telles qu'elles sont définies dans le tableau annexé à la présente loi.

Les unités secondaires seront énumérées et définies par un règlement d'administration publique rendu après avis de la commission de métrologie usuelle, du comité consultatif des arts et manufactures, du bureau national des poids et mesures et de l'académie des sciences.

A ce règlement sera annexé un tableau général des unités légales, comprenant les unités principales et les unités secondaires, fixées suivant les prescriptions de la présente loi, ainsi que leurs multiples et sous-multiples usuels.

Ce règlement pourra, en outre, autoriser, à titre provisoire, l'emploi ou la dénomination de certaines unités actuellement en usage.

Des règlements rendus dans la même forme pourront ultérieurement compléter ou modifier la liste des unités secondaires et supprimer celles des anciennes unités maintenues provisoirement en usage par application du paragraphe précédent.

Art. 3. — Les étalons nationaux établis pour représenter les unités principales et les unités secondaires sont déposés au conservatoire national des arts et métiers.

Art. 4. — Les dispositions des articles 3, 4, 5, 6, 7 et 8 de la loi du 4 juillet 1837, sont applicables aux mesures dont les unités sont déterminées conformément à la présente loi.

Art. 5. — La présente loi n'entrera en vigueur qu'à l'expiration du délai d'un an, à compter de la date du règlement d'administration publique visé au paragraphe 3 de l'article 2 ci-dessus, qui devra être rendu dans un délai de six mois après la promulgation de la loi.

Art. 6. — La présente loi est applicable dans les colonies françaises et pays de protectorat.

Art. 7. — Toutes les dispositions contraires à la présente loi seront abrogées à partir de sa mise en vigueur.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 2 avril 1919.

Par le Président de la République : R. POINCARÉ.

Le ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes, des transports maritimes et de la marine marchande, CLÉMENTEL.

Le ministre des affaires étrangères, STEPHEN PICHON.

Le ministre de l'intérieur, J. PAMS.

Le ministre des colonies, HENRY SIMON.

TABLEAU

DES ÉTALONS ET DES UNITÉS COMMERCIALES ET INDUSTRIELLES

Longueur

L'unité principale de longueur est le mètre.

L'étalon pour les mesures de longueur est le mètre, longueur définie à la température de 0 degré par le prototype international en platine iridié qui a été sanctionné par la conférence générale des poids et mesures, tenue à Paris en 1889, et qui est déposé au pavillon de Breteuil à Sèvres.

L'unité de longueur, de laquelle seront déduites les unités de la mécanique industrielle, est le mètre.

Masse.

L'unité principale de masse est le kilogramme.

L'étalon pour les mesures de masse est le kilogramme, masse du prototype international, en platine iridié qui a été sanctionné par la conférence générale des poids et mesures, tenue à Paris en 1889, et qui est déposé au pavillon de Breteuil, à Sèvres.

L'unité de masse, de laquelle seront déduites les unités de la mécanique industrielle, est la tonne qui vaut 1.000 kilogr.

Temps.

L'unité principale de temps est la seconde.

La seconde est la fraction 1/86400 du jour solaire moyen.

L'unité de temps, de laquelle seront déduites les unités de la mécanique industrielle, est la seconde.

Electricité.

Les unités principales électriques sont l'ohm, unité de résistance, et l'ampère, unité d'intensité de courant, conformément aux résolutions de la conférence des unités électriques, tenue à Londres en 1908.

L'étalon pour les mesures de résistance est l'ohm international qui est la résistance offerte à un courant électrique invariable, par une colonne de mercure à la température de la glace fondante, d'une masse de 14,4521 grammes, d'une section constante et d'une longueur de 106.300 centimètres.

L'ampère international est le courant électrique invariable qui, en passant à travers une solution de nitrate d'argent dans l'eau, dépose de l'argent en proportion de 0,00111800 grammes par seconde.

Température.

Les températures sont exprimées en degrés centésimaux.

Le degré centésimal est la variation de température qui produit la centième partie de l'accroissement de pression que subit une masse d'un gaz parfait quand, le volume étant constant, la température passe du point 0° (température de la glace fondante) au point 100° (température d'ébullition de l'eau) tels que ces deux points ont été définis par la conférence générale des poids et mesures de 1889 et par celle de 1913.

