

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 32 (1906)
Heft: 3

Artikel: La récupération des chutes d'eau
Autor: Bernoud, Alph.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-25562>

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: 26.01.2026

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

La récupération des chutes d'eau.

Par M. Alph. BERNOUD, Dr ès-sciences.

Les usines hydrauliques modernes, bien que dotées d'ouvrages d'art très perfectionnés tels que barrage, digue, canaux d'aménée ou de fuite, ont à lutter contre une difficulté insurmontable, la crue, dont les effets abaissent leur rendement dans de fortes proportions.

Du reste, sans parler des crues accidentelles, la variation du débit de la rivière de l'hiver à l'été diminue la chute des usines et nécessite, soit l'installation d'unités de renfort, soit la construction de machines à vapeur de secours.

tats fournis par une étude complète du sujet, étude qui vient d'être exécutée pendant l'été 1905.

Le procédé Saugey consiste à placer la sortie d'une turbine entre deux puissantes veines jaillissant de deux vannes de fond. Ces deux jets aspirent l'eau placée entre eux et provoquent ainsi l'abaissement du niveau aval, c'est-à-dire du niveau à la sortie de la turbine. On comprend qu'une turbine, qui peut alors être placée plus bas, bénéficie de cette augmentation artificielle de chute. L'aspiration latérale des éjecteurs maintient le niveau de sortie au-dessous du niveau aval naturel du barrage, et l'énergie des jets est utilisée à vider constamment la poche intermédiaire.

Le nouveau type d'usine préconisé est *l'usine barrage*,

LIÉGENDE :

- A = Limnimètre amont.
- B = > aval (vanne n° 4).
- C = > aval.
- D = > de jaugeage du déversoir.
- 1, 2, 3, 4, 5 et 6 = Vannes du barrage.
- Les vannes 3 et 5 constituent les éjecteurs et la vanne 4 la turbine fictive.
- Les pointillés indiquent l'épanouissement des veines liquides sortant des éjecteurs.

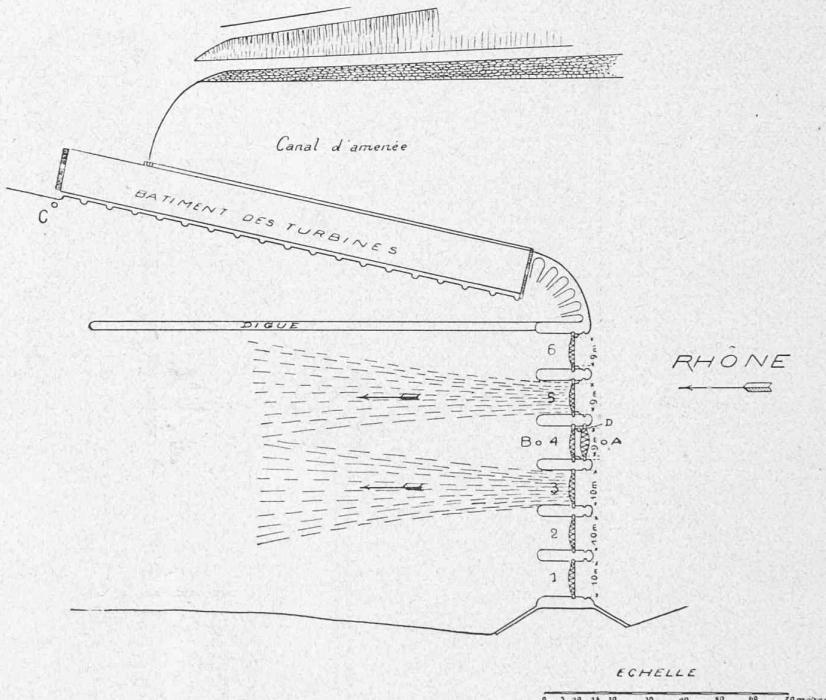


Fig. 1. — Disposition générale des expériences faites à l'Usine de Chèvres, près Genève. — Echelle : 1 : 2000.

