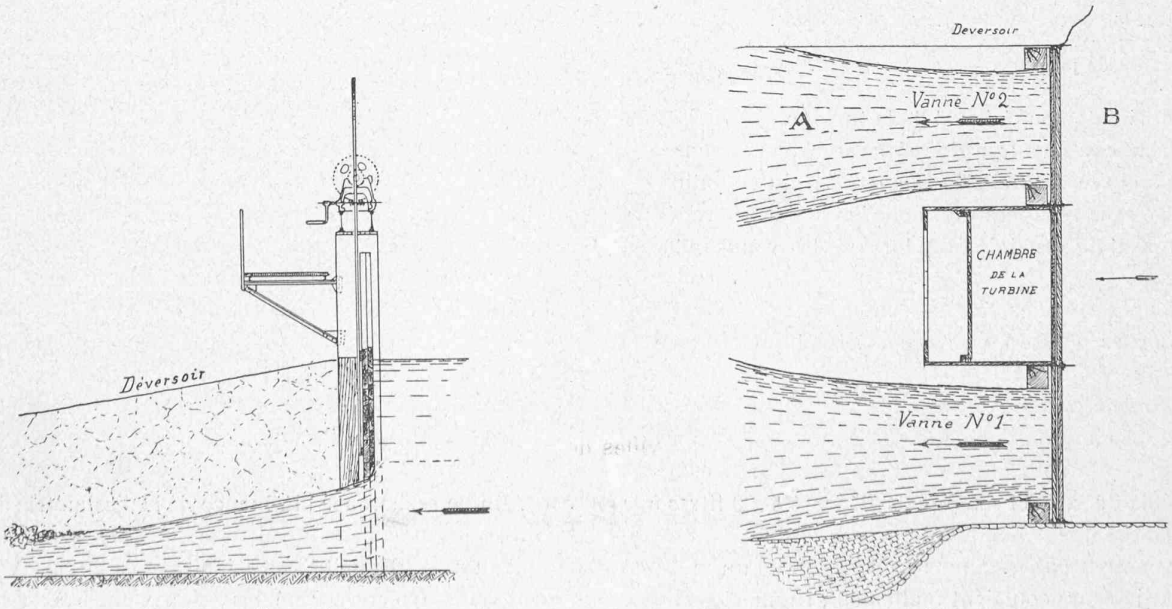
La figure 1 montre le plan de l'installation d'expériences.

Profitant de la position avantageuse de trois vannes de décharge, nous avons construit une chambre de turbine derrière la vanne du milieu. Les vannes extrêmes, qualifiées vannes 1 et 2, ont alors servi d'éjecteurs.

La vanne-turbine est représentée en coupe, figure 2 ; un plancher à claire-voie, que l'on pouvait obstruer à volonté avec des lattes, laissait écouler un volume d'eau jaugé en déversoir à la sortie.

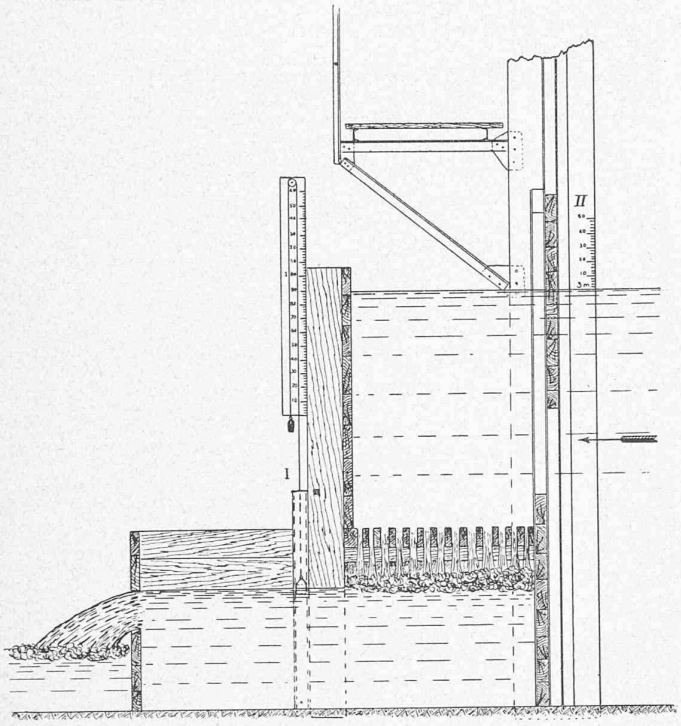
Deux limnimètres mesuraient, l'un le niveau amont de la chute, l'autre le niveau de la poche creusée par les éjec-

