

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 87 (1961)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Contribution à l'étude des branchements des conduites forcées en acier et descriptions de méthodes d'exécution  
**Autor:** Chevalley, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-65015>

### **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:** 10.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)  
de la Section genevoise de la S.I.A.  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole  
polytechnique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: J. Calame, ing. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève  
Membres:  
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Groscurin, arch.; E. Martin, arch.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;  
M. Renaud, ing.; Ch. Thévenaz, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »  
Président: D. Bonnard, ing.  
Membres: M. Bridel; J. Favre, arch.; R. Neeser, ing.; A. Robert, ing.;  
J. P. Stucky, ing.  
Adresse: Avenue de la Gare 10, Lausanne

## RÉDACTION

Vacat  
Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse	Fr. 28.—	Etranger	Fr. 32.—
Sociétaires . . . . .	»	» 23.—	»	» 28.—
Prix du numéro . . . . .	»	» 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N° II 57 75, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, changements  
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29,  
Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:	
1/1 page . . . . .	Fr. 290.—
1/2 » . . . . .	» 150.—
1/4 » . . . . .	» 75.—
1/8 » . . . . .	» 37.50

Adresse: Annonces Suisses S. A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Contribution à l'étude des branchements des conduites forcées en acier et descriptions de méthodes d'exécution, par  
M. le Dr h. c. A. Chevalley, ingénieur en chef auprès de Giovanola Frères S.A., Monthey.  
Actualité aéronautique (XXVI). — Bibliographie. — Les congrès. — Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.  
Carnet des concours. — Documentation générale. — Informations diverses.

## CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES BRANCHEMENTS DES CONDUITES FORCÉES EN ACIER ET DESCRIPTIONS DE MÉTHODES D'EXÉCUTION

par M. le Dr h. c. A. CHEVALLEY, ingénieur en chef auprès de Giovanola Frères S. A., Monthey.

### Avant-propos

Nous désirons tout d'abord renseigner les techniciens  
sur un fait très probablement peu connu dans les milieux  
intéressés, soit le suivant :

Il existe un Comité européen de la chaudronnerie et de la  
tôlerie, « CECT », dont la Suisse fait partie par l'inter-  
médiaire de l'Association suisse des constructeurs de  
machines. Cette association a créé un groupe de travail  
des conduites forcées en acier. Ce groupe avait pour  
première tâche l'élaboration de : Directives générales pour  
l'étude, la fabrication et le montage de conduites for-  
cées en acier.

Nous précisons bien qu'il s'agit de directives et non  
pas de prescriptions. Ces directives seront d'une très  
grande utilité pour les maîtres d'œuvres, pour leurs repré-  
sentants ainsi que pour les fournisseurs.

La délégation suisse a été chargée de l'étude d'un projet  
élaboré en allemand et en français; celui-ci a été transmis  
aux membres du CECT et discuté à Bruxelles le 26 sep-  
tembre 1958; ceci fait, le Comité européen a convoqué les

délégations les 15 et 16 juin 1959, à Grenoble, dans le but  
de fixer un texte définitif.

Etaient représentées : la France, l'Italie, l'Allemagne, la  
Belgique et la Suisse. La rencontre était présidée avec  
infiniment de tact et de gentillesse par M. le Dr ing. Hugo  
Bellometti, de Turin. La maison Bouchayer et Viallet a  
droit à toute la reconnaissance des délégations pour l'orga-  
nisation des journées des 15 et 16 juin et pour la façon  
charmante avec laquelle les participants ont été reçus.

Après des discussions animées et très intéressantes, le  
texte définitif en français a été adopté par toutes les délé-  
gations présentes.

Le groupe de travail s'est occupé entre autres d'un point  
de linguistique que nous tenons à signaler.

La Suisse avait proposé de remplacer le mot collecteur,  
par lequel on entend les parties inférieures des conduites  
forcées qui distribuent l'eau aux diverses machines, par  
distributrice, au féminin, ce qui aurait correspondu exac-  
tement à l'expression allemande Verteilung. Toutefois,  
un constructeur français de turbines a fait observer que