Quand il s'agit d'usines hydrauliques dont les turbines actionnent des pompes, la diminution du nombre de tours n'affaiblit pas beaucoup le rendement, mais quand l'arbre de la turbine est couplé sur celui d'une dynamo, comme c'est le cas dans une usine hydro-électrique, il en va tout autrement. Pour une faible diminution de tours, le voltage de la dynamo s'abaisse outre mesure et l'on pourrait citer telle usine, et non des moindres, où d'hiver à été le rendement baisse de 30 %.

M. Marc Saugey, préposé à la direction de l'usine de Chèvres, près Genève, a eu l'idée très ingénieuse d'employer la force vive de l'eau inutilisée lors des crues pour rendre à l'usine hydraulique une partie de la puissance que cette même crue lui fait perdre. Son procédé a été décrit ici même par M. l'ingénieur Berthier¹.

Nous voulons en quelques lignes indiquer ce moyen de récupération des chutes d'eau avant de donner les résul-

c'est-à-dire l'usine construite en travers du fleuve, les turbines ou groupes de turbines alternant avec les vannes de fond qui serviront d'éjecteurs. A l'étiage, les vannes sont fermées, la rivière s'écoule tout entière par les turbines. Dès que la crue se fait sentir, on ouvre les vannes de fond; les jets, tout en débarrassant la rivière de son trop plein, provoquent entre eux l'abaissement des niveaux de sortie des turbines, et le niveau aval, au lieu de monter comme ce devrait être le cas, se maintient à une cote qui permet à l'usine de conserver sensiblement son rendement.

On voit que l'on fait travailler le trop plein; en profitant des phénomènes de succion analogues à ceux qui se présentent dans la trompe hydraulique, on oblige la rivière à creuser des poches dans son niveau aval, et c'est dans ces poches que l'on verse le débit des turbines. Si le parallèle n'était pas un peu risqué, on pourrait très bien qualifier de *transformateur hydraulique* un système d'éjecteurs au moyen duquel le débit provoque l'augmentation de chute,

¹ Voir N° du 10 janvier 1903, page 11.

c'est-à-dire de pression, et ceci à l'instar des transformateurs électriques genre bobine de Rhumkorff, qui transforment l'ampérage en voltage, soit le débit en pression électrique.

Les expériences que nous voulons décrire ont été exécutées à l'usine de Chèvres, sur le Rhône, avec la collaboration de M. Bétant, directeur du service des eaux de la ville

