

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 83 (1957)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Les pertes de charges dans les écoulements au travers de  
branchements en té  
**Autor:** Gardel, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-62781>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

**Abonnements:**

Suisse: 1 an, 26 francs  
Etranger: 30 francs  
Pour sociétaires:  
Suisse: 1 an, 22 francs  
Etranger: 27 francs  
Prix du numéro: Fr. 1.60  
Ch. post. « Bulletin technique de la Suisse romande »  
N° II. 57 75, à Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnements, changements d'adresse, expédition à  
**Imprimerie La Concorde,**  
Terreaux 31, Lausanne

**Rédaction**

et éditions de la S. A. du  
Bulletin technique (tirés à  
part), Case Chauderon 475  
**Administration de la S. A.**  
**du Bulletin Technique**  
Ch. de Roseneck 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale

Comité de patronage — Président: J. Calame, ingénieur, à Genève; Vice-président: G. Epitoux, architecte, à Lausanne — Membres: Fribourg: MM. H. Gicot, ingénieur; M. Waeber, architecte — Vaud: MM. A. Gardel, ingénieur; A. Chevalley, ingénieur; E. d'Okolski, architecte; Ch. Thévenaz, architecte — Genève: MM. Cl. Groscurin, architecte; E. Martin, architecte — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte; R. Guye ingénieur — Valais: MM. G. de Kalbermatten, ingénieur; D. Burgener, architecte.

Rédaction: D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

**Conseil d'administration**

de la Société anonyme du Bulletin technique: A. Stucky, ingénieur, président;  
M. Bridel; G. Epitoux, architecte; R. Neeser, ingénieur.

**Tarif des annonces**

1/1 page	Fr. 275.—
1/2 »	» 140.—
1/4 »	» 70.—
1/8 »	» 35.—

**Annonces Suisses S. A.**  
(ASSA)



Place Bel-Air 2. Tél. 22 33 26  
Lausanne et succursales

**SOMMAIRE:** *Les pertes de charge dans les écoulements au travers de branchements en té*, par A. GARDEL, ingénieur-conseil, Dr ès sciences techniques. — **BIBLIOGRAPHIE.** — **SERVICE DE PLACEMENT.** — **DOCUMENTATION GÉNÉRALE.** — **NOUVEAUTÉS, INFORMATIONS DIVERSES:** *Foire suisse d'échantillons de Bâle.*

COMMUNICATIONS DU LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE  
Directeur: M. le professeur A. STUCKY — Directeur-adjoint: M. le professeur D. BONNARD

## LES PERTES DE CHARGE DANS LES ÉCOULEMENTS AU TRAVERS DE BRANCHEMENTS EN TÉ

par A. GARDEL, ingénieur-conseil, Dr ès sciences techniques

**1. Introduction**

La détermination des pertes de charge dans les canalisations munies de branchements en Té est un problème que l'ingénieur hydraulicien rencontre fréquemment. Or, il faut reconnaître qu'il n'existe que très peu de littérature sur cette question, exception faite en particulier de la relation des essais effectués de 1926 à 1931 à Munich sous la direction de M. le professeur Thoma, et de l'étude théorique publiée en 1937 par M. le professeur Favre, de Zurich.

Désirant préciser l'influence de l'énergie cinétique de l'eau de la galerie sur les oscillations dans les chambres d'équilibre, nous avons constaté que les études précitées ne constituaient pas une base de travail suffisante, pour des raisons que nous indiquerons plus loin. Nous avons donc procédé à une détermination expérimentale des charges existant dans les trois branches d'un Té, pour divers modes de fractionnement du débit et pour

diverses formes du Té (diamètres, angle). Les essais ont été effectués au Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne.

Le but de la présente étude est de donner les résultats des mesures faites. Nous nous sommes, en outre, attachés à établir des formules de calcul générales, utilisables pour des formes différentes de Té, éventuellement à l'aide d'essais complémentaires simples s'il s'agit de formes trop différentes.

**2. Installation et méthode d'essai***a) Description générale*

L'installation devait permettre la mesure des différences de charge existant entre les trois branches d'un raccordement en Té, cela pour un partage quelconque des débits. Il fallait donc que chaque branche du Té soit précédée, ou suivie, d'un alignement droit suffisant pour déterminer exactement la position de la ligne de

charge. Deux dispositifs de jaugeage par diaphragme permettaient de connaître le débit passant par deux des branches, celui de la troisième branche se déduisant par somme, ou différence, des deux autres. La figure 1 montre la disposition schématique de l'installation.

### b) Formes étudiées

Onze formes différentes de raccordement ont fait l'objet d'essais. Dans une première série (formes 1 à 5), nous n'avons considéré que des Tés à 90°, mais en faisant varier le diamètre de la branche latérale de 150 mm à 60 mm, les diamètres des deux branches opposées étant identiques et égaux à 150 mm dans tous les cas.

Dans une seconde série (formes 6 à 11), le diamètre des trois branches a été maintenu constant et égal à 150 mm, tandis que l'angle du Té variait de 45° à 135°. La figure 2 représente ces onze formes; leurs caractéristiques sont groupées dans le tableau A ci-après.

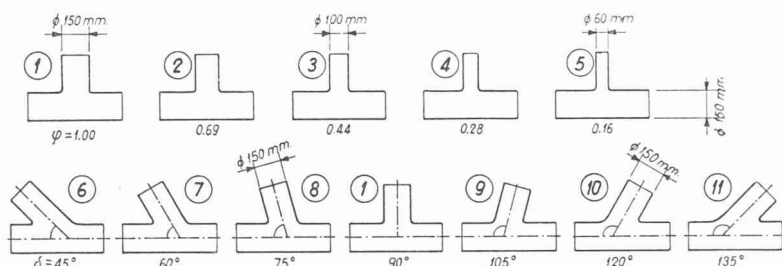


Fig. 2. — Formes étudiées.

Nous désignerons par  $\alpha$  la branche amont, par  $\beta$  la branche latérale et par  $\gamma$  la branche aval. Chaque forme est définie par le rapport  $\phi$  de la section de la branche  $\beta$  à celle de la branche  $\alpha$  (elle-même identique dans tous les cas à celle de la branche  $\gamma$ ), par l'angle  $\delta$  fait par la branche  $\beta$  avec la branche  $\alpha$ , et par le rapport  $\rho$  du rayon du congé de raccordement au diamètre 150 mm des branches  $\alpha$  et  $\gamma$ <sup>1</sup>.

TABEAU A

Caractéristiques des formes de raccordement essayées

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\phi$	1,00	0,69	0,44	0,28	0,16	1	1	1	1	1	1
$\delta$	90°	90°	90°	90°	90°	45°	60°	75°	105°	120°	135°
$\rho$	0,10	0,02	0,04	0,04	0,03	0,10	0,08	0,12	0,12	0,08	0,10

<sup>1</sup> L'examen des formes essayées a montré, sur des moulages, que les congés de raccordement des branches entre elles n'étaient pas exactement ceux escomptés. Il en est malheureusement résulté une dispersion de certains résultats, ainsi qu'on le verra. Les rapports  $\rho$  indiqués sont calculés avec les rayons moyens effectifs.

