

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 66 (1940)
Heft: 10

Artikel: La chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat
Autor: Ebner, Maurice
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-50654>

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 15 jours

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs
Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs
Etranger : 12 francs

Prix du numéro :
75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

ANNONCES

Le millimètre sur 1 colonne,
largeur 47 mm :
20 centimes.

Rabais pour annonces
répétées.

Tarif spécial
pour fractions de pages.

Fermage des annonces :
Annonces Suisses S. A.
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)
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 d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. —

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : M. IMER, à Genève ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur cantonal ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, 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. EPITAUX, architecte ; M. IMER.

SOMMAIRE : La chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat (suite), par MAURICE EBNER. — Société suisse des ingénieurs et des architectes : Communiqué du secrétariat. — BIBLIOGRAPHIE. — SERVICE DE PLACEMENT.

La chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat,

par MAURICE EBNER.

(Suite.)¹

CHAPITRE II

Essais sur modèle.

Les possibilités de la chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat ont été explorées sur modèle réduit au *Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne*. Des essais systématiques, en partie enregistrés graphiquement, ont permis la détermination expérimentale des principales dimensions de ce type de chambre. Diverses manœuvres d'ouverture de l'obturateur d'aval ont donné lieu à une classification et ont mis en évidence l'action capitale exercée par l'orifice de section réduite formant étranglement au double point de vue de l'amortissement de l'oscillation en masse et de la limitation des amplitudes en cas de manœuvres successives ou alternatives rythmiques.

Installations.

Les essais ont été exécutés sur un système hydraulique ayant les caractéristiques générales suivantes :

Bassin d'accumulation :

Niveau maintenu constant par un déversoir de très grand développement.

Galerie d'amenée :

Longueur de la galerie $L = 70,84$ m, ou $101,74$ m. Diamètre intérieur de 150 mm correspondant à une section de $f = 176,70$ cm²

Les pertes de charge mesurées au modèle n'étaient pas rigoureusement proportionnelles au carré de la vitesse. Pour les débits inférieurs à 20 dm³/sec, on a admis la parabole

$$P_w = 0,00945 LW^2$$

Chambre d'équilibre :

Surfaces horizontales

Section maximum du tube $F_z = 403$ cm²
Section maximum du réservoir $F_y = 1578$ cm²
Section totale maximum $F = 1981$ cm²

Hauteurs

Hauteur comptée au-dessous du niveau statique de la retenue et jusqu'au niveau de l'axe de la galerie d'amenée
 $L' = 474$ mm.

Hauteur comptée au-dessus du niveau statique de la retenue et jusqu'au seuil du déversoir L'' variable de 60 à 180 mm.

Déversoir et étranglement

Tube avec deux déversoirs de longueur $b_y = 169$ mm.

L'orifice de section ajustable O_y , formant étranglement, est au niveau de l'axe de la galerie d'amenée.

Conduite forcée :

Hauteur de chute mesurée du niveau statique de la retenue à l'axe de l'obturateur

débitant à l'air libre $H = 1113,4$ mm

Longueur de la conduite $L_c = 1512$ mm

Diamètre intérieur de 150 mm correspondant à une section $f = 176,70$ cm².

La conduite forcée étant de très petite longueur par rapport à la galerie d'amenée, on peut admettre que cette conduite n'introduit aucune perte de charge supplémentaire et que le coup de béliard d'onde y est négligeable. On peut donc considérer que la conduite forcée n'existe pas et qu'on se trouve dans le cas d'une usine située au pied de la chambre d'équilibre.

Obturateur d'aval :

Obturateur permettant l'ouverture et la fermeture à vitesse de manœuvre constante (manœuvres linéaires) formé d'une vanne actionnée par un moteur triphasé à deux vitesses tournant continuellement et accouplé magnétiquement à un démultiplicateur inverseur de sens de marche. Commande électrique pour l'ouverture, l'arrêt et la fermeture aboutissant à une position quelconque de l'obturateur. Les manœuvres possibles

¹ Voir *Bulletin technique* du 4 mai 1940, p. 97.

permettent les augmentations ou diminutions de débit suivantes, ceci pendant l'unité de temps

$$\xi_1 \text{ variation linéaire de débit } \pm \frac{dQ}{dt} = 0,778 \text{ dm}^3/\text{s}^2$$

$$\xi_2 \text{ variation linéaire de débit } \pm \frac{dQ}{dt} = 0,394 \text{ dm}^3/\text{s}^2$$

$$\xi_3 \text{ variation linéaire de débit } \pm \frac{dQ}{dt} = 0,212 \text{ dm}^3/\text{s}^2$$

Le débit de l'obturateur d'aval est mesuré par un déversoir de contrôle. Un tarage minutieux de toutes les constantes du système a précédé les essais.

Les graphiques qui suivent donnent, en fonction du temps, les variations des plans d'eau dans la chambre d'équilibre. Ils sont la reproduction photographique de la restitution des originaux enregistrés par un chronographe Amsler donnant les tracés directs et simultanés des mouvements des plans d'eau et de l'obturateur de commande, tracés de 56 cm d'amplitude maximum. Pour mieux faire ressortir l'influence progressive d'un changement de section de l'orifice formant étranglement, les copies ont été superposées sur le même dessin. Les légendes indiquent, outre l'ordre des superpositions, toutes les caractéristiques particulières du modèle auquel se rapportent les enregistrements.

