Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 87 (1961)

Heft: 2

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-65016

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: 05.01.2026

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

87e année Lausanne, 28 janvier 1961 N° 2

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. Grosgurin, 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 (suite et fin), par M. le Dr h. c. A. Chevalley, ingénieur en chef auprès de Giovanola Frères S.A., Monthey.
Organisation et formation professionnelles.
Divers. — 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.

(Suite et fin) [1]

II. Construction des branchements

Jusqu'à maintenant, nous avons vu l'importance que comporte la forme des surfaces de raccordement dans les branchements des conduites forcées, répartiteurs ou collecteurs ; nous avons donné une règle pour la détermination des courbures de ces surfaces qui conduisent à des pertes de charge très faibles et déterminées par des essais.

Maintenant, la question qui se pose est celle-ci : Comment réaliser de la façon la plus pratique ces branchements ?

Deux cas sont à considérer :

1. Les installations présentent des débits relativement modérés et de fortes pressions ; ce sont les cas qui se présentent dans les endroits montagneux.
2. Les installations présentent de grands débits avec des pressions relativement plus faibles, dans les endroits moins accidentés.

Il va sans dire qu'il n'y a pas de limites bien fixées entre ces deux catégories d'ouvrages.

Nous rangerions dans la première catégorie les ouvrages où le tuyau principal ne dépasse généralement pas les diamètres qu'il est possible de transporter par chemin de fer, soit environ 3,15 m avec des tubulures de diamètre sensiblement plus petit, suivant le nombre des roues de turbines.

Dans cette première catégorie, nous pouvons citer, à titre d'exemple, les répartiteurs construits par la Société Grande Dixence aux usines de Fionnay et de Nendaz.

Dans la deuxième catégorie, nous rangerions les ouvrages où le tuyau principal présente un grand diamètre qui empêche le transport de cylindres complets, chaque virole étant alors formée de plusieurs tôles cintrées en atelier, assemblées et soudées sur place ou bien dans un atelier de fortune installé à proximité immédiate du lieu de mise en place.

Dans de telles installations, les tuyauteries en aval des branchements sont généralement d'un diamètre qui permet le transport. Comme exemple d'installations de cette deuxième catégorie, nous citerons celle dont nous

[1] Voir *Bulletin technique* n° 1 du 14 janvier 1961.

avons étudié trois formes de branchements, où le tuyau principal présente des diamètres variant de 6 à 4,25 m et les tubulures un diamètre de 2,60 m. Pour bien se représenter ce qui se passe au droit d'un branchement, supposons celui-ci au moment de l'essai sous pression et supposons que la tôle du tuyau principal et de la tubulure soit remplacée par des nappes de fils, ceux-ci représentant en somme les lignes de force. Pour le tuyau principal, nous aurions dans le sens transversal un grand nombre de fils dont la section serait x cm² par mètre courant ; dans le sens longitudinal, nous aurions aussi une nappe de fils, mais dont la section serait $\frac{x}{2}$ cm². Dans la tubulure, nous aurions transversalement une nappe de fils de section y et longitudinalement des fils de section $\frac{y}{2}$. Le branchement forme un grand trou dans le tuyau principal, mais les efforts restent sensiblement les mêmes ; pour obtenir la résistance, nous serions obligés de conserver tous les fils, tant longitudinaux que transversaux, en les déviant à gauche et à droite de l'ouverture. Nous aurons donc une grande concentration de fils, et par conséquent de tensions, autour de l'ouverture formée par le branchement dans le tuyau principal. En outre, les fils de la tubulure devraient se joindre à ceux du tuyau principal dans la même zone concentrée.

On se rend donc compte que tout autour de l'ouverture d'une tubulure, il y aura de très fortes tensions. Par exemple, dans le branchement du groupe 3 du répartiteur de Fionnay, les tensions transversales totales en amont et aval de l'ouverture atteignent 3320 tonnes au moment de l'essai à 121 kg/cm² et les tensions longitudinales environ 1150 tonnes. Dans le branchement 5,200/2,600 m de l'installation de deuxième catégorie citée plus haut, ces mêmes forces, sous la pression d'essai de 32 kg/cm², étaient respectivement d'environ 9320 tonnes et 1580 tonnes. Toutefois, nous n'avons pas affaire à des fils, comme nous l'avons supposé, mais à des tôles. On se rend compte immédiatement que nous devons renforcer fortement l'entourage du branchement par une collerette destinée à résister aux efforts considérables que nous venons de voir, mais en plus, aux moments fléchissants déterminés par l'intensité et la direction des forces ; heureusement, du fait de la forme elliptique des collerettes et de la combinaison des efforts dans les sens transversaux et longitudinaux, les moments fléchissants ne sont pas aussi importants que pourraient le faire craindre les forces en présence.

Conformément à notre principe, exposé à plusieurs reprises, qui veut qu'un ouvrage soudé soit monobloc, sans aucune faille ou superposition de surface quelconque, nous estimons que les collerettes de renforcement doivent être incorporées intimement à l'ensemble de la construction.

Bien qu'un calcul exact de telles collerettes soit quasi impossible, nous avons toujours constaté que des calculs simplifiés, conduits avec bon sens, ont permis de déterminer les sections nécessaires.

Les mesures de déformation lors des essais ont toujours permis de constater une répartition des taux de travail un peu différente de celle obtenue par les calculs simplifiés et plutôt dans le sens d'une égalisation. Il n'a pas été constaté des pointes de tension incompatibles avec les taux admissibles des aciers utilisés.

Comment réaliser les collerettes de renforcement ?

1. Nous devons respecter les surfaces intérieures de raccordement entre tuyau principal et tubulure, telles que nous les avons définies dans la première partie de cette étude.
2. Nécessairement les limites des surfaces de raccordement seront aussi celles de la collerette du côté intérieur.
3. En principe, la section d'une collerette sera constituée par une section importante de métal dont les surfaces de raccordement constituent la paroi intérieure, et par une partie extérieure formant nervure. La forme générale de la section serait celle de la lettre T avec partie supérieure très forte et jambage haut et relativement mince.