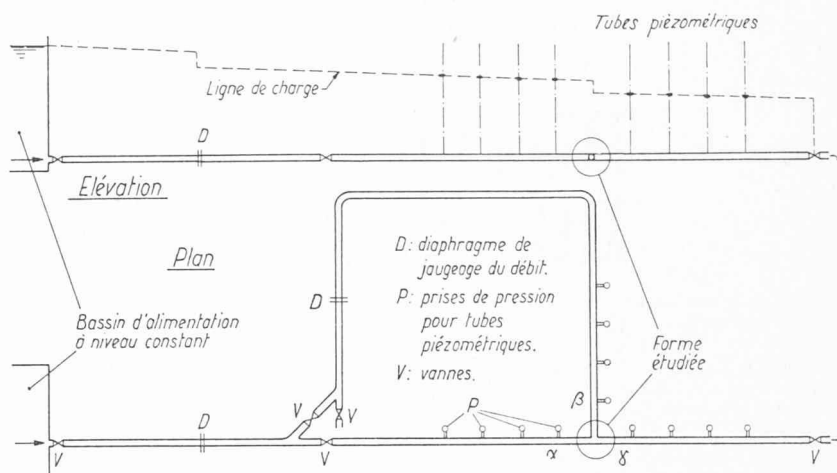


Fig. 1. — Schéma de l'installation d'essai.

### c) Types d'écoulement examinés

Désirant plus particulièrement réunir une documentation utile au calcul des chambres d'équilibre, nous avons mesuré les différences de charge pour tous les écoulements des deux types suivants, représentés à la figure 3 :

- 1° le débit provenant de la branche amont se partage entre les branches latérale et aval ;
- 2° le débit de la branche aval est formé par la réunion des débits venant des branches amont et latérale.

Nous désignerons par  $Q_\alpha$ ,  $Q_\beta$ ,  $Q_\gamma$  les débits des branches  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ . Les débits  $Q_\alpha$  et  $Q_\gamma$  sont positifs vers l'aval; le débit  $Q_\beta$  est positif si l'eau provenant de la conduite rectiligne entre dans la branche latérale. Il en résulte :

- 1<sup>er</sup> type :  $Q_\beta > 0$      $Q_\alpha = Q_\beta + Q_\gamma$      $Q_\beta \leq Q_\alpha$   
 2<sup>e</sup> type :  $Q_\beta < 0$      $Q_\alpha = Q_\beta + Q_\gamma$      $|Q_\beta| \leq Q_\gamma$

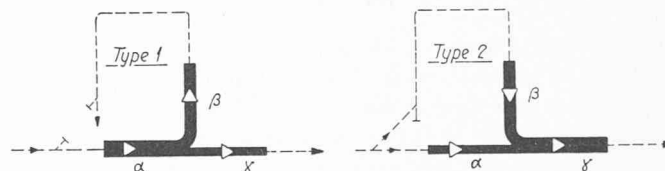


Fig. 3. — Types d'écoulements examinés.

### d) Mesure des débits

Ainsi qu'indiqué ci-dessus, les débits étaient mesurés à l'aide de diaphragmes du type défini par les normes allemandes VDI. Le diamètre de la conduite était de 150 mm, et celui de l'orifice de 116,2 mm. Nous avons bénéficié pour l'un de ces diaphragmes d'un jaugeage volumétrique très soigné, effectué par le Laboratoire d'hydraulique peu de temps auparavant; la précision

des mesures de débit devait donc être supérieure à  $\frac{1}{2} \%$ <sup>1</sup>.

Pour les mesures, le débit a été, dans la branche où il est le plus élevé, d'environ 40 l/s ; exceptionnellement, pour les essais exécutés avec les formes 4 et 5, ce débit a été réduit à 30 et 20 l/s, les pertes de charge étant élevées.

#### e) Définition des charges

La pression est mesurée en divers points des conduites à l'aide de tubes piézométriques, communiquant avec des prises de pression parfaitement arasées à l'intérieur des tuyaux. Nous définissons la charge en un point comme la somme de la pression et de la hauteur représentative de l'énergie cinétique, celle-ci calculée avec la vitesse moyenne.

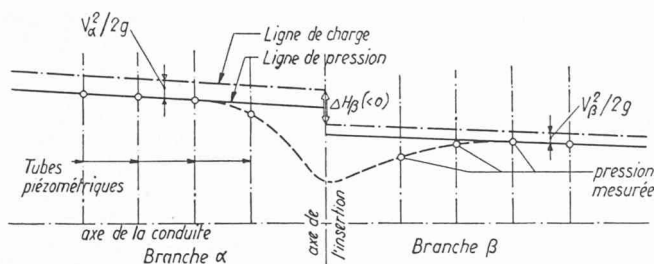


Fig. 4. — Exemple de détermination de différence de charge. (Axe de l'insertion : intersection des axes des branches du T.)

Dans chaque conduite, lorsque l'écoulement est uniforme, la ligne de charge est une droite. Les points de mesure de la pression sont suffisamment éloignés du point singulier constitué par le raccordement pour que l'on puisse déterminer la position et la pente de cette droite (fig. 4). On vérifie que cette pente est bien celle que l'on peut calculer avec les formules de perte de charge ; nous avons utilisé la formule établie précédemment par le Laboratoire d'hydraulique pour les canalisations Eternit employées, soit :

$$V = K i^{0,555} R^{0,645}$$

où le coefficient de rugosité  $K$  vaut 140.

Dans chaque branche, la droite déterminée expérimentalement est prolongée jusqu'au point d'intersection des axes des trois branches. Les différences de cote des trois droites en ce point constituent les différences de charge cherchées.

Les charges sont mesurées par rapport à la charge dans la branche  $\alpha$ . Ainsi, nous désignerons par  $\Delta H_\beta$  la différence constatée entre la charge  $H_\beta$  obtenue en prolongeant la droite de la branche  $\beta$ , et celle  $H_\alpha$  correspondant à la branche  $\alpha$  ;  $\Delta H_\beta$  est positif si la charge dans la branche  $\beta$  est supérieure à celle de la branche  $\alpha$ . De même pour  $\Delta H_\gamma$ . Nous désignerons par  $\Delta H_{\gamma\beta}$  la différence  $H_\gamma - H_\beta$  des charges des deux branches  $\gamma$  et  $\beta$ .

Les différences de charge mesurées comprennent ainsi la totalité des pertes de charge se produisant le

long de l'écoulement du fait de la présence du T étudié.