[1] Voir N° du 10 février 1906, page 30.

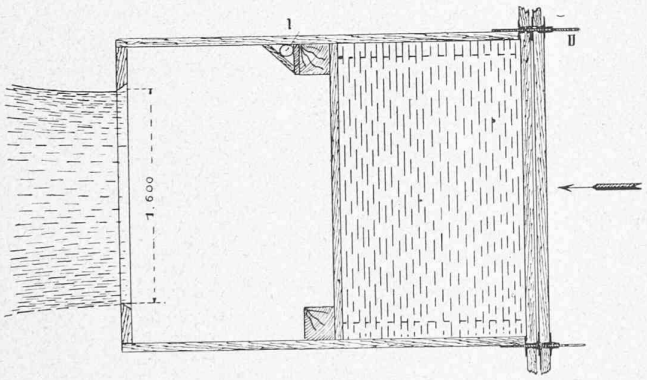


Elévation. — Coupe *A-B*. Plan.

Fig. 1. — Disposition générale des expériences faites à l'usine de Vessy sur l'Arve.



Coupe verticale par le déversoir.



Plan.

I. Limnimètre aval. — II. Limnimètre amont.

Fig. 2. — Installation du déversoir et de la limnimétrie de jaugeage. — Echelle : 1 : 50.

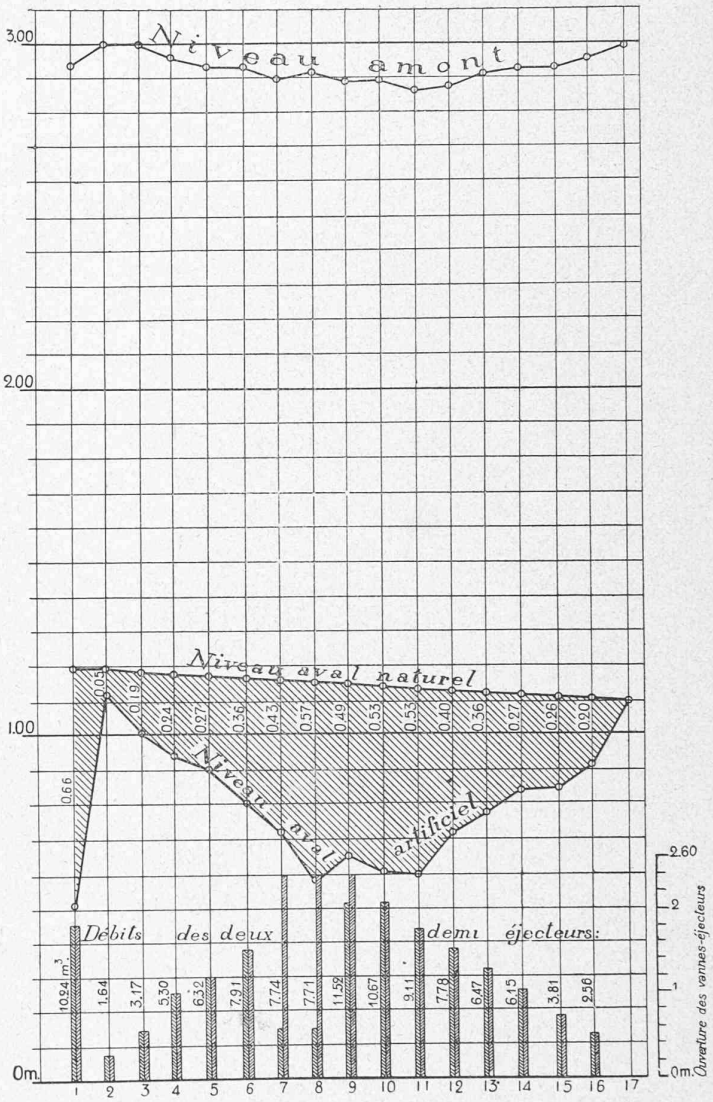


Fig. 3. — Graphique donnant la chute récupérée, en fonction du débit des éjecteurs. Débit de la turbine : 1660 litres par seconde.

teurs, immédiatement à l'aval de la turbine. La différence de ces deux cotes nous a donné ce que nous avons déjà appelé la chute artificielle. Quant à la chute naturelle, c'est-à-dire sans récupération, nous l'obtenions en repérant le niveau aval du canal de fuite lorsque les vannes étaient fermées.

Plusieurs séries d'expériences ont été entreprises à l'époque des crues d'été. A ce moment, la chute du barrage n'atteint guère qu'un mètre et demi, alors qu'en hiver elle est du double environ. Nous avons constaté qu'au-dessous de 1m,60 de chute les éjecteurs ne possédaient plus une vitesse suffisante pour entraîner l'eau de la turbine.

