

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 66 (1940)  
**Heft:** 12

**Artikel:** La chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat  
**Autor:** Ebner, Maurice  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-50655>

### **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

### 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<sup>ie</sup>, à Lausanne.

Paraissant tous les 15 jours

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.

### 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

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 et fin), par MAURICE EBNER. — DIVERS : *Chronique de la propriété industrielle*. — *Du rêve à la réalisation*. — BIBLIOGRAPHIE. — COMMUNIQUÉ. — SERVICE DE PLACEMENT.

## La chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat,

par MAURICE EBNER.

(Suite et fin)<sup>1</sup>.

Cherchons maintenant à déterminer l'influence de la section réduite formant étranglement sur l'amortissement de l'oscillation en masse consécutive à une succession d'ouvertures linéaires.

Les superpositions des figures 23, 24 et 25 concernent des ouvertures linéaires successives d'un même débit total réparti en fractions égales correspondant à la mise en marche d'un nombre de groupes respectivement égal à 3, 4, 5, 6 et 7. Ces ouvertures, aboutissant au même débit final et exécutées pour différentes valeurs de la vitesse de manœuvre et de la section de l'étranglement, sont ici du type désigné par la lettre B affectée d'un indice correspondant au nombre des ouvertures fractionnées successives.

L'examen des nombreux enregistrements exécutés fait ressortir que *la section de l'étranglement entraînant le meilleur amortissement est parfaitement définie. Elle est à peu près indépendante du nombre des ouvertures successives ainsi que de la vitesse de manœuvre de l'obturateur d'aval.*

Les enregistrements de la figure 23 mettent en évidence, dans le cas particulier envisagé, que pour une valeur de l'étranglement égale à 800 mm<sup>2</sup> l'amortissement est sensiblement immédiat à la conjonction des

plans d'eau du tube et du réservoir, ceci pour les deux vitesses de manœuvre  $\xi_1$  et  $\xi_2$  de l'obturateur d'aval.

Les expériences faites ont permis, dans chaque cas, d'obtenir exactement l'amortissement immédiat. Toutes autres conditions restant égales, la variation de l'étranglement en deçà et au delà de la valeur donnant cet amortissement entraîne une augmentation de la durée du régime de transition. Les figures 24 et 25 précisent l'allure du phénomène pour des étranglements respectivement égaux à 1600 et 480 mm<sup>2</sup>.

### D. Manœuvres alternatives rythmiques.

Les changements de régime de marche successifs peuvent amener des coïncidences dangereuses avec les mouvements de l'eau dans le tube, risquant de provoquer des entrées d'air dans la conduite forcée. Les plus défavorables sont les manœuvres alternatives rythmiques décalées d'un multiple d'un quart de période de l'oscillation du plan d'eau dans le tube. De telles manœuvres provoquent des oscillations dont l'amplitude varie avec la section de l'orifice formant étranglement.

Les essais ont porté sur des manœuvres alternatives exécutées tant à faible débit que dans le voisinage du débit maximum. Il en ressort que l'amplitude des oscillations sera d'autant plus faible que la charge de l'usine sera plus importante. L'allure du phénomène est par contre toujours la même et à *chaque type de manœuvre correspond une valeur de l'étranglement entraînant un minimum de l'amplitude des oscillations.*

Dans la série de la figure 26 toute manœuvre de fermeture commence à l'instant où le niveau dans le tube est

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* des 4 mai 1940, p. 97 et 18 mai 1940, p. 109.

au point le plus bas, et la manœuvre d'ouverture suivante débute à l'instant où ce même plan d'eau atteint son point le plus haut. Ces essais sont exécutés pour différentes valeurs de la section de l'étranglement, les autres caractéristiques de l'installation restant inchangées.

Dans la série de la figure 27, les manœuvres rythmiques sont effectuées à l'instant où le plan d'eau dans la chambre atteint le premier point haut suivant le premier point bas, puis le premier point bas suivant le premier point haut provoqué par la manœuvre précédente.

L'influence de l'étranglement est essentielle sur l'amortissement des oscillations. *Qu'il s'agisse de fermetures, d'ouvertures continues ou fractionnées, de manœuvres rythmiques enfin, il y a dans chaque cas une valeur bien*

déterminée de la section de l'étranglement provoquant un maximum d'amortissement.

Les essais présentés permettent de se rendre exactement compte du fonctionnement, du rôle et de l'influence des différents organes d'une chambre d'équilibre différentielle.

### CHAPITRE III

#### Equations générales et détermination des dimensions de la chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat.

##### Equations générales.

Les équations du mouvement d'ensemble des masses d'eau contenues dans le système hydraulique formé par les installations d'amenée et la chambre d'équilibre

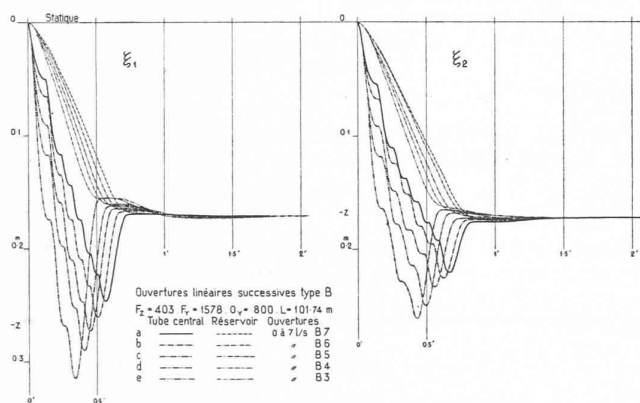


Fig. 23.

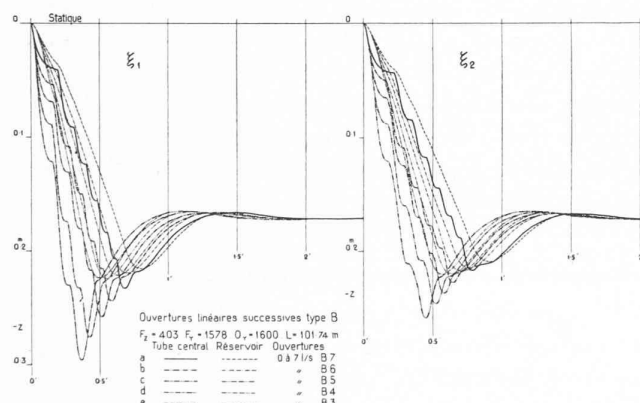


Fig. 24.

