

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 79 (1987)  
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Usine d'Amsteg: auscultations et diagnostique après 60 ans  
**Autor:** Bruschin, Jacques  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940621>

### **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:** 22.02.2026

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

# Usine d'Amsteg: auscultations et diagnostique après 60 ans

Jacques Bruschin

## Résumé

Des trois paliers de l'aménagement hydro-électrique de la ligne du Gothard cités en [1], le palier d'Amsteg fut le second à être mis en service, en automne 1924, suivant celui de Ritom en 1920. Décrit de manière détaillée en [2], il a fait récemment, à la demande des CFF, après 60 années de bons et loyaux services, l'objet d'un check-up hydraulique exécuté par deux instituts de l'EPFL: l'Institut de machines hydrauliques (IMH) et le Laboratoire d'hydraulique (LHYDREP). Cet article présente les moyens mis en œuvre, le diagnostic et le traitement proposé.

## Zusammenfassung: Die Überprüfung des Kraftwerkes Amsteg nach 60 Jahren

Zu Beginn dieses Jahrhunderts wurden drei Wasserkraftwerksanlagen entworfen, um die Gotthardbahnlinie mit Strom zu versorgen. Nachdem die erste, Ritom, bereits seit 1920 in Betrieb war, wurde 1924 die Anlage Amsteg in Auftrag gegeben. Nach einem Betrieb von mehr als 60 Jahren ohne bedeutende Zwischenfälle hat sich die Schweizerische Bundesbahn entschlossen, eine vollständige Überprüfung der Wasserzuführungskanäle der Anlage Amsteg durchführen zu lassen, vor allem im Hinblick auf eine Erhöhung ihrer Leistungsfähigkeit. Diese Untersuchung wurde von zwei Laboratorien der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne ausgeführt. Der vorliegende Bericht beschreibt das Vorgehen und die vorgeschlagenen Verbesserungen sowie die daraus resultierenden Vorteile.

## Summary: Check-up of the Amsteg water power plant after 60 years of operation

Three hydroelectric schemes were designed at the turn of this century to supply power for the Gothard railway. The Amsteg scheme was commissioned in 1924, following Ri-

tom already operating since 1920. After more than 60 years of smooth operation, the Swiss Federal Railways decided that time had come for a full check-up of the Amsteg water-supply lines in order to update them technically and increase their capacity. The investigation was carried out by two laboratories of the Federal Institute of Technology in Lausanne. This paper reports on its results, the improvements suggested and the respective benefits.

## 1. Introduction

L'examen du palier d'Amsteg se situe dans le cadre d'une action de la Division des usines électriques des CFF visant à optimiser l'exploitation de son patrimoine. Dans le cas particulier le symptôme relevé consistait en un décalage entre les débits disponibles et la capacité du système tel qu'exploité suivant une consigne mise au point de manière empirique au fil des années. Il s'agissait dès lors de déterminer si les choix de la consigne étaient justifiés par:

- des vices de conception au départ
  - le vieillissement du réseau hydraulique et l'accroissement consécutif des pertes de charge (PDC)
  - des causes encore ignorées
- et de prospecter les remèdes éventuels.

Un premier volet de l'étude a été confié à l'IMH et avait pour but de déterminer par mesures in situ les pertes de charge dans les conduits hydrauliques ainsi que le comportement du système lors d'un déclenchement et d'une mise en route des machines. L'exécution de ces mesures et leur analyse – voir [3] – ont permis de localiser les problèmes à la chambre d'équilibre et à l'insertion des apports des Kärstelen et Etzlibach par le puits de chute et la galerie-réservoir de Bristen (figure 1). La seconde étape de l'étude qui devait cerner de manière détaillée les causes des problèmes et examiner les solutions possibles, a été confiée au LHYDREP. Elle fut menée par voie expérimentale, en laboratoire, sur un modèle partiel au 1:15. Cette solution, plus souple, plus commode et plus économique que des essais in situ n'eut pas été possible sans les résultats précédemment obtenus par l'IMH.

Figure 1. Schéma de l'aménagement d'Amsteg des CFF et points de mesure. GBR galerie-réservoir inférieure de Bristen; 1) galerie-réservoir; 1 et 10 balances Rittmeyer; 2 à 8 manomètres divers; 9 compteurs de puissance (MW); G1 à G6 groupes turbines-générateurs 1 à 6.