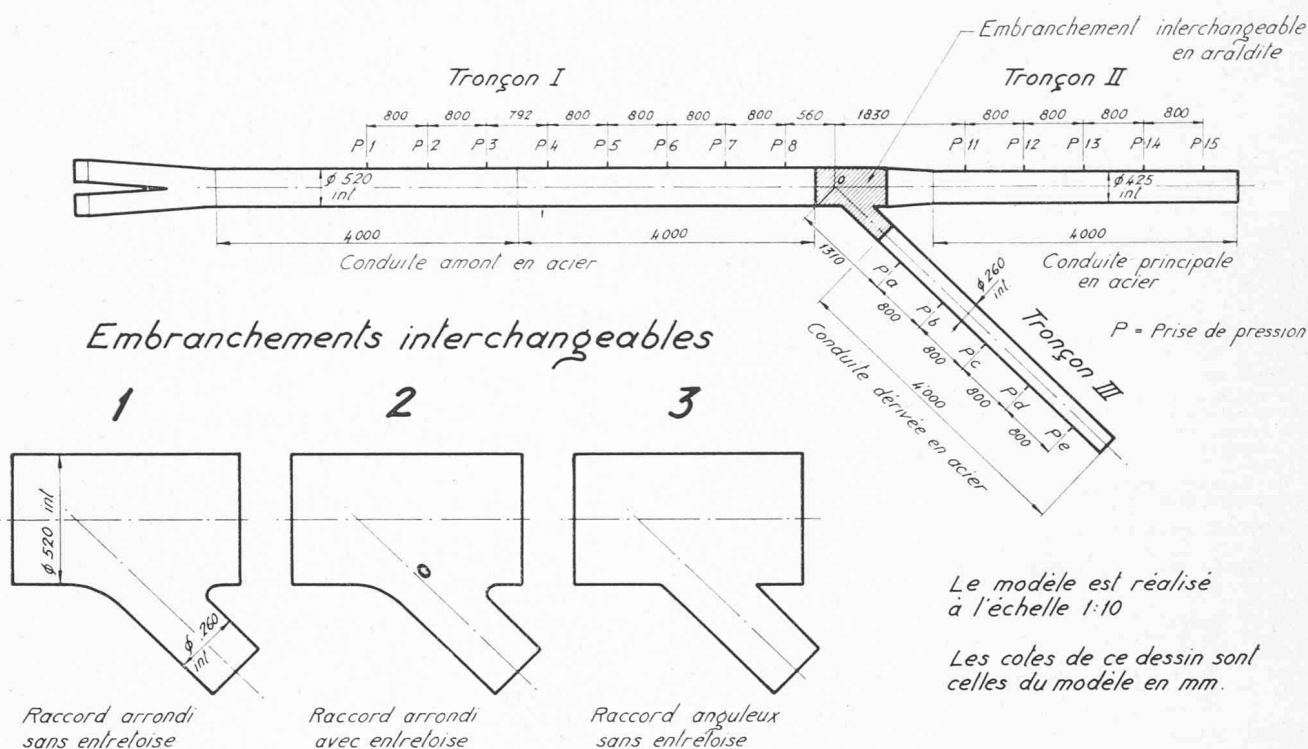


Fig. 1. — Disposition générale pour la détermination des pertes de charge de trois formes de branchement.

« distributrice » et « distributeur » se trouvent déjà dans la nomenclature des pièces des turbines hydrauliques. En définitive, les délégations ont adopté le mot « répartiteur » dans le cas de la répartition de l'eau aux turbines, tout en conservant le mot collecteur pour les installations de pompage où la partie inférieure des conduites de refoulement reçoit l'apport de plusieurs pompes.

Dans le cas d'une conduite correspondant à une seule turbine ou à une pompe, il n'y a plus ni répartiteur ni collecteur. Il nous paraît que les deux mots répartiteur et collecteur seront ainsi à leur place; ils désigneront bien les fonctions des parties ainsi nommées. Nous engageons tous les intéressés à consacrer le terme nouveau et le mot ancien en les utilisant à propos.

Les branchements étant les points principaux des conduites forcées des répartiteurs et des collecteurs, nous nous sommes permis une digression dans le domaine de l'organisation européenne et de la linguistique.

On entend par branchement le point d'une conduite, d'un répartiteur ou d'un collecteur d'où se détache une conduite secondaire. Les branchements dans lesquels une conduite se divise en deux ou même en trois conduites secondaires sont des cas particuliers du cas général.

Nous examinerons tout d'abord la forme à donner aux branchements et ensuite leur construction.

## I. Forme des branchements

Quel est le point de vue qu'il convient d'examiner tout d'abord dans un branchement? C'est la forme intérieure des surfaces de raccordement d'où dépend la perte de charge. Il est évident que dans un branchement la perte de charge n'est pas seulement produite par le frottement du liquide contre les parois, mais aussi par les changements plus ou moins brusques dans la direction des filets liquides et par les mouvements tourbillonnaires qui se produisent au moment où certaines

machines sont en marche et d'autres au repos. La déviation plus ou moins brusque des filets liquides dépend également de l'angle  $\alpha$  formé par l'axe du tuyau principal et celui du branchement. Cet angle est toujours plus petit que  $90^\circ$ , puisqu'il doit être mesuré sur les branches aval des axes.