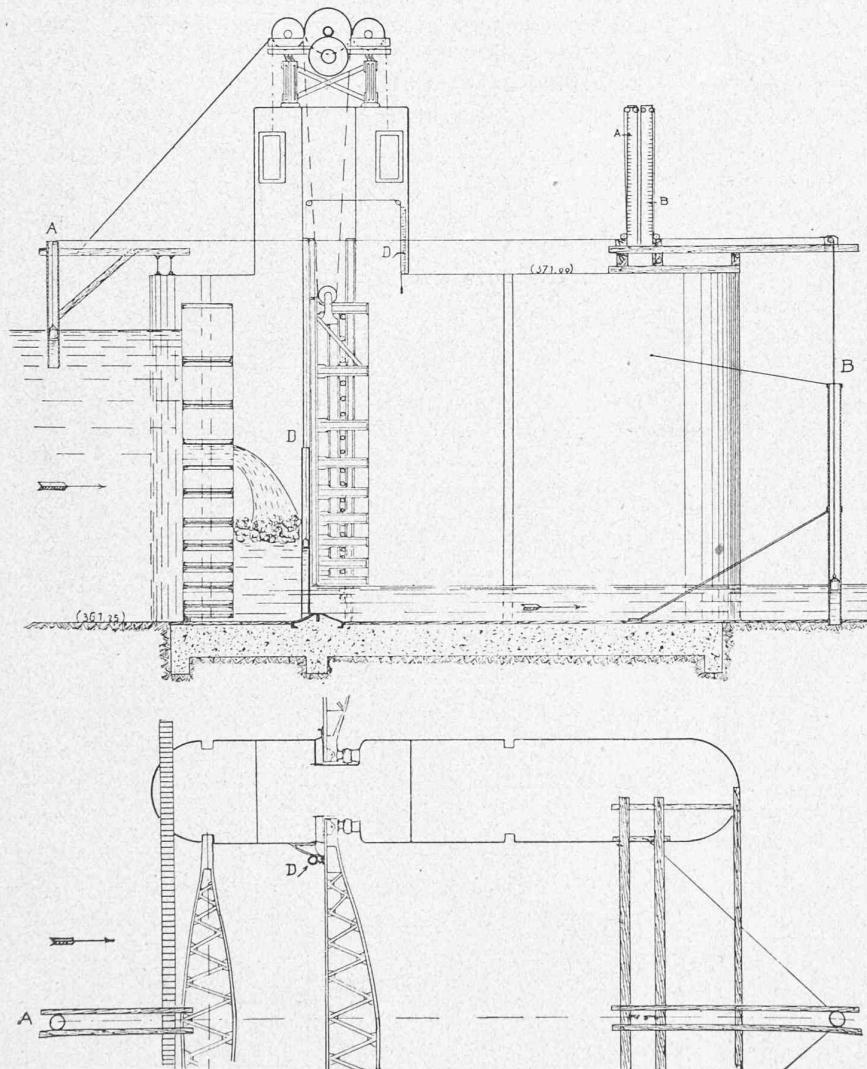


Fig. 2. — Installation du déversoir et des limnimètres pour les essais des éjecteurs (vanne 4).
Plan et coupe suivant A B de la fig. 1. — Echelle : 1 : 200.

LEGENDER :

A = Limnimètre amont. — B = Limnimètre aval (vanne n° 4). — D = Limnimètre de jaugeage du déversoir. — Le jaugeage de la turbine qui est supposé exister en place de la vanne n° 4 s'est fait en mesurant la chute entre les limnimètres D et B. — La mesure de la chute artificielle a été obtenue au moyen des limnimètres A et B, celle de la chute naturelle au moyen des limnimètres A et C.

de Genève. La figure 1 donne le plan de l'usine ; le barrage est muni de six vannes de fond du type Stoney. La vanne 4 représente une turbine fictive ; elle laisse écouler l'eau correspondant au débit d'une turbine. Les vannes 3 et 5 servent d'éjecteurs ; les veines liquides qui s'en échappent vont s'épanouir à une centaine de mètres en aval du barrage et comprennent entre elles un espace triangulaire ; c'est là que doit déboucher la turbine.

Trois limnimètres sont placés aux points A, B et C.

Entre les points A et C on mesure la chute naturelle du fleuve, tandis que la chute artificielle est donnée par la différence des cotes A et B.

L'expérience consiste à comparer la chute artificielle à la chute naturelle, et ceci en faisant varier soit le débit des éjecteurs, soit le débit de la turbine fictive. En groupant toutes les expériences, il est alors possible d'obtenir des tables ou des graphiques qui permettent d'estimer approximativement la puissance supplémentaire que produira une turbine, étant donné son débit et les éjecteurs dont on dispose.

Le jaugeage des éjecteurs a été calculé à l'aide de la formule $Q = S 0,67 \sqrt{2gh}$, S étant la surface de sortie et h la chute naturelle. Il était beaucoup plus difficile d'évaluer le débit de la turbine, car il était nécessaire que l'eau s'écoule sans vitesse sous la vanne 4 afin de réaliser les conditions techniques d'une vraie turbine. En outre, le niveau aval en B variant constamment, il était impossible de déterminer un débit constant. Nous avons tourné la difficulté en utilisant une vanne auxiliaire placée en amont de la vanne 4. La figure 2 montre le plan et l'élévation du dispositif de jaugeage. La vanne auxiliaire pouvait être coupée en deux parties et il était alors possible de jauger la quantité d'eau qui s'écoulait entre les deux vannes. Ce jaugeage de la vanne auxiliaire par la vanne turbine déterminait un débit fixe puisqu'il ne dépendait que du niveau amont, sensiblement constant, et de l'ouverture de la vanne auxiliaire, ouverture rigoureusement invariable pendant toute la durée d'une expérience.