Le débit de celle-ci n'a jamais dépassé 1800 litres à la seconde, alors que le débit des éjecteurs s'élevait à une dizaine de mètres cubes. Sous une pression de un mètre et demi, les éjecteurs coulaient mollement, se mêlaient l'un à l'autre en bouillonnant et engorgeaient la sortie de la turbine. Dès que la chute de la rivière eut augmenté, par suite de la diminution de la crue, ont vit les éjecteurs se modeler ; ils s'allongèrent en deux longues veines bien lisses, coulant de part et d'autre de la turbine, et le limnimètre d'aval indiqua immédiatement que la poche commençait à se creuser.

Nous donnons ici les résultats d'une mesure relevée à la fin du mois d'août 1905, alors que l'Arve était en pleine crue.

Les deux vannes (fig. 1), dont la largeur est de 1m,65, ont été d'abord ouvertes à 1m,85, puis fermées et levées simultanément jusqu'à une hauteur de 1m,50 au-dessus du seuil.

Afin de rechercher l'influence de la dissimétrie des éjecteurs, nous avons ensuite abaissé l'une des vannes, tandis que l'autre continuait l'ascension jusqu'à 2m,35. A ce moment nous avons ramené les deux vannes à la hauteur commune de 2m,5 et les avons abaissées par étape de 0m,25 jusqu'au seuil.