Précisons que, pour tous les essais de fermeture totale exécutés, la cote du déversoir a été chaque fois ajustée pour satisfaire exactement à la condition de capacité minimum du réservoir, ce dernier étant rempli à l'instant précis de la fin du déversement du tube.

A. Chambre d'équilibre différentielle permettant d'obtenir l'amortissement immédiat. $F_z : F_y = 11 : 30$.

I. Fermetures progressives linéaires totales.

Les essais ont porté sur une série de sept chambres appliquées à deux galeries d'amenée de longueurs différentes. L'obturateur d'aval réalisait, avec les deux rapi-

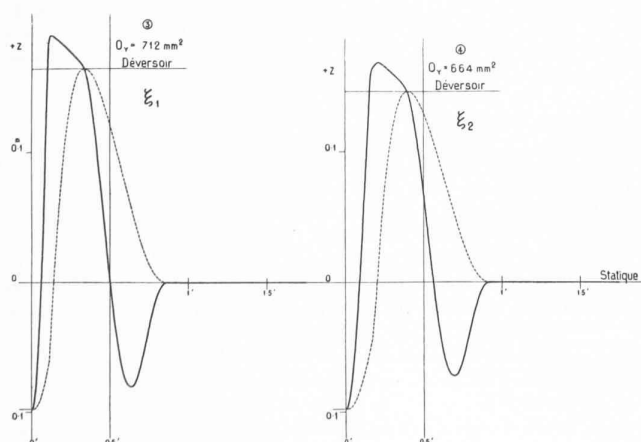


Fig. 5. — Chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat. Fermetures progressives linéaires de 5 à 0 dm³/s. Rapidité de manœuvre de l'obturateur $\xi_1 = \frac{dQ}{dt} = 0,778 \text{ dm}^3/\text{s}^2$ $\xi_2 = \frac{dQ}{dt} = 0,394 \text{ dm}^3/\text{s}^2$. Galerie d'amenée de 101,74 m de longueur et de 150 mm de diamètre. Les sections respectives du tube et du réservoir sont de 403 et 1116 cm². Les chiffres entourés d'un cercle renvoient aux numéros des essais figurant sur le tableau numérique.

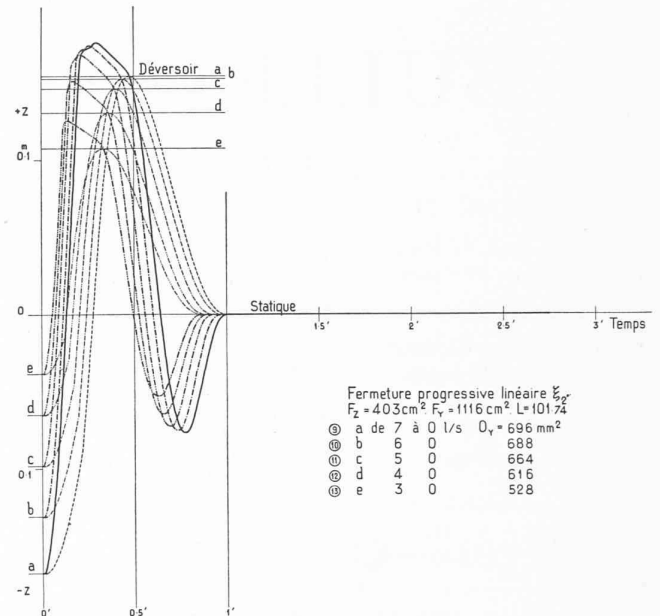


Fig. 7. — Chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat. Fermeture progressive linéaire totale de différents débits.

dités de manœuvre ξ_1 et ξ_2 , des fermetures linéaires totales à partir de différents débits.

A titre d'exemple, nous donnons quelques enregistrements faisant ressortir l'amortissement immédiat dès l'instant de la première conjonction des plans d'eau du tube et du réservoir (fig. 5 et 6).

La superposition de la figure 7 illustre l'allure parabolique que prend, en fonction du débit, la courbe des hauteurs successives du déversoir mesurées au-dessus du niveau statique.

On remarque encore cette même allure dans la courbe des descentes consécutives à la première montée. De

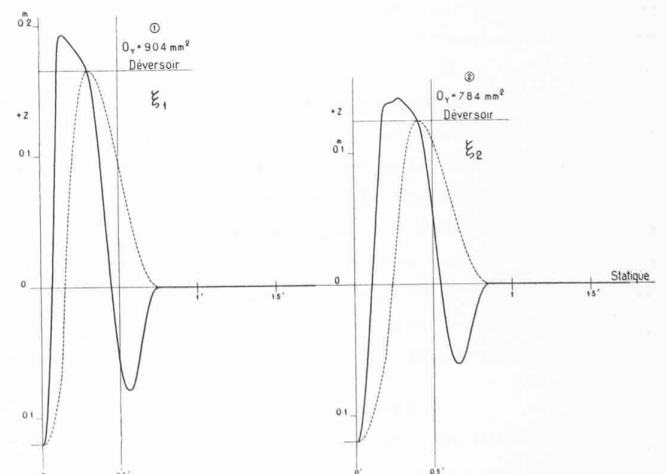


Fig. 6. — Chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat. Fermetures progressives linéaires de 7 à 0 dm³/s. Rapidité de manœuvre de l'obturateur $\xi_1 = 0,778 \text{ dm}^3/\text{s}^2$ $\xi_2 = 0,394 \text{ dm}^3/\text{s}^2$. Galerie d'amenée de 70,84 m de longueur et de 150 mm de diamètre. Les sections respectives du tube et du réservoir sont de 403 et 1116 cm².