Intensité lumineuse.

L'unité principale d'intensité lumineuse est la bougie décimale dont la valeur est le vingtième de l'étalon Violle.

L'étalon pour les mesures d'intensité lumineuse est l'étalon Violle, source lumineuse constituée par une aire égale à celle d'un carré d'un centimètre de côté prise à la surface d'un bain de platine rayonnant normalement à la température de solidification, conformément aux décisions de la conférence internationale des électriciens, tenue à Paris en 1884, et du congrès international des électriciens, tenu à Paris en 1889.

L'ÉTUDE DES COUPS DE BÉLIER

DANS LES

CANALISATIONS MÉTALLIQUES SOUS PRESSION

RÉSULTATS OBTENUS PENDANT LA GUERRE

(SUITE)

NOTES DE M. LE COMTE DE SPARRE

Influence de la variation de l'épaisseur des parois sur le coup de bélier dans une conduite forcée. Note de M. DE SPARRE. (Séance du 22 octobre 1917).

On sait que, dans une conduite dont les parois ont une épaisseur constante, si l'on considère une fermeture en un temps inférieur à $\frac{2L}{a}$, L étant la longueur de la conduite et a la vitesse de propagation, le coup de bélier est égal à [1]

$$\frac{av_0}{g}.$$

Si l'on considère au lieu de cela une conduite où l'épaisseur des parois, et par suite la vitesse de propagation, va en diminuant, du distributeur à la prise d'eau, on serait porté à croire que le coup de bélier maximum ne peut qu'être diminué de ce fait. Il n'en est toutefois rien et il peut au lieu de cela être augmenté, par suite de cette diminution de la vitesse moyenne de propagation d'une façon très notable.

Pour le montrer je suppose, comme dans ma Communication du 30 avril dernier, dont je conserve toutes les notations, une conduite formée de trois sections de longueurs, l, l' et l'', pour lesquelles la durée de propagation est la même [2].

S'il s'agit d'une fermeture en un temps inférieur à θ, le coup de bélier ξ'_n, à la fin de la $n^{\text{ième}}$ période, est donné par la formule que j'ai établie dans cette Communication [3] :

$$(1)\qquad \xi'_n=(-1)^{n-1}\frac{av_0}{g}\left[1-\frac{4\alpha}{1+\alpha}\,\frac{\sin\frac{n\lambda}{2}\sin\frac{n-1}{2}\lambda}{\sin\lambda\sin\frac{\lambda}{2}}\right]\qquad [4]$$

où l'on a

$$(2)\qquad \cos^2\frac{\lambda}{2}=\frac{1}{(1+\alpha)(1+\beta)}.$$

L'équation (1) peut d'ailleurs s'écrire

$$\xi'_n=(-1)^{n-1}\frac{av_0}{g}\left[1-\frac{\alpha}{1+\alpha}\,\frac{1}{\sin^2\frac{\lambda}{2}}+\frac{\alpha}{1+\alpha}\,\frac{\cos(2n-1)\frac{\lambda}{2}}{\sin^2\frac{\lambda}{2}\cos\frac{\lambda}{2}}\right],$$

mais en tenant compte de (2) on a

$$1-\frac{\alpha}{1+\alpha}\,\frac{1}{\sin^2\frac{\lambda}{2}}=\frac{\beta}{\alpha+\beta+\alpha\beta},$$

$$\frac{\alpha}{1+\alpha}\,\frac{1}{\sin^2\frac{\lambda}{2}\cos\frac{\lambda}{2}}=\frac{\alpha(1+\beta)}{\alpha+\beta+\alpha\beta}\sqrt{(1+\alpha)(1+\beta)},$$

de sorte qu'il vient en fin de compte

$$\xi'_n=(-1)^{n-1}\frac{av_0}{g}\left[\frac{\beta}{\alpha+\beta+\alpha\beta}+\frac{\alpha(1+\beta)\sqrt{(1+\alpha)(1+\beta)}}{\alpha+\beta+\alpha\beta}\cos(2n-1)\frac{\lambda}{2}\right].$$

