

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 52 (1926)
Heft: 18

Artikel: La méthode Gibson pour la mesure du débit d'une conduite forcée
Autor: Salgat, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40311>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
 ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES
 ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *La méthode Gibson pour la mesure du débit d'une conduite forcée*, par F. SALGAT, ingénieur aux « Ateliers des Charmilles S. A. », à Genève. — *Le palais des expositions, à Genève.* — SOCIÉTÉS : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.* — BIBLIOGRAPHIE. — *Service de placement.*

La méthode Gibson

pour la mesure du débit d'une conduite forcée,

par F. SALGAT, ingénieur aux *Ateliers des Charmilles S. A.*,
à Genève.

1. Pour les essais de turbines hydrauliques, divers procédés de mesure du débit sont actuellement utilisés. Ils sont tous d'une application longue et délicate et aucun ne présente un caractère de précision absolue. La méthode volumétrique est la plus précise mais n'est généralement pas applicable. L'essai d'une turbine, fait à l'aide d'une des méthodes usuelles, exige toujours la mise hors service du groupe pendant un temps appréciable.

Le procédé pour lequel M. Norman R. Gibson, ingénieur en chef de la *Niagara Falls Power Cy* a déposé un brevet, permet de faire quatre à six essais par heure, sans mettre le groupe hors de service pendant plus de deux minutes par essai, s'il s'agit d'une machine hydroélectrique marchant en parallèle avec d'autres unités.

2. La presse technique européenne ayant déjà mentionné ce procédé, nous rappelons simplement qu'il consiste à déduire la vitesse moyenne de l'eau de l'impulsion due à une manœuvre de fermeture.

La méthode volumétrique a été utilisée pour vérifier ce nouveau procédé; l'erreur moyenne fut de 0,2 %. Ces essais comparatifs, relatés plus loin, ont été effectués à l'Université de Cornell sous la direction de M. E. E. Haskell, doyen du Corps des Ingénieurs Civils.

La Niagara Falls Power Cy, se proposant d'utiliser ce procédé, envoya des délégués à ces essais; il en fut de même du Département de la Guerre des Etats-Unis, chargé de réglementer l'emploi des eaux du Niagara conformément au traité y relatif entre les Etats-Unis et la Grande-Bretagne. Les quantités d'eau employées étant calculées d'après les graphiques des puissances développées par les usines riveraines, un contrôle périodique des rendements est nécessaire. Ce contrôle étant très strict, les mesures doivent être faites avec une grande exactitude. On jugera de l'intérêt que doivent apporter les parties à une mesure exacte, en ce qu'un pour cent du débit maximum autorisé représente au moins 4000 HP et un revenu

d'environ 80 000 dollars par an. C'est le problème de la mesure de ces rendements qui a amené M. Gibson à chercher un procédé permettant aisément et à peu de frais de faire des essais fréquents et précis.

Le but du présent article est d'étudier ce nouveau procédé tant d'après les travaux de son auteur qu'à l'aide de la théorie d'Allievi sur les coups de bélier. A cet effet, M. Gibson a bien voulu nous remettre divers documents et notamment les photographies illustrant notre texte; nous lui en exprimons notre vive reconnaissance. A la suite de notre étude, nous relaterons divers essais et applications, en particulier ceux de Cornell et de Niagara.

Définitions et notations.

3. Nous appellerons *méthode* les divers moyens d'application du procédé Gibson défini au paragraphe 2.

Les termes utilisés dans cette étude sont groupés dans le tableau suivant, sauf ceux avec indice, dont quelques-uns sont donnés cependant à titre d'exemple.

Pour simplifier les développements, nous ferons abstraction des échelles des graphiques.

- a = vitesse de propagation des ondes du coup de bélier¹;
- B = différence $h_0 - h_T$ (voir fig. 9);
- b = différence $h - h_T$ (voir fig. 9);
- c = coefficient de $\frac{V^2}{2g}$ dans l'expression de la perte de charge, constant pour une même conduite;
- D = diamètre de la conduite si elle est de section circulaire et de diamètre constant;
- d = diamètre d'un des tronçons d'une conduite à diamètre variable;

¹ Nous rappelons que a se calcule par la formule :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \beta \frac{D}{e}}}$$

où : $\beta = 0,5$ pour une conduite en fer,
 $= 1$ » » » en fonte,
 $= 5$ » » » en plomb.