D'autres débits de turbine étaient obtenus par l'agrandissement de l'ouverture, opération facile, la partie supérieure de la vanne étant soulevée par des vérins.

Nous donnons ci-contre un tableau des résultats obtenus lors d'une mesure exécutée le 16 juillet 1905. Ce tableau est divisé en 15 colonnes dont l'en-tête explique le contenu ; cependant, pour le rendre plus clair, nous ajouterons quelques détails complémentaires.

La deuxième et la troisième colonne indiquent la hauteur d'ouverture de chaque vanne éjecteur ; le débit de chacune de ces vannes est inscrit dans la colonne 15. Les relevés de limnimètres se trouvent dans les colonnes 4, 5 et 6 ; par de simples soustractions, on a obtenu les chutes naturelle et artificielle que contiennent les colonnes 7 et 8.

Calcul de la dénivellation produite par deux demi-éjecteurs.

Heures matin	OUVERTURE des vannes		LIMNIMÈTRES			CHUTE			GAIN en %	DÉBIT de la turbine m ³ p. sec.	PUISSEAU suivant chutes		GAIN chev.	DÉBIT des 2 demi-éjec. vannes 3 et 5 m ³ p. sec.
	3 m.	5 m.	AMONT A m.	AVAL naturel C m.	AVAL artificiel B m.	naturelle h m.	artificielle h' m.	différence h' - h m.			naturelle h × D chev.	artificielle h' × D chev.		
8,34	2,00	2,00	368,65	364,12	362,40	4,53	6,25	1,72	37,9	13,15	595	822	227	126
8,54	2,00	2,00	368,66	364,08	362,63	4,58	6,03	1,45	31,6	15,11	692	911	219	127
9,13	2,00	2,00	368,70	364,07	362,65	4,63	6,05	1,42	30,6	18,28	846	1106	260	127
10,11	3,60	3,60	368,75	364,00	362,80	4,75	5,95	1,20	25,2	12,16	577	723	146	232
10,22	3,60	3,60	368,71	364,05	362,85	4,66	5,86	1,20	25,7	14,67	683	859	176	230
10,33	3,60	3,60	368,66	364,02	362,90	4,64	5,76	1,12	24,1	17,—	788	979	191	230
11,02	3,20	3,20	368,70	363,95	362,90	4,75	5,80	1,05	22,4	20,30	964	1177	213	204
11,20	3,20	3,20	368,65	363,96	362,85	4,69	5,80	1,11	23,6	26,60	1233	1543	296	205

Cotes d'altitude, d'après le Bureau hydroélectrique fédéral.