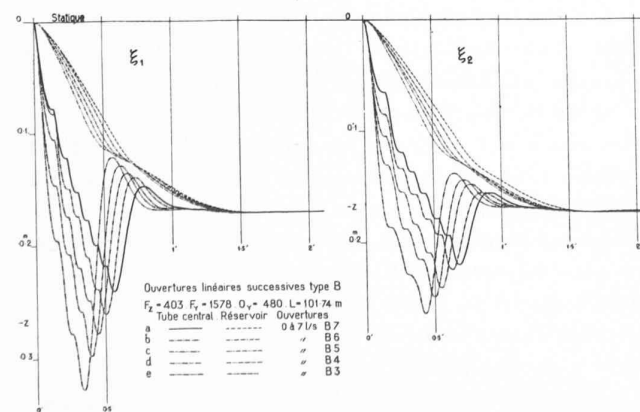


Fig. 25.

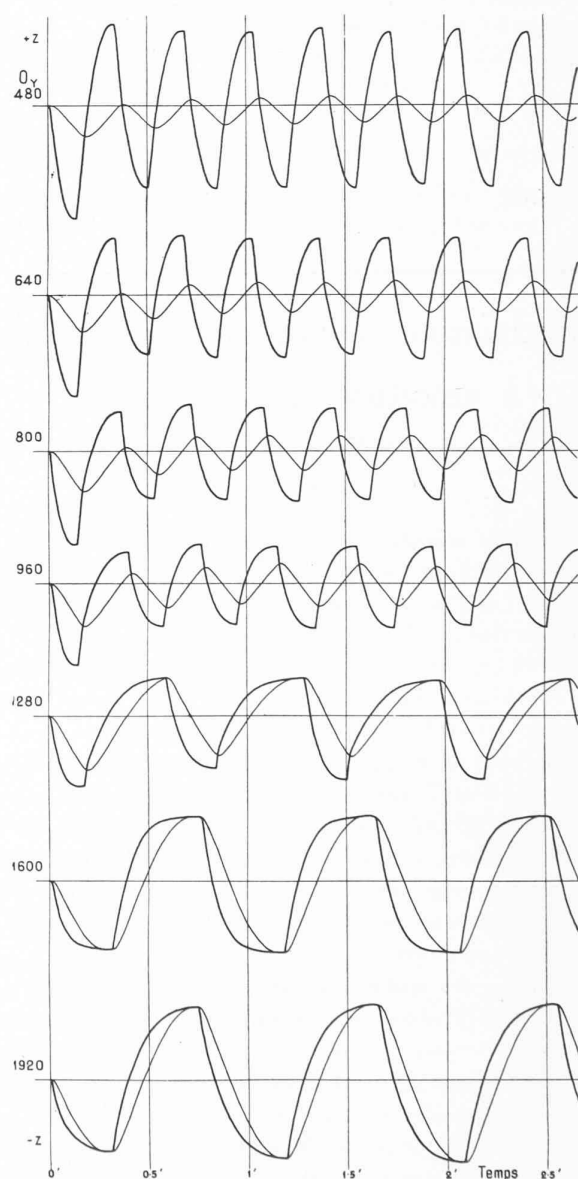


Fig. 26. — Manœuvres alternatives rythmiques type B entre 0 et 1 dm<sup>3</sup>/s. Rapidité de manœuvre de l'obturateur  $\xi_1 = 0,778$  dm<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>. Galerie d'amenée de 101,74 m de longueur et de 150 mm de diamètre. Les sections respectives du tube et du réservoir sont de 403 et 1578 cm<sup>2</sup>.

s'obtiennent par l'application du théorème des forces vives et par le respect des conditions de continuité des débits. Ces équations simultanées sont valables pour des manœuvres et des dimensions géométriques du système hydraulique quelconques. Pour singulariser la chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat, nous devons pratiquement, dans le cas d'une manœuvre de fermeture totale, introduire la condition supplémentaire caractérisant le fait que l'énergie totale du système hydraulique est annulée à l'instant précis des conjonctions des niveaux des plans d'eau dans la chambre avec le niveau statique de la retenue. Nous pouvons subsidiairement introduire la condition entraînant le volume minimum, qui se traduit par la simultanéité de la fin du déversement du tube et du remplissage total du réservoir.

A la suite des auteurs Calame et Gaden déjà cités, nous supposons que le niveau de l'eau dans le réservoir d'amont

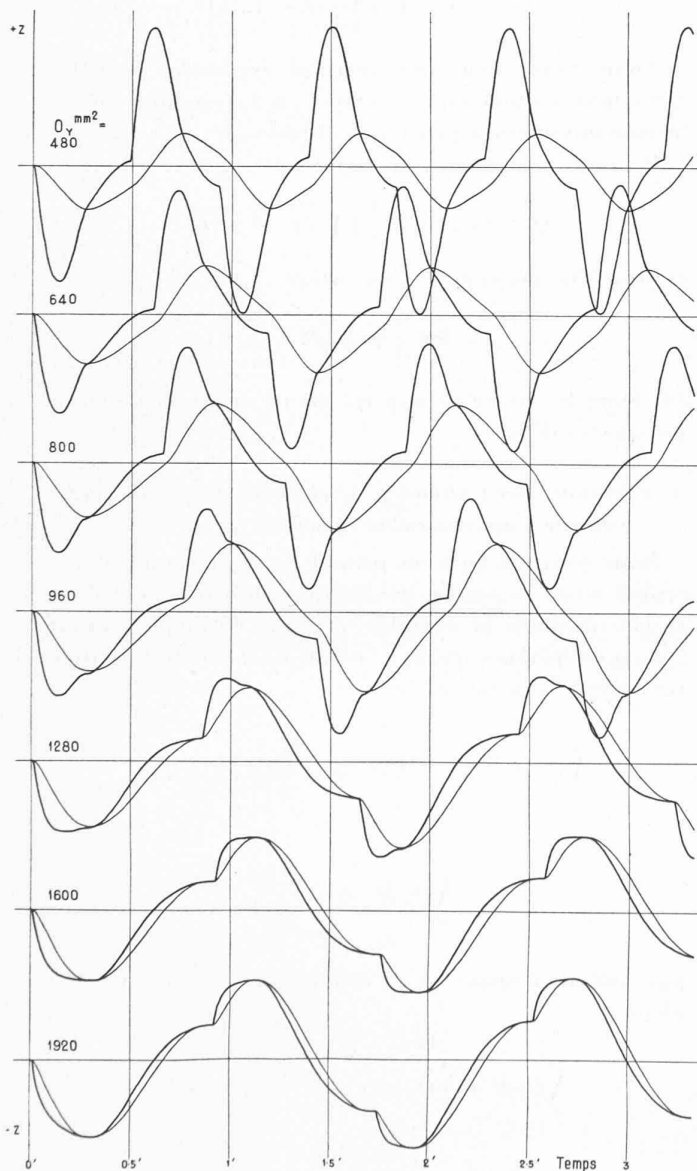


Fig. 27. — Manœuvres alternatives rythmiques type D entre 0 et 1 dm³/s. Rapidité de manœuvre de l'obturateur  $\xi_1 = 0,778 \text{ dm}^3/\text{s}^2$ .

est invariable durant le mouvement d'ensemble et que la galerie d'amenée demeure en charge pendant toute la durée de ce mouvement. Nous les suivons dans leurs remarques concernant les manœuvres d'aval de l'obturateur (op. cité § 12) qui gardent ici toute leur valeur.