On peut aussi mesurer a , pour une conduite donnée, en créant une dépression brusque par l'ouverture rapide, partielle et momentanée de l'organe obturateur; on enregistre alors une courbe de la pression au moyen de laquelle on calcule aisément le temps $\frac{2L}{a}$ d'où on tire a (voir aux paragraphes 34 et 35 une remarque au sujet des conduites à caractéristique variable).

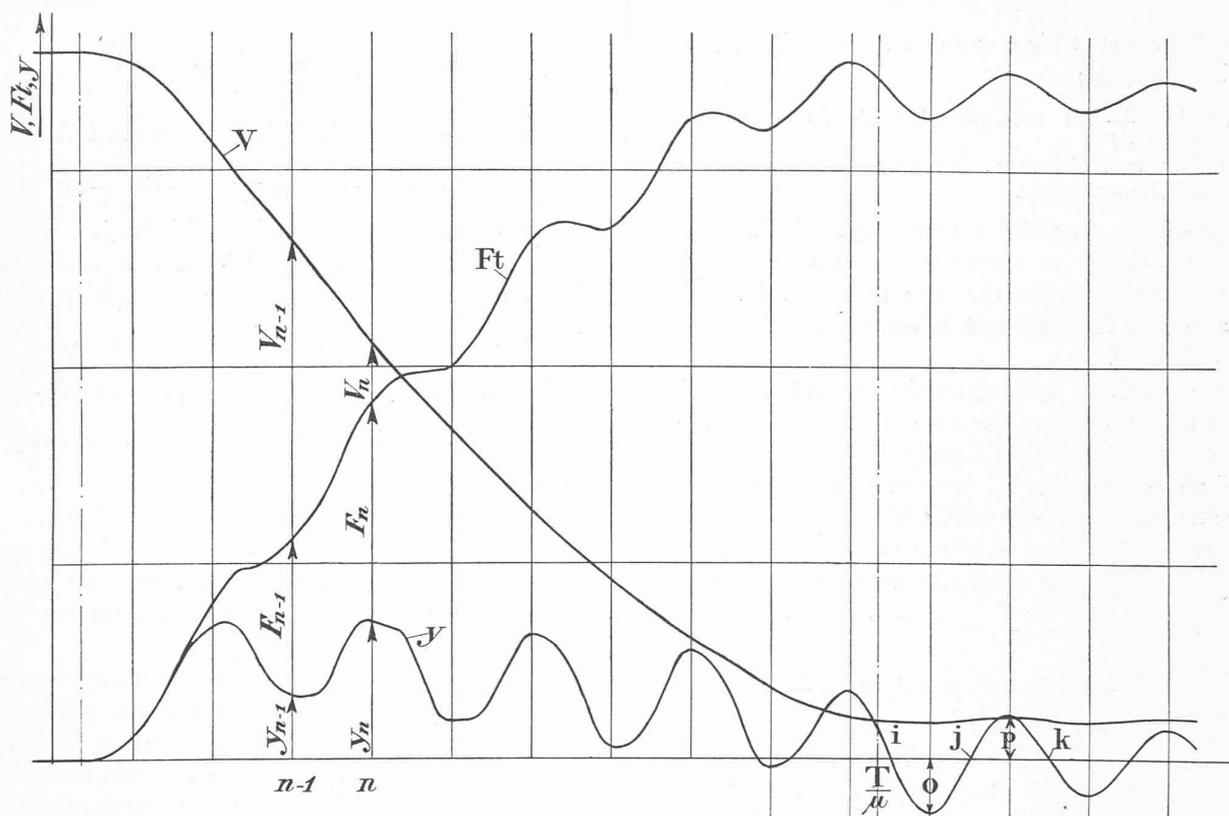


Fig. 1. — Graphique général de surpression.

Le premier membre représente la surface s_n du graphique de surpression comprise entre l'axe des abscisses et la courbe des surpressions y depuis son origine jusqu'à l'ordonnée d'abscisse n . (Voir figure 1.)

Le second membre est proportionnel à la diminution de la vitesse moyenne de l'eau dans la conduite pendant la durée n secondes.

5. — En considérant la fermeture complète, de durée T , on peut écrire :

$$s_T = \frac{L}{g} (V_o - v)$$

d'où

$$V_o - v = \frac{s_T g}{L} \quad (1)$$

C'est cette formule qui est utilisée aux Etats-Unis et qui est appliquée dans les essais relatés plus loin. Elle exprime que, dans une conduite forcée, la différence des vitesses moyennes de l'eau, au début et à la fin d'une manœuvre de fermeture, est proportionnelle à la surface de la partie correspondante du graphique de surpression.