Mais si le diamètre de la conduite est constant et que la vitesse de propagation varie seule d'une section à la suivante [5], cette variation étant toujours assez faible, on pourra poser

$$\alpha=\frac{a'}{a}=1-\varepsilon,\qquad \beta=\frac{a''}{a'}=1-\eta,$$

ε et η étant assez petits pour qu'on puisse négliger les termes du second degré en ε et η. On aura alors, avec cette approximation,

$$\frac{\beta}{\alpha+\beta+\alpha\beta}=\frac{1}{3}\left(1+\frac{2\varepsilon-\eta}{3}\right),\quad \frac{\alpha(1+\beta)\sqrt{(1+\alpha)(1+\beta)}}{\alpha+\beta+\alpha\beta}=\frac{4}{3}\left(1-\frac{7\varepsilon+\eta}{12}\right),$$

$$\cos\frac{\lambda}{2}=\frac{1}{2}\left(1+\frac{\varepsilon+\eta}{4}\right);$$

de sorte qu'on aura en définitive

$$(4)\quad \xi'_n=\frac{av_0}{3\,g}(-1)^{n-1}\left[1+\frac{2\varepsilon-\eta}{3}+4\left(1-\frac{7\varepsilon+\eta}{12}\right)\cos(2n-1)\frac{\lambda}{2}\right].$$

Si par exemple on suppose [1]

$$a=1182,\qquad a'=1060,\qquad a''=962,$$

on aura

$$\varepsilon=0{,}1032;\qquad \eta=0{,}0925;$$

on en déduira

$$\frac{\lambda}{2}=58^\circ22',1=60^\circ-1^\circ37',9,$$

et l'on aura par suite

$$\xi'_n=(-1)^{n-1}\frac{av_0}{g}\left(0{,}346+1{,}243\cos\frac{2n-1}{2}\lambda\right),$$

ce qui donne

$$\xi'_{13}=1{,}520\,\frac{av_0}{g},\qquad \xi'_{19}=-1{,}589\,\frac{av_0}{g}.$$

On voit, sur cet exemple, que la diminution de l'épaisseur des parois de la partie supérieure de la conduite peut, dans le cas d'une fermeture brusque, augmenter le coup de bélier maximum de plus de 50 pour 100.

Dans le cas général d'ailleurs la formule (4) donnera sensiblement pour le coup de bélier maximum

$$\xi_M=\frac{av_0}{g}\left(\frac{5}{3}-\frac{5\varepsilon+2\eta}{9}\right)\quad [2].$$

D'autre part on sait que, dans une conduite d'épaisseur constante, le coup de bélier maximum se transmet intégralement, dans le cas d'une fermeture brusque, dans toute la conduite. Au lieu de cela, dans une conduite dont les parois ont une épaisseur variable, le coup de bélier maximum s'atténue très notablement, même dans le cas d'une fermeture brusque, à mesure qu'on s'éloigne du distributeur.

Si, en effet, on désigne par H'_n la valeur du coup de bélier à la jonction de la première et de la deuxième section à la fin de la $n^{\text{ième}}$ période [3], et par K'_n la valeur du coup de bélier à la jonction de la deuxième et de la troisième section à la fin de $n^{\text{ième}}$ période [4], on trouve

$$H'_n=(-1)^{n-1}\frac{av_0}{g}\,\frac{\alpha(1+\beta)}{\sqrt{\alpha+\beta+\alpha\beta}}\sin n\lambda,$$

$$K'_n=(-1)^{n-1}\frac{av_0}{g}\left[\frac{\alpha\beta}{\alpha+\beta+\alpha\beta}-\frac{\alpha\beta\sqrt{(1+\alpha)(1+\beta)}}{\alpha+\beta+\alpha\beta}\cos(2n+1)\frac{\lambda}{2}\right],$$

formules qui, si l'on suppose la conduite de diamètre constant, et que l'on néglige, comme précédemment, les termes du second degré en ε et η, deviennent

$$H'_n=(-1)^{n-1}\frac{av_0}{g}\,\frac{2}{\sqrt{3}}\left(1-\frac{4\varepsilon+\eta}{6}\right)\sin n\lambda,$$

$$K'_n=(-1)^{n-1}\frac{av_0}{3\,g}\left[1-\frac{\varepsilon+\eta}{3}-2\left(1-7\frac{\varepsilon+\eta}{12}\right)\cos(2n+1)\frac{\lambda}{2}\right].$$

---

[1] v_0 étant la vitesse de régime et g la gravité

[2] On a donc $\frac{2l}{a}=\frac{2l'}{a'}=\frac{2l''}{a''}=\theta$.