Désignons par (fig. 28) :

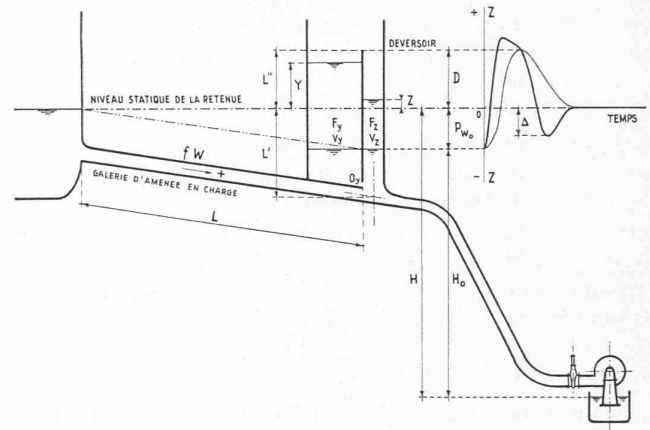


Fig. 28

- $f, F_z$  les sections constantes respectives de la galerie d'amenée et du tube de la chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat.
- $F_y$  la section constante du réservoir extérieur au tube.
- $W, V_z, V_y$  les vitesses moyennes de l'eau dans ces mêmes sections respectives à un instant donné  $t$ , compté à partir du début de la manœuvre d'aval.  $W$  est compté positivement quand le mouvement a lieu du lac vers la chambre.  $V_z$  et  $V_y$  sont admis comme positif quand elles entraînent un mouvement ascendant de l'eau dans le tube et le réservoir.
- $Q$  le débit qui, à l'instant  $t$ , continue à s'écouler dans la conduite forcée.
- $Q_g = f W$  le débit qui, à l'instant  $t$ , s'écoule dans la galerie d'amenée.
- $Q_z = F_z V_z$  le débit qui, à l'instant  $t$ , s'écoule dans le tube.
- $Q_y = F_y V_y$  le débit qui, à l'instant  $t$ , s'écoule dans le réservoir par l'orifice formant étranglement.
- $Q_{zy}$  le débit qui, à l'instant  $t$ , se déverse du sommet du tube dans le réservoir de section  $F_y$ . Tous les débits, à l'exclusion de  $Q_g$ , sont comptés comme négatifs quand ils sont dirigés vers le point d'intersection de l'axe du tube avec l'axe de la galerie d'amenée. Ils sont comptés comme positifs dans le cas contraire. (Le débit  $Q_{zy}$  est toujours positif pour une chambre d'équilibre bien établie.)
- $Q_o$  le débit constant, en régime permanent, absorbé par les turbines avant une manœuvre de fermeture ou après une manœuvre d'ouverture.
- $Z, Y$  les ordonnées, à l'instant  $t$ , des niveaux de l'eau dans le tube et dans le réservoir de section  $F_y$  repérées à partir du niveau de l'eau dans le lac (niveau statique) et comptées positivement au-dessus de ce niveau.
- $P_w$  la somme des pertes de charge dans la région située en amont de la chambre d'équilibre quand la vitesse est  $W$  dans la galerie d'amenée en charge.
- $P_{v_z}, P_{v_y}$  les pertes de charge totales dans le tube et dans le réservoir quand les vitesses respectives sont  $V_z$  et  $V_y$  (à l'exclusion des pertes de charge dans l'orifice formant étranglement).
- $R_{o_y}$  la perte de charge au travers de l'orifice de section réduite  $O_y$  formant étranglement.

$L$	la longueur de la galerie d'amenée.
$L'$	la hauteur de la chambre d'équilibre comptée au-dessus du niveau statique de la retenue et jusqu'au niveau de l'axe de la galerie d'amenée.
$L''$	la hauteur du tube comptée au-dessus du niveau statique de la retenue et jusqu'au seuil du déversoir.
$D$	la hauteur de l'arête déversante au-dessus de la même origine $D = L''$ .
$b_y$	la longueur de la crête du déversoir situé au sommet du tube et alimentant le réservoir.
$H$	la hauteur de chute comptée jusqu'au niveau statique de la retenue.
$\gamma$	le poids spécifique de l'eau.
$g$	l'accélération de la pesanteur.
$t$	le temps compté à partir du début d'une manœuvre de l'obturateur d'aval.
$\tau$	la durée de cette manœuvre si elle est continue et linéaire.

Toutes les unités étant exprimées en mètres (m) kilogrammes (kg) et secondes (s).

### 1. Théorème des forces vives.

A un instant  $t$  quelconque, la somme des travaux de la pesanteur et des frottements dans le système pendant le temps  $dt$  est égale à la différentielle de la demi-force vive des masses en mouvement pendant le même temps  $dt$ .

Deux cas se présentent suivant que le tube déverse ou non.

#### a) Il n'y a pas déversement au sommet du tube.

Nous avons, en ordonnant, l'équation différentielle générale :

$$fW \left[ \frac{L}{g} \cdot \frac{dW}{dt} \pm P_w \right] + F_z V_z \left[ \frac{L' + Z}{g} \cdot \frac{dV_z}{dt} \pm P_{v_z} + Z \right] + F_y V_y \left[ \frac{L' + Y}{g} \cdot \frac{dV_y}{dt} \pm P_{v_y} \pm R_{o_y} + Y \right] = 0$$

équation qui, en introduisant les débits, peut être mise sous la forme :

$$Q_g \left[ \frac{L}{gf} \cdot \frac{dQ_g}{dt} \pm P_w \right] + Q_z \left[ \frac{L' + Z}{g F_z} \cdot \frac{dQ_z}{dt} \pm P_{v_z} + Z \right] + Q_y \left[ \frac{L' + Y}{g F_y} \cdot \frac{dQ_y}{dt} \pm P_{v_y} \pm R_{o_y} + Y \right] = 0.$$

#### b) Il y a déversement au sommet du tube.

Nous avons maintenant, en introduisant les débits, l'équation générale :

$$Q_g \left[ \frac{L}{gf} \cdot \frac{dQ_g}{dt} \pm P_w \right] + Q_z \left[ \frac{L' + Z}{g F_z} \cdot \frac{dQ_z}{dt} \pm P_{v_z} + Z \right] + Q_y \left[ \frac{L' + Y}{g F_y} \cdot \frac{dQ_y}{dt} \pm P_{v_y} \pm R_{o_y} + Y \right] - Q_{zy} \left[ \frac{Q_z^2}{2g F_z^2} - \frac{Q_y^2}{2g F_y^2} \right] = 0.$$

Si la longueur du déversoir tendait vers l'infini, le débit  $Q_{zy}$  tendrait vers  $Q_z$  car il n'y aurait plus de variation de  $Z$  pendant toute la durée du déversement.