Calcul de la dénivellation produite par deux demi-éjecteurs.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	OUVERTURE des vannes		LIMNIMÈTRES			CHUTE		GAIN en %	PUISSANCE en chevaux suivant chutes		GAIN en chevaux	DÉBIT des 2 demi-éjec. en m³ par sec. N° 1 et 2
	N° 1	N° 2	AMONT	AVAL naturel	AVAL artificiel	naturelle h	artificielle h'		naturelle $D \times h$	artificielle $D \times h'$		
I	1,85	1,85	2,93	1,18	0,52	1,75	2,41	37,7	29	40	11	10,2
II	0,30	0,32	3,00	1,17	1,12	1,83	1,88	2,7	30	31	1	1,6
III	0,60	0,60	2,99	1,17	0,98	1,82	2,01	10,4	30	33	3	3,1
IV	1,00	1,00	2,95	1,17	0,93	1,78	2,02	13,5	29	33	4	5,2
V	1,20	1,20	2,93	1,16	0,89	1,77	2,04	15,2	29	33	4	6,3
VI	1,50	1,50	2,93	1,16	0,80	1,77	2,13	20,3	29	35	6	7,9
VII	0,60	2,35	2,89	1,15	0,72	1,74	2,17	24,7	28	36	8	7,7
VIII	0,60	2,35	2,92	1,14	0,57	1,78	2,35	32,0	29	39	10	7,7
IX	2,05	2,35	2,88	1,14	0,65	1,74	2,23	28,2	28	37	9	11,5
X	2,05	2,05	2,88	1,13	0,60	1,75	2,28	30,2	28	38	10	10,6
XI	1,75	1,75	2,85	1,13	0,60	1,72	2,25	30,8	28	37	9	9,1
XII	1,50	1,50	2,87	1,12	0,72	1,75	2,15	23,0	28	35	7	7,7
XIII	1,25	1,25	2,90	1,12	0,76	1,78	2,14	20,2	29	35	6	6,4
XIV	1,00	1,00	2,92	1,11	0,84	1,81	2,08	14,9	30	34	4	5,1
XV	0,75	0,75	2,92	1,10	0,84	1,82	2,08	14,2	30	34	4	3,8
XVI	0,50	0,50	2,95	1,10	0,90	1,85	2,05	10,8	30	33	3	2,5
XVII	—	—	2,98	1,08	1,08	1,90	1,90	0,0	31	31	0	—

Le débit moyen de la turbine est de 1660 litres par seconde.

La dissimétrie des éjecteurs n'a point eu d'influence, le gros éjecteur, dont le débit était réglé de façon à compenser la diminution du petit, récupérait à lui tout seul presqu'autant que s'il eut été divisé en deux parties égales. C'est une remarque que nous avions déjà faite à l'usine de Chèvres. L'égalité des débits d'éjecteurs n'est donc pas nécessaire au bon rendement du système.

Le tableau ci-dessus fournit au complet les mesures dont nous parlons.

Les deux premières colonnes sont relatives aux hauteurs d'ouverture des vannes d'éjecteurs. Les trois suivantes contiennent les cotes des limnimètres. Puis, dans les colonnes 6 et 7, on lit les chutes naturelle et artificielle. Le jaugeage de la turbine ayant accusé un débit de 1660 litres, les puissances sur l'arbre de la turbine ont atteint les valeurs indiquées dans les colonnes 9 et 10. Le gain, soit en pour cent, soit en chevaux, se trouve dans deux colonnes séparées, 8 et 11. Enfin la dernière colonne contient les débits des demi-éjecteurs.

Nous voyons qu'en réalité il s'agit d'une turbine de trente chevaux environ, dont la puissance peut être portée à quarante, lorsqu'on l'installe entre deux éjecteurs. Cet essai confirme complètement les expériences de Chèvres en ce qui concerne la proportion de chute récupérable.

Afin de rendre ces résultats plus visibles nous les avons reportés sous forme de graphique (fig. 3).

On reconnaît les trois niveaux amont, aval naturel et aval artificiel. La ligne brisée de l'aval artificiel correspond tout à fait aux fluctuations de la poche que creusent les éjecteurs.

L'ouverture des vannes est représentée par les minces rectangles accolés, placés au bas du graphique. Une échelle spéciale se trouve sur la droite du dessin. On constate, dans la partie centrale, que l'inégalité d'ouverture des vannes, et par conséquent des éjecteurs, n'a pas provoqué de variations appréciables du niveau aval artificiel.

Nous pouvons donc déclarer, en nous appuyant sur cette expérience, que la récupération peut commencer dès que la chute naturelle atteint 1m,70 ou 1m,80. De prime abord la récupération s'élève à 30 % avec un débit d'éjecteurs convenable ; ici le quintuple du débit de la turbine suffit déjà.

A Chèvres, les chutes naturelles ont varié entre 4m,50 et 8 m. ; la récupération s'est toujours manifestée. Il n'est donc pas téméraire d'avancer que, pour des chutes comprises entre 1m,80 et 4m,50, la récupération se produirait de même. C'est une vérification que seule l'absence d'une chute de cette hauteur nous a empêché de faire.