La nervure extérieure est nécessairement cintrée dans un sens pour suivre la position théorique du raccord entre tuyau principal et tubulure ; ses génératrices sont droites et perpendiculaires au plan médian du branchement.

Dans les branchements de la première catégorie, nous estimons *que la partie intérieure de la collerette doit être prévue en acier coulé*, alors que la nervure extérieure peut être réalisée avantageusement en tôle de forte épaisseur. Certaines usines de laminage fournissent actuellement des tôles jusqu'à 200 mm et plus, sans majorations de prix excessives. Les modèles des pièces en acier coulé sont faciles à construire, étant de dimensions relativement réduites ; il n'est pas nécessaire que le modèle comporte une boîte à noyau (voir fig. 7).

Dans les branchements de la deuxième catégorie, la collerette serait réalisée de la façon suivante : la construction peut être entièrement en tôle. La nervure principale régnerait du côté intérieur jusqu'à la surface de raccordement et diviserait celle-ci en deux zones. Ces deux zones seraient formées par des tronçons de tôles de l'épaisseur voulue, cintrés et forgés suivant la forme des surfaces de raccordement. Du côté extérieur, d'autres tôles cintrées, en forme de tronc de cône, réuniraient la nervure principale aux tôles intérieures pour former deux caissons extrêmement rigides. Ce travail peut être exécuté sans trop de peine au moyen de deux

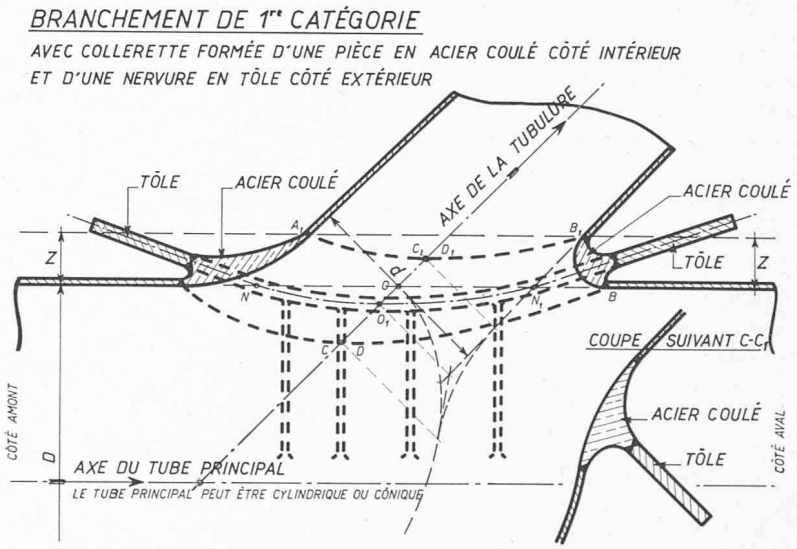

Fig. 7.

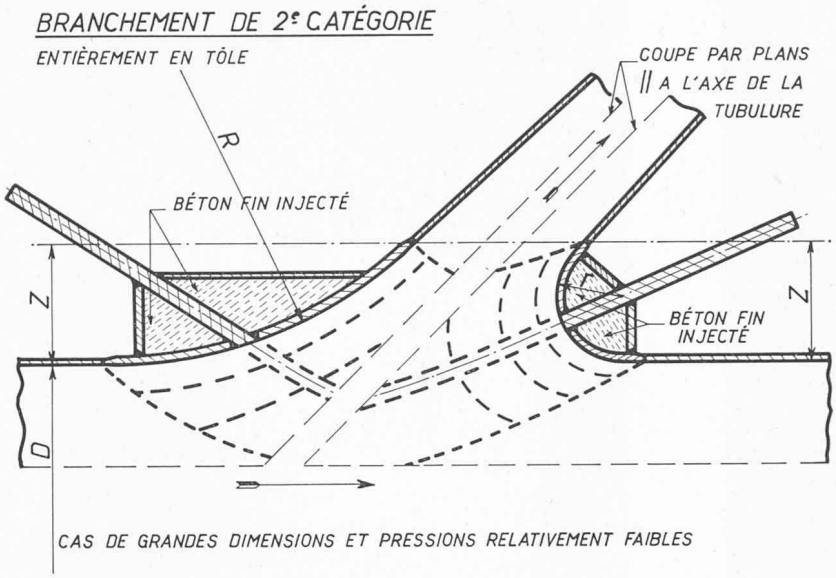

Fig. 8.

gabarits métalliques, dont le bord suit les extrémités des surfaces de raccordement. Ces gabarits seraient fixés en position exacte par rapport à la nervure principale. Dès lors, au moyen de petits chablons en carton ou tôle mince tracés sur les gabarits, on peut modeler chaque pièce. En utilisant des tronçons d'une largeur pas trop grande, un habile forgeron obtiendra une forme parfaite de la collerette. Les surfaces pourront encore être égalisées à la meule après soudage (voir fig. 8).

Pour les collerettes de la deuxième catégorie, l'utilisation de l'acier coulé pour la partie intérieure exigerait la construction de très grands modèles relativement légers et très encombrants, difficiles à transporter. D'autre part, les pièces en acier coulé de très grandes dimensions, avec des épaisseurs relativement minces sont d'un prix très élevé. En outre, la main-d'œuvre pour la confection d'un modèle représente déjà une bonne proportion du travail exigé pour la construction directe en tôle. La construction d'une telle collerette comporte un nombre élevé de soudures de fortes épaisseurs ; il serait indiqué de prévoir un recuit de stabilisation de la collerette elle-même avant de l'incorporer aux segments voisins du tuyau principal et de la tubulure.

Les collerettes de renforcement telles que nous venons de les décrire sont donc l'élément essentiel des branchements, cependant le branchement doit encore être complété par des organes qui nous paraissent indispensables.