### 2. Equations de continuité.

L'équation générale de continuité s'étend à tout l'ensemble du système hydraulique et s'écrit :

$$Q_g = Q_z + Q_y + Q$$

$$\frac{dQ_g}{dt} = \frac{dQ_z}{dt} + \frac{dQ_y}{dt} + \frac{dQ}{dt}$$

Nous avons de plus une relation particulière entre  $Z$ ,  $Y$  et  $Q_y$  donnée par la formule de l'écoulement noyé au travers de l'orifice de section réduite  $O_y$  (le signe de  $Q_y$  dépend de ceux de  $Z$  et d' $Y$ )

$$Q_y = m O_y \sqrt{2g} (Z - Y)^{\frac{1}{2}}$$

Lorsqu'il y a déversement au sommet du tube, nous avons encore la relation suivante exprimant le débit passant sur l'arête déversante de longueur  $b_y$

$$Q_{zy} = n b_y \sqrt{g} \left[ \frac{2}{3} (Z - L'') \right]^{\frac{3}{2}}$$

Enfin nous avons une relation exprimant le débit s'écoulant, en fonction du temps, par la conduite forcée, la manœuvre étant progressive linéaire.

Pour une manœuvre de fermeture

$$Q = k w_o \left( 1 - \frac{t}{\tau} \right) \sqrt{2g (H + Z)}$$

et pour une manœuvre d'ouverture

$$Q = k w_o \frac{t}{\tau} \sqrt{2g (H + Z)}$$

$k w_o$  étant la section nette permettant, en régime établi, le passage du débit  $Q_o$ .

### 3. Equations particulières à la chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat.

Nous écrivons qu'à un instant  $t = t_E$  inconnu, il y a égalité entre la somme des travaux de frottement dans la galerie, dans la chambre et dans l'étranglement et l'énergie cinétique qui existait au moment de la fermeture totale (voir fig. 2)

$$\int_{t=t_A}^{t=t_E} Q_g P_w dt + \int_{t=t_A}^{t=t_E} Q_z P_{v_z} dt + \int_{t=t_A}^{t=t_E} Q_y P_{v_y} dt + \int_{t=t_A}^{t=t_E} Q_y R_{o_y} dt = \frac{L Q_o^2}{2gf}$$

puis subsidiairement qu'à l'instant  $t = t_C$  le réservoir est plein

$$\int_{t=t_A}^{t=t_C} Q_y dt + \int_{t=t_A}^{t=t_C} Q_{zy} dt = (P_{w_o} + L'') F_y$$

Cette dernière condition correspond au volume minimum du réservoir, la chambre fonctionnant correctement.

Les équations simultanées établies caractérisent complètement la chambre à amortissement immédiat déversante à un réservoir, ceci pour une manœuvre progressive linéaire de l'obturateur d'aval.

#### Détermination des dimensions de la chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat.

Les équations simultanées précédentes ne sont pas susceptibles d'être résolues par voie analytique. Une intégration par points successifs est seule possible. Ce travail ne permet d'ailleurs que la vérification de données préalables et rend illusoire la possibilité de déterminer, par approximations successives, les dimensions de la chambre pour un cas particulier donné. La complexité des équations caractérisant le mouvement de l'eau dans la chambre à amortissement immédiat contraste avec la simplicité du phénomène physique. Il est naturel dès lors de chercher, au travers des expériences faites, la solution du problème de la détermination des dimensions de la chambre. Les essais entrepris dans ce sens avaient pour but de rechercher l'influence de chacune des données du problème, de l'exprimer analytiquement et de grouper en équation expérimentale les résultats obtenus.

Les séries de mesures effectuées s'étendaient à deux galeries d'amenée successivement égales à 70,84 m et 101,74 m. Le rapport des sections horizontales du tube et du réservoir des six chambres étudiées étaient respectivement de

$$\frac{F_z}{F_y} = \frac{293}{789}, \frac{307}{852}, \frac{331}{918}, \frac{355}{984}, \frac{379}{1050} \text{ et } \frac{403}{1116} \text{ cm}^2$$

c'est-à-dire voisin de onze trentièmes. Les manœuvres progressives linéaires de l'obturateur d'aval étaient exécutées aux vitesses

$$\xi_1 = \frac{dQ}{dt} = 0,778 \text{ dm}^3/\text{s}^2 \text{ et } \xi_2 = \frac{dQ}{dt} = 0,394 \text{ dm}^3/\text{s}^2.$$

Les autres constantes du système sont définies au début du chapitre II.

En divisant par le facteur  $\sqrt{\frac{L}{g f F}}$  toutes les cotes  $D$  du déversoir mesurées aux essais de fermeture totale, soit les ordonnées des paraboles de la figure 11, on obtient deux nouvelles paraboles à axe vertical donnant

$$\frac{D}{\sqrt{\frac{L}{g f F}}} = f(Q_0).$$

Ces deux arcs de parabole se réduisent à deux droites en divisant les ordonnées par la valeur du débit  $Q_0$  (fig. 29). Les droites se coupent sur l'axe des  $y$  au point 0,734; elles coupent l'axe des  $x$  aux points  $Q_0 = 17,7$  et  $Q_0 = 13,75 \text{ dm}^3/\text{sec}$ , correspondant respectivement aux vitesses de manœuvre  $\xi_1$  et  $\xi_2$  de l'obturateur d'aval. Les équations de ces droites sont

$$\frac{D}{Q_0 \sqrt{\frac{L}{g f F}}} = \frac{0,734 (17,70 - Q_0)}{17,70}$$

$$\frac{D}{Q_0 \sqrt{\frac{L}{g f F}}} = \frac{0,734 (13,75 - Q_0)}{13,75}$$

et permettent d'écrire les relations suivantes :

a) pour la vitesse de manœuvre  $\xi_1$

$$D = 0,734 \left( 1 - \frac{Q_0}{17,70} \right) Q_0 \sqrt{\frac{L}{g f F}}$$

b) pour la vitesse de manœuvre  $\xi_2$

$$D = 0,734 \left( 1 - \frac{Q_0}{13,75} \right) Q_0 \sqrt{\frac{L}{g f F}}.$$

Remarquons que la valeur  $Q_0 \sqrt{\frac{L}{g f F}}$  trouvée ici est égale à l'amplitude maximum de fermeture que l'on obtiendrait en négligeant toutes les pertes de charge, valeur  $Z_*$  des auteurs Calame et Gaden.