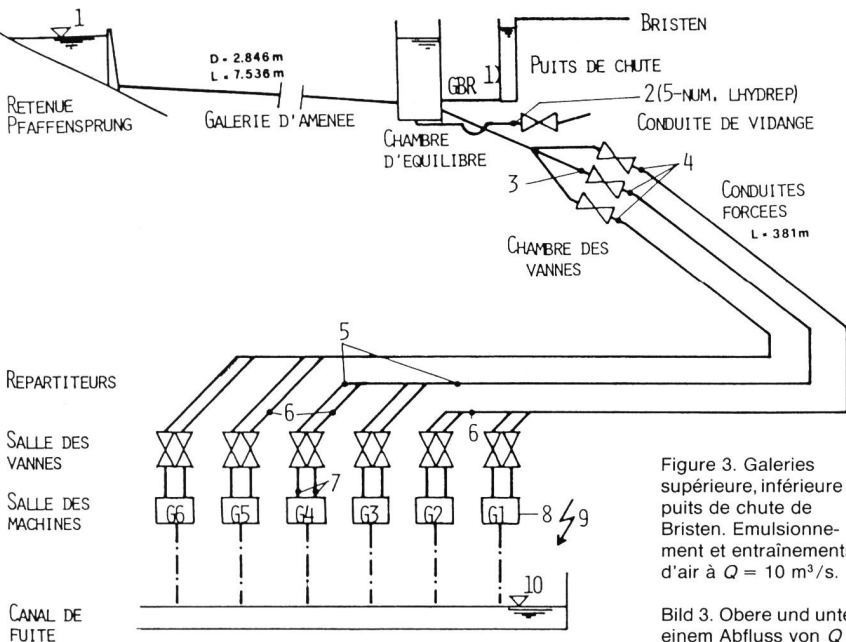


Bild 1. Schema der Wasserkraftanlage Amsteg der SBB mit Angabe der Messfühler. GBR unterer Reservoirtunnel Bristen; 1) Reservoirtunnel; 1 und 10 Rittmeyer-Waagen; 2 bis 8 verschiedene Manometer; 9 Leistungsmessung (MW); G1 bis G6 Turbinen-Generatorengruppen 1 bis 6.

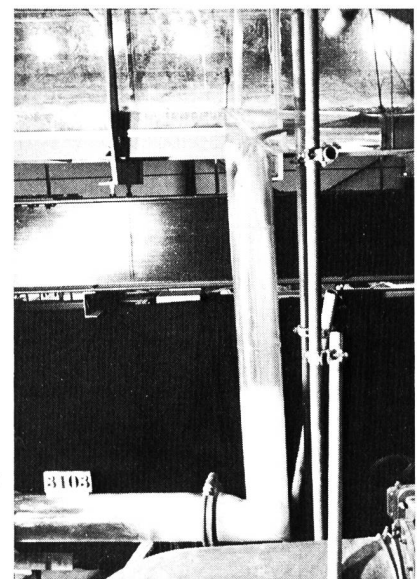
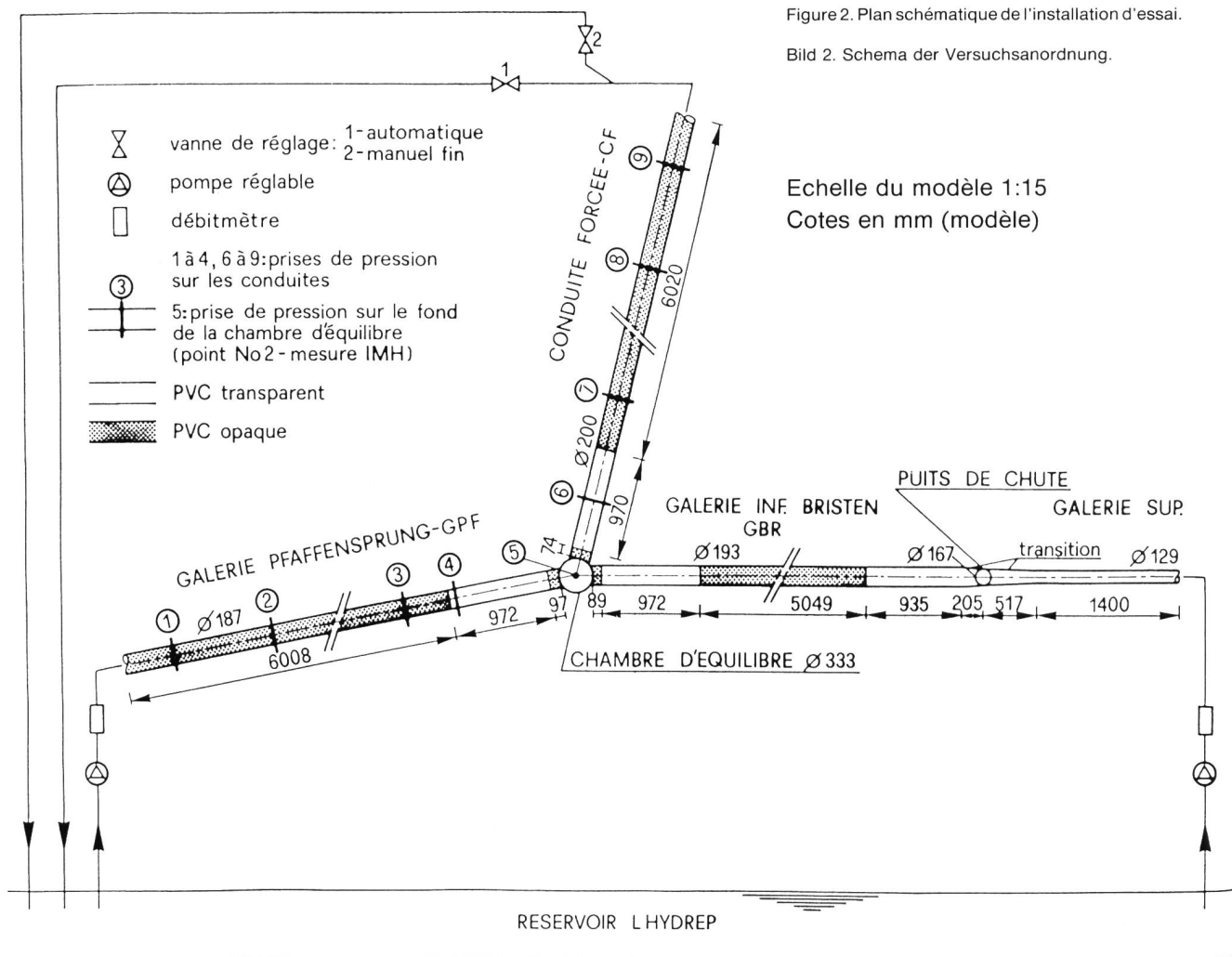


