

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 52 (1926)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Sur le choix du type de turbine le mieux adapté au service des installations à faible chute, à régime variable

**Autor:** [s.n.]

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-40253>

#### 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:** 12.01.2026

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

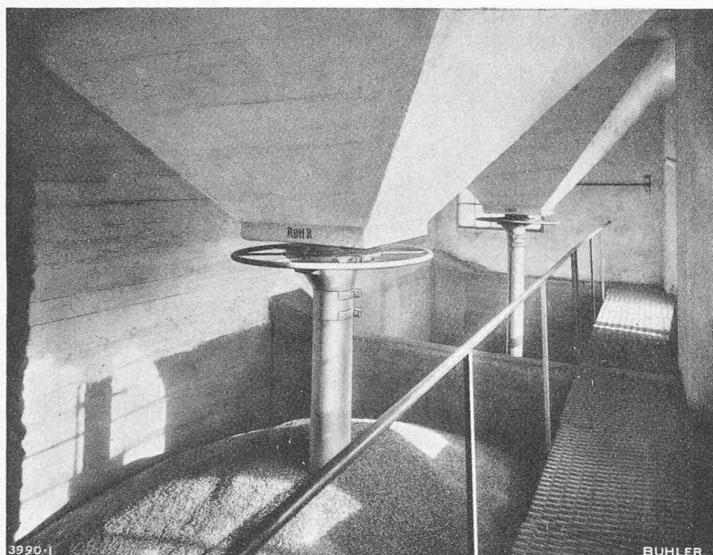


Fig. 6. — Silo d'aération, avec dispositif de distribution.

complètement fermée avec démarreur à bain d'huile directement adossé et le dispositif à verrouillage automatique de mise en court-circuit et de relevage des balais. L'expérience a montré qu'il est très avantageux de réunir le moteur, le démarreur et les appareils de contrôle (l'ampèremètre est monté sur le démarreur) en une unité organique dont les différentes parties sont solidaires les unes des autres.

Bu.

#### **Sur le choix du type de turbine le mieux adapté au service des installations à faible chute, à régime variable.**

C'est le titre d'une étude que M. N. Popoff, ingénieur à Stockholm, a publiée dans les numéros du 15 septembre et du 1<sup>er</sup> octobre 1925 de *Die Wasserwirtschaft*<sup>1</sup> et que nous résumons brièvement.

Soient, à un instant donné,  $A_1$  la puissance disponible pour une turbine et  $A_2$  la puissance fournie par la turbine aux génératrices,

$$\frac{A_2}{A_1} = \eta$$

sera le rendement instantané de la turbine.

Soient  $W_1$  l'énergie hydraulique disponible pendant un temps donné et  $W_2$  la capacité de production de la turbine. Le quotient

$$\frac{W_2}{W_1} = \mu$$

sera le coefficient d'utilisation de cette énergie hydraulique.

M. Popoff analyse comme suit la marche d'une installation :

1<sup>o</sup> En un temps donné, on a

$$A_1 > A_2$$

l'offre est donc supérieure à la demande : le coût de l'installation est alors le facteur prédominant, à l'exclusion de  $\eta$  et de  $\mu$ .

2<sup>o</sup> En un temps donné,

$$A_1 < A_2$$

<sup>1</sup> Richard Pflaum Verlag, A. G., Munich.

la demande d'énergie est supérieure à la capacité de production de l'installation.  $\mu$  est le facteur prédominant,  $\eta$  étant négligeable.

Enfin, 3<sup>o</sup> le rapport de la puissance demandée à la puissance offerte est tel que, en un temps donné, les turbines travaillent à charge variable :  $\eta$  et  $\mu$  doivent être pris en considération et, d'une façon générale, on peut énoncer cette règle : une installation sera d'autant meilleure, au point de vue financier, que  $\mu$  sera plus élevé, dans le cas 2<sup>o</sup> et que  $\eta$  et  $\mu$  seront plus grands dans le cas 3<sup>o</sup>, à égalité des dépenses d'établissement.

D'autre part il est dans l'intérêt de l'économie publique que  $\mu$  soit aussi grand que possible même au prix d'un certain renchérissement de l'énergie produite.