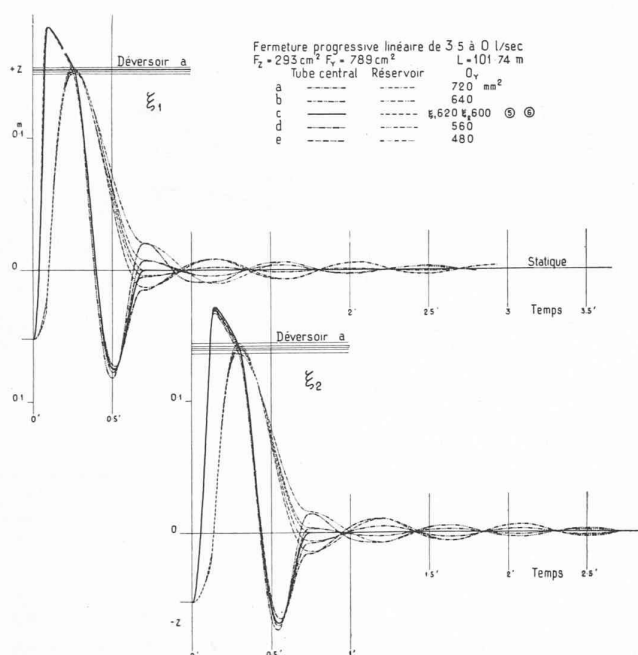


Fig. 8.

plus, ces descentes sont très sensiblement égales à la moitié de la hauteur du déversoir, le niveau statique de la retenue étant toujours pris comme plan de comparaison. Cette remarque s'est vérifiée pour tous les essais exécutés. Les enregistrements permettent en outre de se rendre compte que, d'une façon générale, la cote du déversoir est fonction de la vitesse de manœuvre ξ de l'obturateur d'aval. Plus la fermeture est rapide et plus cette cote est élevée, ceci pour un débit donné.

Si l'on cherche ce qui se passe dès qu'on dérègle l'orifice de section réduite formant étranglement en l'écartant, par excès ou par défaut, de la valeur donnant l'amortissement immédiat, toutes autres conditions restant égales, on voit qu'après la première conjonction au voisinage du niveau statique de la retenue, il subsiste une petite oscillation rapidement amortie (fig. 8).

L'amplitude de cette oscillation croît à mesure que l'on s'écarte de la valeur optimale et sa période est égale à la période des oscillations donnée par les auteurs Calame et Gaden, si l'on a soin de prendre pour la valeur de la section de la chambre la somme des sections du tube et du réservoir. Les passages au niveau statique de la retenue sont exactement isochrones et les variations de la cote du déversoir sont peu importantes. Les enregistrements de la figure 8 ont été obtenus par des manœuvres de fermetures progressives linéaires totales, partant toutes du même débit permanent, en faisant varier seulement la section réduite formant étranglement et la vitesse de manœuvre de l'obturateur d'aval.

II. Ouvertures progressives linéaires.

La superposition des enregistrements effectués montre que la chambre donnant l'amortissement immédiat pour une manœuvre de fermeture ne donne pas en même temps un résultat équivalent pour une manœuvre d'ou-

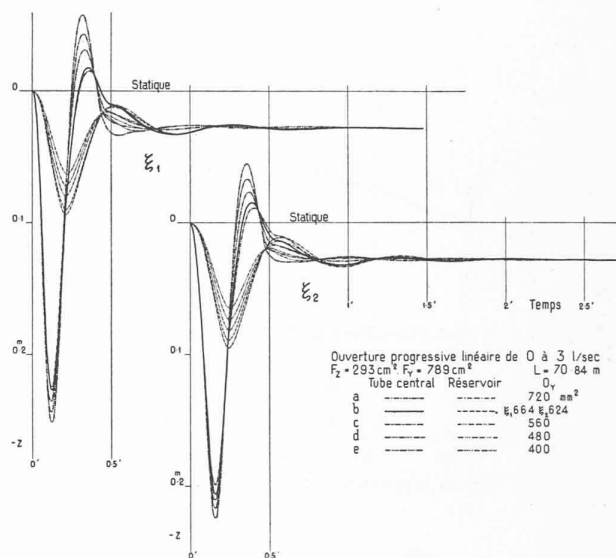


Fig. 9.

verture. On peut améliorer l'amortissement en réduisant la section de l'étranglement, mais cette amélioration se fait au détriment de la sécurité de marche car plus l'étranglement est prononcé, plus importante aussi est la première descente du plan d'eau dans le tube. On risque ainsi davantage les rentrées d'air dans la conduite forcée.

Comme pour les manœuvres de fermeture, on a fait varier, pour les manœuvres d'ouverture progressives linéaires de la figure 9, uniquement la section réduite formant étranglement et la rapidité de manœuvre de l'obturateur.

La valeur de l'étranglement donnant l'amortissement immédiat à la fermeture peut être conservé pour l'ouverture, car l'amortissement des oscillations est encore tout à fait satisfaisant. L'ouverture continue jusqu'au débit maximum des installations est rare. Les manœuvres d'ouverture se font habituellement par fractions successives décalées dans le temps.