Il suffit donc d'obtenir ce graphique pour pouvoir déterminer la vitesse de l'eau et partant le débit passant dans la conduite au moment de la manœuvre, si la fermeture est complète. Si elle est incomplète, il faut tenir compte de la vitesse subsistant après la fermeture ; nous reviendrons sur ce point au paragraphe 28.

Pour obtenir le graphique nécessaire, M. Gibson a créé un appareil spécial décrit au paragraphe 20.

6. — Notons tout de suite que le terme a n'entre pas

dans la formule 1. Ceci ne veut pas dire que l'élasticité de l'eau, ainsi que celle des parois de la conduite, soient négligées, au contraire, ces élasticités, étant facteurs de la surpression, sont contenues dans le terme s_T , comme le montre le développement.

7. — Les calculs précédents supposent que la surpression et la vitesse moyenne dans un intervalle de durée μ sont égales aux moyennes arithmétiques des surpressions et des vitesses de l'eau au début et à la fin de cet intervalle ; ils sont aussi valables si les différences pouvant exister entre ces moyennes et les valeurs réelles sont compensées par des différences de signe contraire existant dans d'autres intervalles.

Comme il n'est pas démontré a priori que ces hypothèses soient fondées, nous avons tenu à serrer le problème de plus près en l'étudiant au moyen de la théorie d'Allievi. Nous aurons d'ailleurs l'occasion de montrer que ces différences éventuelles ne peuvent être que très petites.

Rappel de la Théorie d'Allievi.¹

8. — Bien que cette théorie ait fait l'objet de nombreuses études et publications, il est utile, pour savoir si nous pouvons l'utiliser dans notre cas, d'en rappeler les éléments essentiels et d'examiner les hypothèses sur lesquelles elle est basée et qui sont :

a) le travail des résistances de frottement est négligé, car ces résistances sont petites, dans les conduites industrielles tout au moins. Cependant pour l'exactitude des

¹ Revue de Mécanique, 1904 et Théorie du Coup de Bêlier, par L. Allievi, traduction de D. Gaden, chez Dunod, à Paris.

mesures il faut en tenir compte et nous en indiquerons plus loin le moyen ;

b) la valeur $\frac{V^2}{2g}$ est négligée vis-à-vis de Y_0 pour la même raison que ci-dessus. Nous verrons comment en tenir compte également ;

c) le tuyau est considéré comme constitué d'une série d'anneaux pouvant se déformer, indépendamment les uns des autres, sous l'action des pressions. M. Bousinesq a montré le bien-fondé de cette hypothèse et des deux suivantes ¹.

d) les conditions hydrodynamiques sont supposées identiques pour tous les éléments d'une même tranche liquide normale à l'axe du tuyau ;

e) les vitesses de tous les éléments d'une même tranche liquide sont supposées parallèles ;

f) dans les équations différentielles du mouvement varié le terme qui a V pour facteur est négligé ; c'est-à-dire qu'on pose $1 - \frac{V}{a} = 1$. Ceci est bien légitime

puisque en général l'ordre de grandeur de $\frac{V}{a}$ est de $\frac{1}{400}$ dans la pratique industrielle ;

g) la charge de régime Y_0 est supposée constante, car il est admis que le niveau d'amont ne varie pas. Cependant les variations éventuelles de ce niveau ne sont pas négligées comme nous le verrons plus loin.

L'étude de ces différents points montre que nous sommes fondé à considérer la théorie d'Allievi comme donnant une représentation exacte du phénomène du coup de bélier. Nous pouvons donc l'utiliser pour un problème aussi délicat que celui qui fait l'objet de cette étude, d'autant plus que de nombreuses expériences l'ont vérifiée ; citons seulement celles de M. le professeur R. Neeser² et de MM. Camichel, Eydoux, Gariel³.

9. — La théorie d'Allievi montre que le phénomène du coup de bélier est caractérisé par deux systèmes de charges variables, co-existantes, se propageant le long de la conduite en sens contraire l'une de l'autre avec la vitesse constante a . Pendant le phénomène, la vitesse de l'eau varie selon une loi différent de la loi de manœuvre de la vanne. Ce qui précède est exprimé par :

$$Y = Y_0 + F\left(t - \frac{x}{a}\right) + f\left(t + \frac{x}{a}\right) \quad (2)$$

$$V = V_0 - \frac{g}{a} \left[F\left(t - \frac{x}{a}\right) - f\left(t + \frac{x}{a}\right) \right]$$

Les fonctions F et f représentent des charges se propageant, la première dans le sens des x positifs (sens opposé à celui de la vitesse de l'eau), la seconde, dans celui des x négatifs.