La grandeur de cet angle se situe presque toujours dans une zone voisine de  $45^\circ$ , cela pour des raisons de construction. Les trois modèles de branchements essayés en laboratoire dont nous parlons ci-après sont construits avec l'angle  $\alpha$  d'environ  $46^\circ$ .

A notre avis, on n'attache pas assez d'importance à la perte de charge dans les branchements; on compare le plus souvent les prix des répartiteurs qui sont proposés, sans se préoccuper beaucoup des pertes de charge. Or, celles-ci sont loin d'être négligeables. Nous verrons qu'elles peuvent varier dans la proportion de 1 à 17 suivant la forme donnée aux surfaces de raccordement.

Pour un projet hydro-électrique très important, la maison Giovanola a construit trois modèles de branchements, dont les pertes de charge ont été déterminées par le Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne en mai 1958, sous la direction de M. le professeur DANIEL BONNARD, ingénieur. Le répartiteur de l'installation en question, soumis à une pression statique de 280 m environ, comprend quatre turbines; les branchements correspondants ont les diamètres suivants: 6,000/2,600 m, 5,200/2,600 m, 4,250/2,600 m; un coude de 3,000 m de diamètre alimente la quatrième turbine. La direction des conduites dérivées forme un angle réel d'environ  $46^\circ 21'$  avec l'axe de la conduite principale. Le débit est de  $144 \text{ m}^3/\text{seconde}$ , soit  $36 \text{ m}^3/\text{seconde}$  pour chaque turbine. (Voir fig. 1.) Les trois modèles d'embranchement ont été construits à l'échelle de 1:10 pour le branchement central 5,200/2,600. Les corps de modèle avaient donc 520 mm de

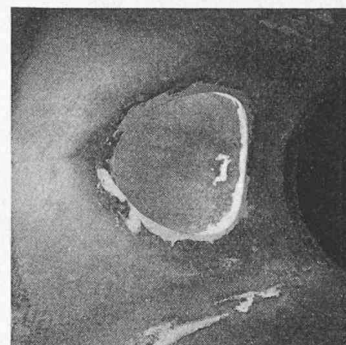
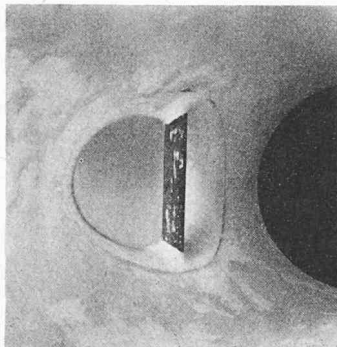
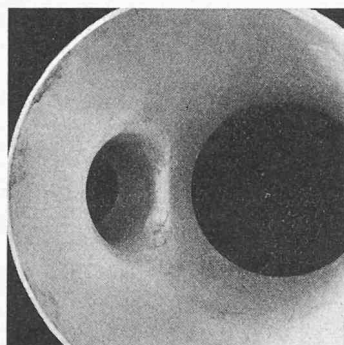
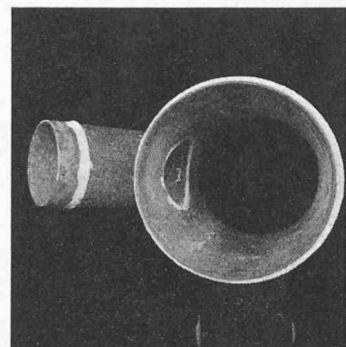
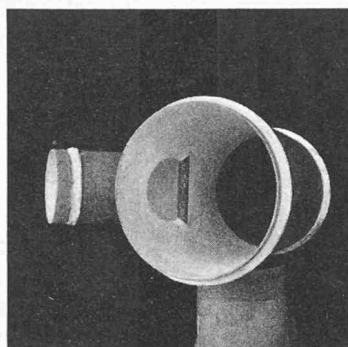
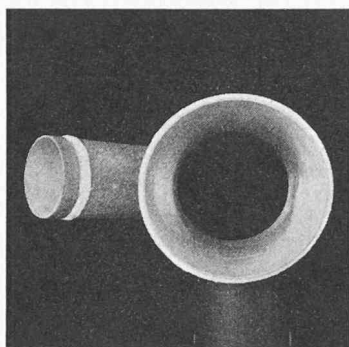
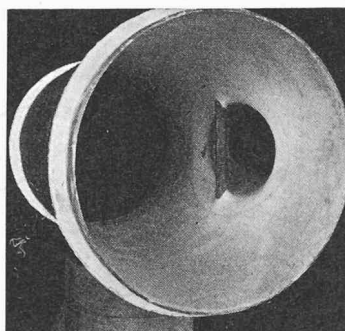
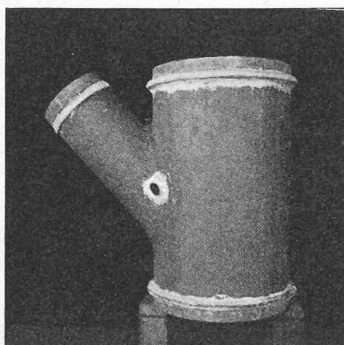


Fig. 2.  
Modèle 1 : raccord arrondi sans entretoise.