#### f) Valeurs relatives

Pour simplifier l'écriture, nous n'utiliserons que les valeurs relatives des débits, pressions et charges. Les débits sont rapportés au débit maximum des trois branches ( $Q_\alpha$  pour le type 1 d'écoulement,  $Q_\gamma$  pour le type 2) ; les pressions, charges, énergies cinétiques sont rapportées à l'énergie cinétique de la branche où le débit est maximum. En désignant par  $q$  les débits relatifs,  $p$  les pressions relatives,  $e$  les énergies cinétiques et  $h$  les charges, on peut dès lors écrire :

1<sup>er</sup> type d'écoulement :

$$\begin{array}{llll} Q_\beta > 0 & 0 < q_\beta < 1 & q_\alpha \equiv 1 & q_\gamma = 1 - q_\beta \\ e_\alpha \equiv 1 & & e_\beta = q_\beta^2 / \varphi^2 & e_\gamma = q_\gamma^2 \end{array}$$

2<sup>e</sup> type d'écoulement :

$$\begin{array}{llll} Q_\beta < 0 & -1 < q_\beta < 0 & q_\gamma \equiv 1 & q_\alpha = 1 + q_\beta \\ e_\alpha = q_\alpha^2 & & e_\beta = q_\beta^2 / \varphi^2 & e_\gamma \equiv 1 \end{array}$$

D'où, quel que soit le type d'écoulement, les pressions et charges étant toujours mesurées à partir de la charge de la branche  $\alpha$  (amont) :

$$\underbrace{p_\beta - p_\alpha + e_\beta - e_\alpha}_{\text{mesuré}} = h_\beta$$

$$\underbrace{p_\gamma - p_\alpha + e_\gamma - e_\alpha}_{\text{mesuré}} = h_\gamma$$

$$\text{avec } q_\alpha = q_\beta + q_\gamma \text{ et } h_{\gamma\beta} = h_\gamma - h_\beta$$

Le type d'écoulement est entièrement défini par la valeur de  $q_\beta$ , comprise entre  $-1$  et  $+1$ . Les résultats se résument aux valeurs de  $h_\beta$  et  $h_\gamma$ .

### 3. Autres études relatives à de tels écoulements

La détermination des pertes de charge dans de telles formes de raccordement en T a fait l'objet de mesures à l'« Hydraulischen Institut der Technischen Hochschule München », sous la direction de M. le Professeur Thoma. Ces essais, exécutés par E. Kinne, F. Petermann et G. Vogel, se sont étendus de 1926 à 1931 [4, 6, 7]<sup>1</sup>.

Nous avons cherché à utiliser les résultats de ces mesures conjointement avec ceux que nous avons nous-même obtenus. Nous devons toutefois préciser que les essais ont été exécutés à Munich avec des canalisations d'un diamètre relativement faible de 43 mm. L'écoulement laminaire est ainsi beaucoup plus vite atteint lorsque le débit entrant ou provenant de la branche latérale est faible ( $q_\beta$  voisin de zéro). A cet égard, les résultats de Munich ne présentent pas les mêmes garanties que les nôtres<sup>2</sup>. En outre, on constate à répétition reprises que, dans ces résultats de Munich, la valeur de la perte de charge d'écoulement direct  $h_\gamma$  n'est pas la même si elle est obtenue comme cas limite d'écoulements avec  $q_\beta > 0$  ou d'écoulements avec  $q_\beta < 0$  ; or, elle devrait évidemment être identique.

<sup>1</sup> Les numéros entre crochets se rapportent à la bibliographie donnée en fin d'article.

<sup>2</sup> Des doutes analogues concernant les essais de Munich ont été formulés par M. Ferry, à la Société hydrotechnique de France (séance du 16.11.48) [1].

<sup>1</sup> Pour les dimensions indiquées, les normes VDI donnent le débit  $Q$  en l/s, en fonction de la différence  $P_1 - P_2$  de la pression sur les deux faces du diaphragme (en cm), par :  $Q = 3,48 \sqrt{P_1 - P_2}$ . Le jaugeage volumétrique a conduit à  $Q = A \sqrt{P_1 - P_2}$  où  $A$  varie de 3,62 à 3,58 lorsque  $P_1 - P_2$  croît de 0 à 100 cm.

Nous n'avons donc retenu de ces essais que ceux qui paraissent les plus sûrs. Mais il convient de noter que les formes de raccordement ont été réalisées en métal à Munich, ce qui était possible puisqu'elles étaient petites, et que le détail en a été probablement mieux exécuté que nous n'avons pu le faire en ciment.

Des recherches théoriques ont également été poursuivies par M. le professeur Favre, de l'E.P.F. [2], mais elles ne concernent que le second type d'écoulement ( $q_\beta < 0$ ), le premier type échappant à l'analyse. Nous avons comparé les résultats obtenus par M. Favre avec ceux de nos mesures. On constate quelques divergences, surtout lorsque les pertes de charge sont faibles ( $\varphi$  voisin de 1, cas malheureusement le plus fréquent dans l'étude des chambres d'équilibre). Les recherches effectuées par M. le professeur Favre nous ont néanmoins rendu grand service en nous permettant de connaître la structure des formules de perte de charge, celles-ci devant être munies de coefficients expérimentaux que nous avons cherché à préciser.

#### 4. Résultats des essais

##### effectués au Laboratoire d'hydraulique E.P.U.L.

Les résultats des mesures effectuées sont consignés dans les figures 6 à 16. En abscisse, nous y avons porté  $q_\beta$ , de  $-1$  à  $+1$ , caractérisant l'écoulement observé; en ordonnée, on trouve  $h_\beta$  et  $h_\gamma$ . Les points correspondant à  $p_\beta$ ,  $p_\gamma$ ,  $h_{\gamma\beta}$ ,  $p_{\gamma\beta}$  s'en déduisent facilement si on le désire (fig. 5). Plus de 400 écoulements différents ont été examinés.

Avant d'entrer dans le détail de l'analyse quantitative de ces résultats, nous pouvons faire quelques constatations générales intéressantes, se rapportant tout d'abord au premier type d'écoulement (dévié vers la branche latérale,  $q_\beta > 0$ , moitié de droite des diagrammes), puis au second type (provenant de la branche latérale,  $q_\beta < 0$ , moitié de gauche des diagrammes).

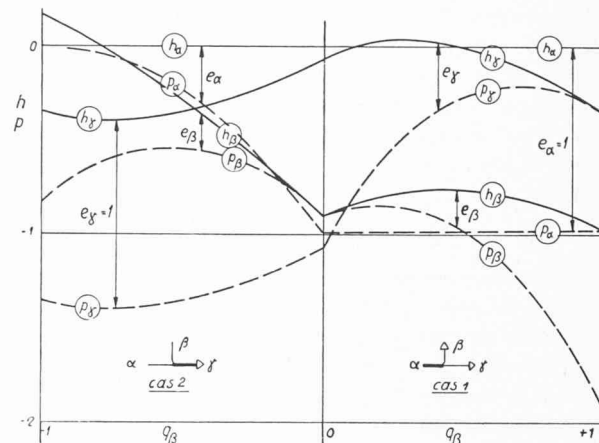


Fig. 5. — Diagramme des charges et pressions relatives.