Figure 3. Galeries supérieure, inférieure et puits de chute de Bristen. Emulsionnement et entraînements d'air à  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Bild 3. Obere und untere Tunnel und Stollen bei Bristen. Lufteintrag bei einem Abfluss von  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ .



## 2. L'étude de l'Institut de machines hydrauliques

Cette étude a été conçue d'emblée pour tirer le meilleur parti des moyens à disposition sur place. Il va de soi que ces moyens étaient pour la plupart (prises de pression par ex.) hors norme si l'on les rapporte aux exigences actuelles. Des insuffisances de tarage (limnimètre dans la retenue de Pfaffensprung, débit du canal de fuite) ou en nombre (sur les 7500 m de la galerie d'amenée de Pfaffensprung il n'y avait aucune prise de pression!) ont aussi été relevées. Dès lors les résultats ne pouvaient être que de qualité industrielle, comme ne manque pas de le signaler le rapport de l'IMH. Cette approche a cependant servi à dégrossir les problèmes de manière tout-à-fait satisfaisante et ceci au moindre coût. Les points de mesure sont montrés à la figure 1. De plus, une caméra TV regardant vers le bas, a été montée au plafond de la chambre d'équilibre. Nous n'entrerons pas ici dans les détails de cette étude – il ne nous appartient pas de la faire d'ailleurs. Certains éléments importants pour la suite en seront toutefois rappelés aux points nommés. Ses principales conclusions doivent pourtant être résumées car indispensables à la compréhension de notre exposé. Ainsi:

- malgré les réserves exprimées, la cohérence des résultats confirme leur fiabilité
- la galerie d'amenée de Pfaffensprung et la chambre d'équilibre sont, prises ensemble, la source d'une perte de charge qui, pour être élevée, n'a rien d'anormal. La chambre d'équilibre est toutefois, aux forts débits, le siège d'importants mouvements tourbillonnaires, susceptibles d'entraîner de l'air dans les conduites forcées

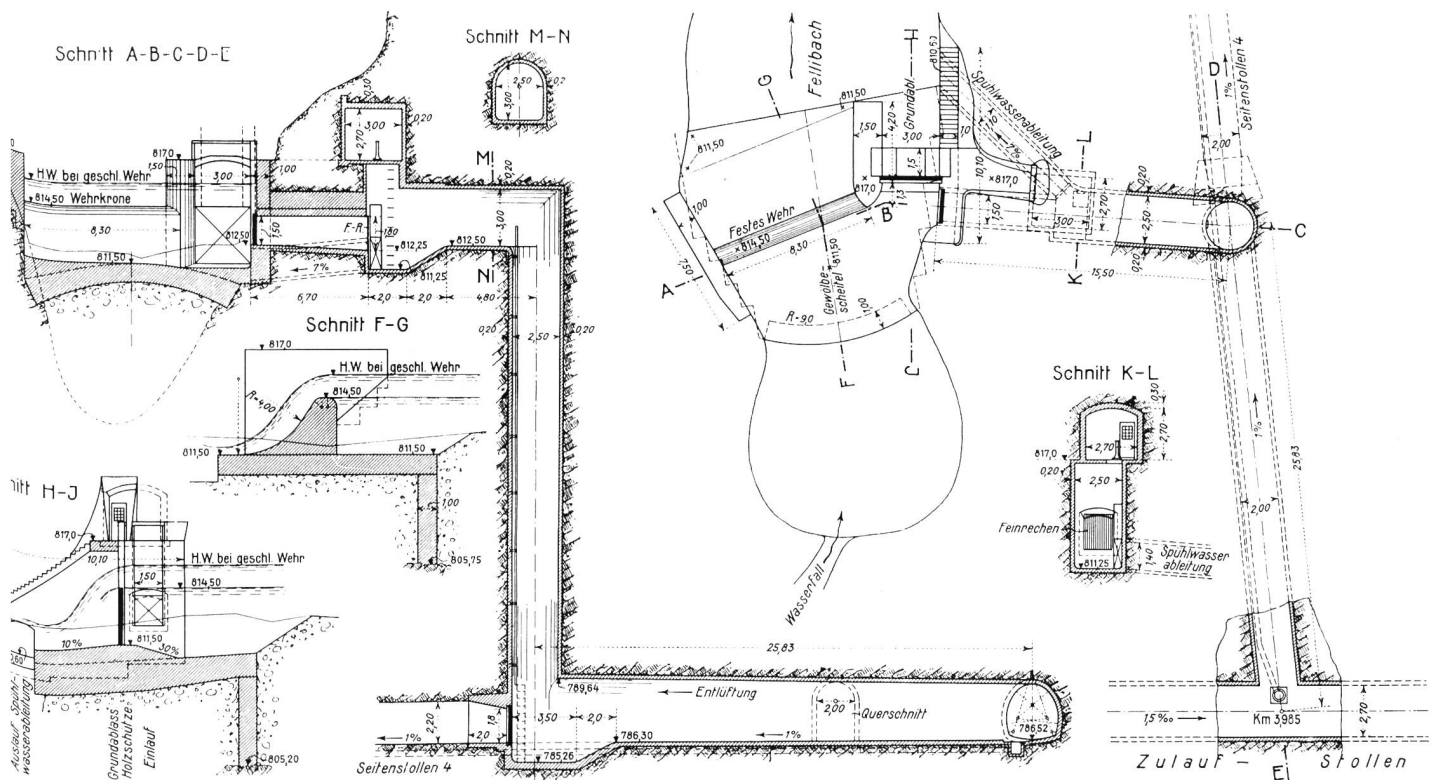
- les pertes de charge dans les conduites forcées restent dans les valeurs usuelles
- la chambre d'équilibre semble capable de supporter en l'état des variations de régime relativement brutales, comme l'ont démontré les essais exécutés avec la liaison à Bristen hors service (!).