Modèle 2 : raccord arrondi avec entretoise.

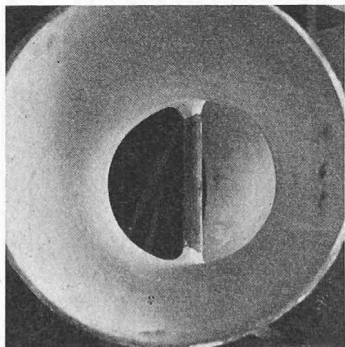
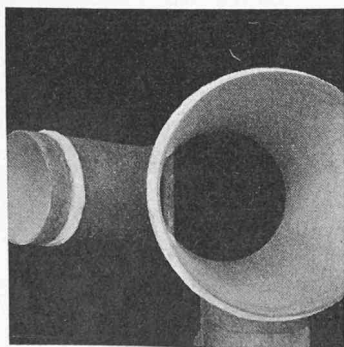
Modèle 3 : raccord anguleux sans entretoise.

Fig. 3. — Modèle 2 : raccord arrondi avec entretoise.



Vue générale du branchement.

Vue de l'amont.



Vue de l'aval.

Vue de la dérivation.

diamètre intérieur et la dérivation 260 mm. Ces trois modèles ont été construits en araldite avec l'aide de la Société pour l'industrie chimique CIBA, Usine de Monthey, à laquelle nous adressons nos meilleurs remerciements pour sa collaboration (voir fig. 2 et 3).

Un soin tout particulier a été apporté aux extrémités des trois modèles, de façon que tous se raccordent parfaitement avec les conduites adjacentes. En effet il est nécessaire, pour ces essais, de disposer en amont et en aval du modèle de très longues conduites (celles-ci en acier).

Le modèle n° 1 comportait un embranchement avec grandes surfaces de raccordement correspondant, à l'échelle, à un rayon de courbure d'environ 1,70 m sur la moitié amont, pour aller en se rétrécissant de 1,70 m à 0,30 m sur la moitié aval.

Le modèle n° 2 comportait les mêmes arrondis que le modèle n° 1, mais avait en plus une entretoise médiane correspondant en grandeur réelle à une section elliptique de 500/320 mm, soit 1260 cm<sup>2</sup>. Cette entretoise était motivée par les très grandes dimensions et la résistance des raidissements nécessaires ; il était donc aussi indispensable de déterminer l'influence de cette entretoise sur les pertes de charge.

Le modèle n° 3 était constitué par la pénétration des deux cylindres de 520 mm et 260 mm avec des arrondis correspondant simplement à l'épaisseur des tôles.



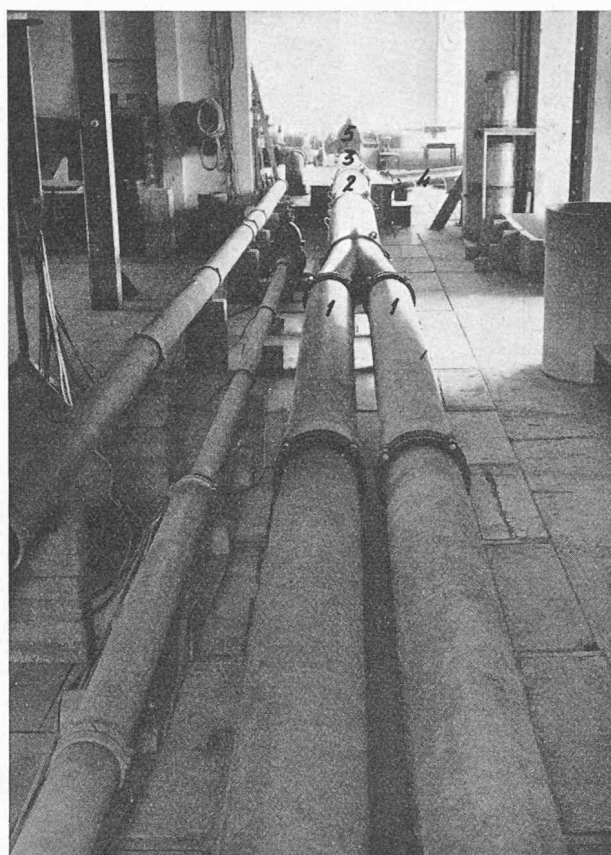


Fig. 4.