##### a) Premier type d'écoulement, $q_\beta > 0$

###### 1° Valeur de $h_\gamma$

Au signe près,  $h_\gamma$  représente la perte de charge entre les branches  $\alpha$  et  $\gamma$ . La valeur de  $h_\gamma$  varie un peu en fonction du débit  $q_\beta$  dévié, mais cette variation est approximativement la même quelle que soit la forme de raccordement examinée. Ce fait s'explique bien puisque l'influence des formes de raccordement doit se faire sentir sur l'écoulement dévié dans la branche  $\beta$ , et seulement au-delà du Té.

D'autre part, on constate que les valeurs de  $h_\gamma$  restent faibles ( $0,03 > h_\gamma > -0,35$ ). Pour toutes les valeurs de  $q_\beta$  inférieures à 0,5, la perte de charge  $h_\gamma$  est à peu près nulle; ce résultat signifie que la charge ( $p + v^2/2g$ ) des filets est la même avant et après le prélèvement du débit; le ralentissement qui se produit dans la branche  $\gamma$  s'accompagne de la récupération quasi complète de l'énergie cinétique. Ce fait peut être rapproché de l'écoulement à niveau libre avec déversoir latéral, pour lequel on constate également une récupération de l'énergie cinétique des filets et une conservation de la charge entre l'amont et l'aval du déversoir.

Enfin, il convient de relever que, pour  $q_\beta = 1$  (écoulement entièrement dévié vers la branche latérale),  $h_\gamma$  est égal à  $-0,35$  quelle que soit la forme de raccordement (fig. 18). En d'autres termes, la branche  $\gamma$ , où il n'y a alors plus d'écoulement, se comporte comme un tube Pitot, mesurant

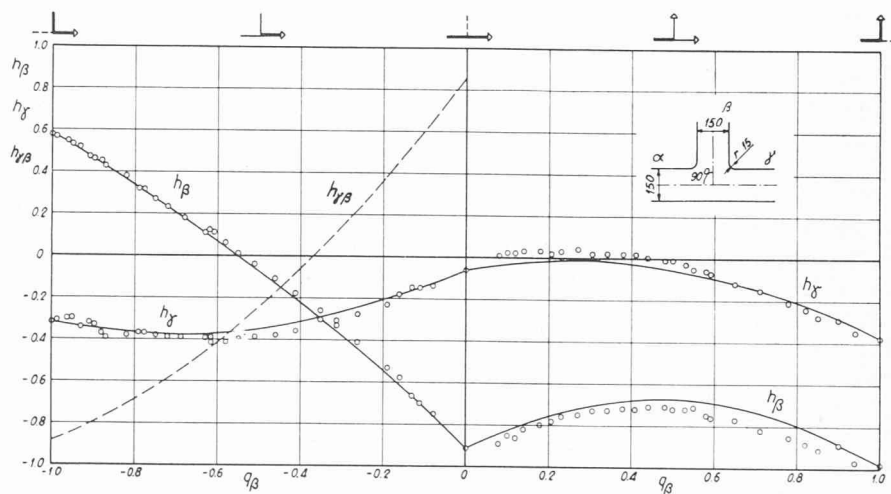
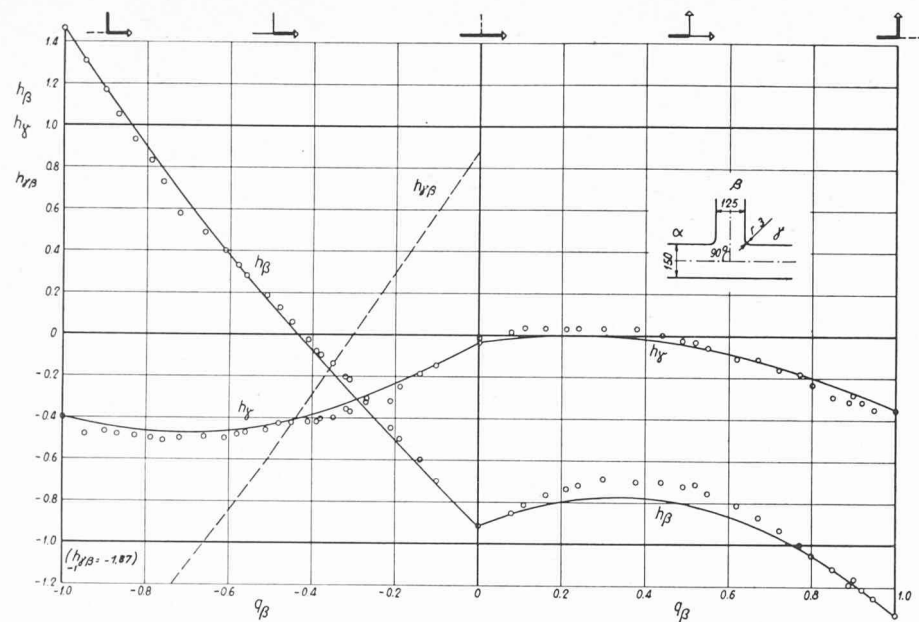
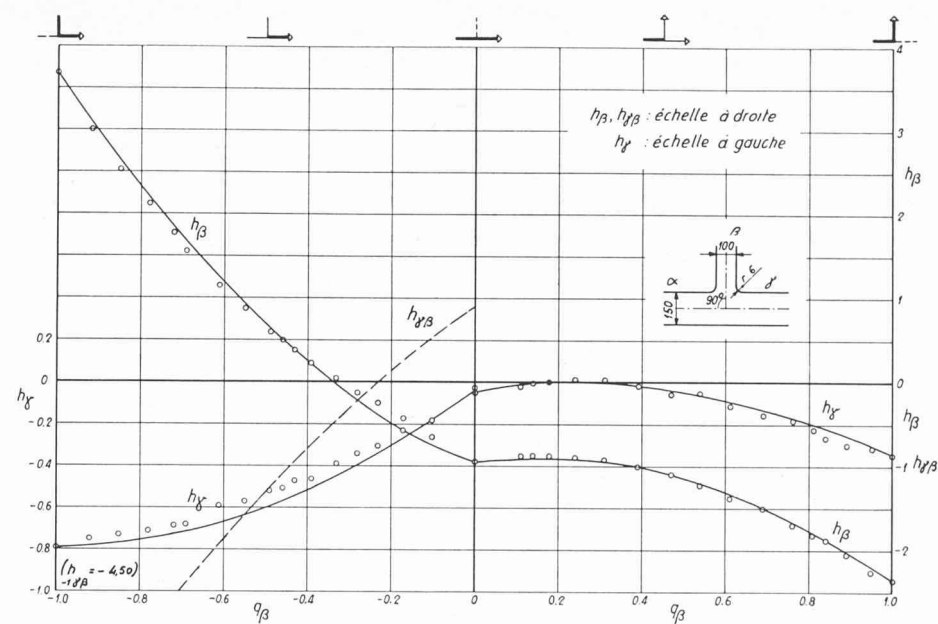
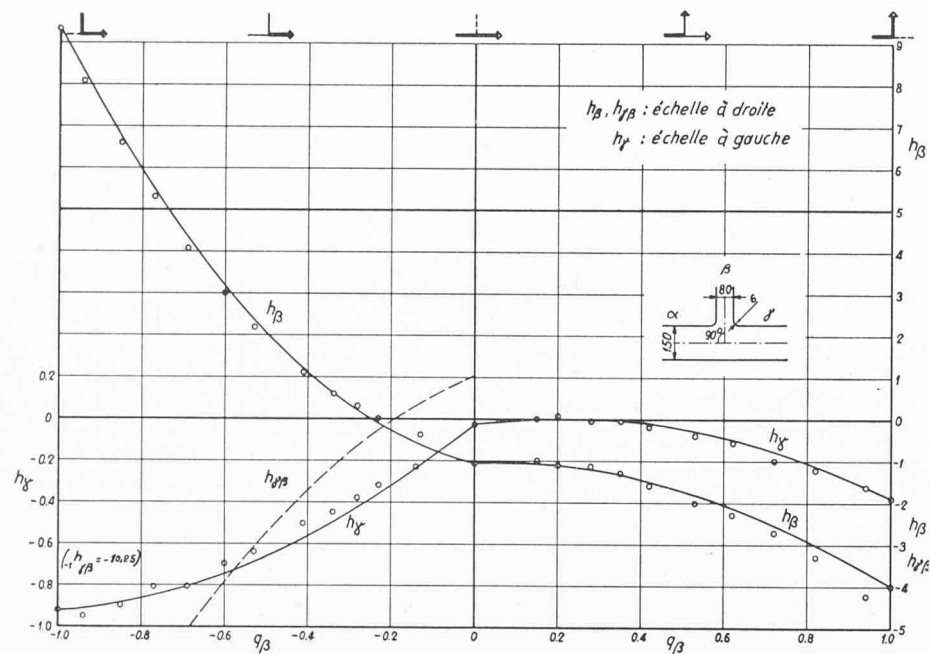
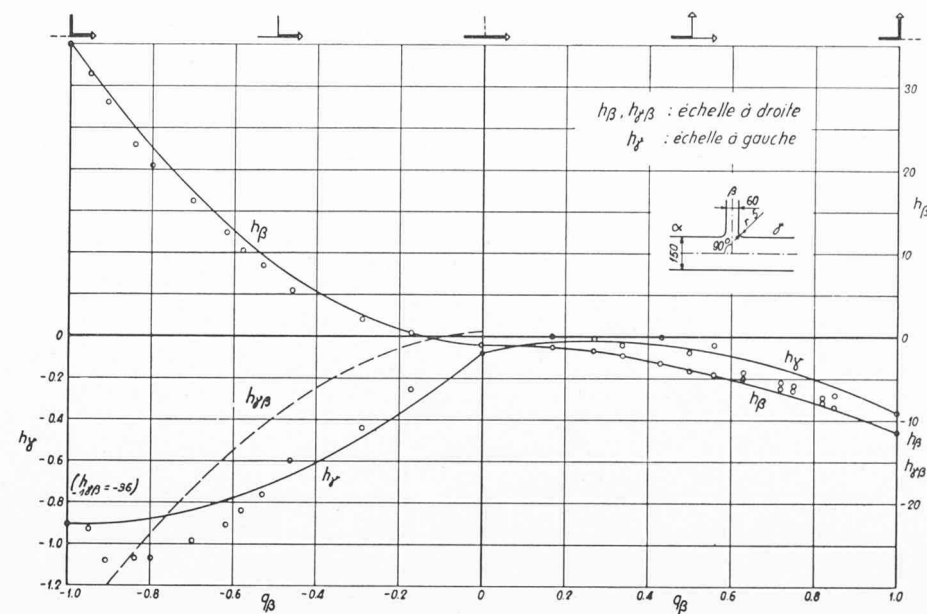