Chaque collerette d'un branchement est soumise à des tensions très importantes sur son pourtour intérieur, mais elle est également soumise à des tensions ou compressions sur son pourtour extérieur. Or, les collerettes ne sont pas situées dans un plan mais dans une surface réglée courbe, il faut donc les munir de liaisons transversales, tout spécialement du côté extérieur de la nervure principale, pour lui donner la stabilité latérale nécessaire et lui permettre de travailler dans de bonnes conditions ; ces liaisons, placées dans la partie cintrée, peuvent être des nervures secondaires situées dans des plans divers plus ou moins perpendiculaires au tuyau principal et qui relient ce dernier à la partie extérieure de la nervure principale. Nous signalons qu'il est indiqué de munir les extrémités de ces nervures secondaires de petits élargissements latéraux, ceci pour éviter les pointes de tension en leurs points d'attache.

Nous signalons aussi que dans les collerettes comportant des caissons, il est indiqué de remplir ces derniers par du béton après le recuit et après les essais de résistance.

La construction des collerettes de renforcement des branchements de la deuxième catégorie, telle que nous l'avons décrite, peut paraître compliquée par rapport à l'exécution au moyen de l'acier coulé ; cependant, elle est plus économique si l'on songe aux difficultés d'exécution et aux prix de très grandes pièces en acier coulé.

Dans les très grands branchements et pour des pressions importantes, il peut être indiqué de munir les collerettes d'une entretoise, ceci au prix d'une très légère perte de charge. Par ce moyen, on diminue considérablement les poids des collerettes et leurs dimensions extérieures. Cette réduction des dimensions extérieures permettra souvent le recuit indispensable des branchements complets, ou tout au moins celui de la collerette assemblée avec une zone de tôle du tuyau principal et de la tubulure.

On peut remarquer que dans la construction des branchements des deux catégories, nous avons concentré les difficultés uniquement sur les collerettes de renforcement qui comprennent entièrement les surfaces de raccordement ; il s'ensuit que les viroles du tuyau principal et de la tubulure sont parfaitement normales ; ce sont des cylindres ou des troncs de cônes exactement développables, sans aucune difficulté de réalisation.

Les mesures des déformations par streng-gauges effectuées sur de nombreux répartiteurs, lors des essais sous pression, en atelier ou bien après montage, ont prouvé qu'il n'était pas nécessaire de prévoir une augmentation spéciale des épaisseurs des tôles du tuyau principal ou de la tubulure, au droit d'un branchement ; cependant, il est favorable d'augmenter d'un ou deux millimètres l'épaisseur théorique de la première virole de la tubulure située immédiatement en aval du branchement, cela pour ménager une meilleure transition entre la tôle relativement mince de la tubulure et les très fortes épaisseurs qui se trouvent dans la collerette.

Dans les branchements de la première catégorie, nous avons indiqué que la partie intérieure des collerettes est avantageusement réalisée par une pièce en acier coulé. Cette pièce, qui rappelle étrangement la forme d'un collier de cheval, doit être exécutée en acier coulé, pour les raisons exposées ci-dessous :

a) Les sections extrêmement fortes qui sont nécessaires.
b) La forme des sections, qui varie en chaque point.
c) La facilité d'exécution d'un modèle en bois, qui permet un contrôle exact des surfaces.

Cependant, nous avons constaté que certains ingénieurs ou administrations s'opposent systématiquement à l'utilisation de l'acier coulé dans le cas où celui-ci peut être incorporé par soudure dans une pièce de chaudronnerie. Cette attitude n'est pas justifiée. Depuis bien

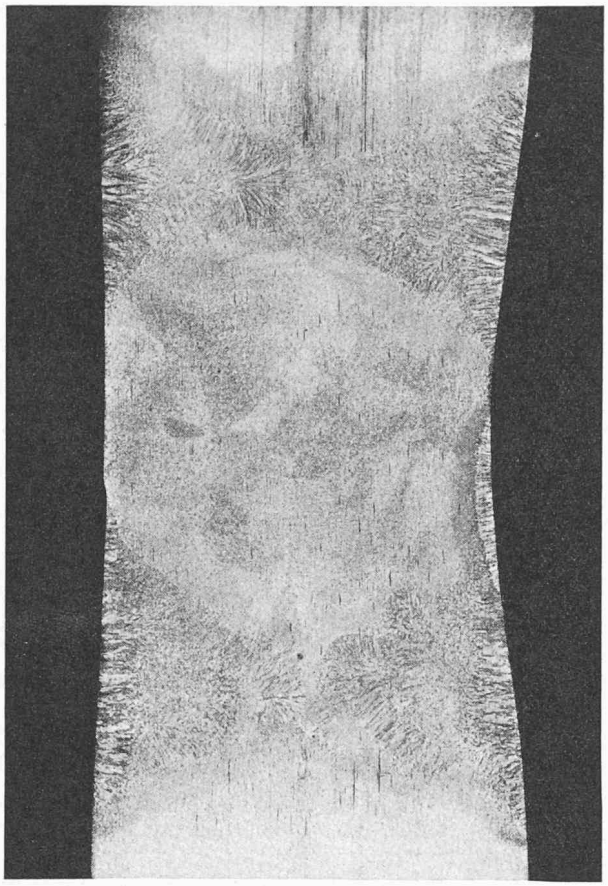

Fig. 9. — Macrographie de soudure double entre un barreau d'acier coulé et tôle.
Acier coulé 109.V. R = 50-70 kg mm²
Tôle acier Feralsim R = 52.

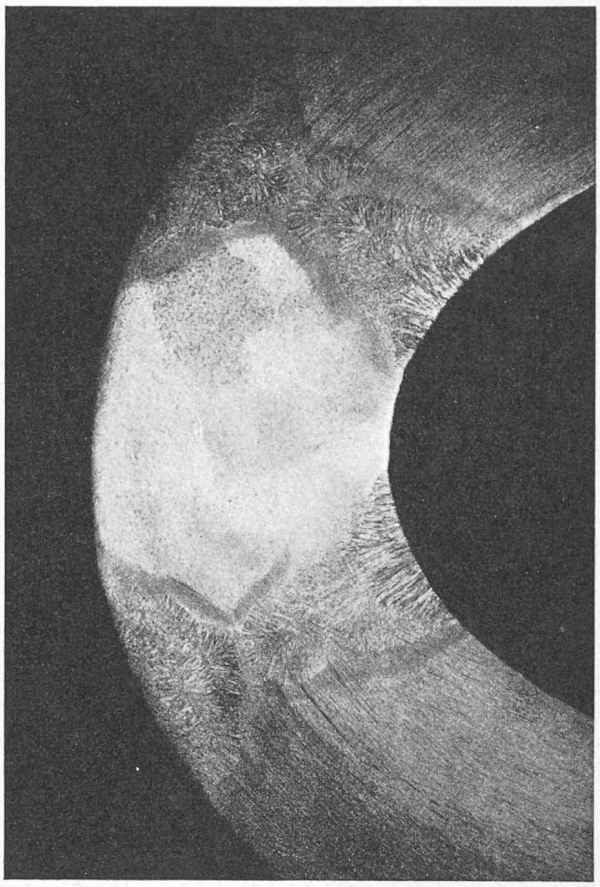

Fig. 10. — Macrographie de soudure double acier coulé 109.V et tôle Feralsim après pliage à froid.