La perte de charge à déterminer est celle provenant de la forme du branchement à l'exclusion de celle résultant des simples frottements aux parois, elle est définie comme étant la hauteur mesurée au droit de l'intersection des axes des conduites entre le prolongement de la ligne de charge amont et celui de la ligne de charge aval. La ligne de charge, le long des conduites en acier, est obtenue en ajoutant à la ligne piézométrique mesurée l'énergie cinétique. Pour le tronçon II, on tient compte de la diminution de section de la conduite.

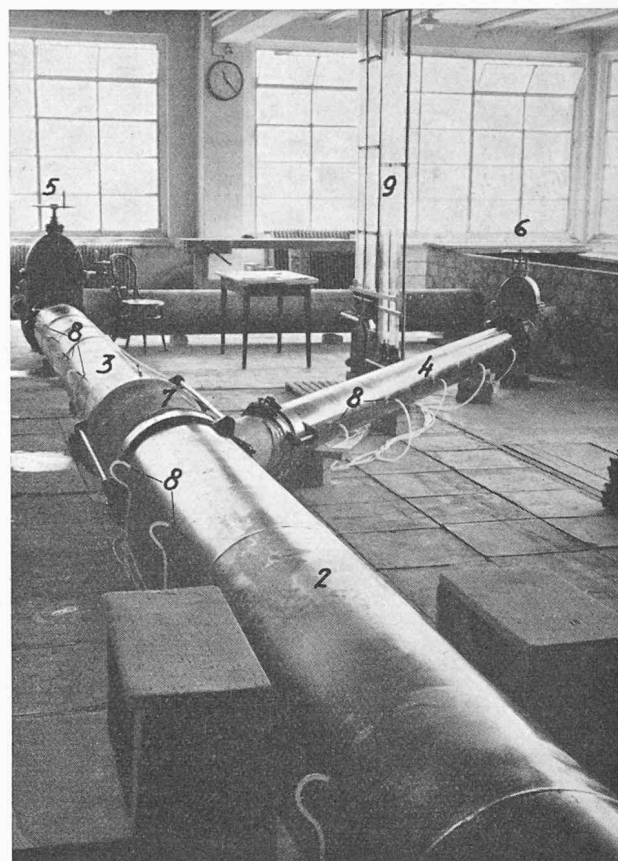
L'essai exigeait la disposition complète de la halle, ainsi qu'un débit de 342 litres/seconde pour le tronçon I, divisé en 228 et 114 litres pour les tronçons II et III.

La longueur totale des conduites en acier et du modèle était d'environ 21 m et celle des conduites de 300 mm en Eternit de 82 m environ, y compris 6 vannes de réglage et de vidange. L'essai exigeait aussi 4 batteries de tubes piézométriques (voir fig. 4 et 4 bis).

Pour chacun des trois modèles, il a été étudié trois types d'écoulement :

- Écoulement principal dans I et II correspondant à 72 m<sup>3</sup>/seconde (branchement III fermé).
- Écoulement dans III correspondant à 36 m<sup>3</sup>/seconde (conduite II fermée).
- Écoulement simultané I, II, III correspondant au débit de 108 m<sup>3</sup>/seconde pour I, 72 m<sup>3</sup>/seconde pour II et 36 m<sup>3</sup>/seconde pour III.

Si nous prenons un point  $P_8$  situé sur I à 5,60 m en amont du point  $O$  (point  $O$ , rencontre des deux axes), un point  $P_{11}$  situé à 18,30 m en aval de  $O$  sur la branche II et un point  $P_c$  situé sur la branche III à 29,10 m de distance de  $O$ , les pertes de charge brutes entre les points  $P_8-P_{11}$  et  $P_8-P_c$  sont données dans le tableau ci-contre.



TABEAU N° 1

Modèles	Ecoulements	Débits		Pertes de charge	
		Tronçon II m <sup>3</sup> /s	Tronçon III m <sup>3</sup> /s	Entre $P_8$ et $P_{11}$ m	Entre $P_8$ et $P_c$ m
N° 1	a)	72	—	0,08	—
	b)	—	36	—	0,73
	c)	72	36	0,08	0,73
N° 2	a)	72	—	0,08	—
	b)	—	36	—	0,85
	c)	72	36	0,08	0,85
N° 3	a)	72	—	0,08	—
	b)	—	36	—	1,67
	c)	72	36	0,08	1,18

Afin d'obtenir des résultats réguliers, les mesures ont été faites pour des débits passant d'environ 10 % en moins jusqu'à 10 % en plus du débit normal.

Dans le tableau 2 suivant, figurent les pertes de charge dues uniquement à la forme du branchement.