Le rôle principal dans la récupération appartient aux éjecteurs. Il est donc très important d'apporter à l'établissement de ces organes hydrauliques les précautions les plus complètes, afin d'assurer leur parfait fonctionnement.

L'usine-barrage, où les turbines alterneront avec les éjecteurs, sera construite en travers du fleuve et de telle façon que le fleuve se prolonge en ligne droite à un kilomètre au moins en aval de l'usine. Tout méandre placé trop près derrière l'usine nuirait à la chasse des éjecteurs. Il est

de toute évidence que le radier des vannes d'éjecteurs, et le lit du fleuve à une assez grande distance, devront être dégagés de tout récif, barrage noyé, banc de sable ou obstacle d'espèce quelconque. La forme même des canaux d'éjecteur ne sera pas sans influence sur la vigueur et le rendement des veines liquides ; le constructeur cherchera autant que possible à donner à ces canaux le profil d'une veine naturelle ; dès que l'on dérogera à cette règle, on provoquera des rejaillissements latéraux qui amortiront l'éjecteur et nuiront au résultat.

L'équilibre dynamique de la veine doit être respecté autant que possible ; il serait même tout désigné de rechercher quelle forme de veine aurait le plus d'effet. C'est pourquoi il serait intéressant de donner au bord inférieur de la vanne un profil curviligne plutôt que rectiligne. Cependant, en face des récupérations obtenues jusqu'à présent, nous n'attribuons pas grande importance à ce dernier point. Les vannes pourront être placées, soit à l'amont, soit à l'aval du canal, cela dépendra de la hauteur de chute et de la distance de la contraction de veine, contraction qui doit être, en règle générale, près de la sortie de la turbine.

Il est impossible de citer ici toutes les remarques que des études expérimentales poursuivies pendant plus de six mois nous ont suggérées. Afin d'être plus clair nous voulons appliquer le principe de la récupération à deux exemples :

Supposons d'abord une rivière caractérisée par les données suivantes : A l'étiage, la chute est de 4 m. et le débit s'élève à 30 m³ à la seconde. La rivière est donc susceptible

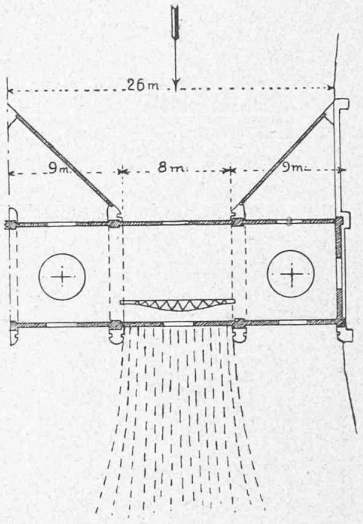


Fig. 4. — Plan schématique d'une usine-barrage type Saugey, comportant 2 turbines et 1 éjecteur.

et à droite à l'aval de chaque turbine et abaisse les niveaux de sortie.

Les essais expérimentaux nous autorisent ici à estimer la récupération à 25 %, le débit de la vanne centrale étant suffisant. Le niveau aval de sortie s'abaisse donc de 60 cm. sous l'influence de l'éjecteur et l'usine récupère ainsi les 240 chevaux qui auraient fait défaut dans d'autres conditions.

Nous résumons données et résultats dans le tableau suivant :

	CHUTE	DÉBITS			PUISSANCE naturelle	RÉCUPÉRATION		PUISSANCE totale
		Rivière	Turbine	Ejecteur		en %	en chev.	
	m.	m³ p. sec.	m³ p. sec.	m³ p. sec.	chevaux			chevaux
Etiage .	4	30	30	0*	1200	0	0	1200
Crue . .	2m,40	250	40	210	960	25 %	240	1200

Nous installerons, comme l'indique la figure 4, deux turbines dont les chambres sont séparées par un canal de 8 m. de large. Le débit minimum de 30 m³ se répartit également entre les deux turbines, chacune fournissant 600 chevaux. La vanne de l'éjecteur est hermétiquement fermée. Nous ne tenons pas compte des pertes d'eau, qui sont secondaires dans la question.