Ces prémisses posées, M. Popoff compare les turbines *Kaplan* (à aubes motrices pivotantes) avec les *turbines-hélices* (à aubes motrices fixes), pour  $n = \text{const.}$  et  $n_s \stackrel{\sim}{=} \text{const.}$  (avec réglage en vue de l' $\eta$  maximum) étant supposé que :

1<sup>o</sup> Les rendements, correspondant aux valeurs que tout constructeur qualifié est capable d'atteindre, se rapportent à des roues de trois mètres de diamètre environ.

2<sup>o</sup> Dans le cas de plusieurs unités, les turbines-hélices sont réglées en vue de l' $\eta_{\max}$  par variation de la charge de toutes les unités en service et du nombre de ces unités. Quant aux turbines *Kaplan*, toutes les unités sont réglées simultanément.

3<sup>o</sup> Pour les turbines *Kaplan*, la courbe de  $\eta$  en fonction de la puissance  $P$  développée ne varie pas avec la hauteur de la chute.

4<sup>o</sup> La puissance maximum normale admise est celle qui correspond à  $\eta = 85\%$ , au delà du maximum de  $\eta$ .

5<sup>o</sup> Les variations de la hauteur de chute sont de + 20 % et de - 35 %, comprises donc entre 65 % et 120 % de la chute normale.

Les caractéristiques des trois solutions envisagées (turbines *Kaplan*, turbines-hélices  $n = \text{const.}$  et turbines-hélices  $n_s = \text{const.}$ ) sur la base de ces conventions sont récapitulées aux tableaux ci-dessous visant, l'un, le cas d'une chute constante, l'autre, le cas d'une chute variable. (Tableaux I et II.)

Il ressort de cette analyse que, dans l'hypothèse d'un  $n_s = 600$  et d'une hauteur de chute constante,

1<sup>o</sup> Pour l'obtention de rendements  $\eta$  pratiquement égaux, une turbine *Kaplan* équivaut à 6 turbines-hélices à  $n = \text{constant}$  ou à 3 turbines-hélices à  $n$  variable de 50 % (+ 35 - 15). (Le réglage du  $\eta$  des turbines-hélices supposé réalisé par variation du nombre d'unités en service.) Voir Fig. 1.

2<sup>o</sup> Lorsqu'une capacité de surcharge pouvant atteindre 40 % est nécessaire, la puissance normale (correspondant à  $\eta = 85\%$ ) installée des turbines-hélices doit être plus grande, dans la même proportion, que celle des turbines *Kaplan* (voir Fig. 2) et dans le cas de  $n_s = \text{const.}$  le nombre de tours effectifs sera plus petit d'environ 18 % pour  $n = \text{const.}$  et d'environ 7 % pour  $n$  variable de 50 %.

M. Popoff analyse ensuite le cas de l'usine de Kachlet, en construction sur le Danube, près de Passau, et dont les caractéristiques sont : 8 turbines-hélices<sup>1</sup> de 7450 ch.,  $n_s = \sim 500$ ;  $n = 75$ ;  $H$  normal = 7,65 m. (amplitude des variations de la chute: de 5 à 9 m.). Se plaçant dans les trois hypothèses suivantes : 1<sup>o</sup> les 8 turbines-hélices dont les caractéristiques viennent d'être décrites ; 2<sup>o</sup> 6 turbines *Kaplan* de 10 000 ch.;  $n = 75$ ;  $n_s$  normal = 600 et 3<sup>o</sup> 6 turbines-hélices de mêmes caractéristiques que les 6 turbines *Kaplan*, avec  $n_s = \text{const.}$ , l'auteur arrive aux conclusions suivantes :

<sup>1</sup> Construites par Voith, à Heidenheim et Escher, Wyss & Cie, Zurich et Ravensbourg.

TABLEAU I

## Chute constante.

	Turbine-hélice $n_s$ normal = 500	Turbine-hélice $n_s$ normal = 600	Turbine-hélice $n_s$ normal = 800	Turbine Kaplan $n_s$ normal = 600
	$n = \text{const.}$	$n = \text{const.}$	$n = \text{const.}$	
Rendement maximum	90 % à 0,90 $P$	90 % à 0,95 $P$	86 % à 0,95 $P$	90 % à 0,65 — 0,70 $P$
Rendement à demi-chARGE ( $P_{1/2}$ )	70 %	67 %	60 %	89 %
Capacité de surcharge	Extrêmement faible	Très faible	3 %	40 % (pour $\eta = 0,70$ )
	$n$ variable de 30 % (+ 20 — 10)	$n$ variable de 50 % (+ 25 — 15)	$n$ variable de 25 % (+ 15 — 12)	
Rendement maximum	90 % à 0,90 $P$	90 % à 0,85 $P$	89 % à 0,86 $P$	
Rendement à demi-chARGE ( $P_{1/2}$ )	80 %	80 %	68 %	
Capacité de surcharge, pour $\eta = 0,70$	20 %	25 %	10 %	

N. B. —  $n_s$  = nombre de tours spécifique. —  $P$  = puissance. —  $n$  = nombre de tours effectifs, par minute. —  $\eta$  = rendement.