TABEAU N° 2

Modèles	Ecoulements	Débits		Pertes de charge	
		Tronçon II m <sup>3</sup> /s	Tronçon III m <sup>3</sup> /s		
N° 1	a)	72	—	0,02	—
	b)	—	36	—	0,06
	c)	72	36	0,01	0,06
N° 2	a)	72	—	0,02	—
	b)	—	36	—	0,18
	c)	72	36	0,01	0,18
N° 3	a)	72	—	0,02	—
	b)	—	36	—	1,01
	c)	72	36	0,01	0,51

Dans les deux tableaux ci-dessus, les pertes de charge sont indiquées pour les débits réels de l'installation.

*Les essais et mesures effectués permettent de tirer les conclusions suivantes :*

1. Les pertes de charge pour l'écoulement direct dans le tuyau principal ne sont pas influencées par la forme des surfaces de raccordement de la tubulure, ni par la présence ou l'absence d'une entretoise ; ces pertes de charge sont extrêmement faibles.

2. Les pertes de charge pour le débit dérivé sont très fortement influencées par la forme des surfaces de raccordement du branchement ; ces pertes de charge sont de 0,06 m pour les raccords avec grands arrondis, alors qu'elles passent à 1,01 m pour les faibles arrondis, soit dans la proportion de 1 à 17 environ. Dans l'écoulement total principal et dérivé, cette proportion reste encore de 1 à 8,5 environ.

3. Les pertes de charge supplémentaires dues à la présence d'une entretoise sont de 0,12 m, valeur très modérée étant donné l'énorme section de cette pièce. Cette perte de charge pourrait être probablement diminuée, par une forme légèrement plus hydrodynamique de la section de l'entretoise et de meilleurs raccordements de celle-ci avec les parois du branchement.

#### *Comment déterminer l'amplitude des surfaces de raccordement ?*

Considérons la figure 5. Dans cette figure, se trouve la coupe par le plan médian du branchement. Ce plan est déterminé par les deux axes du tuyau principal et de la conduite dérivée. L'axe de la tubulure coupe la surface intérieure de la paroi du tuyau principal au point  $O$  ; nous appellerons cercle directeur du branchement celui sur lequel passent toutes les génératrices de la tubulure ; ce cercle se trouve dans un plan passant par  $O$  et perpendiculaire à l'axe de la conduite dérivée. Le tube principal, de même que la tubulure, peuvent être cylindriques ou tronc-coniques dans la région du branchement.

Dans le plan médian du branchement, traçons une ligne à une distance  $Z$  du point  $O$ , parallèle à la génératrice du tuyau principal dans ce plan. La ligne que nous

venons de tracer coupe les génératrices de la tubulure aux points  $A_1$  et  $B_1$ . Il est alors facile de déterminer les tangentes  $t_1$  et  $t_2$  à partir de  $N$  et  $N_1$ , qui déterminent les points  $A$  et  $B$  sur la génératrice du tuyau principal, de même que les rayons des surfaces de raccordement  $R$  du côté amont et  $r$  du côté aval. Les points  $A$ ,  $A_1$  et  $B$ ,  $B_1$  sont les points limites des surfaces de raccordement. Quant aux points limites des surfaces de raccordement situés dans un plan perpendiculaire au plan médian, mais passant par l'axe de la tubulure, ils sont facilement déterminés en dessinant une coupe dans ce plan, ce sont les points  $C$ ,  $C_1$  et  $D$ ,  $D_1$ . Quelques coupes tracées dans des plans quelconques, mais passant par l'axe de la tubulure, permettent de déterminer les points intermédiaires limites des surfaces de raccordement. Les points  $C$ ,  $C_1$  et  $D$ ,  $D_1$ , de même que les autres points limites des surfaces de raccordement, pourraient être déterminés au moyen d'une ligne importante qui est celle des points de rencontre des génératrices du tuyau principal et de la tubulure entre les points  $N$  et  $N_1$ . Une fois les limites de raccordement établies, la ligne  $N$ ,  $O_1$ ,  $N_1$  représente, projetée sur le plan médian, les points de rencontre des tangentes tracées aux points limites dans les plans tournant autour de l'axe de la tubulure. Nous choisissons cette ligne comme directrice de la surface réglée dans laquelle sera placée la collerette de renforcement, ceci entre les points  $N$  et  $N_1$ . Au-delà des points  $N$  et  $N_1$ , des deux côtés extérieurs, l'axe de la collerette de renforcement se trouvera dans deux plans tangents à la trace de la ligne  $N$ ,  $N_1$  sur le plan médian et toujours perpendiculaires à celui-ci. Généralement, la courbure des surfaces de raccordement diminue peu entre  $A$ ,  $A_1$  et  $C$ ,  $C_1$  ainsi que dans la partie symétrique  $A$ ,  $A_1$  et  $D$ ,  $D_1$  ; à partir de  $C$ ,  $C_1$  et  $D$ ,  $D_1$  jusqu'en  $B$ ,  $B_1$ , la courbure diminue plus rapidement, pour arriver au rayon  $r$  dans le plan médian côté aval.