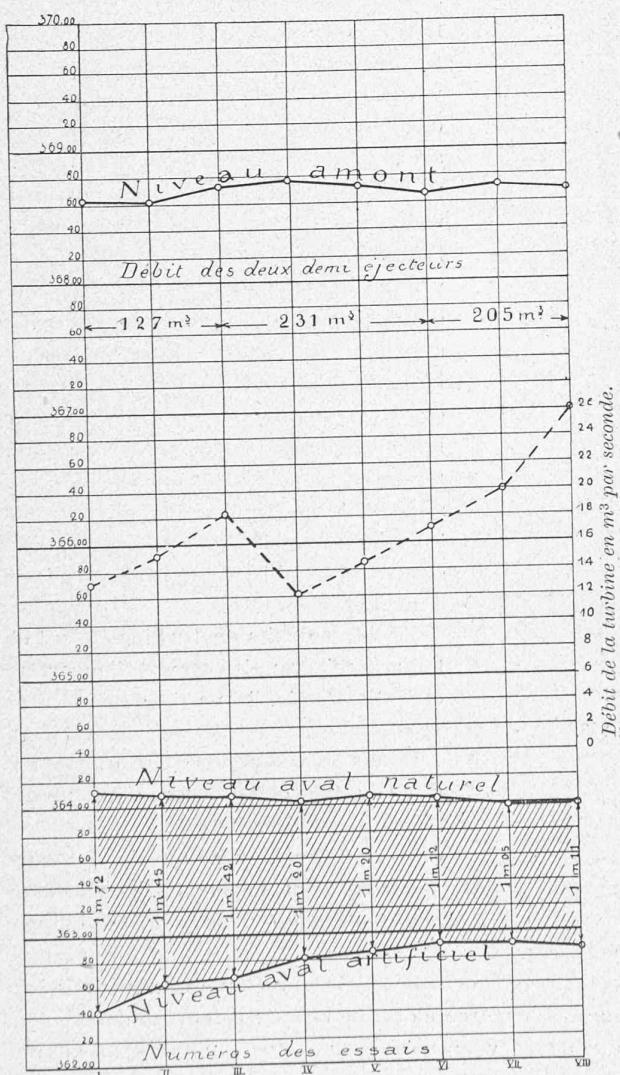


Fig. 3. — Graphique donnant la chute récupérée en fonction des débits des éjecteurs et de la turbine, et de la chute naturelle. (La ligne ponctuée donne le débit de la turbine).

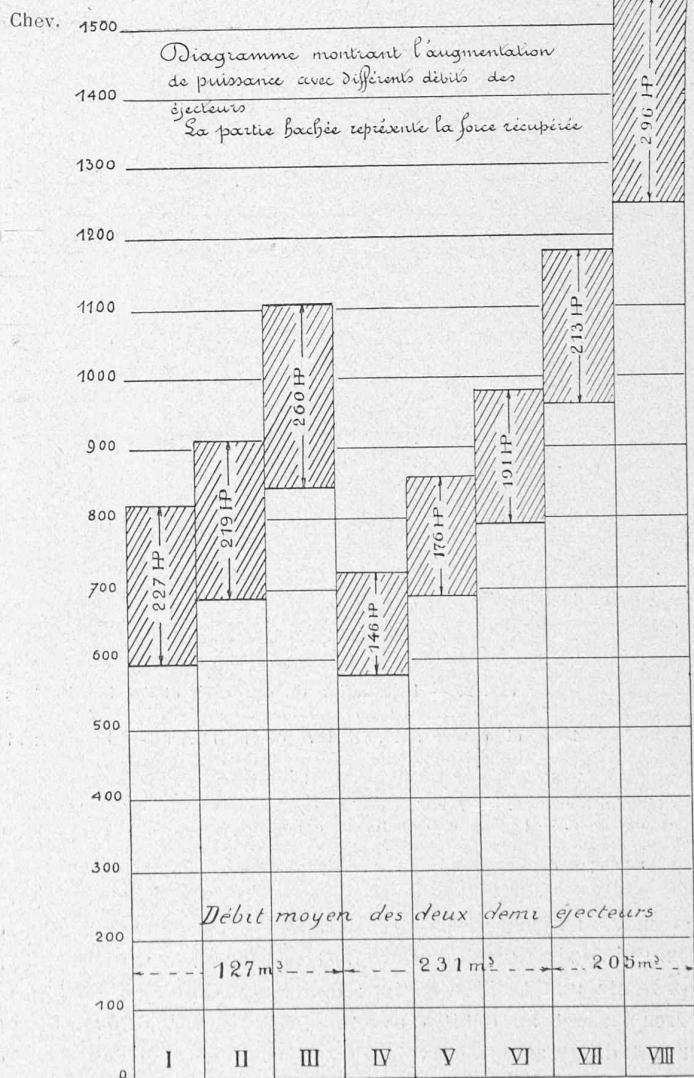


Fig. 4. — Graphique donnant la puissance récupérée en fonction du débit des éjecteurs et de la turbine. (Les surfaces hachées représentent la puissance récupérée).

La dixième colonne a été calculée en faisant chaque fois le rapport de l'augmentation de chute à la chute naturelle; on avait ainsi le gain en pour cent de la chute naturelle.

Dans la colonne 11, on lit les résultats de jaugeage de la vanne turbine; il y a eu huit essais, dont trois avec un éjecteur d'un débit constant de 127 m^3 , trois avec le débit de 231 m^3 et deux avec un débit de 205 m^3 .

Enfin les colonnes 12 et 13 indiquent la puissance en chevaux sur l'arbre de la turbine des deux chutes naturelle et artificielle; la différence de ces deux colonnes est le gain définitif en chevaux; il est inscrit dans la colonne 14.