III. Particularités de la chambre d'équilibre à amortissement immédiat.

On a cherché à déterminer, à l'aide des résultats des expériences faites, l'influence réciproque de quelques-uns des éléments principaux du système hydraulique savoir : les sections du tube et du réservoir, la cote du déversoir et le débit constant, en régime permanent, absorbé par les turbines avant une manœuvre de fermeture totale.

a) Influence du rapport des sections respectives du tube et du réservoir.

En portant en abscisse la section F_y du réservoir et en ordonnée la section F_z du tube nous trouvons, pour tous les essais de fermeture totale exécutés, des points situés très sensiblement sur une droite passant par l'origine (fig. 10).

Le coefficient angulaire de cette droite est voisin de onze trentièmes, valeur définissant le rapport constant, trouvé expérimentalement, entre la section du tube et celle du réservoir pour que l'amortissement soit total

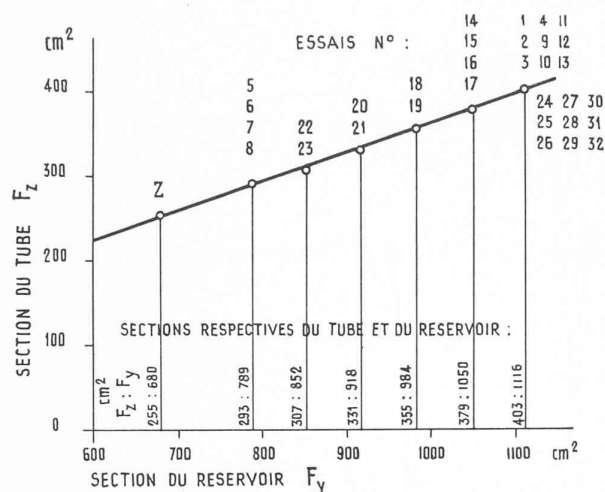


Fig. 10.

après une oscillation complète du plan d'eau dans le tube et une demi-oscillation du plan d'eau dans le réservoir. Il reste entendu que le réservoir est rempli à l'instant précis de la fin du déversement du tube.

Les petites variations d'alignement paraissent provenir de l'influence des longueurs des déversoirs qui ne sont pas identiques dans tous les cas.

b) *Influence du débit constant Q_0 absorbé en régime permanent par les turbines avant une manœuvre de fermeture totale sur la cote du déversoir.*

La cote du déversoir peut se substituer, à la hauteur de la lame déversante près, à la plus grande montée du plan d'eau dans le tube. Elle est par contre rigoureusement égale à la plus grande montée du plan d'eau dans le réservoir (condition de capacité minimum du réservoir). Cette substitution est avantageuse et justifiée. Elle est avantageuse en ce sens qu'elle permet de faire abstraction de la hauteur de la lame déversante. Elle est justifiée parce que la hauteur de la lame est faible dès que la longueur du déversoir est au moins égale au diamètre du tube, ce qui est pratiquement toujours le cas. Les essais exécutés ont montré la faible répercussion qu'avait la longueur du déversoir sur la cote D de l'arête déversante mesurée au-dessus du niveau statique de la retenue.

En portant en abscisse le débit Q_0 et en ordonnée la cote D de l'arête déversante nous trouvons, pour tous les essais de fermeture totale exécutés et pour un même système hydraulique, des points situés très sensiblement sur un arc de parabole à axe vertical, l'une des branches passant par l'origine (fig. 11).

Cette constatation est importante et sera utilisée pour l'établissement d'une formule expérimentale permettant la détermination des dimensions de la chambre.

Chacun de ces arcs correspond à des valeurs bien définies des constantes du système hydraulique: longueur et diamètre de la galerie d'amenée, section totale de la chambre d'équilibre et vitesse de fermeture de l'obturateur d'aval.

La figure 11 illustre le cas particulier de fermetures

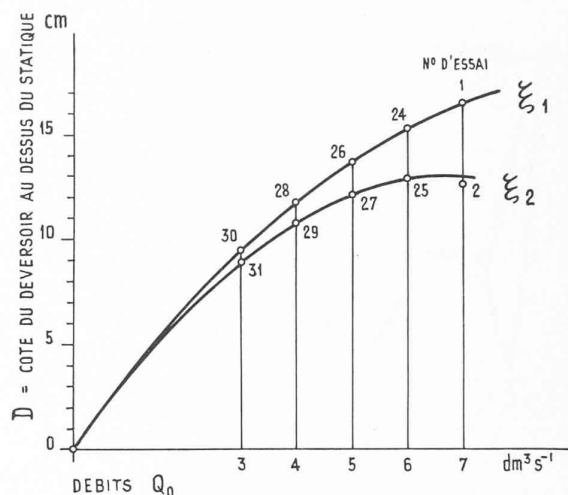


Fig. 11.

totales exécutées à des vitesses de fermeture ξ_1 et ξ_2 dans une chambre d'équilibre ayant un tube de 403 cm² et un réservoir de 1116 cm² de section horizontale. La longueur de la galerie d'amenée est de 101,74 m et son diamètre de 150 mm.