D'après les expériences faites et les mesures de perte de charge, la largeur  $Z$  de la zone des surfaces de raccordement peut être définie par l'équation d'une hyperbole

$$Z^2 = 2pd$$

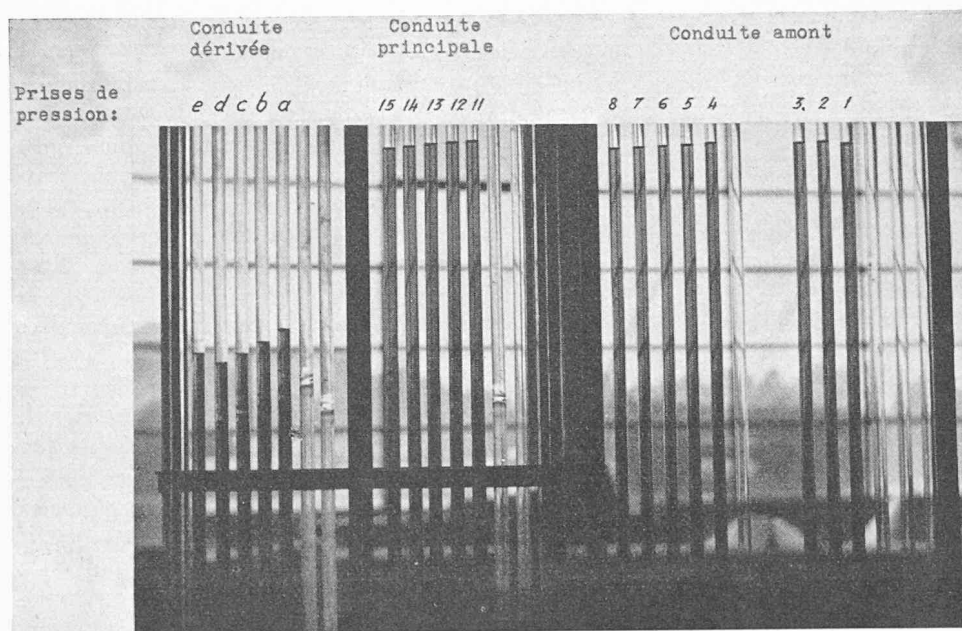


Fig. 4 bis  
Batterie des tubes piézométriques durant un essai de perte de charge.

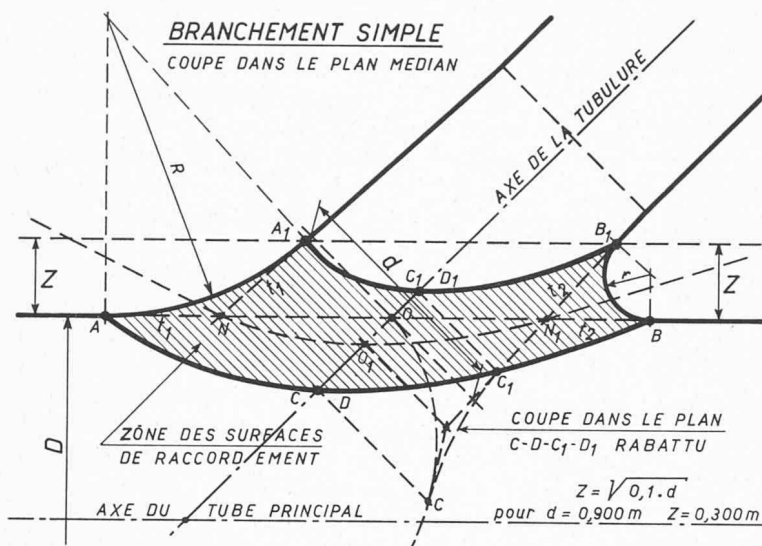


Fig. 5.