Dans ces formules  $F$  est la somme  $F_z + F_y$  des surfaces du tube et du réservoir, étant entendu que le rapport  $F_z : F_y$  est voisin de onze trentièmes, condition trouvée pour que l'amortissement immédiat puisse avoir lieu et qu'en même temps le réservoir soit de volume minimum.

Nous désignons par  $Q_\Omega$  le débit limite de la galerie défini par l'intersection de chacune des deux droites avec l'axe des  $x$  et constatons que pour les deux valeurs  $Q_0 = 0$  et  $Q_0 = Q_\Omega$  la cote  $D$  du déversoir est égale à zéro.

En généralisant, nous aurons pour chaque vitesse de fermeture  $\xi$  une droite coupant l'axe des  $x$  en un point

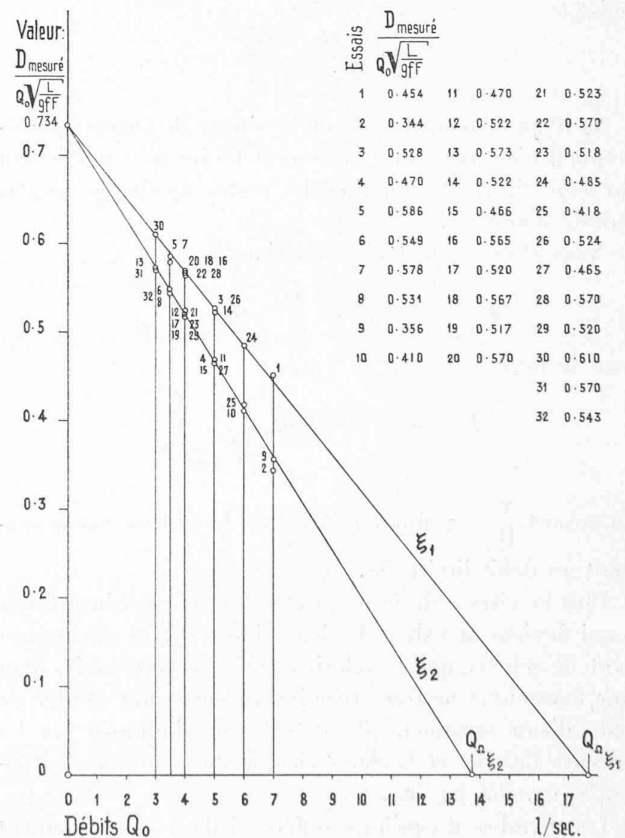


Fig. 29.



définissant un débit limite  $Q_\Omega$  fonction de  $\xi$ . Ce débit limite est tel que pendant une manœuvre de fermeture progressive linéaire totale de l'obturateur d'aval effectuée en un temps  $\tau = \Theta$  toute l'énergie existant dans le système galerie d'amenée-chambre d'équilibre au début de la fermeture est complètement détruite par la seule somme des travaux de frottement dans la galerie d'amenée, somme s'étendant à toute la durée  $\Theta$  de la fermeture. La chambre d'équilibre n'intervient donc pas puisque à l'instant où le plan d'eau atteint le niveau statique de la retenue, toute l'énergie du système a été détruite par la somme des travaux de frottement dans la galerie seule.

L'expression du travail élémentaire de frottement dans la galerie d'amenée est  $\gamma f W P_w dt = \gamma Q_g P_w dt$  que nous pouvons écrire  $\gamma k \frac{Q_g^3}{\xi f^2} dQ_g$  en appelant 1 :  $k$  le paramètre de la parabole des pertes de charge et en remarquant que  $\xi = \frac{dQ_g}{dt}$  (car la quantité d'eau qui monte dans la chambre du niveau dynamique au niveau statique de la retenue est négligeable).

Pour la fermeture totale du débit  $Q_\Omega$  nous aurons la relation

$$\gamma k \int_{Q_g=0}^{Q_g=Q_\Omega} Q_g dQ_g = \frac{\gamma L Q_\Omega^3}{2 g f}$$

d'où

$$Q_\Omega = \sqrt{\frac{2 \xi f L}{g k}} \quad \Theta = \frac{Q_\Omega}{\xi}$$

puisque

$$\xi = \frac{Q_o}{\tau} = \frac{Q_\Omega}{\Theta}$$

A chaque valeur donnée de la vitesse de fermeture correspond bien une valeur du temps limite  $\Theta$  et une valeur du débit limite  $Q_\Omega$  fonction des pertes de charge dans la galerie d'amenée.

Nous pouvons mettre la relation

$$D = 0,734 \left(1 - \frac{Q_o}{Q_\Omega}\right) Q_o \sqrt{\frac{L}{g f F}}$$

sous la forme

$$D = \epsilon (1 - \theta) Q_o \sqrt{\frac{L}{g f F}}$$

en posant  $\frac{\tau}{\Theta} = \theta$ , durée relative de fermeture correspondant au débit limite  $Q_\Omega$ .

Plus la vitesse de fermeture est grande et plus grande aussi devient la valeur du débit limite  $Q_\Omega$ . Il est intéressant de relever que la relation ci-dessus donnerait, pour une manœuvre de fermeture instantanée, une montée du plan d'eau sensiblement égale à celle indiquée par les auteurs Calame et Gaden (Abaque de fermeture instantanée, *op. cit.*, fig. 36).

La chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat peut être dégagée de la condition du volume

minimum du réservoir et l'amortissement assuré sans pour cela que le réservoir soit nécessairement rempli à la fin du déversement du tube. Le plan d'eau dans le réservoir peut aussi, dans les mêmes conditions, s'élever au-dessus du niveau du déversoir. Ces deux possibilités, nous l'avons vu, ne conduisent pas à des solutions économiques. Elles entraînent une modification du rapport des surfaces horizontales du tube et du réservoir du fait que la destruction de l'énergie est répartie différemment entre le déversement et le passage de l'eau au travers de l'étranglement. Ces possibilités sont contenues dans la constante  $\epsilon$  dont la valeur est voisine de 0,73 dans le cas du réservoir de volume minimum. Cette constante tient également compte du fait que le déversoir n'est pas infiniment long. Rappelons encore que les essais exécutés sur modèle ont montré que les influences de la longueur finie du déversoir et de la hauteur de la lame sont pratiquement négligeables.

La section de l'orifice réduit formant étranglement n'entre pas dans l'équation permettant la détermination des dimensions. C'est une valeur interne (comprise implicitement) du système secondaire introduit par le réservoir. Le fait d'avoir le réservoir rempli à l'instant où le déversement cesse détermine parfaitement la section de l'étranglement.