On voit que le débit des éjecteurs a varié de $10 \text{ à } 240 \text{ m}^3$ à la seconde; les rectangles verticaux non hachés représentent la puissance naturelle, chacun d'eux est surmonté d'un rectangle haché qui indique la puissance artificielle due à l'aspiration de l'éjecteur. Le maximum a été ici de 208 chevaux. La turbine a débité constamment 15 m^3 . On remarque que c'est entre 120 et 160 m^3 de débit d'éjecteur que le rendement a été le meilleur. Le débit de l'éjecteur doit être environ le décuple de celui de la turbine.

Un très grand nombre de mesures, exécutées dans les conditions les plus variées, ont permis de construire des abaques dont l'emploi donne la solution de quelques pro-

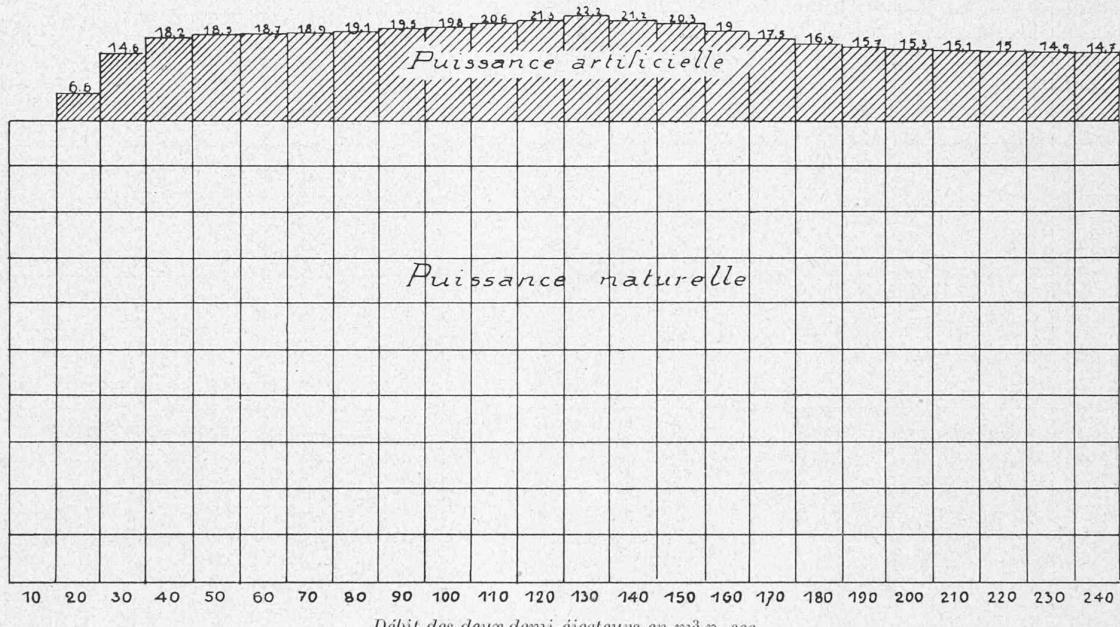


Fig. 5. — Diagramme indiquant la variation de la puissance récupérée, en fonction du débit des éjecteurs.

LÉGENDE. — Les augmentations de puissance, dont le maximum est de $22,2\%$, correspondent à un débit de la turbine de $15 \text{ m}^3 \text{ p. sec.}$ La chute brute étant de $6,26 \text{ m.}$ la puissance recueillie par la turbine sera de 939 chev. Une turbine de 939 chev. pourra donc fournir 1167 chev. lorsque les éjecteurs débiteront 130 m^3 .

Le graphique de la figure 3 représente sous une autre forme les résultats du tableau. On y voit les trois niveaux de la rivière, le niveau amont et les niveaux aval naturel et artificiel, la différence de ces deux derniers se lit dans la surface hachée. Les numéros des essais sont inscrits au bas. La ligne brisée ponctuée représente le débit de la turbine fictive pendant ces huit essais. Voici de quelle manière il faudrait lire ce graphique : lors du troisième essai, par exemple, le débit de la turbine fictive était de 18 m^3 et celui de l'éjecteur 127 m^3 ; la chute gagnée a été de $1^{\text{m}}42$ alors que la chute naturelle était de $4^{\text{m}}63$.