B. Chambres d'équilibre différentielles ne permettant pas d'obtenir l'amortissement immédiat. $F_z : F_y \geq 11 : 30$.

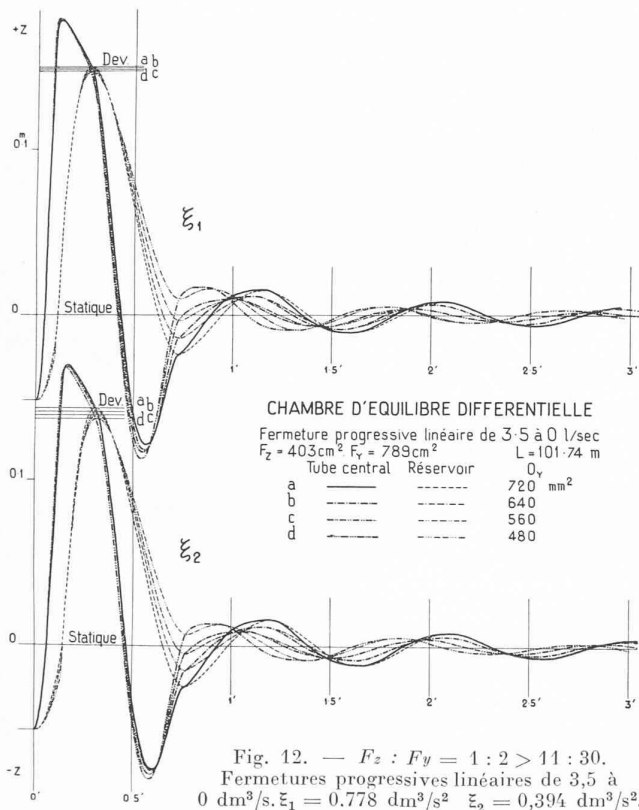
I. Fermetures progressives linéaires totales.

Les essais qui suivent font ressortir l'impossibilité qu'il y a d'obtenir l'amortissement immédiat dès que l'on s'écarte du rapport onze trentièmes indiqué comme nécessaire entre la section du tube et celle du réservoir. Dans les deux cas où l'on s'en écarte, soit par excès soit par défaut, il subsiste toujours une oscillation amortie après la première conjonction des plans d'eau dans le voisinage du niveau statique. L'amplitude de cette oscillation est minimum lorsque les caractéristiques de la chambre sont les plus rapprochées de celles de la chambre à amortissement immédiat de même surface totale.

Une première série d'enregistrements se rapporte à une chambre ayant, entre la section du tube et celle du réservoir, un rapport égal à 1 : 2 soit *supérieur* à celui nécessaire pour obtenir l'amortissement immédiat (chambre s'éloignant par excès, c'est-à-dire comportant un plus gros tube). Comme précédemment, les essais ne diffèrent que par la vitesse de manœuvre de l'obturateur et la section de l'étranglement.

L'examen de la figure 12 montre que l'amortissement complet ne peut pas être atteint immédiatement. Une réduction de l'étranglement entraîne une précession des passages au niveau statique de la retenue, ces passages n'étant plus isochrones, comme dans la chambre permettant l'amortissement immédiat, mais successivement décalés en arrière dans le temps.

Une seconde série d'enregistrements, exécutés dans les mêmes conditions, se rapportent à une chambre ayant, entre la section du tube et celle du réservoir, un rapport égal à 1 : 4 soit *inférieur* à celui nécessaire pour obtenir



l'amortissement immédiat (chambre s'éloignant par défaut, c'est-à-dire comportant un tube plus petit ; ce cas se rapproche de celui envisagé par M. R. D. Johnson).

L'examen des figures 13 à 18 montre que là non plus l'amortissement complet ne peut pas être atteint immédiatement. Une réduction de l'étranglement entraîne encore une précession des passages au niveau statique de la retenue qui sont maintenant successivement décalés en avant dans le temps.

II. Ouvertures progressives linéaires.

L'allure des enregistrements correspondant aux manœuvres d'ouverture progressives linéaires est toujours la même. La première descente du plan d'eau dans le tube est d'autant plus accentuée que la section de ce dernier est plus réduite, que l'étranglement est plus prononcé et que la vitesse de manœuvre de l'obturateur d'aval est plus grande. L'amortissement des oscillations est comparable à celui obtenu, à l'ouverture, avec la chambre à amortissement immédiat.

C. Classification des manœuvres de l'obturateur. Ouvertures linéaires successives.

La mise en marche d'une usine hydroélectrique n'entraîne généralement pas l'appel instantané du débit maximum. A une augmentation du nombre des groupes correspond le plus souvent une répartition du débit dans le temps et le décalage des prises de charge successives a une influence sur la détermination des dimensions de la chambre d'équilibre à l'ouverture. Les essais suivants

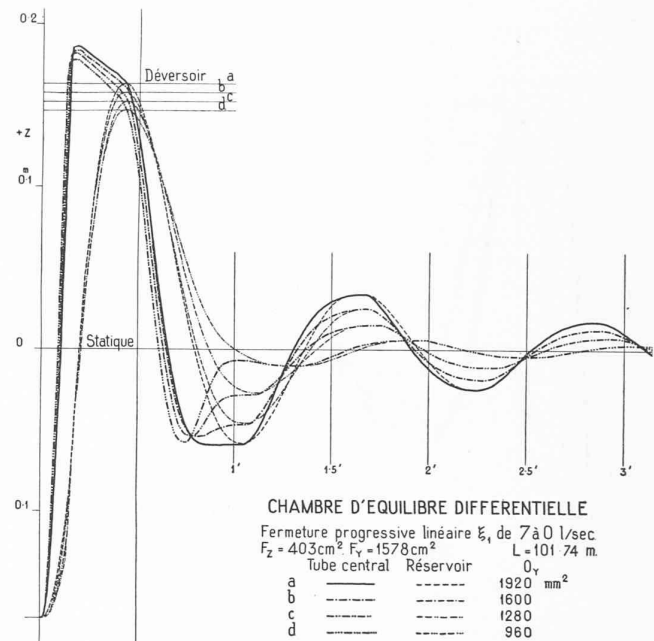


Fig. 13.