Le temps à la fin duquel l'amortissement total de l'oscillation est obtenu est fonction de la période des oscillations isochrones  $T = 2\pi \sqrt{\frac{LF}{gf}}$  donné par les auteurs

Calame et Gaden. Il résulte des essais qu'il est égal à

$$T' = \tau + \frac{2\pi}{\alpha} \sqrt{\frac{LF}{gf}} \quad \text{avec } \alpha = 1,38.$$

En comparant les enregistrements des expériences données au chapitre II avec les résultats des calculs obtenus par application de la formule établie, on peut constater dans chaque cas une excellente concordance : les légères différences n'excédant pas l'approximation des mesures (voir le tableau numérique). La valeur de  $Q_\Omega$  employée dans les calculs est celle déterminée expérimentalement. En appliquant la formule  $Q_\Omega = \sqrt{\frac{2 \xi f L}{g k}}$  nous trouvons à la place de 13,75 et 17,7 dm<sup>3</sup>/sec les valeurs respectives de 12,4 et 17,5 dm<sup>3</sup>/sec. L'écart provient du fait que les pertes de charge dans la galerie d'amenée utilisée aux essais n'étaient pas rigoureusement proportionnelles au carré de la vitesse.

#### Discussion de la formule permettant la détermination des dimensions de la chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat.

La formule peut être mise sous la forme

$$[Q_o (1 - \theta)] \frac{\epsilon}{D \sqrt{F}} \sqrt{\frac{L}{gf}} = 1$$

produit de trois quantités représentant respectivement les caractéristiques de l'obturateur d'aval, de la chambre

d'équilibre et de la galerie d'amenée. Toute combinaison peut être imaginée, en considérant successivement ces trois facteurs comme constants, variables ou paramètres, de manière à mettre en évidence leur influence particulière ou en tirer des conclusions d'ordre général.

En particulier, groupons successivement par paires les facteurs de la formule en considérant les autres quantités comme fixées. Nous pouvons ainsi déceler l'influence relative des divers termes.

a) *Variation du débit  $Q_o$  en fonction du temps relatif  $\theta$ .*

Nous avons une équation de la forme  $xy = Cte.$  représentant une hyperbole équilatère dont l'ordonnée a pour valeur

$$Q_o = \frac{D}{\epsilon \sqrt{\frac{L}{gfF}}} \text{ quand } \theta = \text{zéro. Le débit } Q_o \text{ croît avec } \theta \text{ et devient infini pour } \theta = 1.$$

b) *Variation de la longueur  $L$  de la galerie d'amenée en fonction du temps relatif  $\theta$ .*

Nous avons une équation de la forme  $x^2y = Cte.$  L'ordonnée de la courbe, pour  $\theta = \text{zéro}$ , a comme valeur

$$L = \frac{gfFD^2}{\epsilon^2 Q_o^2}$$

La longueur  $L$  croît avec  $\theta$  et devient infinie pour  $\theta = 1$ .

c) *Variation de la section droite  $f$  de la galerie d'amenée en fonction du temps relatif  $\theta$ .*

Nous avons une équation de la forme  $x^2 = 2py$  représentant une parabole à axe vertical ayant son sommet au point  $\theta = 1$ ;  $f = 0$ . L'ordonnée de la courbe, pour  $\theta = 0$ ,

$$\text{a comme valeur } f = \frac{\epsilon^2 L Q_o^2}{g F D^2}. \text{ La section } f \text{ décroît quand } \theta \text{ augmente et devient égale à zéro pour } \theta = 1.$$

d) *Variation de la cote  $D$  du déversoir en fonction du temps relatif  $\theta$ .*

Nous avons une équation de la forme  $y = ax + b$  représentant une droite passant par les deux points

$$\theta = \text{zéro}; D = \epsilon Q_o \sqrt{\frac{L}{gfF}} \text{ et } \theta = 1; D = \text{zéro. La cote } D \text{ décroît linéairement quand } \theta \text{ augmente et devient égale à zéro pour } \theta = 1.$$

e) *Variation de la section horizontale totale  $F$  de la chambre d'équilibre en fonction du temps relatif  $\theta$ .*

Nous avons une équation de la forme  $x^2 = 2py$  représentant une parabole à axe vertical ayant son sommet au point  $\theta = 1$ ;  $F = 0$ . L'ordonnée de la courbe, pour

$$\theta = \text{zéro}, \text{ a comme valeur } F = \frac{\epsilon^2 L Q_o^2}{gfD^2}. \text{ La section } F \text{ décroît quand } \theta \text{ augmente et devient égale à zéro pour } \theta = 1.$$

f) *Variation de la cote  $D$  du déversoir en fonction du débit  $Q_o$ .*

Nous avons une équation de la forme  $y = ax - bx^2$  représentant une parabole à axe vertical ayant son sommet au point  $Q_o = \frac{Q_\Omega}{2}$ ;  $D = \frac{\epsilon}{4} Q_\Omega \sqrt{\frac{L}{gfF}}$  et coupant l'axe

$$D = \text{zéro aux deux points d'abscisse } Q_o = \text{zéro et } Q_o = Q_\Omega. \text{ La cote } D \text{ du déversoir croît avec le débit } Q_o \text{ jusqu'au maximum atteint quand } Q_o = \frac{Q_\Omega}{2}, \text{ puis décroît quand } Q_o$$

continue à augmenter. Elle devient égale à zéro pour  $Q_o = Q_\Omega$ . Cette fonction fait ressortir le rôle de la chambre d'équilibre. En général, on se trouve dans la partie ascendante de la parabole, les pertes de charge étant généralement faibles dans la galerie d'amenée. La partie descen-

N° DES ESSAIS	LONGUEUR DE LA GALERIE m	SECTION CHAMBRE $F_z + F_y$ dm <sup>2</sup>	SECTION DE L'ÉTRANGLEMENT mm <sup>2</sup>	MANŒUVRES DE L'OBTURATEUR AVAL			HAUTEUR DU DÉVERSOIR $\xi 1 = 0,778 \quad Q_\Omega = 17,70$ $\xi 2 = 0,394 \quad Q_\Omega = 13,75$ $D$ calculé par la formule :		DESCENTE SUIVANT LE DÉVERSEMENT $\epsilon = 0,734$ $\Delta$ calculé par la formule :		DURÉE TOTALE DE L'AMORTISSEMENT $\alpha = 1,38$ $T'$ calculé par la formule :	
				$Q_o$ dm <sup>3</sup> /s	$\xi$ dm <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	$\tau$ s	$D$ MESURÉ dm	$\epsilon \left(1 - \frac{Q_o}{Q_\Omega}\right) Q_o \sqrt{\frac{L}{gfF}}$ dm	$\Delta$ MESURÉ dm	$\frac{\epsilon}{2} \left(1 - \frac{Q_o}{Q_\Omega}\right) Q_o \sqrt{\frac{L}{gfF}}$ dm	$T'$ MESURÉ s	$\tau + \frac{2\pi}{\alpha} \sqrt{\frac{LF}{gf}}$ s
1	70,84	15,19	904	7	0,778	9,0	1,65	1,61	0,79	0,81	45	45
2	70,84	15,19	784	7	0,394	17,8	1,25	1,31	0,61	0,66	51	53
3	101,74	15,19	712	5	0,778	6,4	1,64	1,64	0,81	0,82	52	50
4	101,74	15,19	664	5	0,394	12,7	1,46	1,45	0,72	0,73	55	56
5	101,74	10,82	620	3,5	0,778	4,5	1,51	1,52	0,76	0,76	42	41
6	101,74	10,82	600	3,5	0,394	8,9	1,41	1,41	0,69	0,70	45	45
7	70,84	10,82	664	3,5	0,778	4,5	1,24	1,26	0,63	0,63	35	35
8	70,84	10,82	624	3,5	0,394	8,9	1,14	1,18	0,56	0,59	38	39
9	101,74	15,19	696	7	0,394	17,8	1,55	1,57	0,77	0,78	61	61
10	101,74	15,19	688	6	0,394	15,3	1,53	1,55	0,75	0,77	59	58
11	101,74	15,19	664	5	0,394	12,7	1,46	1,46	0,72	0,73	55	56
12	101,74	15,19	616	4	0,394	10,2	1,30	1,30	0,64	0,65	53	53
13	101,74	15,19	528	3	0,394	7,6	1,07	1,07	0,53	0,53	51	51