longtemps, nous avons construit des réservoirs et des appareils sous pression, des conduites forcées, dans lesquelles des pièces en acier coulé ont été soudées, sans avoir jamais eu le moindre ennui ; ces pièces étaient des brides, des collerettes de trous d'homme et des collerettes de renforcement de branchements.

A notre avis, rien ne s'oppose à l'emploi de l'acier coulé dans les ouvrages de chaudronnerie, aux endroits de ces ouvrages où l'acier coulé conduit à une simplification du travail, à une solution techniquement mieux adaptée au but recherché et en définitive à une économie.

Cet avis est basé sur les expériences et résultats relatés ci-après :

1. Durant une trentaine d'années, soit à partir de 1930 environ, nous avons soudé l'acier coulé dans un grand nombre d'ouvrages en tôle qualité chaudière de 38 kg/mm² ou 42 kg/mm² de résistance. Dans ces ouvrages, les caractéristiques chimiques et mécaniques des deux matériaux étaient semblables mais non identiques.

2. Depuis l'année 1945 environ, nous avons utilisé l'acier coulé pour l'incorporer par soudure dans les ouvrages en tôle de haute résistance ; ces tôles étaient de diverses provenances et de compositions chimiques variables, mais elles avaient toutes une résistance de 55 à 65 kg/mm² et une limite élastique de 36 à 40 kg/mm². Dans ces cas également, les caractéristiques de l'acier coulé étaient voisines de celles des tôles.

3. En 1958-59, nous avons utilisé l'acier coulé dans la partie supérieure de la conduite de Nendaz de la Société Grande Dixence, construite entièrement en acier américain T_1 de très haute résistance ; le diamètre de cette conduite est de 3,150 mm ; les caractéristiques mécaniques de l'acier laminé T_1 sont les suivantes :

Résistance de 75 à 90 kg/mm² avec limite élastique variant de 65 à 75 kg/mm². Dans ce cas, les caractéristiques de l'acier coulé restaient en dessous de celles des tôles.

4. Les essais de réservoirs, tuyaux, répartiteurs, dans lesquels l'acier coulé était incorporé par soudure, ont fait constater la parfaite tenue de ces ouvrages.

Lors des essais en atelier, ou bien après montage, la pression d'essai dépassait le 165 % de la pression statique, ou le 150 % de la pression de service (pression statique plus coup de bélier).

L'examen des courbes de déformation ainsi que la détermination des tensions correspondantes ont permis une bonne appréciation des sécurités, celles-ci étant largement suffisantes. Les mesures de déformation étaient faites primitivement au moyen d'appareils mécaniques et ces dernières années au moyen d'appareils électriques plus sensibles (streng-gauge) et quelquefois, dans les répartiteurs, après avoir déterminé les points les plus sollicités au moyen de résines craquelantes.

Toutes les pièces des ouvrages dont nous venons de parler ont été recuites en atelier à la température de

680° C ; depuis leur livraison, les conduites et répartiteurs comportant des pièces en acier coulé sont en service sans aucun incident.

Nous avons constaté que le recuit à 680° modifie quelque peu les caractéristiques des différentes sortes d'acier et celles de leurs soudures. Pour les aciers de résistance normale de 36 à 44 kg/mm², le recuit modifie à peine la résistance et la limite élastique. Pour les aciers à haute ou très haute résistance, le recuit abaisse la résistance et la limite élastique de 1 à 3 kg par mm² environ. D'autre part, la ductilité est améliorée.

Dans les soudures et les zones de transition, le recuit a une influence importante, d'autant plus importante que les aciers sont à plus haute résistance.

Le recuit agit par diffusion des éléments durcissants concentrés par l'opération de soudure ; il produit donc une uniformisation des duretés et des résistances entre le métal de base et la soudure. La ductilité est donc améliorée et la fragilité de beaucoup diminuée. Dans les soudures des aciers à haute résistance de 52-65 kg/mm², on constate souvent *avant recuit* une dureté, en certains points, du double de celle du métal de base. Par exemple, on peut avoir dans le métal de base une dureté « Vickers » de 160, et 320 dans certains points de la soudure ou des zones de transition. *Après recuit*, la dureté du métal de base aura très peu changé ou pas du tout, mais dans la soudure les duretés maxima auront diminué à 170 ou 185. Cette action du recuit sur la dureté est, à notre avis, tout aussi importante pour la bonne tenue des ouvrages soudés que celle de la détente des tensions internes.

Après ces quelques notes sur l'influence générale du recuit sur les aciers et leurs soudures, nous en revenons à l'utilisation de l'acier coulé en liaison avec l'acier laminé.

Les expériences exposées précédemment et les mesures de tensions ne pouvaient pas nous renseigner sur les capacités de pliage et de résilience des soudures entre acier coulé et acier laminé. Nous avons donc procédé à quelques essais d'éprouvettes découpées dans des plaques formées d'un barreau d'acier coulé, soudé de chaque côté à des bandes de tôle de 40 mm d'épaisseur. Les compositions chimiques des deux sortes d'acier étaient semblables mais non identiques. Les tôles étaient de la qualité $R = 52\text{-}60$ kg/mm² et celle de l'acier coulé de 50-70 kg/mm² .