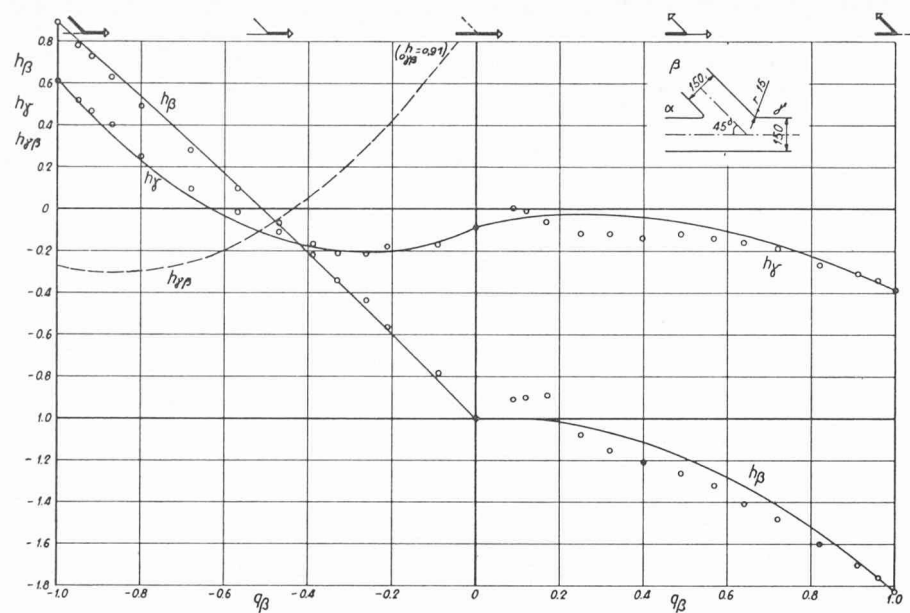
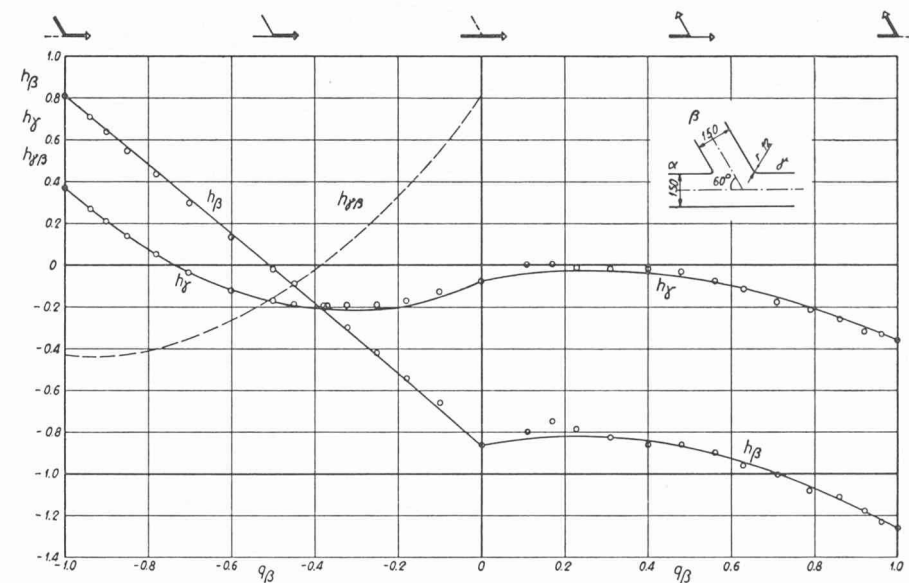
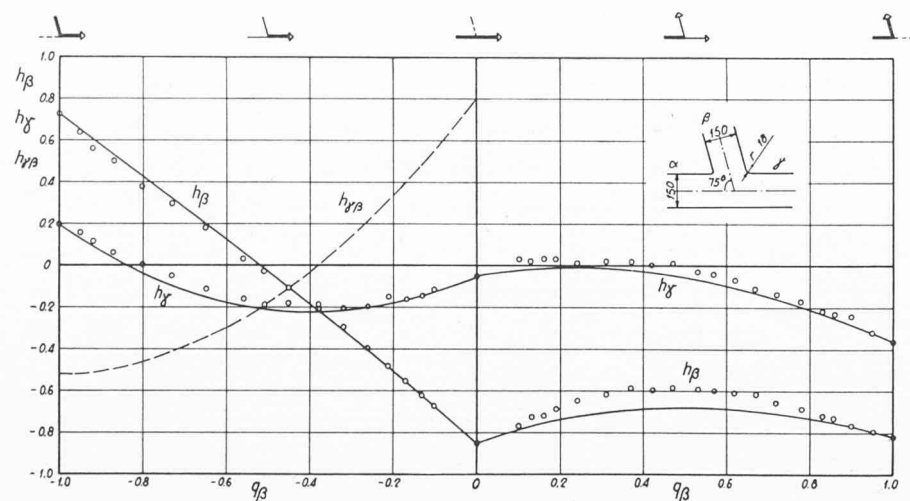
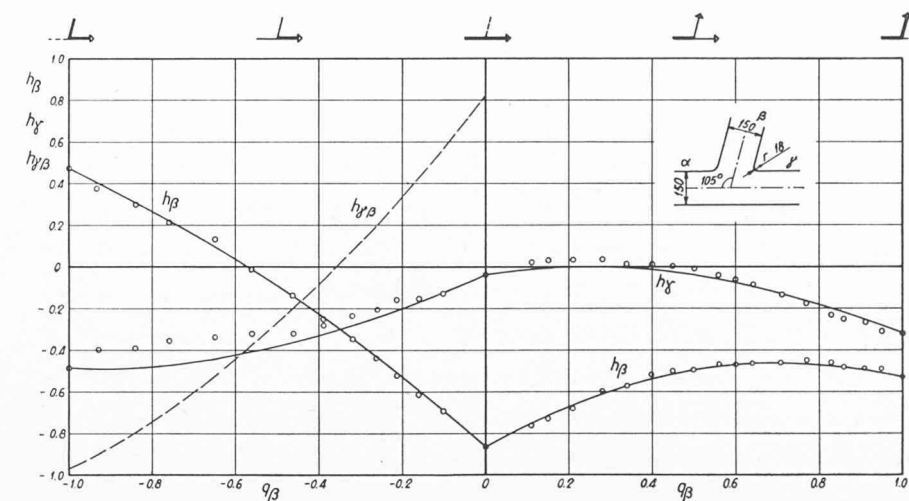
Fig. 6. — Charges mesurées avec la forme 1.  $\varphi = 1,00$ ,  $\delta = 90^\circ$ ,  $\rho = 0,10$