[3] Et que j'avais déjà signalée dans une Note du 19 mai 1913.

[4] Je rappelle que si a, a', a'' sont les vitesees de propagation et d, d', d'' les diamètres pour la première, la deuxième et la troisième section à partir du distributeur, on a

$$\alpha=\frac{a'd^2}{ad'^2},\qquad \beta=\frac{a''d'^2}{a'd''^2}.$$

[5] Par suite de la variation de l'épaisseur des parois.

[1] Je prends des chiffres se rapportant à une conduite existante.

[2] Dans l'exemple considéré, cette expression donnerait $\xi_M=1{,}589\,\frac{av_0}{g}$.

[3] Donc ici pour $t=n\,\theta+\frac{\theta}{2}$.

[4] Donc ici pour $t=n\,\theta+\theta$.

On déduit de là, pour les valeurs maxima que puissent prendre H' et K',

$$H'_M = \frac{2}{\sqrt{3}}\frac{av_0}{g}\left(1-\frac{4\varepsilon+\eta}{6}\right), \qquad K'_M = \frac{av_0}{g}\left(1-\frac{\varepsilon+\eta}{2}\right).$$

Sur le coup de bélier dans une conduite forcée à parois d'épaisseur variable, dans le cas d'une fermeture progressive. Note de M. DE SPARRE. (Séance du 28 janvier 1918).

Je suppose, comme dans mes Communications des 30 avril et 22 octobre 1917, dont je conserve toutes les notations, une conduite formée de trois sections de longueurs l, l', l'' et pour lesquelles les vitesses de propagation sont a, a', a'' ; la durée de propagation étant la même pour les trois sections, de sorte que l'on a

$$\theta = \frac{2l}{a} = \frac{2l'}{a'} = \frac{2l''}{a''}.$$

Les trois sections ont même diamètre, et la vitesse de propagation varie seule d'une section à la suivante. Je désigne par L la longueur totale de la conduite, par a_1 la vitesse de propagation moyenne et par Θ la durée de propagation pour la conduite totale, de sorte que l'on a

$$\Theta = 3\theta. \quad L = l + l' + l'', \quad a_1 = \frac{2L}{\Theta} = \frac{a+a'+a''}{3}.$$

Je pose, d'ailleurs, comme dans ma Communication du 22 octobre,

$$a' = a(1-\varepsilon), \qquad a'' = a'(1-\eta)$$

et aussi [1]

$$\rho_1 = \frac{a_1 v_1}{2gy_0}.$$

Je suppose de plus ε et η assez petits et la chute assez haute [2] pour que l'on puisse négliger les termes du second degré en ε, η et ρ_1, là où ils ne sont multipliés ni par y_0 ni par n, n désignant le nombre des oscillations de l'eau que nous supposons pouvoir prendre une valeur importante. On aura alors, avec l'approximation indiquée,

$$a = a_1\left(1+\frac{2\varepsilon+\eta}{3}\right), \qquad \rho = \rho_1\left(1+\frac{2\varepsilon+\eta}{3}\right) \quad [3].$$

Si alors dans la valeur de ξ_M donnée dans ma Communication du 22 octobre [4] on remplace a par sa valeur en fonction de a_1, on aura, avec l'approximation convenue,

$$\xi_M = \frac{a_1 v_0}{g}\left(\frac{5}{3}+\frac{5\varepsilon+3\eta}{9}\right).$$

Or $\frac{a_1 v_0}{g}$ est la valeur du coup de bélier pour une conduite d'épaisseur constante lorsqu'on remplace la vitesse de propagation par sa valeur moyenne. Donc la variation de l'épaisseur des parois augmenterait le coup de bélier de plus de 66 pour 100.

C'est toutefois là un phénomène qui ne se présentera que dans le cas d'une fermeture complète dans un temps très court [5].

(1) v_1, y_0 et g étant la vitesse régime pour le distributeur complètement ouvert, la hauteur de chute et la gravité.

(2) C'est surtout pour les hautes chutes que les variations de l'épaisseur des parois est importante.