Le graphique de la figure 4 fournit le gain en chevaux pour les huit essais.

Ainsi, lors du troisième essai, la récupération a été de 260 chevaux, la chute fournissant à ce moment 846 chevaux.

D'autres séries d'expériences ont porté sur la recherche du débit d'éjecteur le plus efficace, tandis que la turbine fictive avait un débit constant.

Sans donner le tableau des mesures, nous reproduisons le diagramme qui permet de reconnaître la variation de la puissance gagnée avec le débit des éjecteurs (fig. 5).

blèmes. Nous donnons ci-dessous l'un de ces abaques, obtenu expérimentalement (fig. 6).

L'abaque est divisé en quatre parties, correspondant à quatre débits d'éjecteurs différents.

Les quatre niveaux caractéristiques se retrouvent comme dans la figure 4. Les débits de la turbine sont indiqués au bas du dessin. On voit que, pour des chutes de $4 \text{ à } 5 \text{ m.}$, les débits de turbine variant de $12 \text{ à } 26 \text{ m}^3$, il est possible de récupérer des augmentations de chute de $70 \text{ cm. à } 1 \text{ m.}$, ce qui fournit des augmentations de puissance proportionnelles.

D'autres mesures ont été relevées alors que les éjecteurs passaient par les vannes 2 et 6, laissant entre elles trois turbines, dont le débit total pouvait atteindre jusqu'à 60 m^3 . L'augmentation de chute n'a pas atteint dans cette circonstance des chiffres aussi élevés que dans les mesures précédentes ; la largeur de la poche à vider était ici de 40 m. au lieu de 15 ; le résultat de ces observations a cependant établi que l'on pouvait parfaitement laisser déboucher un groupe de deux ou trois turbines entre deux éjecteurs.