$$h_\beta = \frac{H_\beta - H_\alpha}{V_{\alpha \text{ ou } \gamma}^2 / 2g} \quad h_\gamma = \frac{H_\gamma - H_\alpha}{V_{\alpha \text{ ou } \gamma}^2 / 2g} \quad h_{\gamma\beta} = \frac{H_\gamma - H_\beta}{V_{\alpha \text{ ou } \gamma}^2 / 2g} = h_\gamma - h_\beta \quad q_\beta = \frac{Q_\beta}{Q_{\alpha \text{ ou } \gamma}}$$

○ Points expérimentaux

--- Courbes calculées

Fig. 7. — Charges mesurées avec la forme 2.  $\varphi = 0,69$ ,  $\delta = 90^\circ$ ,  $\rho = 0,02$ Fig. 8. — Charges mesurées avec la forme 3.  $\varphi = 0,44$ ,  $\delta = 90^\circ$ ,  $\rho = 0,04$ Fig. 9. — Charges mesurées avec la forme 4.  $\varphi = 0,28$ ,  $\delta = 90^\circ$ ,  $\rho = 0,04$ Fig. 10. — Charges mesurées avec la forme 5.  $\varphi = 0,16$ ,  $\delta = 90^\circ$ ,  $\rho = 0,03$   
 ○ Points expérimentaux  
 --- Courbes calculées

Fig. 11. — Charges mesurées avec la forme 6.  $\varphi = 1,00$ ,  $\delta = 45^\circ$ ,  $\rho = 0,10$ Fig. 12. — Charges mesurées avec la forme 7.  $\varphi = 1,00$ ,  $\delta = 60^\circ$ ,  $\rho = 0,08$ Fig. 13. — Charges mesurées avec la forme 8.  $\varphi = 1,00$ ,  $\delta = 75^\circ$ ,  $\rho = 0,12$ Fig. 14. — Charges mesurées avec la forme 9.  $\varphi = 1,00$ ,  $\delta = 105^\circ$ ,  $\rho = 0,12$   
 ○ Points expérimentaux  
 --- Courbes calculées



non pas 100 % mais 65 % de la hauteur représentative de l'énergie cinétique de l'écoulement dans la branche  $\alpha$ .

## 2° Valeur de $h_\beta$

$h_\beta$  représente, au signe près, la perte de charge le long de l'écoulement dévié. On constate que, pour la forme 1 ( $\varphi = 1,00$   $\delta = 90^\circ$ ), la valeur de  $h_\beta$  est de l'ordre de  $-1$  quel que soit  $q_\beta$  (en particulier pour  $q_\beta^* = 0$  ou  $1$ ). Cela signifie que l'énergie cinétique de l'écoulement direct  $\alpha$  est perdue pour l'écoulement  $\beta$  et que la mise en vitesse de celui-ci se fait en prélevant l'énergie nécessaire sur la pression.

On vérifie que, pour l'écoulement direct ( $q_\beta = 0$ ), la branche  $\beta$  fonctionne approximativement comme un tube piézométrique :  $h_\beta$  vaut environ  $-1$  pour toutes les formes de raccordement examinées (fig. 17). Pour  $q_\beta > 0$  la perte de charge augmente ( $h_\beta$  diminue) lorsque  $\varphi$  est faible (effet d'étranglement) ou lorsque  $\delta$  est petit (effet de rebroussement).