(3) Nous posons toujours

$$\rho = \frac{av_1}{2gy_0}.$$

(4) *Comptes rendus*, t. 165, 1917, p. 535.

(5) Au plus égal à $\frac{\Theta}{3} = \theta$.

Dans ce qui va suivre, je vais montrer qu'au contraire, si l'on suppose une vitesse de fermeture constante telle que la fermeture totale ne puisse avoir lieu en un temps inférieur à celui d'une oscillation totale Θ, le coup de bélier maximum sera égal à celui qu'on obtient en supposant une vitesse de propagation constante et égale à sa valeur moyenne a_1.

On reconnaît d'abord que, dans l'hypothèse où nous nous plaçons, le coup de bélier, pour une vitesse de fermeture constante donnée, sera maximum si l'ouverture initiale est telle que la fermeture complète ait lieu en un temps $\Theta = 3\theta$ [1].

Si alors nous nous bornons à considérer les coups de bélier en fin de périodes de durée θ, nous aurons, en conservant toujours les notations de mes Communications précédentes et désignant par b une constante,

$$\lambda_0 = 3b\theta, \quad \lambda'_1 = 2b\theta, \quad \lambda'_2 = b\theta, \quad \lambda'_3 = \lambda'_4 = \ldots = \lambda'_n = 0.$$

Les formules de ma Communication du 30 avril 1917 [2] donneront ensuite, en se bornant à l'approximation convenue,

$$\xi'_1 = 2\rho_1 y_0 b\theta\left(1-2\rho_1 b\theta+\frac{2\varepsilon+\eta}{3}\right) \quad [3],$$

$$\xi'_2 = 2\rho_1 y_0 b\theta\left(2-2\rho_1 b\theta+\frac{\varepsilon+2\eta}{3}\right),$$

$$\xi'_3 = 6\rho_1 y_0 b\theta,$$

$$\xi'_4 = 2\rho_1 y_0 b\theta\left(1-\frac{7\varepsilon}{3}-\frac{5\eta}{3}+4\rho_1 b\theta\right),$$

$$\xi'_5 = -2\rho_1 y_0 b\theta\left(1-4\rho_1 b\theta+\frac{5\varepsilon}{3}+\frac{7\eta}{3}\right).$$

La valeur de ξ'_3 montre d'abord que le coup de bélier, au moment de la fermeture totale, est le même que si la vitesse de propagation était constante pour toute la conduite et égal à la valeur moyenne a_1. Le coup de bélier, à la fin des périodes suivantes, sera fourni par la formule de ma Communication du 30 avril où l'on doit faire $h = 5$.

On a ainsi

$$\xi'_{n+4} = (-1)^{n-1}\left[-\xi'_4 + (\xi'_5+\xi'_4)\frac{\sin(n+1)\frac{\lambda}{2}\sin n\frac{\lambda}{2}}{\sin\lambda\sin\frac{\lambda}{2}} + (\xi'_4+\xi'_3)\frac{\sin n\frac{\lambda}{2}\sin(n-1)\frac{\lambda}{2}}{\sin\lambda\sin\frac{\lambda}{2}}\right].$$

Ce qui, en tenant compte de la valeur de λ et se bornant à l'approximation admise, pourra s'écrire

$$\xi'_{n+4} = (-1)^{n-1}\left[A - B(\cos 2n-1)\frac{\lambda}{2} + C\sin(2n-1)\frac{\lambda}{2}\right],$$

où l'on a posé, toutes réductions faites,

(1) C'est un point sur lequel je me propose de revenir.

(2) *Comptes rendus*, t. 164, 1917, p. 683.

(3) On a, en effet, avec l'approximation admise

$$\alpha = 1-\varepsilon, \qquad \beta = 1-\eta$$

et

$$m = \frac{4}{(1+\alpha)(1+\beta)} - 1 = \frac{\varepsilon+\eta}{2}, \qquad 1 - \frac{4\beta}{(1+\alpha)(1+\beta)} = \frac{\eta-\varepsilon}{2}$$