TABLEAU II

## Chute variable.

	$H = 1,2 H$ normal	$H = 0,65 H$ normal
Turbine-hélice : $n_s$ normal = 600 ; $n = \text{const.}$	$P_{\max.} = 1,25 P_{\text{norm.}} (\eta = 80 \%)$	$P_{\max.} = 0,57 P_{\text{norm.}} (\eta = 80 \%)$
» : $n_s = 600 = \text{const.}$	$\gg = 1,60 \quad \gg (\eta = 70 \%)$	$\gg = 0,655 \quad \gg (\eta = 70 \%)$
» Kaplan : $n_s$ normal = 600.	$\gg = 1,80 \quad \gg (\eta = 70 \%)$	$\gg = 0,73 \quad \gg (\eta = 70 \%)$

N. B. —  $H$  = hauteur de la chute. —  $n_s$  = nombre de tours spécifique. —  $\eta$  = rendement. —  $P$  = puissance.

1<sup>o</sup> Pour une chute de 7,65 m. et plus les 3 types d'installations diffèrent peu quant au rendement  $\eta$  et le coefficient d'utilisation  $\mu$  est pratiquement le même pour les trois types.

2<sup>o</sup> Mais, pour une chute inférieure à 7,65 m., les turbines-hélices  $n = \text{const.}$ , bien que leur rendement ne s'abaisse pas au-dessous de 80 % accusent un  $\mu$  notablement inférieur à celui des turbines-hélices  $n_s = \text{const.}$  et, surtout, à celui des turbines Kaplan.

3<sup>o</sup> Les trois types de turbines sont capables de développer la même puissance que sous  $H$  norm. = 7,65 m., sous les chutes respectives suivantes ( $\eta = 80 \%$ ) :

Turbines Kaplan . . . . .  $H = 6,1$  m.  
Turbines-hélices,  $n_s = \text{const.}$  . . . . .  $H = 6,6$  m.  
Turbines-hélices,  $n = \text{const.}$  . . . . .  $H = 7,3$  m.

4<sup>o</sup> En fonction du régime du fleuve, la puissance développée sera inférieure à la puissance normale :

Pour les turbines Kaplan . . . . 12 jours en moyenne par an.

Pour les turb.-hélices,  $n_s = \text{const.}$  23 " " "

Pour les turb.-hélices,  $n = \text{const.}$  85 " " "

5<sup>o</sup> Pour réaliser le même  $\mu$  les turbines-hélices devront posséder, par rapport aux turbines Kaplan, une puissance normale supérieure de :

a) 30 % dans le cas de  $n = \text{const.}$ , c'est-à-dire que, pratiquement, trois groupes seront nécessaires pour les faibles chutes ;

b) 12 % dans le cas de  $n_s = \text{const.}$ , c'est-à-dire qu'un groupe de réserve sera nécessaire pour les faibles chutes.

De toutes ces considérations visant les propriétés des turbines Kaplan et des turbines-hélices  $n = \text{const.}$  et  $n_s = \text{const.}$ , M. Popoff tire les conclusions suivantes propres à étayer les projets d'aménagement des basses chutes à régime variable.

1<sup>o</sup> Dans le cas où l'installation comprend moins de trois

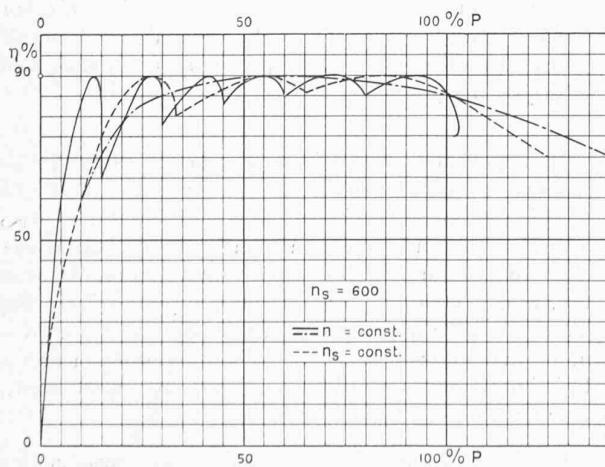


Fig. 1.