En faisant intervenir le fait qu'à l'abscisse $x = L$ (au réservoir), la pression doit être constante et égale à Y_0 , quelle que soit la valeur de t , on trouve :

$$f\left(t + \frac{x}{a}\right) = -F\left(t + \frac{x}{a} - \frac{2L}{a}\right) \quad (3)$$

c'est-à-dire que la valeur de la fonction f est égale à celle qu'avait la fonction F , $\frac{2L}{a}$ secondes plus tôt ; ceci montre que pendant la première période, $f = 0$.

La valeur de la fonction F dans une section d'abscisse $\neq 0$ sera celle que cette fonction avait dans la section d'abscisse $x = 0$, $\frac{x}{a}$ secondes plus tôt ; la valeur de la fonction f sera alors celle que cette fonction-ci aura dans la section d'abscisse $x = 0$, $\frac{x}{a}$ secondes plus tard.

Nous avons maintenant rappelé les éléments essentiels de la théorie d'Allievi dont le riche développement est bien connu. Nous n'irons cependant pas plus loin dans son examen car ces éléments suffisent aux besoins de notre étude.

10. — Remarquons que l'énorme difficulté de réaliser une loi de fermeture mathématiquement définie oblige à considérer la loi de fermeture comme quelconque. Cependant, on peut toujours obtenir une courbe de la vitesse de l'eau ne présentant ni discontinuité, ni changement brusque de direction (voir figure 1). La fonction F dépendant de V et la surpression y dépendant de F donneront alors des courbes ayant les mêmes caractères de continuité et de régularité que V . La courbe V varie donc de façon continue du début à la fin de la fermeture et se raccorde tangentiellement aux courbes représentant la vitesse.

Méthode basée sur la mesure de la surpression maximum.

11. — Nous rappelons pour mémoire que M. Dubs a étudié une méthode d'application du procédé Gibson dans laquelle le calcul de la vitesse de l'eau est déduit de la surpression maximum¹. Cet auteur envisage deux cas appliqués à une conduite circulaire de diamètre constant :

1° La durée de fermeture est plus petite que μ ; on obtient :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \frac{g y_{max}}{a}$$

2° La durée de fermeture est plus grande que μ et le produit aV_0 est plus petit que le produit $2gY_0$; on obtient alors

$$Q = \frac{1 \pm \left(1 - \frac{\mu}{T}\right)}{\left(1 - \frac{\mu}{T}\right)^2} \frac{\pi D^2}{4} \frac{g y_{max}}{a} \sqrt{\frac{Y_{max}}{Y_0}}$$

Ces formules supposent que le diamètre et l'épaisseur de la conduite sont constants.

¹ Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure 1905, tome XXII.

² Bulletin technique de la Suisse Romande, 1910.

³ Etude théorique et expérimentale des coups de bélier.

¹ Schweizerische Bauzeitung, 1921, t. LXXVIII.

M. Dubs fait remarquer que la précision de cette méthode est discutable étant donné la complication de ces formules, le nombre des quantités entrant en jeu et la difficulté de leur mesure précise.

Nous chercherons dans notre étude à suivre une voie analogue à celle de M. Gibson, afin d'arriver à des résultats comparables par leur simplicité.

Vérification de la méthode Gibson.

12. — Dans les équations (2 faisons passer Y_o et V_o au premier membre et, considérant le $N^{ième}$ intervalle, posons :

$$F\left(t - \frac{x}{a}\right) = F_N$$

et $f\left(t + \frac{x}{a}\right) = -F_{N-1}$ (selon l'équation 3)

on a :

$$y_N = F_N - F_{N-1} \tag{4}$$

$$V_o - V_N = \frac{g}{a} (F_N + F_{N-1})$$

Multiplions la première de ces équations par dt , intégrons dans les limites d'un intervalle et écrivons l'intégrale pour tous les intervalles, en nous souvenant que dans le premier la fonction f est nulle, on a :