La formule $\cos\lambda = \frac{m-1}{2}$

donne ensuite $\cos\frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2}\left(1+\frac{\eta+\varepsilon}{4}\right), \qquad \frac{\lambda}{2} = \frac{\pi}{3} - \frac{\varepsilon+\eta}{4\sqrt{3}}$

$$\mathrm{A}=\frac{2}{3}\rho_1 y_0 b\,\theta\left(1+\frac{4\varepsilon}{3}\right),$$

$$\mathrm{B}=\frac{16}{3}\rho_1 y_0 b\,\theta\left(1-\frac{\varepsilon}{6}\right),$$

$$\mathrm{C}=\frac{16}{\sqrt{3}}\rho_1 y_0 b\,\theta\left(\rho_1 b\,\theta-\frac{\varepsilon+\eta}{2}\right).$$

Si nous posons maintenant

$$\varphi=\sqrt{3}\left(\rho_1 b\,\theta-\frac{\varepsilon+\eta}{2}\right),$$

d'où l'on déduit avec l'approximation admise

$$\sin\varphi=\varphi, \qquad \cos\varphi=1,$$

et si de plus nous posons

$$u=\frac{\varepsilon+\eta}{4\sqrt{3}},$$

d'où l'on déduit

$$\frac{\lambda}{2}=\frac{\pi}{3}-u, \qquad \varphi=\rho_1 b\,\theta\sqrt{3}-6u,$$

nous aurons

$$\xi_{n+4}=(-1)^{n-1}\frac{2}{3}\rho_1 y_0 b\theta\left\{1+\frac{4\varepsilon}{3}-8\left(1-\frac{\varepsilon}{6}\right)\right.$$

$$\left.\cos\left[(2n-1)\frac{\pi}{3}+\rho_1 b\,\theta\sqrt{3}-(2n+5)u\right]\right\},$$

formule qui montre que la valeur absolue maxima du coup de bélier, qui a lieu lorsque le cosinus est égal à — 1, a la valeur $6\,\rho_1\,y_0\,b\theta$, qui est celle qu'on aurait obtenue en supposant la vitesse de propagation constante et égale à sa valeur moyenne a_1.

En revanche, il se produit, ainsi que MM. Camichel et Eydoux l'ont constaté dans leurs expériences, un décalage.

Avantages résultant de l'emploi d'un étranglement à l'entrée des réservoirs ou pare-chocs destinés à atténuer les coups de bélier. Note de M. de Sparre. (Séance du 16 juil. 1918).

Soient l la longueur de la conduite forcée, S sa section, H la hauteur de chute, l_1 la hauteur de l'eau dans le réservoir à l'état statique, l_1+x cette hauteur à un instant quelconque, ω la section du réservoir, s la section de l'étranglement placé à sa base ; v, v' et w la vitesse de l'eau dans la conduite, dans le réservoir et dans l'étranglement à un instant quelconque ; v_0, x'_0, w_0 les valeurs initiales de ces quantités. Soient de plus p le poids du piston sur lequel agit l'eau du réservoir, F la force qui agit sur ce piston, F_0 la valeur de cette force pour $x=0$. Le piston devant être en équilibre pour $x=0$, on a

$$p+\mathrm{F}_0=\pi\omega\,(\mathrm{H}-l_1) \quad (^1).$$

Nous supposerons de plus

$$\frac{\mathrm{F}-\mathrm{F}_0}{\pi\omega}=\mathrm{B}x.$$

Dans le cas des réservoirs, bien que le mouvement de l'eau soit d'abord un mouvement d'oscillation par ondes, on peut considérer avec une approximation suffisante le mouvement de l'eau comme un mouvement en masse, de sorte qu'on a à un instant quelconque

$$\mathrm{S}v=sw=\omega x'.$$

On peut de plus, si le réservoir est tel que le coup de bélier garde une valeur modérée, négliger la dilatation de la conduite et la compression du liquide.

(1) π désigne le poids spécifique du liquide.