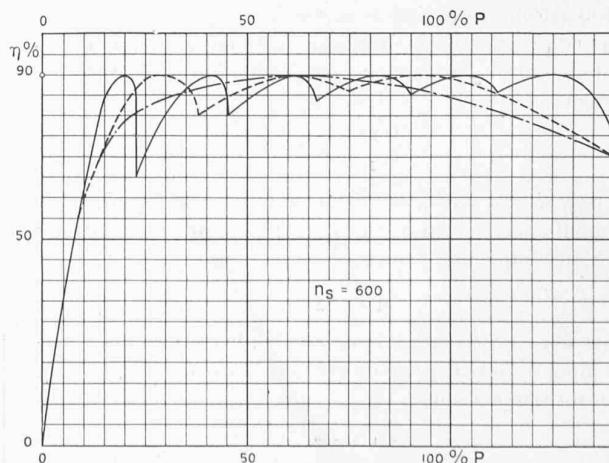


Fig. 2.

groupes le choix du type Kaplan est le seul qui soit rationnel car il se traduit par un meilleur  $\eta$  et un meilleur  $\mu$ .

2<sup>o</sup> Dans le cas de trois à six groupes et en présence de la nécessité de produire du courant alternatif à fréquence constante la turbine *Kaplan* fournit encore la meilleure solution. Pour une installation avec transport d'énergie à grande distance et possibilité d'utiliser à cet effet le courant continu à haute tension, produit, par exemple par des « transverters » de Highfield il y a lieu de comparer la solution par turbines *Kaplan* avec la solution par turbines-hélices  $n_s = \text{const.}$  et « transverters ».

3<sup>o</sup> Dans le cas de six groupes et plus les solutions au moyen des types envisagés sont comparables. Pour fixer son choix, il est nécessaire de prendre pour critère la limite d'utilisation des hautes eaux, en s'inspirant du principe qu'il est plus avantageux de recourir aux turbines *Kaplan* que d'installer des

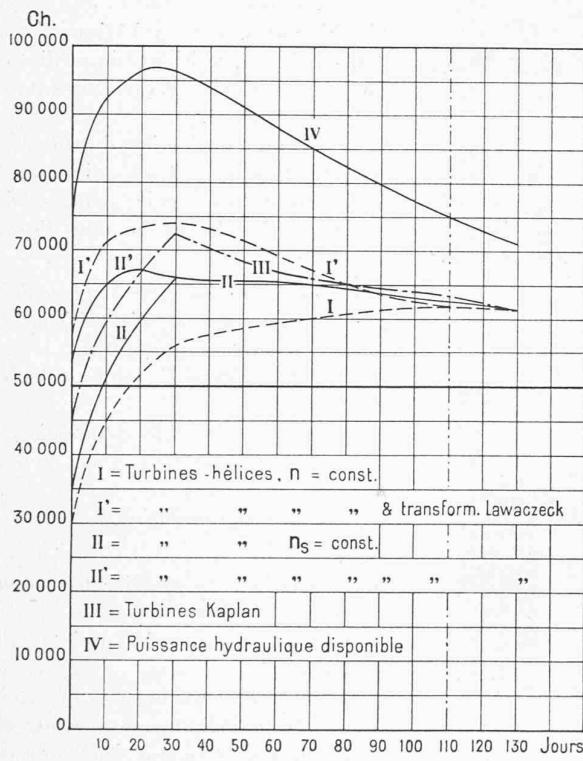


Fig. 3.

groupes de réserve pour l'utilisation de ces hautes eaux ; le bien-fondé de ce principe découle du fait que si le coût des installations avec turbines *Kaplan* est de 6 à 10 % plus élevé que celui des installations avec turbines-hélices de même puissance normale, l'adjonction d'un groupe de réserve aux six turbines élève ce coût de 15 % environ ; c'est seulement dans le cas de dix groupes et plus que le coût d'installation d'un groupe de réserve serait égal au supplément de prix afférent aux turbines *Kaplan*, mais, pour obtenir au moyen des turbines-hélices le même degré d'utilisation des hautes eaux qu'au moyen des turbines *Kaplan*, la puissance des groupes de réserve doit être égale à environ 30 % de la puissance normale des autres groupes dans le cas des turbines-hélices  $n = \text{const.}$  et à environ 12 % dans le cas des turbines-hélices  $n_s = \text{const.}$

4<sup>o</sup> Des combinaisons judicieuses des turbines *Kaplan* avec les turbines-hélices peuvent fournir des solutions intermédiaires en ce qui concerne la grandeur du coefficient d'utilisation  $\mu$ .