Au moment des hautes eaux, nous ouvrons les régulateurs et portons le débit des turbines à 40 m³. Sans la récupération, la puissance de l'usine, alors que la chute n'est plus que de 2m,40, n'atteindrait que 960 chevaux. L'entreprise se trouverait en face d'un déficit de 240 chevaux.

Mais à ce moment nous ouvrons la vanne centrale ; c'est du reste nécessaire à cause de la crue. L'eau se précipite et forme une large coulée, l'éjecteur ; celui-ci aspire à gauche de fournir sur l'arbre des turbines une puissance de 1200 chevaux. A l'époque des crues, la chute n'est plus que de 2m,40 tandis que le débit s'élève à 250 m³.

que les turbines aient des débits égaux ; si ce n'est pas le cas, l'éjecteur sera repoussé du côté du débit le plus faible. Nous avons indiqué que la vanne centrale serait placée à l'aval du bâtiment ; il y aurait lieu de prévoir à la sortie de celle-ci des becs mobiles autour d'un axe vertical, et servant à centrer l'éjecteur au milieu de la rivière. En effet, l'éjecteur ne travaille bien que s'il peut s'écouler sans obstacle suivant le fil de l'eau. Tout écrasement contre les berges produit des remous parasites, nuisant à la récupération complète.

La longueur de l'usine est ici de 26 m. La rivière peut être beaucoup plus large et rien n'empêche soit de la fermer par un barrage, soit de construire une écluse avec sas de longueur convenable. La circulation fluviale n'est nullement arrêtée par l'usine barrage ; il faut seulement que la ma-

Entre ces limites, la chute et le débit peuvent varier chaque jour ; l'éjecteur interviendra automatiquement et récupérera suivant les circonstances. Il n'est pas nécessaire

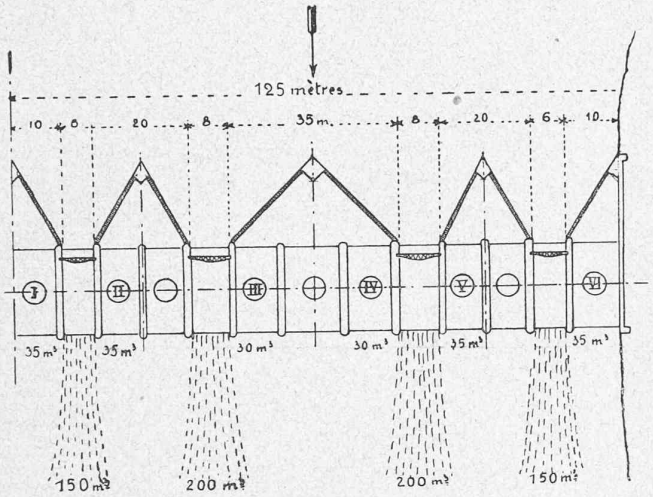


Fig. 5. — Plan schématique d'une usine-barrage type Saugey, comportant 6 turbines et 4 éjecteurs.

nœuvre des écluses n'engendre pas de tourbillons nuisibles.

Voici maintenant un exemple plus important. Soit un fleuve, dont le débit d'hiver ou d'étiage est de 150 m³ et la chute de 8 m. En été, ou lors d'une crue, la chute n'est plus que de 5 m., mais le débit est monté à 900 m³ par seconde.

Nous construirons une usine de 125 m. de longueur. Il est bien entendu que la largeur du fleuve permet la construction du bâtiment en travers. L'usine est traversée par quatre canaux, ainsi que le montre la figure 5. Dans les intervalles nous installerons des groupes de deux ou trois turbines. Une unité est à chaque extrémité. Nous prévoyons ici six turbines actives, trois sont de réserve. Ces trois peuvent fort bien ne pas être construites si l'exploitation autorise l'arrêt, sans remplacement, d'une turbine à réparer. Dans ce cas le bâtiment se rétrécit en conséquence.