L'examen des procès-verbaux d'essais de ces éprouvettes nous entraînerait trop loin, cependant, ils permettent de faire les constatations suivantes :

Les résultats ont été excellents, soit pour les plaques soudées au moyen d'électrodes basiques, soit pour les plaques soudées avec fil nu et protection d'argon. Les duretés Vickers, après recuit à 680°, ont varié de 150 pour le métal de base jusqu'à 184 et 191 pour les points les plus durs des zones de transition dans les deux joints soudés.

Les résiliences des soudures ou des zones de transition étaient considérables, cela aux températures de +20°, 0°, —20°, de même qu'après vieillissement artificiel.

Pour tous les joints soudés, la résistance était supérieure à celle de la tôle ; les résiliences moyennes (Messnager selon normes VSM 14051) étaient les suivantes :

à +20°	16,8	kgm/cm²
à 0°	15,5	»
à —20°	14	»

Après vieillissement artificiel :

à +20°	15,6	kgm/cm²
à 0°	13,65	»
à —20°	9,7	»

Voir figures 9 et 10.

9 examens macrographiques avant pliage.
10 examens macrographiques après pliage.

Dans la conduite de Nendaz, les collerettes de renforcement autour des trous d'homme sont en acier coulé. Les trous d'homme étant d'un type breveté sans boulons ni goujons, les couvercles ne peuvent donc en aucun cas participer à la résistance de la collerette.

Toutes les soudures et spécialement les soudures entre acier T_1 et acier coulé ont été examinées aux ultrasons sur toute leur étendue ; en outre, les essais en atelier ont été faits jusqu'à une tension circonférentielle dans les tôles de 40 kg/mm², ce qui donnait des efforts considérables dans les collerettes. Au cours des essais, les déformations élastiques constatées ont été parfaitement régulières et n'ont donné lieu à aucun incident, cela pour les tuyaux normaux comme pour ceux qui étaient munis d'un trou d'homme.

Nous espérons que ceux de nos lecteurs qui auront bien voulu nous suivre dans cet exposé, pourront se convaincre que dans certains points spéciaux des ouvrages de chaudronnerie, l'utilisation de l'acier coulé est techniquement indiqué et économique.

Nous avons examiné d'une façon générale le problème des branchements ; il nous reste encore à étudier quelques cas particuliers et tout d'abord celui d'un tuyau principal divisé en deux branches égales. Deux cas peuvent se présenter :

1. Les tubulures alimentent un même groupe ; dans ce cas, les débits de chaque tubulure sont toujours égaux et la construction du tuyau culotte est des plus simples. L'équilibre des forces peut se faire à l'intérieur par une lame M située dans le plan de l'arête en forme de fer à cheval due à l'intersection des deux tubulures. On aura soin simplement de donner à cette lame tendue une résistance latérale suffisante pour éviter toute vibration (voir fig. 11).

2. Les tubulures alimentent chacune un groupe hydroélectrique. Dans ce cas, le débit peut être nul dans une des tubulures et maximum dans l'autre ; il est donc nécessaire de prévoir une surface intérieure de liaison des deux tubulures avec de grands rayons de courbure ; le plus petit rayon de raccordement se trouvera naturellement dans le plan médian ; la largeur de la zone de surface arrondie pourra être déterminée d'une façon analogue à celle des tubulures détachées d'un tronc principal $Z = \sqrt{0{,}1.D}$

Dans ce cas, on choisira comme cercle directeur le diamètre D formant le cercle de départ des génératrices des tubulures. Les renforcements nécessaires à la résistance du tuyau culotte devront donc se trouver à l'extérieur ; ils se composeront d'une partie principale en fer à cheval située dans le plan de symétrie de la culotte et d'une partie transversale du côté amont. La partie principale comprendra, comme pour les collerettes des bran-

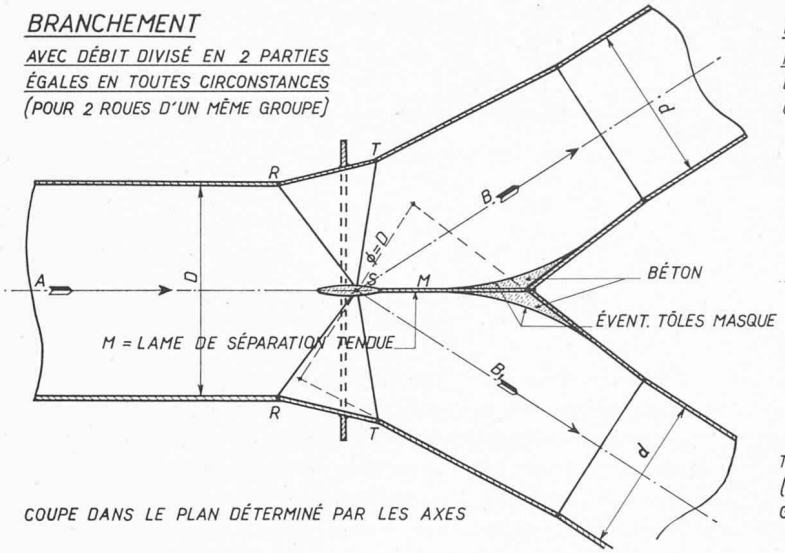

Fig. 11.

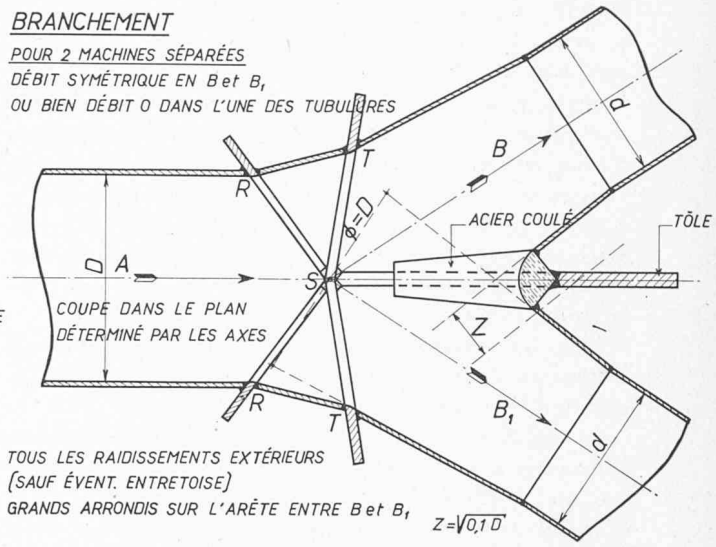

Fig. 12.

chements ordinaires, une partie intérieure en acier coulé ou en tôle située dans la zone des surfaces intérieures fortement arrondies, entre les deux branches de la culotte. Du côté extérieur, la partie principale est complétée par une large nervure en tôle. (Voir fig. 12.)