On aura alors, pour la perte de charge provenant de l'étranglement,

$$\frac{aw^2}{2g}+\frac{1}{2g}\left[(w-x')^2+\frac{x'^2}{9}\right],$$

le premier terme représentant la perte de charge due au phénomène d'ajutage à l'entrée de l'étranglement et le second la perte de charge due à l'élargissement brusque de la veine à sa sortie. On aura alors pour le mouvement de l'eau, en supposant le distributeur complètement fermé (1),

$$(1) \qquad 2(n+x)\frac{d^2x}{dt^2}+m\frac{dx^2}{dt^2}+2g(1+\mathrm{B})x=0,$$

où l'on a posé

$$(2) \qquad n=\frac{l\omega}{\mathrm{S}}+l_1+\frac{p}{\pi\omega},$$

$$(3) \qquad m=1+\alpha\frac{\omega^2}{s^2}+\left(\frac{\omega}{s}-1\right)^2+\frac{1}{9}.$$

Si l'on pose alors

$$u=\frac{dx^2}{dt^2}.$$

on déduit de (1), en supposant qu'à l'instant initial on ait

$$u_0=x_0'^2=\frac{v_0^2\mathrm{S}^2}{\omega^2},$$

$$(4)\ u=\frac{dx^2}{dt^2}=\left[u_0-\frac{2g(1+\mathrm{B})n}{m(m+1)}\right]\left(1+\frac{x}{n}\right)^{-m}+\frac{2g(1+\mathrm{B})}{m+1}\left(\frac{n}{m}-x\right).$$

Si l'on désigne par $\mathrm{H}\,(1+z)$ la pression en hauteur d'eau, abstraction faite de la pression atmosphérique, on obtiendra d'une façon semblable en considérant le mouvement entre le réservoir de mise en charge, où l'on suppose la vitesse négligeable et l'extrémité de la conduite.

$$(5) \qquad \mathrm{H}z=-\frac{l}{g}\frac{dv}{dt}-\frac{v^2}{2g}.$$

Mais dans les relations (5) et (2), vu la grandeur de l, on pourra prendre avec une exactitude suffisante

$$(6) \qquad \mathrm{H}z=-\frac{l}{g}\frac{dv}{dt}=-\frac{l}{2g}\frac{\omega}{\mathrm{S}}\frac{du}{dx}. \qquad n=\frac{l\omega}{s}.$$

Les formules (4) et (6) donneront alors

$$(7)\ \mathrm{H}z=\frac{m}{2g}\left[u_0-\frac{2ng(1+\mathrm{B})}{m(m+1)}\right]\left(1+\frac{x}{n}\right)^{-m-1}+\frac{n(1+\mathrm{B})}{m+1}$$

Dans le cas où il n'y a pas d'étranglement on a $m=1$ et les formules (4) et (7) donnent par suite

$$\frac{dx^2}{dt^2}=\frac{nu_0-g(1+\mathrm{B})x^2}{n+x}$$

$$\mathrm{H}z=\frac{u_0-gn(1+\mathrm{B})}{2g(x+n)^2}n^2+\frac{n(1+\mathrm{B})}{2};$$

comme on a toujours $u_0<g\,n\,(1+\mathrm{B})$, on aura, pour le maximum x_m de x et pour le maximum h_m du coup de bélier.

$$(8) \qquad x_m=\sqrt{\frac{nu_0}{g(1+\mathrm{B})}}, \qquad h_m=\frac{(1+\mathrm{B})nx_m}{n+x_m},$$

mais au dénominateur de la seconde expression on peut négliger x_m devant n et prendre par suite

$$(9) \qquad h'_m=(1+\mathrm{B})x_m=\sqrt{\frac{nu_0(1+\mathrm{B})}{g}}.$$

(1) En général la fermeture ne sera pas instantanée et, si elle l'était, il y aurait une première période pendant laquelle on n'aurait pas $x'\omega=ws=v\mathrm{S}$, mais une étude plus complète du phénomène montre qu'on peut supposer, avec une approximation suffisante,

$$v_0\,\mathrm{S}=w_0 s=x'_0\,\omega.$$

Si l'on désigne maintenant par Q le volume du réservoir, ce volume devra être égal à $2\omega x_m$; on aura donc de (8) et (9).