dante correspond à des pertes de charge plus élevées. Ceci explique le fait constaté aux essais, qu'à partir d'un certain moment, des débits plus grands entraînent une hauteur plus réduite de la chambre d'équilibre.

g) *Variation de la cote D du déversoir en fonction de la longueur L de la galerie d'amenée.*

Nous avons une équation de la forme  $y^2 = 2px$  représentant une parabole à axe horizontal ayant son sommet au point  $L = \text{zéro}$ ;  $D = \text{zéro}$  et comme paramètre la valeur  $2p = \frac{\epsilon^2 (1 - \theta)^2 Q_o^2}{g f F}$ . La cote  $D$  du déversoir croît toujours avec la longueur  $L$ .

h) *Variation de la cote D du déversoir en fonction de la section horizontale totale F de la chambre d'équilibre.*

Nous avons une équation de la forme  $xy^2 = Cte$ . L'ordonnée de la courbe, pour  $F = \text{zéro}$ , a comme valeur  $D = \text{infini}$ . La cote  $D$  du déversoir décroît quand la section  $F$  augmente; elle tend vers zéro quand  $F$  tend vers l'infini. Le volume de la chambre d'équilibre, compté au-dessus du niveau statique, est défini par le produit  $DF$  représenté par l'aire du rectangle compris entre les axes  $D$  et  $F$ , et les droites d'abscisse et d'ordonnée du point considéré. Ce volume croît quand  $D$  diminue. Le volume le plus réduit est donc obtenu en admettant pour la cote  $D$  la plus grande valeur possible.

i) *Variation de la section totale F de la chambre d'équilibre en fonction du débit  $Q_o$ .*

Nous avons une équation de la forme  $y = ax^2 - bx^4$ .

La courbe présente un maximum au point  $Q_o = \frac{Q_\Omega}{2}$ ;

$F = \frac{\epsilon^2 L Q_\Omega^2}{16 g f D^2}$  et est tangente à l'axe  $F = \text{zéro}$  aux deux points d'abscisse  $Q_o = \text{zéro}$  et  $Q_o = Q_\Omega$ . La section  $F$  croît avec le débit  $Q_o$  jusqu'au maximum, atteint quand  $Q_o = \frac{Q_\Omega}{2}$ , puis décroît quand  $Q_o$  continue à augmenter. Elle devient égale à zéro pour  $Q_o = Q_\Omega$ .

j) *Variation de la section horizontale totale F de la chambre d'équilibre en fonction de la longueur L de la galerie d'amenée.*

Nous avons une équation de la forme  $y = ax$  représentant une droite passant par l'origine. Son coefficient angulaire est  $\frac{F}{L} = \frac{\epsilon^2 (1 - \theta)^2 Q_o^2}{g f D^2}$ . La section  $F$  croît linéairement avec la longueur  $L$ .

\* \* \*

La formule permettant la détermination des dimensions, établie pour la chambre d'équilibre à un réservoir peut l'être également pour la chambre à deux réservoirs, mais le plus grand nombre des variables nécessite une série d'essais systématiques, exécutés sur des modèles variés, dépassant les moyens dont nous disposons.

## Conclusions.

L'étude présentée ne fait qu'aborder le sujet des chambres à amortissement rapide. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que la formule permettant la détermination des dimensions est expérimentale et valable seulement dans le domaine des expériences effectuées. Un complément d'essais nécessite de vastes possibilités expérimentales, surtout si l'on tient à établir des abaques absolument généraux et directement utilisables dans chaque cas particulier.

Dans l'exploitation des usines hydroélectrique la manœuvre de fermeture totale, qui peut être fréquente, est unique et bien déterminée. Les manœuvres d'ouverture par contre sont multiples. Il y a donc intérêt pour l'économie du projet à connaître exactement l'ensemble des manœuvres possibles provoquant la plus grande descente du plan d'eau car la marge prise en admettant l'ouverture instantanée ou même progressive linéaire totale est, dans la majorité des cas, beaucoup trop grande.

La détermination de la plupart des dimensions de la chambre d'équilibre différentielle à amortissement immédiat se fait en considérant la manœuvre de fermeture totale. Ces dimensions une fois calculées, on peut vérifier le fonctionnement de la chambre pour des manœuvres d'ouverture en intégrant, par points successifs, les équations générales simultanées. La longueur de ces calculs et la multiplicité des erreurs possibles militent en faveur des essais sur modèles. Ces derniers permettent l'investigation rapide des conséquences de toutes les manœuvres probables en exploitation et la détermination de la cote inférieure du tube et du réservoir. L'étude des ouvertures progressives et des manœuvres alternées peut être également abordée avec la plus grande facilité. Les essais entrepris dans ce sens ont montré que la grandeur de l'orifice de section réduite nécessaire à l'amortissement total de l'oscillation en masse, après une manœuvre de fermeture totale, est voisine de celle entraînant le meilleur amortissement après des manœuvres d'ouverture successives ou alternées. Si l'on adopte donc la valeur de l'étranglement déterminée pour la manœuvre de fermeture, on a encore, pour les diverses manœuvres d'ouverture possibles, un amortissement tout à fait satisfaisant.

L'établissement d'un projet de chambre d'équilibre à amortissement immédiat suit par conséquent deux phases: un calcul permettant de limiter très étroitement la zone dans laquelle la solution définitive est à préciser, compte tenu de l'économie de l'ensemble de toutes les installations, puis une détermination expérimentale où l'on analyse la multitude des manœuvres probables. Les dimensions de la chambre sont fixées en tenant tout spécialement compte des manœuvres les plus fréquentes, les cas exceptionnels restant dans la limite de sécurité. En d'autres termes, la chambre d'équilibre ne devra pas être projetée comme devant donner l'amortissement immédiat après une manœuvre ou une

suite de manœuvres n'arrivant qu'accidentellement en exploitation.