La partie transversale située en amont a une forme annulaire; elle est liée dans sa partie médiane aux deux extrémités de la partie principale et doit résister aux deux forces antagonistes transmises par cette dernière.

On remarquera dans les bifurcations, figure 11 et 12, la paire de tronçons de virole R.S.T. qui permettent un bon raccord hydraulique entre le tuyau amont et les bifurcations. Les demi-sections dans ces viroles R.S.T. n'étant pas des demi-cercles, mais des demi-ellipses peu accentuées, il sera nécessaire de prévoir pour ces viroles une épaisseur supplémentaire ou bien un cercle de raidissement.

Dans le cas de la figure 12, les renforcements extérieurs indispensables pourraient se trouver dans les plans R-S et T-S. Reste encore le cas représenté dans la figure 13 ; c'est celui de la division d'une conduite de diamètre D en trois tubulures d. Dans ce cas, il y a deux nervures principales entre tubulures B-C et C-B, celles-ci viennent prendre appui sur la ceinture ou les deux ceintures de raidissement situées dans les plans R-S et T-S.

Les angles que forment les axes des tubulures B et B_1 avec l'axe du tuyau principal sont presque obligatoirement plus grands que dans le cas d'une bifurcation ; il s'ensuit que le développement des viroles partielles R.S.T. est aussi plus grand ; les angles que forment les génératrices aux points R et T et dans leur voisinage seront relativement plus grands. Si on l'estime nécessaire, il est possible d'atténuer cet inconvénient en cintrant légèrement vers l'intérieur la région centrale des viroles R.S.T. Ce travail aura toujours pour effet une diminution des pertes de charge mais n'est indispensable que si les vitesses sont grandes.

On peut remarquer que pour des bifurcations suivant figure 12 aussi bien que pour le branchement triple selon figure 13, la courbure des surfaces de raccordement des tubulures diminue rapidement à partir du plan médian, pour arriver à une légère courbure de sens contraire vers le point S ; il s'ensuit que les pièces intérieures en acier coulé des nervures principales peuvent éventuellement être interrompues avant le point S ; d'autre part, leur largeur peut être ainsi diminuée.

En procédant de cette manière, les renforcements extérieurs en tôle auront un décrochement, de même que les viroles des tubulures. Ces décrochements peuvent être tracés très exactement et ne présentent pas de difficulté d'exécution. Il faut naturellement que la résistance de la nervure seule, au point où la pièce en acier coulé est interrompue, soit suffisante.

Comme dans les branchements simples, il est possible de diminuer sensiblement l'encombrement des bifurcations ou des branchements à trois tubulures, en disposant au point S une entretoise qui passe au travers de la construction, suivant un axe perpendiculaire au plan médian. Cette entretoise absorbe par tension les forces antagonistes concentrées au point S par la nervure principale et décharge d'autant les nervures circulaires passant par S ; ces dernières pourront être sinon supprimées, du moins de section très réduite ; elles ne seront plus que de légers raidisseurs des viroles non parfaitement circulaires R.S.T. L'entretoise ne provoquera qu'une perte de charge très faible, puisqu'elle se trouve dans une section de passage des filets liquides, plus grande que celle du tube principal de diamètre D. L'entretoise ne se justifie généralement que dans le cas de répartiteurs de grands diamètres et soumis à de fortes pressions.

Par la diminution de l'encombrement qu'elle procure, l'entretoise permettra quelquefois le transport de tuyaux culottes entièrement terminés en ateliers, ce qui serait impossible sans cela.

L'entretoise pourra être en acier rond laminé, en acier forgé ou bien constituée d'une autre manière que nous verrons plus loin.

Dans le cas d'un acier rond, elle traversera les tôles au point S et sera directement soudée du côté extérieur aux extrémités de la ou des nervures principales, de même qu'avec les tôles du manteau. Rien n'empêchera de forger un peu cet acier rond pour lui donner une section légèrement hydro-dynamique, cela dans la partie intérieure en contact avec le courant d'eau.

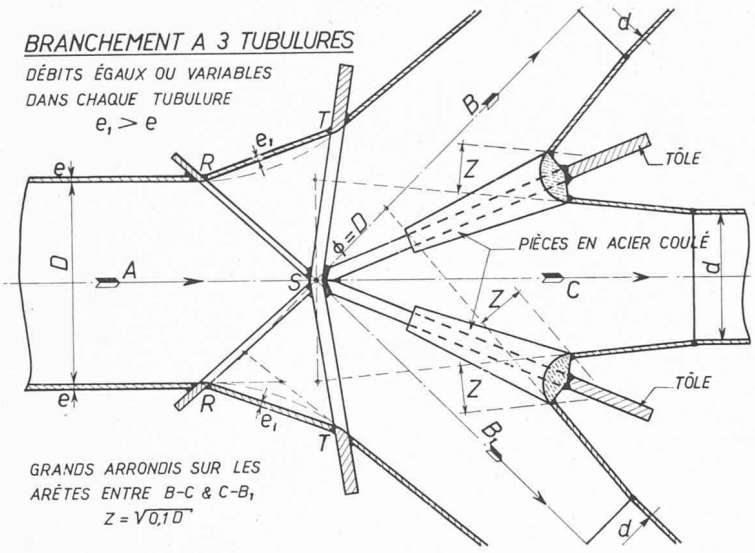

Fig. 13.