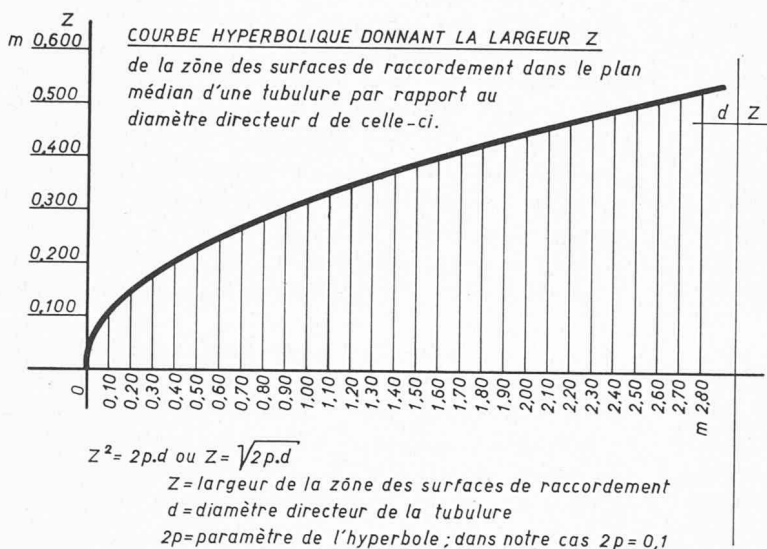


Fig. 6.

dans laquelle  $2p$  est le paramètre et  $d$  le diamètre directeur de la tubulure. En choisissant le paramètre  $2p = 0,1$  on obtient la courbe des valeurs de  $Z$  (voir figure 6).

Le branchement 5,200/2,600, pour lequel les pertes de charge ont été déterminées sur modèles à l'échelle 1 : 10, présentaient précisément des surfaces de raccordement conformes à la formule ci-dessus, soit  $Z = \text{env. } 0,509 \text{ m}$ .

Il est à remarquer que la méthode de détermination de la largeur de la zone  $Z$  s'applique quelle que soit l'inclinaison de la tubulure, par rapport à l'axe du tuyau principal.

Dans le cas particulier d'une tubulure perpendiculaire au tuyau principal, les rayons de courbure dans le plan médian seraient égaux à  $r$ . Les courbures des surfaces de raccordement dans d'autres plans sont tous  $>$  que  $r$  et dépendent du diamètre du tuyau principal.

*Aperçu des avantages économiques obtenus par des branchements avec grandes surfaces de raccordement par rapport aux raccordements à petits arrondis*

Dans l'installation où nous avons déterminé les pertes de charge, supposons les données suivantes :

- 6 heures par jour toutes les machines arrêtées ;
- 6 heures par jour 1 tubulure en service ( $36 \text{ m}^3$ ) ;
- 6 heures par jour 2 tubulures en service ( $72 \text{ m}^3$ ) ;
- 6 heures par jour 3 tubulures en service ( $108 \text{ m}^3$ ).

Pour 1 tubulure en service, le gain dans la perte de charge est de  $0,95 \text{ m}$ .

Pour 2 tubulures en service, le gain sera la moyenne entre  $0,95$  et  $0,39$ , soit  $0,67 \text{ m}$ .

Pour 3 tubulures en service, le gain est de  $0,39 \text{ m}$ .

En comptant avec un rendement de  $85 \%$ , le gain en Kwh par jour sera le suivant :

$$\begin{aligned}
 & \frac{36\,000 \times 0,95 \times 6 \times 9,81}{1000} = \text{env. } 2015 \text{ Kwh} \\
 & + \frac{72\,000 \times 0,67 \times 6 \times 9,81}{1000} = \text{env. } 2840 \text{ »} \\
 & + \frac{108\,000 \times 0,39 \times 6 \times 9,81}{1000} = \text{env. } 2475 \text{ »} \\
 & \text{Total } 7320 \text{ Kwh}
 \end{aligned}$$

Le gain par jour, en comptant le Kwh à  $0,03 \text{ fr.}$  et avec un rendement de  $0,85$ , serait de  $7320 \times 0,85 \times 0,03 = 186 \text{ fr.}$  et le gain pour une année de  $186 \times 365 = 68\,000 \text{ fr.}$

Ces avantages sont loin d'être négligeables, et nous nous dispensons de tout commentaire.

Nous désirons aussi mettre en garde les constructeurs d'ouvrages hydro-électriques sur les faits suivants :

On choisit souvent dans un but d'économie, pour l'alimentation des turbines, des tuyauteries de petits diamètres dans lesquelles les vitesses atteignent presque  $10 \text{ m par seconde}$ . De telles vitesses pour des diamètres relativement faibles entraînent des pertes de charge assez élevées. Ces pertes de charge sont infiniment plus coûteuses que le supplément de prix des tuyauteries d'un diamètre un peu plus grand.

A notre avis, les vitesses dans les tuyauteries secondaires de répartiteurs ne devraient pas dépasser  $5$  à  $5,50 \text{ m}$ . Rien n'empêche de maintenir des vitesses plus grandes dans la traversée des vannes sphériques, pour ne pas augmenter de façon exagérée le coût de ces dernières.

(A suivre)