La suite de l'étude pouvait désormais être centrée sur le nœud chambre d'équilibre – galerie réservoir inférieure de Bristen en écoulements permanents. Comme pour les forts débits le niveau d'eau dans la chambre d'équilibre était forcément bas et la chute des apports de Bristen proche du maximum, un fort émulsionnement était à supputer. L'air ainsi piégé pouvait être transporté dans la chambre d'équilibre et de là, comme déjà vu, entraîné dans les conduites forcées. La conception de la deuxième phase de l'étude a été dérivée de ces considérations.

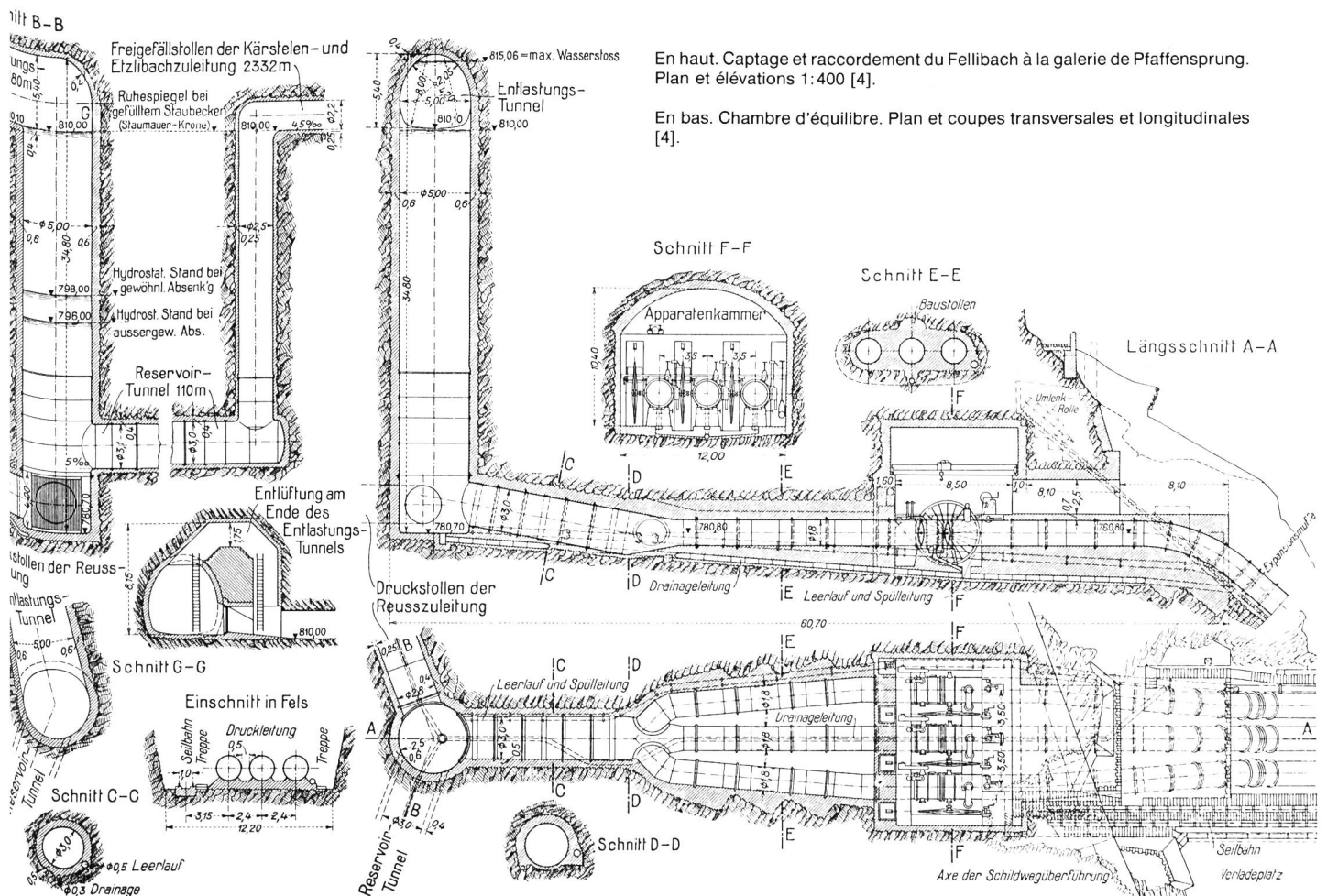
## 3. L'étude du Laboratoire d'hydraulique