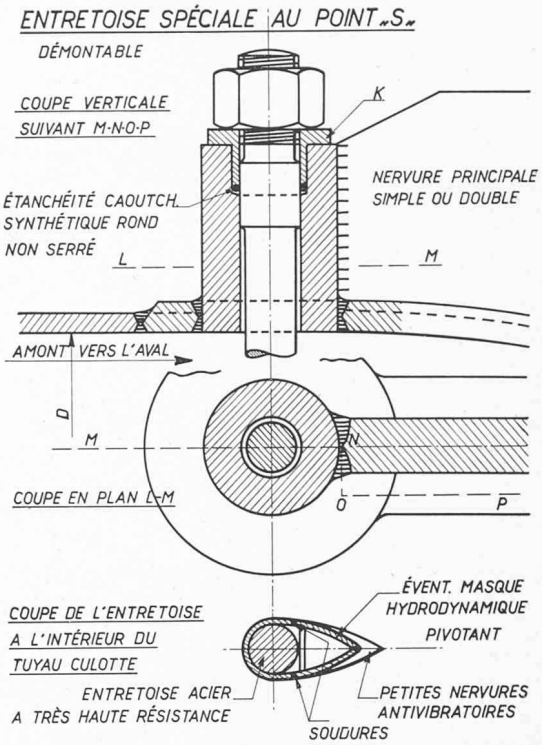

Fig. 14. — Point S, voir fig. 12 et 13.

Pour diminuer la section de l'entretoise et par conséquent la perte de charge, il est indiqué de la réaliser au moyen d'aciers à haute résistance ; toutefois, ces aciers devront être bien soudables.

Un autre moyen de réaliser l'entretoise permet une diminution de poids encore plus importante (voir fig. 14). Dans ce cas, l'entretoise n'est plus une pièce soudée au tuyau culotte, elle est constituée par un acier rond à très haute résistance. Nous proposerions par exemple un acier de 110 à 120 kg/mm² de résistance, avec une limite élastique de 90-100 kg/mm².

Dans la partie supérieure de la figure 14 est représentée une des extrémités d'une telle entretoise, avec le joint d'étanchéité. Une rondelle spéciale « K » sert d'appui à l'écrou de serrage de même qu'au joint d'étanchéité ; ce dernier n'est pas serré, il reste libre dans son logement.

L'écrou lui-même est assuré contre un desserrage éventuel par les moyens usuels. Dans la partie inférieure de la figure 14, nous avons représenté la coupe de l'entretoise à l'intérieur du tuyau culotte ; dans cette partie, l'entretoise pourrait être munie d'un masque hydrodynamique capable de pivoter autour de l'entretoise, de façon à prendre automatiquement la position la plus favorable au passage du courant d'eau.

Dans la figure 14, nous avons représenté une entretoise d'égale résistance dont le diamètre du filetage est plus grand que celui de la partie centrale ; il serait donc nécessaire de construire le masque hydrodynamique en deux pièces : l'une, côté amont, de section arrondie, et l'autre, côté aval, de section effilée, puis de les souder ensemble après la mise en place de l'entretoise. Dans ce cas, il est indiqué que le masque soit en acier inoxydable. Une autre manière de faire consiste à choisir un filetage très fin des extrémités de l'entretoise et des écrous de serrage.

L'entretoise reste d'un diamètre constant, légèrement supérieur au diamètre extérieur des filets. Alors le masque peut être terminé avant le montage de l'entretoise. La mise en place et le démontage des deux organes sont facilités, alors que dans le premier cas il est nécessaire tout d'abord de découper le masque.

Pour supporter le poids propre du masque, il est facile de prévoir, à la partie inférieure, autour de l'entretoise, un petit logement avec rondelle en bronze dur. L'avantage de l'entretoise indépendante est double : d'une part, son encombrement est réduit, d'autre part, on peut lui donner une précontrainte au moyen d'une clef dynamométrique agissant sur les écrous. La précontrainte de l'entretoise a pour effet une importante diminution des moments fléchissants dans la partie centrale des raidissements principaux. La longueur du masque devra naturellement être adaptée à la déformation due à la précontrainte choisie.

Prenons par exemple une entretoise qui doive résister à une tension de 330 tonnes sous la pression de service et qui serait constituée par un acier dont le taux de travail est de 5-6 t/cm² ; en lui donnant un diamètre de 100 mm (78,5 cm²), elle sera capable de supporter une tension totale de 392,5 tonnes. Dans ce cas, il est donc possible de prévoir une précontrainte de 62,5 t.

III. Tracé général des répartiteurs

Nous avons vu que, dans un branchement simple, la perte de charge pour le débit direct dans le tuyau principal n'est presque pas influencée par la présence de la tubulure. Par contre, la perte de charge pour le débit dans la tubulure est plus importante ; ceci provient de la déviation assez brusque des filets liquides à l'entrée de la tubulure, malgré l'emploi des meilleures surfaces de raccordement. On peut atténuer la déviation trop brusque des filets liquides par le moyen utilisé dans le répartiteur représenté dans la figure 15. La conduite de diamètre D_1 alimente quatre turbines. Pour favoriser le mouvement des filets liquides, on peut prévoir à l'amont de chaque branchement un léger coude de la conduite principale dont les tangentes passent par les points O_1, O_2, O_3. D'autre part, les axes des conduites dérivées forment l'angle α avec la direction principale.