La chambre d'équilibre à amortissement immédiat pourra être préférée aux autres modèles de chambre chaque fois que la stabilité de marche de l'usine est essentielle. Elle sera d'autant plus indiquée que la période des oscillations isochrones sera grande et trouvera par conséquent son application dans les installations comportant une longue galerie d'amenée de faible section.

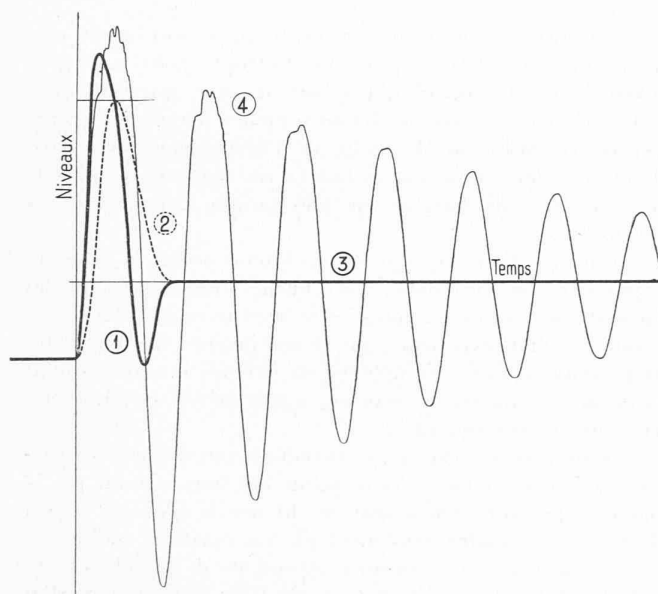


Fig. 30. — Enregistrement d'une manœuvre de fermeture effectuée simultanément sur deux chambres : 1 et 2, variations du niveau dans le puits et le réservoir d'une chambre différentielle à amortissement immédiat. — 3. Niveau stabilisé. — 4. Variation du niveau dans une chambre à épanouissement supérieur.

Comparée à la chambre différentielle Johnson, la chambre à amortissement immédiat est un peu plus volumineuse. Ceci provient du fait que la partie d'énergie détruite dans la chambre elle-même est plus grande et celle détruite par frottement dans la galerie d'amenée plus petite puisque toutes les oscillations sont supprimées sauf une.

La chambre d'équilibre à plusieurs réservoirs n'a été que signalée. Les problèmes qu'elle pose sont des cas d'espèce dont l'étude doit être limitée aux données particulières de chaque installation. Là encore, les essais sur modèles réduits, exécutés en laboratoire, peuvent seuls, en toute sécurité et dans un temps minimum, conduire à la solution rationnelle.

## DIVERS

### Chronique de la propriété industrielle.<sup>1</sup>

*Une loi égyptienne sur les marques de fabrique.*

Après avoir été, pendant de longues années, un protectorat de l'Angleterre, l'Egypte a retrouvé son indépendance en 1922

et son gouvernement s'est efforcé, depuis lors, de doter le pays de lois nouvelles et modernes.

En ce qui concerne plus particulièrement le domaine de la Propriété intellectuelle, une loi sur les brevets est actuellement en préparation et le gouvernement a promulgué, le 13 juillet 1939, une loi sur les marques de fabrique qui est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> avril passé.

Jusqu'ici, les marques de fabrique et de commerce n'étaient protégées en Egypte que par le droit coutumier des « Tribunaux mixtes » d'Alexandrie, auprès desquels les marques pouvaient être enregistrées. Ces enregistrements sont désormais considérés comme étant sans valeur et les marques ainsi enregistrées doivent être déposées à nouveau conformément aux dispositions de la nouvelle loi. Ce dépôt peut être fait dans un délai de deux ans à partir de l'entrée en vigueur de la loi et les marques ainsi déposées, dans ce délai, seront considérées comme ayant été déposées le 1<sup>er</sup> avril 1940.

L'art. 1. de la nouvelle loi définit ce que l'on entend par marque de fabrique, tandis que l'art. 2 institue au Ministère du commerce et de l'industrie un bureau chargé de tenir le « Registre des marques de fabrique et de commerce » et auquel doivent être adressées les demandes d'enregistrement.

L'art. 3 dit que celui qui a effectué l'enregistrement d'une marque est présumé en être le propriétaire exclusif, ce droit de propriété ne pouvant plus être contesté si celui qui a enregistré la marque l'a utilisée pendant cinq ans à dater de l'enregistrement, sans que cela ait donné lieu à une contestation fondée.

Les industriels, producteurs ou commerçants non égyptiens peuvent faire enregistrer des marques à condition d'être établis en Egypte ou dans un pays accordant la réciprocité à l'Egypte. Ces mêmes règles s'appliquent aux groupements ou associations d'industriels, de producteurs ou de commerçants pouvant être considérés comme jouissant de la capacité civile.

Sont exclues de l'enregistrement, entre autres, les marques qui ne sont que l'appellation ou la figuration normale d'un produit, celles qui contiennent des signes ayant un caractère exclusivement religieux ou les emblèmes de la Croix-rouge ou du Croissant-rouge, celles qui utilisent le portrait d'une tierce personne ou ses armoiries, à moins que son consentement préalable n'ait été obtenu. En ce qui concerne les armoiries, drapeaux et autres emblèmes d'état, la loi n'indique comme exclues de l'enregistrement que les marques contenant de tels signes appartenant à des états qui accordent la réciprocité à l'Egypte.

L'enregistrement d'une marque ne peut s'effectuer que pour une ou plusieurs des 34 catégories de produits définies par le règlement d'exécution. Le Bureau peut soumettre l'enregistrement à des conditions restrictives ou prescrire des modifications destinées à préciser la marque et éviter des confusions avec d'autres marques enregistrées. Une commission de recours, désignée par le Conseil des ministres, statue sur les recours que les requérants peuvent déposer contre les décisions de refus ou d'acceptation conditionnelle du bureau ; les décisions de cette commission sont sans appel, sauf dans le cas de refus d'enregistrement pour cause de similitude avec une marque déjà enregistrée pour des produits de la même catégorie ; dans ce cas, le requérant pourra faire enregistrer sa marque s'il obtient une décision judiciaire contre le bénéficiaire du premier enregistrement.

La marque provisoirement acceptée par le bureau est publiée et, à la suite de cette publication, tout tiers intéressé peut faire opposition à l'enregistrement de la marque. Avant de statuer sur l'opposition, le bureau doit, si elles en font la demande, entendre les parties. La décision du bureau peut

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 19 février 1940, p. 35.