L'outil principal de notre étude a été l'installation d'essais montrée à la figure 2. Elle reproduit des tronçons de la galerie d'amenée de Pfaffensprung, de la conduite forcée et de l'amenée de Bristen, auxquels s'ajoutent les tronçons de mesure des lignes de charge soit conséquemment des pertes de charge dans la chambre d'équilibre.

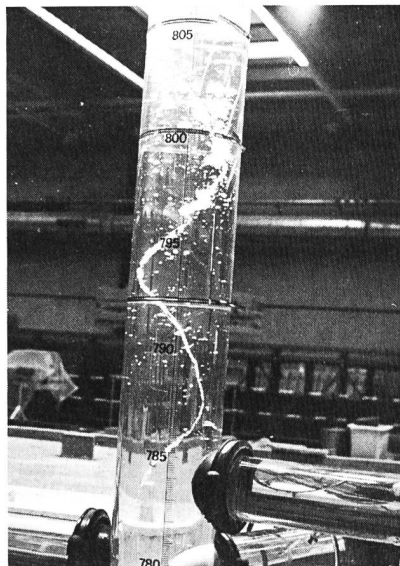
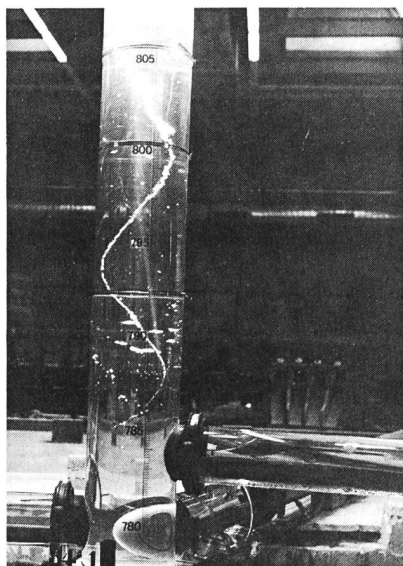
Concernant l'amenée de Bristen et contrairement au captage du Fellibach où le problème du dégazage de l'eau avait manifestement été appréhendé (voir page 23) malgré la chute comparable, un puits de même diamètre mais un débit sensiblement plus élevé, cet aspect n'avait apparemment pas été pris en compte ici (voir page 23).



**Amsteg.** Fassung und Einleitung des Fellibaches in den Reuss-Zulaufstollen. Grundriss und Schnitte 1:400.

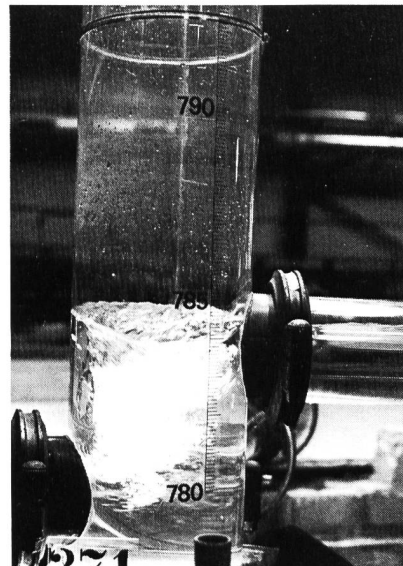


**Amsteg.** Längs-, Quer- und Horizontalschnitte des Wasserschlosses. — Maßstab 1:500.



Figures 4 et 5. Vortex hélicoïdaux entraînant de l'air dans la conduite forcée à  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Bilder 4 und 5. Spiralenförmige Wirbel, welche Luft in die Turbinenleitung eintragen. Abfluss  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figures 6 et 7. Mouvement tourbillonnaire entraînant de l'air dans la conduite forcée.