1 ^{er} intervalle	$\int_{t=0}^{t=\mu} y dt = \int_{t=0}^{t=\mu} F dt$
2 ^{me} »	$\int_{t=\mu}^{t=2\mu} y dt = \int_{t=\mu}^{t=2\mu} F dt - \int_{t=0}^{t=\mu} F dt$
3 ^{me} »	$\int_{t=2\mu}^{t=3\mu} y dt = \int_{t=2\mu}^{t=3\mu} F dt - \int_{t=\mu}^{t=2\mu} F dt$
.....
($N-1$) ^e »	$\int_{t=(n-2)\mu}^{t=(n-1)\mu} y dt = \int_{t=(n-2)\mu}^{t=(n-1)\mu} F dt - \int_{t=(n-3)\mu}^{t=(n-2)\mu} F dt$
N^e »	$\int_{t=(n-1)\mu}^{t=n\mu} y dt = \int_{t=(n-1)\mu}^{t=n\mu} F dt - \int_{t=(n-2)\mu}^{t=(n-1)\mu} F dt$

Après avoir additionné toutes ces équations membre à membre, il reste :

$$\int_{t=0}^{t=n\mu} y dt = \int_{t=(n-1)\mu}^{t=n\mu} F dt \tag{5}$$

Le premier membre représente la surface s_n du graphique de surpression comprise entre la courbe y , l'axe des abscisses et les ordonnées d'abscisses o et n . Le second membre représente la surface comprise entre la courbe F , l'axe des abscisses et les ordonnées d'abscisses $n-1$ et n .

13. — Si la courbe F durant le N^e intervalle est telle que l'on ait :

$$\int_{t=(n-1)\mu}^{t=n\mu} y dt = \frac{F_n + F_{n-1}}{2} \frac{2L}{a} \tag{6}$$

c'est-à-dire si, dans cet intervalle, la courbe F est composée, par exemple, soit d'une droite, soit d'un élément de sinusoïde compris entre $\frac{\pi}{2}$ et $\frac{3\pi}{2}$ on aura, en appliquant la deuxième équation de 4) et pour $n\mu = T$;

$$V_o - V_T = \frac{gT}{L} \tag{1}$$

C'est bien là, la formule obtenue plus haut. Elle est donc parfaitement vérifiée par la théorie d'Allievi, pour la condition définie par la formule 6).

Pour savoir si cette condition est satisfaite pour un graphique donné on pourrait tracer la courbe F ; ce serait un travail assez long qu'on pourrait éviter de la façon suivante :

14. — Ecrivons la première équation de 4) pour la fin de chaque période et additionnons membre à membre, d'une part, jusqu'au $(N-1)^{ième}$ intervalle et, d'autre part, jusqu'au $N^{ième}$ intervalle, d'une façon analogue à ce que nous avons fait pour obtenir l'équation 5). On trouve alors :

$$F_{N-1} = y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} = \sum_{y_1}^{y_{n-1}} y \text{ et } F_N = F_{N-1} + y_n \tag{7}$$

En introduisant ces expressions dans 6), on a :

$$\int_{t=(n-1)\mu}^{t=n\mu} F dt = \mu \left(\sum_{y_1}^{y_{n-1}} y + \frac{y_n}{2} \right)$$

Si donc la surface du graphique est trouvée égale au produit de μ par la somme entre parenthèses, la formule 1) est exacte et applicable.

S'il y a inégalité, la formule 1) n'est pas rigoureusement exacte. Disons d'emblée que l'erreur sera *très petite* comme nous le montrerons plus loin.

On pourrait aussi chercher à obtenir une loi de fermeture satisfaisant à la condition exprimée par la formule 6), par exemple une variation strictement linéaire de la vitesse de l'eau conviendrait parfaitement. Malheureusement, il est extrêmement difficile, sinon impossible de réaliser une loi mathématiquement définie car dans la détermination de la loi de manœuvre de l'organe obturateur, il faut tenir compte de la seconde équation de 2, non seulement pour un cas mais pour un assez vaste champ de valeurs de V_o , T et x , autant dire que la chose n'est pas possible.

Par ce qui précède, on peut voir que la méthode Gibson tient bien compte de la compressibilité de l'eau et de l'élasticité de la conduite. L'approximation théorique peut être déterminée par la différence des membres de l'équation 6. Nous l'avons étudiée plus loin, au paragraphe 19. On verra alors que l'exactitude théorique de cette nouvelle méthode est très bonne.

Cependant, afin d'être bien complets, nous donnons les deux méthodes suivantes. (A suivre.)