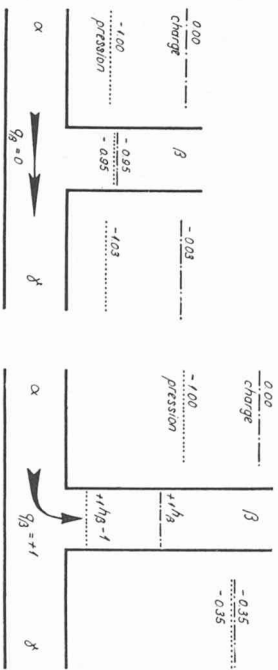


Fig. 17. — Charge et pression dans le cas de l'écoulement direct.

Fig. 18. — Charge et pression dans le cas de l'écoulement entièrement dévié.

## b) Second type d'écoulement, $q_\beta < 0$

### 1° Valeur de $h_\gamma$

$h_\gamma$  indique, au signe près, la perte de charge le long de l'écoulement direct. Cette perte de charge, voisine de zéro lorsque  $q_\beta = 0$ , commence par croître lorsqu'un faible débit provient de la chambre. Si le débit de la chambre devient important,  $h_\gamma$  tend vers la valeur correspondant à  $q_\beta = -1$ , écoulement provenant entièrement de la branche latérale. La perte de charge dans ce dernier cas dépend des formes du raccordement : la perte est plus prononcée si  $\varphi$  est petit (débit de la branche latérale concentré, vitesse élevée) ou si  $\delta$  est grand (débit de la branche latérale dirigé à contre-courant).

Remarquons qu'avec la forme 1 ( $\varphi = 1,00$   $\delta = 90^\circ$ ) la perte de charge est comprise entre 30 et 40 % de l'énergie cinétique de la branche  $\gamma$  ( $-0,3 > h_\gamma > -0,4$ ) lorsque le débit de la branche latérale varie entre 30 % et 100 % du débit total ; pour cette forme, la perte de charge le long de l'écoulement direct ne dépend donc que peu de l'importance du débit ajouté latéralement (fig. 19).

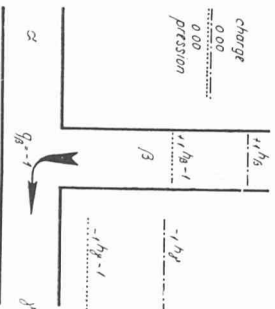


Fig. 19. — Charge et pression dans le cas de l'écoulement provenant entièrement de la branche latérale.

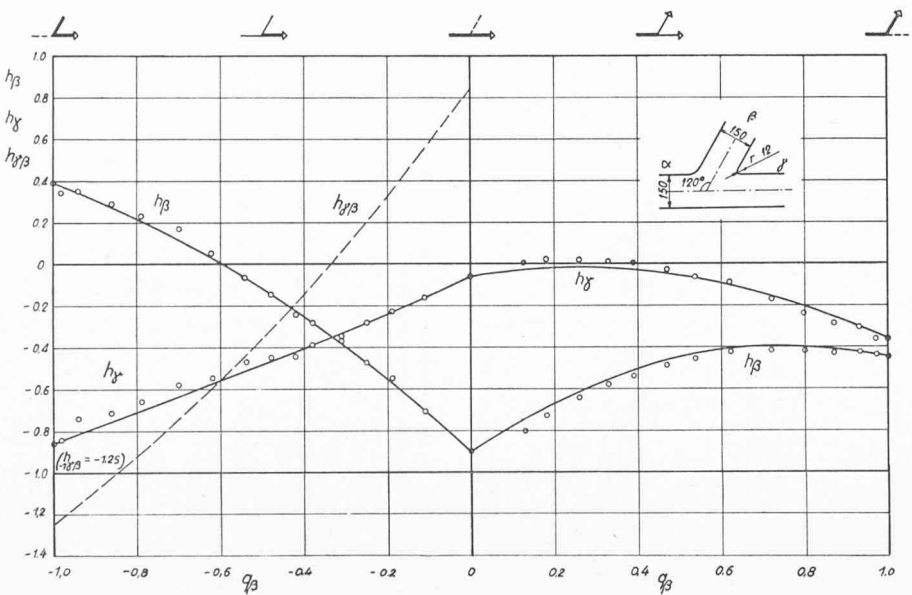


Fig. 15. — Charges mesurées avec la forme 10.  $\varphi = 1,00$ ,  $\delta = 120^\circ$ ,  $\rho = 0,08$

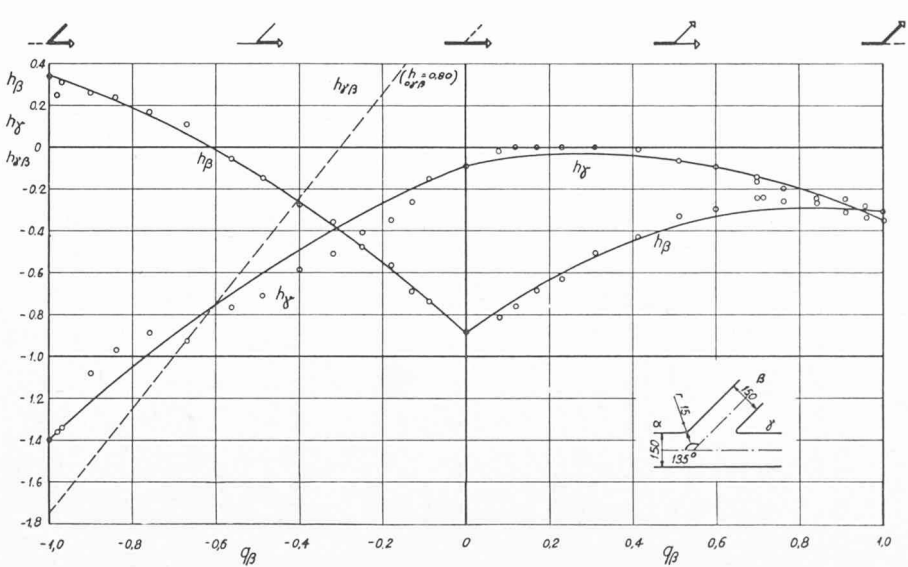


Fig. 16. — Cages mesurées avec la forme 11.  $\varphi = 1,00$ ,  $\delta = 135^\circ$ ,  $\rho = 0,10$

○ Points expérimentaux

--- Courbes calculées



2° Valeur de  $h_\beta$  et  $h_{\gamma\beta}$ 

C'est surtout  $h_{\gamma\beta} = (h_\gamma - h_\beta)$  qu'il est intéressant d'examiner, car c'est la perte de charge (au signe près) le long de l'écoulement provenant de la branche latérale, tandis que  $h_\beta$ , différence entre  $h_{\gamma\beta}$  et  $h_\gamma$  n'a pas de signification physique simple.

$h_{\gamma\beta}$  est égal à 0,8 ou 0,9 lorsque  $q_\beta$  est nul; la charge dans la branche  $\beta$  (égale à la pression puisque le débit y est alors nul) est approximativement égale à la pression dans la branche  $\gamma$ ; c'est le fonctionnement en tube piézométrique déjà mentionné plus haut (fig. 17).