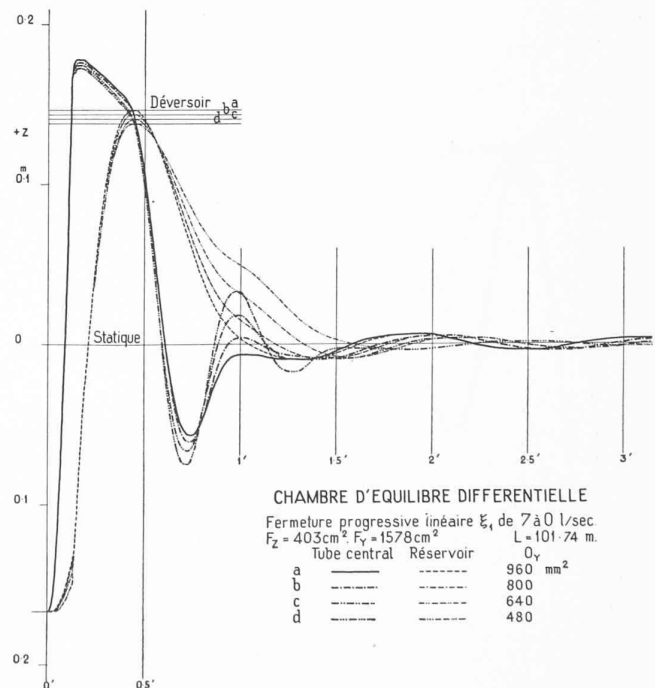


Fig. 14. — $F_z : F_v = 1 : 4 < 11 : 30$.
 Fermetures progressives linéaires de 7 à 0 dm³/s. Rapidité de manœuvre de l'obturateur $\xi_1 = 0,778 \text{ dm}^3/\text{s}^2$.

illustrent ce fait et servent à classer les manœuvres d'ouvertures linéaires successives.

Une manœuvre d'ouverture de l'obturateur d'aval est généralement suivie, dans le tube d'une chambre d'équilibre différentielle, d'une continuation de la descente du plan d'eau jusqu'à un minimum à partir duquel le plan d'eau remonte jusqu'à un maximum ; l'amortissement de cette oscillation suit très rapidement. Cette

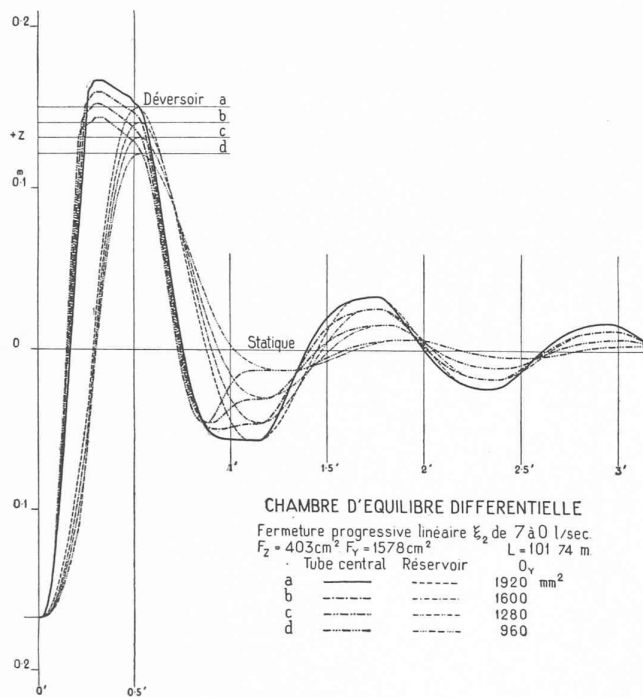


Fig. 15.

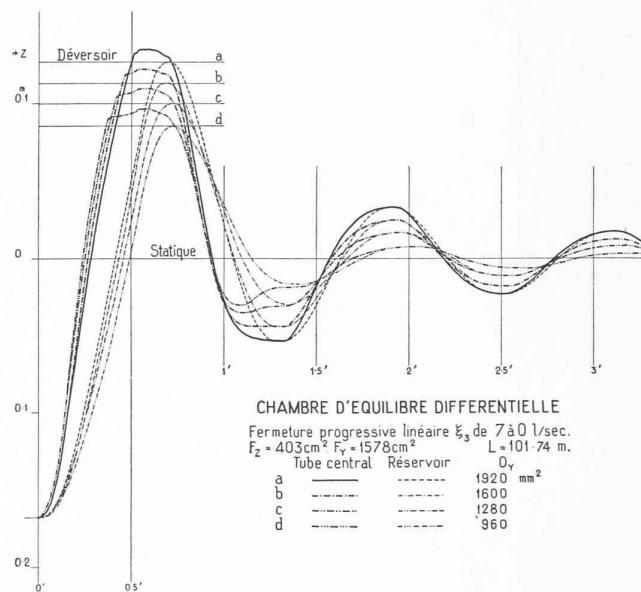


Fig. 17.