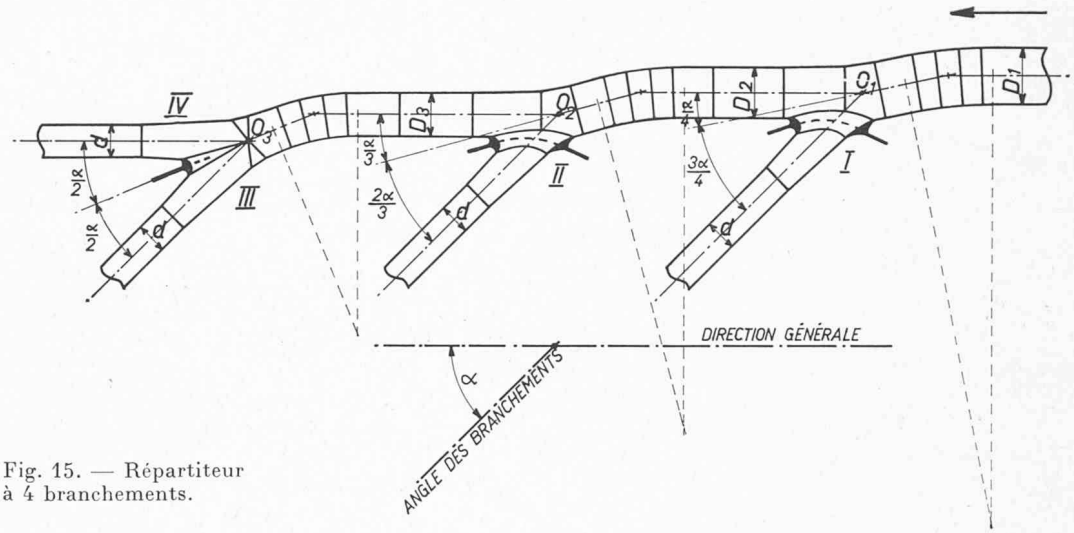

Fig. 15. — Répartiteur à 4 branchements.

Le débit D_2 est les trois quarts du débit total, alors que le débit des tubulures est un quart. Il est donc logique que la tangente passant par O_1 soit inclinée de l'angle $\frac{\alpha}{4}$ par rapport à la direction générale. Au point O_2, l'angle de cette tangente sera $\frac{\alpha}{3}$ et pour O_3 $\frac{\alpha}{2}$. Dans la figure 15, le coude nécessaire pour ramener la tubulure IV en parallèle avec les tubulures I, II, III n'est pas représenté.

Nous sommes persuadés que la forme du répartiteur représenté dans la figure 15 est plus favorable au point de vue des pertes de charge que celle d'un répartiteur où le tuyau principal reste rectiligne.

Il va sans dire que si nous avons un répartiteur qui comporte un grand nombre de tubulures, le procédé est peu efficace pour les premiers embranchements côté amont, mais reste valable pour ceux qui se trouvent vers l'aval.

Seules, des mesures comparatives très précises faites en laboratoire, analogues à celles que nous avons relatées dans la première partie de cette étude, permettraient d'apporter la preuve de notre manière de voir.

Le procédé est aussi avantageux par le raccourcissement des conduites de répartition d'amont en aval. A notre avis, le supplément de travail que représentent les coudes de la conduite principale est compensé par l'économie de poidsque l'on obtient dans l'ensemble du répartiteur.

Dans la pratique, une quantité de formes de répartiteurs peuvent se présenter ; nous ne pouvons les envisager toutes, nous avons voulu montrer simplement les principes directeurs pour leur construction.

Cependant, nous dirons encore quelques mots d'une partie de répartiteur particulière. C'est celle d'une conduite qui alimente plusieurs injecteurs d'une roue de turbine Pelton à axe vertical. Dans la construction habituelle, les déviations des filets liquides qui se produisent aux embranchements sont extrêmement brusques ; si l'on tient compte des vitesses de l'eau souvent excessives dans ces conduites, les pertes de charges dues aux branchements ne seront pas négligeables. Pour remédier à cet inconvénient, on peut appliquer le même principe que dans le répartiteur représenté dans la figure 15.

Nous avons tracé, dans la figure 16, le répartiteur d'une turbine à axe vertical et quatre injecteurs, conforme aux principes ci-dessus. Les diamètres indiqués dans cette figure sont approximativement ceux d'une turbine de 90 000 CV travaillant à la pression de service de 70 kg/cm². Au premier abord, on peut être étonné de cette forme en crosse d'évêque ; cependant, nous sommes intuitivement convaincus qu'elle présente des avantages sur la forme habituelle. Ici encore des

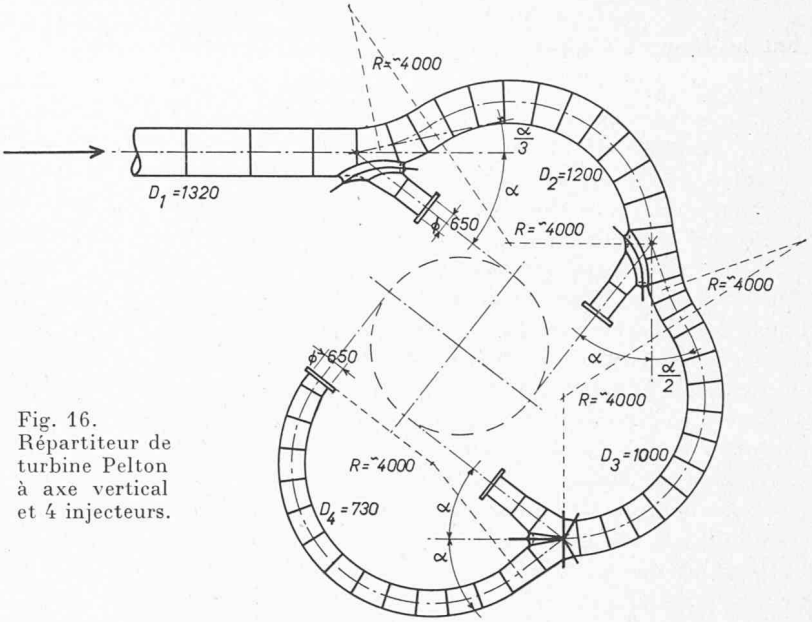

Fig. 16. Répartiteur de turbine Pelton à axe vertical et 4 injecteurs.

essais comparatifs, faits dans les mêmes conditions de pression et de vitesse, permettraient de confirmer ou d'infirmer nos idées sur cette question.

Arrivés au terme de ce travail, nous osons espérer qu'il pourra être utile et contribuera dans une bien modeste mesure à l'amélioration et à l'économie dans dans un domaine particulier de la technique.

Monthey, août 1960.[1]

[1] **Rectification.** — A la page 6 du *Bulletin technique* n° 1, 1960, fig. 6, nos lecteurs auront d'eux-mêmes remplacé les mentions « hyperbolique » et « hyperbole » par « parabolique » et « parabole ». (Note de l'auteur.)