$Q_{\text{Pfaffensprung}} = 19 \text{ à } 21 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Comme il était évident que la capacité de l'aménagement pouvait être limitée par les pertes de charge de la galerie de Pfaffensprung et de la chambre d'équilibre, mais aussi par la quantité d'air entraînée dans les conduites forcées, il fallait assurer au modèle la présence des deux facteurs, en dépit des problèmes de similitude que soulevait ce dernier volet.

Les buts de l'étude expérimentale ont dès lors été définis comme suit:

- déterminer séparément les pertes de charge dans la galerie de Pfaffensprung et dans la chambre d'équilibre pour mieux localiser et évaluer l'opportunité d'un effort d'amélioration des conditions d'écoulement
- évaluer la capacité – débitance maximale sans entraînement d'air – du système hydraulique en l'état
- observer et signaler toutes particularités des écoulements, significatives pour le bon fonctionnement des installations. Réunir ce faisant les éléments d'une consigne d'exploitation mieux adaptée à la situation
- proposer et tester des améliorations «légères», c'est-à-dire faciles à mettre en place sans interruptions inacceptables de la production.

Pour y parvenir nous avons exécuté et évalué quatre séries d'essais:

3.1. L'étude a débuté par la reproduction en similitude, de 6 des 17 essais in situ de l'IMH. Nous avons réglé exactement

les mêmes débits et pressions hydrostatiques sur le fond de la chambre d'équilibre que mesurées en vraie grandeur pour les cas correspondants. Les charges de part et d'autre de la chambre d'équilibre, obtenues par extrapolation des lignes de charge de la galerie de Pfaffensprung et des conduites forcées, sont dans ces conditions les mêmes qu'en réalité. Nous avons ainsi pu attribuer les pertes de charge à la galerie de Pfaffensprung et à la chambre d'équilibre séparément, comme montré au tableau 1. La galerie de Pfaffensprung peut être caractérisée par

- un coefficient de *Strickler*  $K = 81,5$
- un coefficient de *Darcy-Weissbach*  $\lambda = 0,01325$

ce qui nous laisse non seulement sans possibilités d'amélioration éventuelle mais correspond presque exactement aux valeurs adoptées dans le projet initial! Ce dernier a en effet utilisé la formule de *Ganguillet-Kutter* (1869) qui donne le coefficient de *Chézy* sous la forme:

$$C = \frac{23 + 1/n + 0,00155/J}{1 + (23 + 0,00155/J) n / \sqrt{R}}$$

Avec  $C = KR^{1/6}$ ,  $v = C \sqrt{RJ}$ ,  $R = D/4$  et les valeurs de  $n$ ,  $D$  et  $v$  données en p. 23 de [2], nous avons trouvé par tâtonnements

$$80,9 < K < 82,5$$

La galerie d'amenée de Pfaffensprung est donc, hydrauliquement, dans l'état de sa première jeunesse.

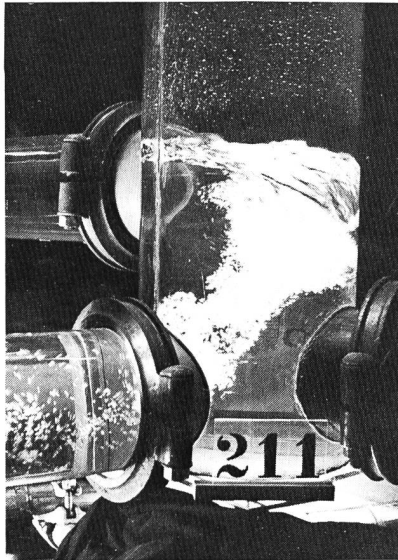
Les écoulements dans la chambre d'équilibre par contre sont caractérisés à la fois par un tourbillonnement néfaste, comme nous le verrons plus loin et une perte relativement modeste mais égale néanmoins à un multiple de l'énergie cinétique disponible dans la galerie de Pfaffensprung. D'autre part, les niveaux d'eau dans la chambre d'équilibre s'établissent au-dessus des pressions piézométriques mesurées à sa base, l'écart croissant avec le débit de la galerie de Pfaffensprung. Ceci prouve que l'énergie cinétique des écoulements n'est pas entièrement transformée en charge hydrostatique dans la chambre d'équilibre.

3.2. La deuxième série d'essais a démontré que la source d'air entraîné dans les conduites forcées se situe dans le puits de chute de Bristen (figure 3). Le tourbillonnement

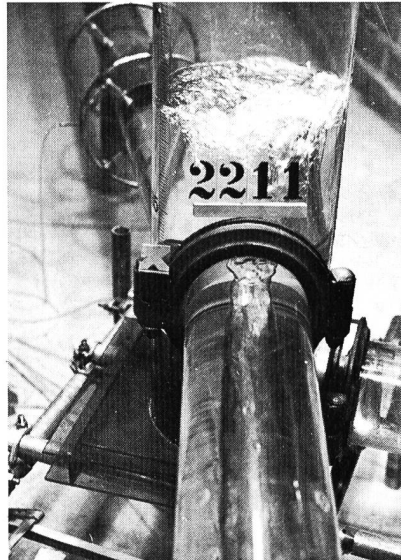
Tableau 1. Pertes de charge dans la galerie d'amenée de Pfaffensprung et dans la chambre d'équilibre.