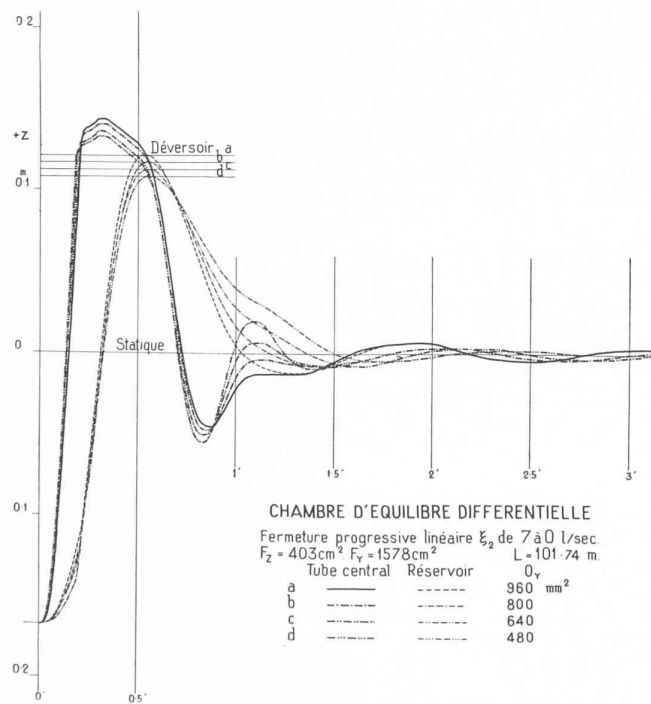


Fig. 16. — $F_z : F_y = 1 : 4 < 11 : 30$.
 Fermures progressives linéaires de 7 à 0 dm³/s. Rapidité de manœuvre de l'obturateur $\xi_2 = 0,394\text{ dm}^3/\text{s}^2$.

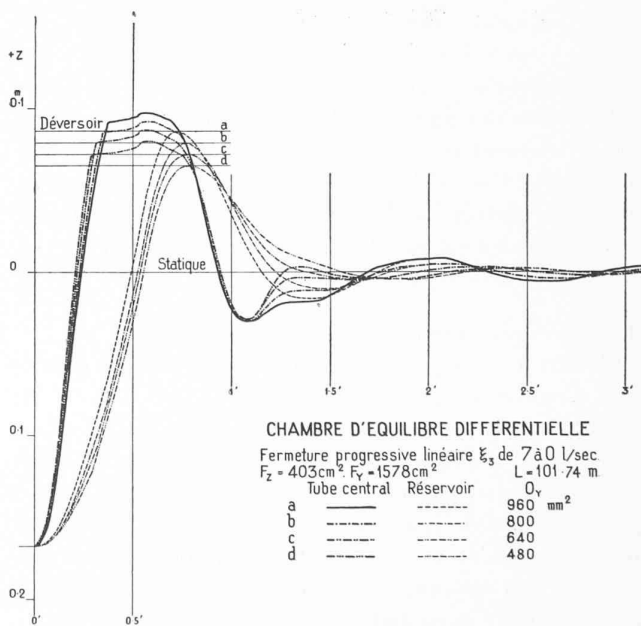


Fig. 18. — $F_z : F_y = 1 : 4 < 11 : 30$.
 Fermures progressives linéaires de 7 à 0 dm³/s. Rapidité de manœuvre de l'obturateur $\xi_3 = 0,212\text{ dm}^3/\text{s}^2$.

période transitoire peut être troublée par une nouvelle manœuvre qui peut débuter alors que le plan d'eau dans le tube est encore descendant, au point bas, ascendant, au point haut ou en période d'amortissement consécutive à ce maximum.

Nous désignons par *type A* (fig. 19) une manœuvre d'ouverture suivant immédiatement une manœuvre

d'ouverture précédente terminée, l'ouverture suivante étant commencée alors que le plan d'eau dans le tube n'a pas achevé sa première descente. (Les enregistrements illustrent le cas particulier d'une usine comportant trois groupes d'égale puissance.)

Nous désignons par *type B* (fig. 20) une manœuvre d'ouverture commencée alors que le plan d'eau dans le

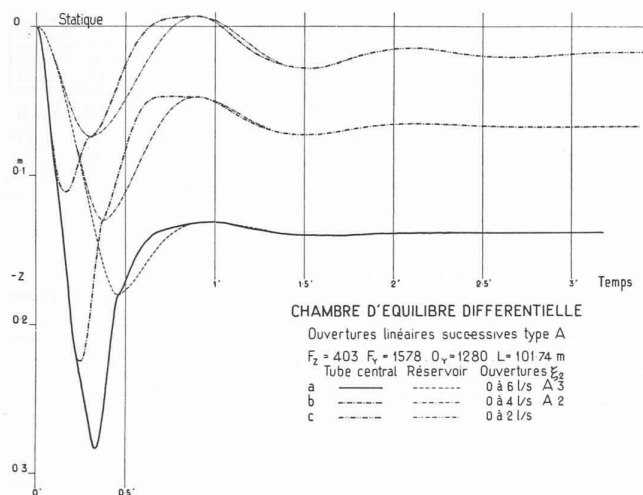


Fig. 19.