Des observations ont également eu lieu à l'usine de

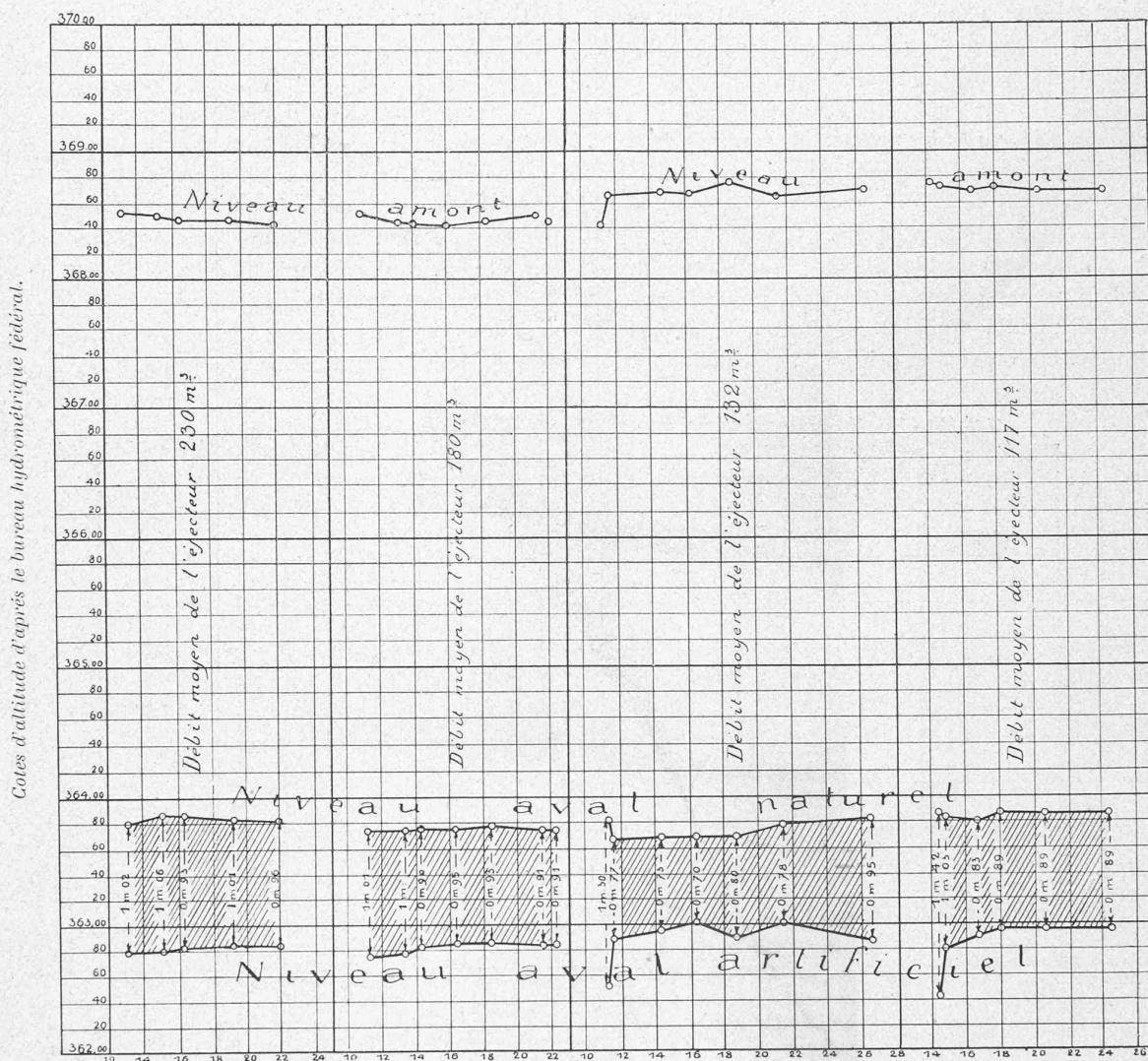


Fig. 6. — Abaque donnant la chute récupérée, en fonction de la chute naturelle, du débit de la turbine et de celui des éjecteurs.

Vessy sur l'Arve, sur une chute beaucoup plus faible, ne dépassant pas 2^m.40 et pouvant descendre jusqu'à 1^m.85 lors d'une crue. Ces mesures, appliquées au débit d'une turbine de 1600 litres environ, ont confirmé les résultats obtenus à Chèvres. Nous reviendrons dans un prochain article sur quelques points touchant les mesures de Chèvres et de Vessy.

En résumé, l'ensemble des expériences et des calculs exécutés jusqu'à présent permet d'établir que des éjecteurs d'un débit de 150 à 200 m^3 peuvent augmenter de 15 à 30 % la puissance d'une turbine placée entre eux, cette augmentation de puissance variant avec le débit de la turbine. On se rend compte de l'importance de cette constatation.

C'est en s'appuyant sur ce fait que M. Saugey propose le nouveau type d'usine, l'usine barrage.

En s'aidant des graphiques ci-dessus, on peut calculer dans quelles limites variera le rendement de l'usine hydraulique de l'hiver à l'été. Cette donnée fixe le rendement financier, qui sera en tout cas supérieur à ce qu'il serait, toutes choses égales d'ailleurs. En outre, les dépenses d'ins-

tallation peuvent être diminuées dans certains cas ; ainsi quand l'installation de canaux d'amenée ou de fuite n'est plus nécessaire ou bien quand les fondations sont communes à l'usine et au barrage ; la digue séparative est également inutile. Il est très difficile d'exprimer en chiffres le résultat de ces économies, tant qu'il ne s'agit pas d'un projet déterminé. Ce n'est que par la comparaison financière avec un autre type que l'on pourra se rendre compte des avantages de l'usine barrage. Cette comparaison financière portera sur la diminution du capital d'installation, sur la réduction des frais généraux et sur l'augmentation du rendement annuel, grâce à la fixité relative de la puissance de l'usine.

De toute façon les spécialistes verront, dans ce procédé de récupération de la chute, un moyen simple et peu coûteux de remédier à la gêne momentanée qu'une crue subite, un été pluvieux, peuvent apporter dans la marche d'une usine dont dépendent les industries les plus variées.