No essai	Q [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]		PDC [m]		Niveaux [msm]	
	IMH/ LHYDREP	GPF	GBR	CHE	piézométrique pt 2 IMH ou pt 5 LHYDREP	CHE
10		7.957	–	0.16	2.80	807.20
7		8.674	–	0.17	3.41	806.56
8		9.342	–	0.23	3.88	805.99
13		12.049	–	0.33	6.32	803.40
14		18.278	–	0.77	14.67	794.33
16		21.032	–	0.94	19.43	789.17
						807.20
						806.56
						805.99
						803.50
						794.75
						789.85

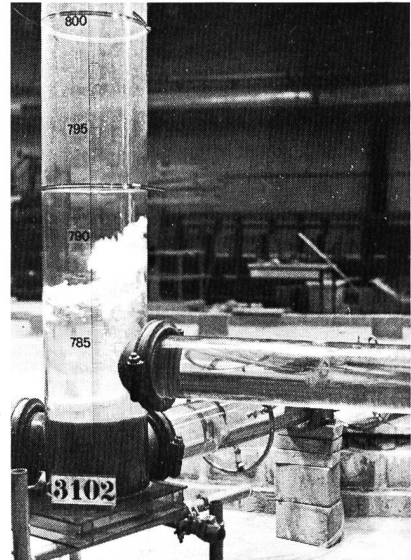




Bilder 6 und 7. Lufteintragende Wirbel bei einem Abfluss von  $Q_{\text{Pfaffensprung}} = 19$  bis  $21 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figures 8 et 9. Poches d'air dans la galerie inférieure de Bristen et «geysers» dans la chambre d'équilibre.  $Q_{\text{Pfaffensprung}} = 21 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $5 < Q_{\text{Bristen}} < 10$ .



Bilder 8 und 9. Lufttaschen im unteren Bristentunnel und «Geysire» im Wasserschloss.  $Q_{\text{Pfaffensprung}} = 21 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $5 < Q_{\text{Bristen}} < 10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

dans la chambre d'équilibre génère un vortex hélicoïdal (figures 4 et 5) qui capte l'air arrivant par la galerie-réservoir inférieure de Bristen sous forme de bulles et l'entraîne dans la conduite forcée. L'entraînement d'air dans les conduites forcées avec la galerie-réservoir de Bristen hors service ne peut se produire que pour des niveaux nettement plus bas dans la chambre d'équilibre que prévu par la consigne actuelle (figures 6 et 7). Ces niveaux sont par ailleurs physiquement injustifiables avec le débit équipé et en écoulements stationnaires.

Le tableau 2 qui reproduit les principaux résultats appelle les commentaires suivants:

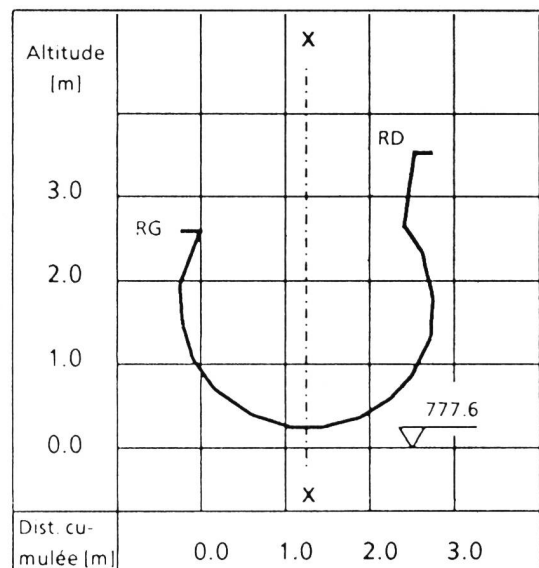
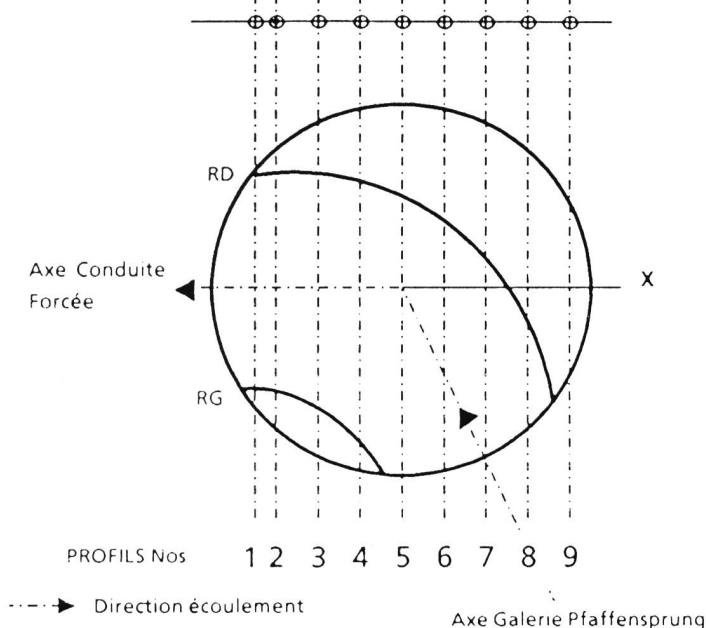
- les pertes de charge dans la chambre d'équilibre n'augmentent que modestement avec les apports de Bristen, soit de 25% environ pour un débit total augmenté de moitié