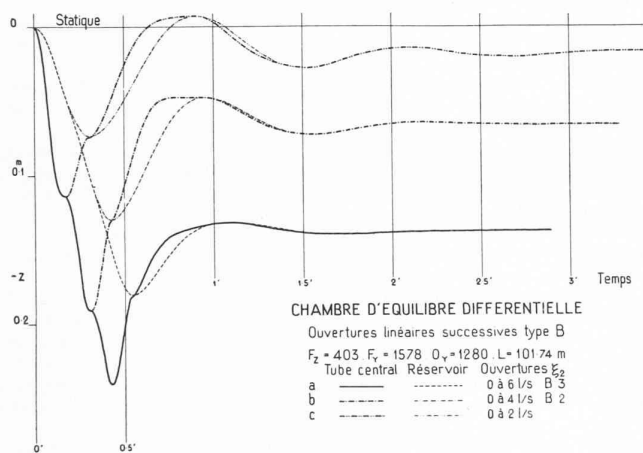


Fig. 20.

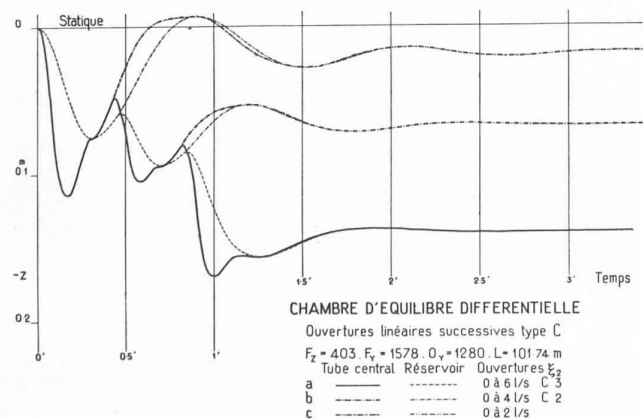


Fig. 21.

tube est au premier point bas suivant la fin de la manœuvre précédente. (Le début de la seconde manœuvre a lieu à l'instant où la vitesse de l'eau est nulle dans le tube.)

Nous désignons par *type C* (fig. 21) une manœuvre d'ouverture commencée alors que le plan d'eau dans le tube est ascendant pour la première fois, cette première montée suivant la fin de la manœuvre précédente. (Le

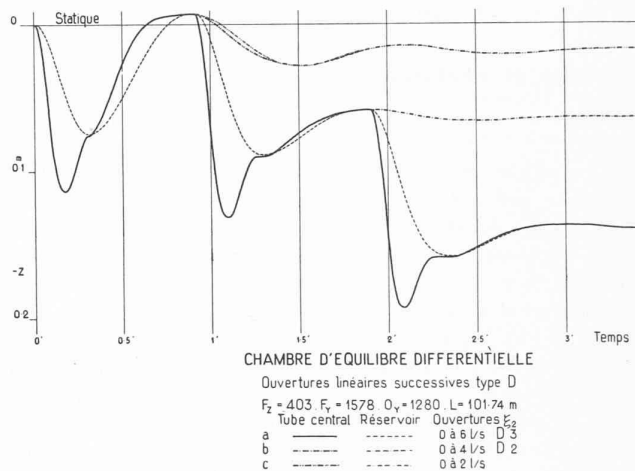


Fig. 22.

début de la seconde manœuvre a lieu à l'instant où la vitesse de l'eau est maximum dans le tube.)

Nous désignons par *type D* (fig. 22) une manœuvre d'ouverture commencée alors que le plan d'eau dans le tube est au premier point haut suivant la fin de la manœuvre précédente. (Le début de la seconde manœuvre a lieu à l'instant où la vitesse de l'eau est nulle dans le tube.)

Nous désignons enfin par *type E* une manœuvre d'ouverture commencée alors que les oscillations du plan d'eau dans le tube sont totalement amorties.

Il est aisé de se rendre compte, en comparant les enregistrements, que la plus petite descente du plan d'eau dans le tube a lieu à la suite d'une manœuvre d'ouverture du type C. Il y aura donc intérêt, en exploitation, à se rapprocher de ce type de mise en marche.

(A suivre.)

SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

Communiqué du Secrétariat.

Les comptes de la Société pour l'année 1939 seront adressés au courant du mois de mai aux membres de la Société, avec prise en remboursement de la cotisation pour 1940 au montant de Fr. 12 ou Fr. 6 pour les membres âgés de moins de 30 ans. Les membres de la Section vaudoise S. I. A. verseront par contre la cotisation centrale, suivant avis spécial, à leur section. Pour éviter toute erreur nous attirons spécialement l'attention de nos membres sur le fait qu'il s'agit de la cotisation pour la caisse centrale et non pas celle de leur section.

Les intéressés sont priés de ne pas laisser retourner le recouvrement faute d'instructions données à leur entourage. On peut s'acquitter aussi, en cas d'absence, par versement au compte de chèques postaux VIII. 5594 Zurich.

Les changements d'adresses doivent être communiqués au Secrétariat aussitôt que possible.

Zurich, le 10 mai 1940.

Le Secrétariat.