A l'étiage, les vannes sont fermées, la rivière passe par les turbines. Chaque turbine débitant 25 m³, la puissance de l'usine, sur l'arbre des turbines, atteint 12 000 chevaux.

Au moment de la crue, on ouvre les régulateurs et les vannes. Supposons que les deux turbines centrales débitent 30 m³ et les autres jusqu'à 35 m³. C'est, il est vrai, un débit un peu élevé, mais nous poussons à l'extrême pour appliquer le principe de la récupération.

La chute n'étant plus que de 5 m., la puissance de l'usine serait réduite sans la récupérat on à 10 000 chevaux ; nous admettons ici que l'abaissement de la puissance est proportionnel à la diminution de chute ; chacun sait cependant que le rendement d'une usine hydro-électrique décroît plus vite encore que proportionnellement à la chute.

Nous lançons alors 150 m³ par les vannes de gauche et de droite, tandis que celles du milieu laissent chacune passer 200 m³.

L'inégalité des éjecteurs est sans importance, nous le savons. En tenant compte du rapport des débits des éjecteurs à ceux des turbines, nous estimerons la récupération au taux de 20 % pour les turbines I, II, V et VI, et nous nous bornerons à calculer une récupération de 10 % pour les turbines III et IV, leur débit commun étant de 60 m³. Des expériences exécutées à Chèvres avec des éjecteurs distants de 42 m. et des débits de turbines de plus de 60 m³ ont donné des rendements d'éjecteurs supérieurs à 10 %.

Dans ces conditions, la récupération totale de l'usine sera de 1700 chevaux et il s'en faudra seulement de 300 chevaux que sa puissance n'égale, lors d'une crue, la puissance maximum.

Nous résumons ces chiffres dans le tableau ci-dessous :

Entre ces deux limites d'étiage et de crue, l'usinier manœuvrera les vannes au mieux du rendement. Il pourra n'alimenter que deux éjecteurs, ne récupérer que d'un côté ou égaliser tous les débits des vannes. Tout dépend du régime fluvial et il est impossible de fournir toutes les variantes.

	CHUTE	DÉBITS			PUISSANCE naturelle	RÉCUPÉRATION		PUISSANCE totale
	m.	Fleuve m³ p. sec.	Turbine m³ p. sec.	Ejecteur m³ p. sec.	chevaux	en %	en chev.	chevaux
Etiage .	8	150	150	0	12 000	0	0	12 000
Crue . .	5	900	200	700	10 000	10-20 %	1700	11 700

Ces deux exemples sont réduits à leur plus simple expression. Nous n'avons voulu considérer les usines qu'au point de vue de la récupération.

On remarquera cependant que la position oblique des grilles facilitera grandement leur nettoyage, puisqu'il est possible de rejeter tous les matériaux de colmatage dans le fil du courant. En outre, si l'on veut utiliser la situation avantageuse du bâtiment, de plus courte distance entre les deux rives, pour en faire un pont, rien ne s'y opposera, l'arrière de l'usine pouvant être élargi sur fondation ou sur encorbellement. S'agit-il d'installer des pompes ou des machines encombrantes, la surface couverte est extensible à volonté et se prête à toutes les exigences. Au contraire, est-il demandé par raison d'économie de réduire les travaux de construction, on peut alors se borner aux installations de turbines, en laissant les canaux d'éjecteurs à ciel ouvert.

Il serait oiseux d'insister. La récupération est fondée sur un phénomène hydraulique naturel, elle permet d'accaparer la puissance intégrale d'un cours d'eau, d'assurer la fixité de rendement d'une usine sans installations auxiliaires ; elle réalise donc la meilleure conception technique ; dans chaque cas particulier l'étude financière établira l'infériorité ou la supériorité économique de l'usine-barrage sur les systèmes actuels.