Lorsque tout le débit provient de la branche latérale, la charge perdue est approximativement égale à la projection du vecteur énergie cinétique de la branche  $\beta$  sur l'axe  $\alpha - \gamma$ . Si cette énergie est dirigée perpendiculairement à l'axe  $\alpha - \gamma$  (formes 1 à 5), elle est perdue dans sa quasi-totalité

( $h_{\gamma\beta} \cong -1$  pour la forme 1). Si elle est dirigée obliquement dans le sens de l'écoulement  $\alpha - \gamma$ , la perte de charge n'est qu'une partie de cette énergie cinétique ( $-0,3$  avec la forme 6,  $\delta = 45^\circ$ ); tandis que si elle est dirigée vers l'amont, la charge perdue tend vers le double de l'énergie cinétique ( $-1,7$  avec la forme 11,  $\delta = 135^\circ$ ).

Si ces diverses constatations n'ont rien qui doive surprendre et sont en accord avec les principes usuels de l'hydraulique, certaines d'entre elles doivent néanmoins être remarquées, en particulier la valeur approximativement nulle de  $h_\gamma$  pour  $0 < q_\beta < 0,5$ , ainsi que le fait que  $h_\gamma$  est égal à  $-0,35$  pour  $q_\beta = +1$ , quelle que soit la forme de raccordement examinée (fig. 18).

(A suivre.)

## BIBLIOGRAPHIE

**Mémorial des Sciences physiques.** Directeurs : H. Villat, et G. Ribaud, membres de l'Institut. Editeur : Gauthier-Villars, Paris.

**Fascicule LVII. — Conductibilité électrique des lames métalliques minces**, par A. Blanc-Lapierre et M. Perrot, professeurs à la Faculté des sciences d'Alger, 1954. — Un fascicule 17 × 25 cm, 95 pages, figures. Prix : broché, 1100 fr. français.

*Sommaire* : Généralités. — Evolution de la conductibilité électrique des lames minces. — Influence de la température sur la conductibilité électrique des lames minces. — Variation de la conductibilité en fonction du champ électrique. — Variation de la conductibilité avec l'épaisseur. — Structure des lames minces. — Interprétation théorique.

**Fascicule LVIII. — Propriétés magnétiques des lames métalliques minces**, par M. A. Colombani, professeur à la Faculté des sciences de Caen, 1954. — Un fascicule 17 × 25 cm, 78 pages, 32 figures. Prix : broché, 1000 fr. français.

*Sommaire* : Propriétés magnétiques des dépôts électrolytiques. — Propriétés magnétiques des dépôts obtenus par évaporation thermique. — Propriétés magnétiques des dépôts obtenus par pulvérisation cathodique. — Théorie de Klein et Smith. Résultats expérimentaux. — Travaux de Kittel. Résultats expérimentaux.

**Fascicule LIX. — Les aspects modernes de la cryométrie**, par M. Y. Doucet, maître de conférences à la Faculté des sciences de Dijon, 1954. — Un fascicule 17 × 25 cm, 133 pages, 38 figures. Prix : broché, 1650 fr. français.

*Sommaire* : Généralités. — Cryométrie des solutions idéales. — Cryométrie des solutions réelles diluées. — Cryométrie des solutions réelles non électrolytes. — Cryométrie des solutions électrolytiques. — Cryométrie en milieu salin.

**Fascicule LX. — Les cavités électromagnétiques et leurs applications en radiophysique**, par M. Théo Kahan, docteur ès sciences, maître de recherches, 1956. — Un fascicule 17 × 25 cm, 120 pages, 50 figures. Prix : broché, 1600 fr. français.

*Sommaire* : Equations de Maxwell et solutions ondulatoires. — Généralités sur les cavités électromagnétiques. — Théorie analytique des cavités résonnantes. — Application des cavités résonnantes en radioélectricité. — Les cavités électromagnétiques dans la recherche physique. Quelques chapitres modernes de la radiophysique.

**Fascicule CXXXIV. — Les méthodes d'approximation variationnelles dans la théorie des collisions atomiques et dans la physique des piles nucléaires**, par MM. T. Kahan, maître de recherches, G. Rideau, chargé de recherches, et P. Roussopoulos, attaché de recherches, 1956. — Un fascicule 17 × 25 cm, 82 pages. Prix : broché, 1200 fr. français.

*Sommaire* : Le problème des collisions en mécanique ondulatoire. — Méthodes variationnelles ou théorie quantique des collisions. Variations sur un thème fondamental. — Le choc multiple et les méthodes variationnelles. — L'approximation de percussion. — Applications des méthodes variationnelles en théorie de diffusion des ondes et en théorie des collisions. — Méthode variationnelle dans la physique des piles atomiques (réacteurs).

**Fascicule CXXXV. — Mouvements plans d'un fluide en présence d'un profil mobile**, par M. Gérard Couchet, maître de conférences à la Faculté des sciences de l'Université de Montpellier, 1956. — Un fascicule 16 × 24 cm, 80 pages, 12 figures. Prix : broché, 1000 fr. français.

*Sommaire* : I. Généralités : Les équations. La transformation d'une circonférence en un profil. — II. Mouvement d'un profil à circulation nulle. — III. Les mouvements à circulation constante : Le profil n'a pas de pointe. Le profil présente une pointe. Profil mobile dans un courant. — IV. Profil en mouvement dans un fluide contenant des singularités tourbillonnaires. — V. Les travaux expérimentaux et les théories approchées.

**Cours de géométrie différentielle locale**, par J. Favard, professeur à la Faculté des sciences de Paris et à l'Ecole polytechnique. « Cahiers scientifiques », publiés sous la direction de M. G. Julia, fascicule XXIV. Paris, Gauthier-Villars, 1957. — Un volume 15 × 24 cm, VIII + 553 pages, 45 figures. Prix : broché, 6000 fr. français.

Ce cours est destiné aux étudiants qui désirent s'initier aux problèmes et aux méthodes de la géométrie différentielle. C'est dire que, pour ne pas faire un ouvrage trop volumineux, un choix a été nécessaire, et que certains sujets n'ont pu être abordés.

Après une introduction, dont le premier chapitre est consacré aux fondements, et qui tente de faire écho aux exigences axiomatiques qui se manifestent dans les exposés d'analyse, l'ouvrage comprend trois parties. La première contient, à côté de l'exposé de questions classiques de géométrie directe, des indications substantielles sur les problèmes de paramétrage. La deuxième partie est consacrée à des exposés de géométrie euclidienne, affine unimodulaire et projective. Dans la troisième partie sont développés les éléments de la théorie du transport : espaces à connexion affine et espaces riemanniens. Chaque chapitre est suivi d'exercices.

Comme il n'y a malheureusement pas aujourd'hui de style universellement adopté en géométrie différentielle, l'auteur a choisi celui d'Elie Cartan qui lui semble le meilleur, parce qu'il permet souvent d'éviter des calculs rebutants, ou au moins de les abréger.