5<sup>o</sup> Sous une chute égale ou supérieure à la hauteur normale de chute, les turbines *Kaplan* peuvent travailler comme les turbines-hélices (à  $n = \text{const.}$  ou à  $n_s = \text{const.}$ ) c'est-à-dire

sans réglage des aubes motrices, mais par variation du nombre des groupes en service ; sous les chutes inférieures à la chute normale, le réglage des aubes motrices interviendra. Dans ces conditions, tous les organes mobiles de la roue (servo-moteur, pivots des pales, etc.) ne travaillent qu'une partie de l'année seront beaucoup moins exposés à l'usure et aux accidents.

En résumé, dans le cas d'une installation à charge variable, comprenant au moins six groupes, le rendement  $\eta$  est indépendant du type de turbine à grande vitesse choisi ; le choix de ce type est déterminé seulement par la grandeur désirée du coefficient d'utilisation  $\mu$ .

Quand il y a moins de six groupes, le maintien d'un rendement élevé peut être assuré par l'installation d'un groupe *Kaplan* ; les autres groupes travaillent alors avec le rendement maximum et la charge est réglée par la turbine *Kaplan* et par variation du nombre des groupes en service. La construction des turbines est considérablement simplifiée par l'emploi d'un distributeur à aubes fixes. La fixité des aubes directrices n'exerce qu'une influence négligeable sur la puissance des turbines *Kaplan* et des turbines-hélices (surtout dans le cas de  $n_s = \text{const.}$ ) et n'a pour conséquence qu'un faible fléchissement du rendement lorsque la chute s'abaisse au-dessous de la hauteur normale.

Dans les installations à chute très amplement variable, équipées au moyen de turbines *Kaplan* conjuguées avec des turbines-hélices, il pourra être avantageux de munir les turbines (tout au moins les turbines-hélices) de distributeurs à aubes mobiles qui, lors de la réduction de la chute (mais non lors des modifications de la charge) rendent possible l'obtention de la plus grande puissance.

Pour une hauteur de chute égale ou supérieure à la hauteur normale, les turbines-hélices doivent fournir le rendement maximum ; sous des chutes inférieures à la normale elles doivent conserver leur puissance normale aussi longtemps que possible quand la chute décroît, et, ensuite, développer la puissance maximum compatible avec les conditions de service. Nous avons vu que les turbines-hélices peuvent conserver leur puissance normale jusqu'à une hauteur de chute inférieure à 12 % de la normale, dans le cas de  $n = \text{const.}$  et inférieure à 25 % environ de la normale dans le cas de  $n_s = \text{const.}$ . La puissance diminuera un peu plus rapidement si les aubes du distributeur sont fixes.

La présence d'une turbine *Kaplan* est susceptible, en raison de son extraordinaire capacité de surcharge, d'améliorer grandement les conditions de service de l'installation à chute réduite.

Envisageant l'aménagement d'une chute de 2,5 m. de hauteur normale, mais variable entre 2 et 3 m., M. Popoff calcule les prix de revient comparatifs suivants, pour trois variantes,  $K$  étant le prix de revient d'une turbine-hélice :

2 turbines-hélices et 1 turbine <i>Kaplan</i> . . . . .	3,4 $K$
2 turbines <i>Kaplan</i> . . . . .	2,8 $K$
3 turbines <i>Kaplan</i> . . . . .	3,8 $K$

L'étude se termine par la comparaison, représentée graphiquement sur la figure 3, de l'aptitude des différents types de turbines à l'utilisation rationnelle d'une chute. Ce graphique montre que la conjugaison de turbines-hélices  $n = \text{const.}$  avec des « transformateurs » de *Lawaczeck* accuse un  $\mu$  plus élevé, par suite réalisant une meilleure utilisation globale du cours d'eau, que les turbines *Kaplan* seules.