– compte tenu du fait que le niveau «en tête de la galerie d'amenée de Pfaffensprung» ne peut pas dépasser la cote 810,00 m.s.m. sans déversement du barrage, la capacité de l'installation, sans entraînement d'air, reste paradoxalement de l'ordre de  $22 \text{ m}^3/\text{s}$  que se soit avec ou sans les apports venant par la galerie de Bristen! Cela ne signifie nullement que l'exploitation avec des débits supérieurs n'est pas possible. Simplement le modèle ne permet pas, par défaut de similitude, d'estimer la vraie quantité d'air entraînée dans la conduite forcée dans ces cas, d'une part, alors que la consigne en vigueur ne dit rien sur les taux d'air effectivement acceptables par l'exploitant (parce que jamais mesurés), d'autre part. Cette double barrière ne pouvait pas être dépassée.

Figure 10. Modification proposée du fond de la chambre d'équilibre (actuellement plat): mise en place d'un guidage en coude. La réduction des pertes de charge réalisable est d'environ 50%. Plan (à gauche) et coupe selon profil 1 (à droite).

Bild 10. Vorgeschlagener Entwurf für den Boden des Wasserschlosses (gegenwärtig eben): Einbau eines die Strömung führenden Umlenkschotts. Die zu erwartende Verminderung der Gefälleverluste beträgt 50%. Grundriss (links) und Schnitt Profil 1 (rechts).

Distances entre profils: 37 53 67 45 45 52 45 45 [cm]



No essai	Q [m <sup>3</sup> /s]		PDC [m]		Niveaux "limites" [msm]	
	GPF	GBR	CHE	GPF	CHE	en tête GPF
17.4	19.00	-	0.83	15.97	787.60	804.19
19.3	20.00	-	0.89	17.69	787.90	806.21
21.3	21.00	-	0.94	19.50	788.20	808.35
23.3	22.00	-	1.11	21.41	788.40	810.62
25.3	23.00	-	1.24	23.40	788.60	812.96
27.3	24.00	-	1.38	25.47	788.85	815.37
29.3	19.00	10.00	1.07	15.97	808.80	825.03
30.3	20.00	↓	1.10	17.69	↓	826.89
31.3	21.00	↓	1.21	19.50	↓	828.82
32.3	22.00	↓	1.31	21.41	↓	830.98
33.3	23.00	↓	1.40	23.40	↓	832.98
34.3	24.00	↓	1.51	25.47	↓	835.12
5.21.3	21.00	5.00	1.15	19.50	807.75	827.91
2.21.3	↓	2.00	1.07	↓	790.90	811.02
1.21.3	↓	1.00	1.03	↓	789.15	809.19

No essai	Q [m <sup>3</sup> /s]		PDC [m]		Niveaux "limites" [msm]	
	GPF	GBR	CHE	GPF	CHE	en tête GPF
21.3.X	21.00	-	0.41	19.50	788.20	807.82
27.3.X	24.00	-	0.57	25.47	788.85	814.56
31.3.X	21.00	10.00	0.71	19.50	806.70	826.73
5.21.3.X		5.00	0.60		805.00	825.16
2.21.3.X	↓	2.00	0.49	↓	790.90	810.92

No essai	Q [m <sup>3</sup> /s]		PDC [m]		Niveaux "limites" [msm]	
	GPF	GBR	CHE	GPF	CHE	en tête GPF
21.XX	21.00	-	0.41	19.50	782.25	801.87
24.XX	24.00	-	0.57	25.47	782.25	807.96

3.3. Une diminution significative des pertes de charge dans la chambre d'équilibre pouvait être obtenue facilement par un meilleur guidage du jet de la galerie d'amenée de Pfafensprung vers la conduite forcée, supprimant ainsi les tourbillons latéraux. La proposition illustrée à la figure 10 a permis d'obtenir les résultats donnés au tableau 3, soit une réduction des pertes de charge de plus de la moitié. Aucune augmentation de la capacité sans entraînement d'air ne s'est cependant avérée possible.

Il ne s'agit donc nullement de remettre en cause ou de modifier la conception originelle et/ou les dimensions des ouvrages en place. C'est plutôt avec admiration et fierté que les CFF peuvent regarder le travail de leurs ingénieurs des années 20. L'heure de gloire qu'a connue l'aménagement d'Amsteg – le barrage-voûte en blocs de pierre surtout, une première à l'époque – n'est pas encore passée.

Adresse de l'auteur: Prof. Jacques Bruschin, École polytechnique fédérale Lausanne, EPFL, LHYDREP, CH-1015 Lausanne.