$$Q = 2\omega x_m = 2\omega \frac{nu_0}{gh_m},$$

ou, en remplaçant u_0 par $\frac{S^2 v_0^2}{\omega^2}$ et n par $\frac{l\omega}{S}$,

$$(10) \qquad Q = \frac{2lv_0^2 S}{gh_m}.$$

Si, au lieu de cela, on a un étranglement tel que la valeur correspondante de m vérifie la relation

$$(11) \qquad u_0 = \frac{v_0^2 S^2}{\omega^2} = \frac{2gn(1+B)}{m(m+1)},$$

on déduira des formules (4) et (7)

$$(12) \quad u = \frac{dx^2}{dt^2} = \frac{2g(1+B)}{m+1}\left(\frac{n}{m} - x\right), \qquad Hz - \frac{n(1+B)}{m+1},$$

et, par suite, on aura pour les valeurs maxima x'_m et h'_m de x et du coup de bélier

$$x'_m = \frac{n}{m}, \qquad h'_m = \frac{n(1+B)}{m+1}.$$

On en conclut pour le volume Q' du réservoir, en tenant compte de (11) et (12),

$$Q' = 2\omega x'_m = \frac{lv_0^2 S}{gh'_m}$$

On voit que, pour une conduite donnée et une valeur donnée du coup de bélier maximum, cet étranglement réduit de moitié le volume du réservoir.

De plus, si l'on calcule la force vive perdue pendant la compression, par suite de ce dispositif, on trouve qu'elle est sensiblement la moitié de la force vive initiale. Ce fait supprime presque complètement les oscillations de l'eau et les dangers de résonances.

UN DES ASPECTS DU PROBLÈME DE L'IRRIGATION

1. Introduction

Nous mettons sous les yeux de nos lecteurs, le résumé d'une étude très approfondie sur l'irrigation des terres, faite par des savants bien connus : MM. A. Müntz, membre de l'Institut et E. Lainé, et publiée dans un rapport au Comité d'Etudes scientifiques, institué depuis 1905 au Ministère de l'Agriculture.

Nous avons déjà, en de précédents numéros parus avant la guerre, donné des communications de l'Académie des Sciences sur ce sujet. Est-ce ici la place de ces recherches, est-il utile d'y revenir beaucoup plus longuement?

A notre avis, la question est des plus importantes à envisager, au point de vue même des industries de la Houille Blanche.

D'abord toute la législation des forces hydrauliques n'est-elle pas basée sur cet article 644 du Code civil, tellement connu de nos lecteurs, que nous nous excusons de le rappeler en cette circonstance : « Celui dont la propriété borde une eau courante... peut s'en servir à son passage pour l'irrigation de ses propriétés... »? On a étendu cette faculté à l'*usage industriel*. Or, de plus en plus nombreux sont les cas où l'on fait servir le même cours d'eau à la fois à des usages agricoles et à des emplois industriels et les conflits entre ces deux catégories d'usagers sont, malheureusement, toujours fréquents.

Pour les résoudre, le juge et l'expert ont parfois manqué d'éléments techniques : Que peut absorber tel sol dans telles conditions et quelle quantité d'eau peut retenir un riverain pour l'irrigation de ses propriétés en amont d'une usine ? La réponse n'était pas facile, faute de données précises sur les phénomènes d'absorption de l'eau par le sol. L'étude ci-après, fournira aux ingénieurs hydrauliciens de précieux renseignements à ce point de vue.

Ensuite cette étude est d'actualité sous un autre rapport en relation intime avec le premier. Dans un grand nombre de vallées, l'on se préoccupe d'établir des barrages pour créer de puissantes chutes d'eau ou des bassins de réserve pour l'irrigation ; or, on a reconnu que les travaux à effectuer à cet effet sont, dans la plupart des cas, d'un prix d'établissement tel, qu'il ne se justifie pas si l'ouvrage doit servir exclusivement à l'irrigation ou à la production de force motrice . il faut envisager les deux usages simultanément. C'est ce qu'a si bien mis en évidence M. l'ingénieur en chef Wilhelm, dans sa monumentale étude sur l'utilisation des eaux de la Durance dont nous avons parlé ici à plusieurs reprises. Les recherches de MM. Muntz et Lainé seront précieuses à ce point de vue ; elles ont pris encore, depuis le moment où elles furent effectuées, une valeur bien plus grande. L'utilisation intensive de nos ressources hydrauliques durant la guerre, le projet de loi sur les forces hydrauliques en instance devant les Chambres, les programmes immenses dont l'exécution est prévue pour les années à venir, en particulier l'aménagement du Rhône sous le triple rapport : force hydroélectrique, navigation, irrigation, sont les principales questions soulevées.

Or, le projet de loi sur l'utilisation de l'énergie hydraulique comprend, parmi les charges imposées aux concessionnaires, les réserves de forces nécessaires aux associations syndicales agricoles autorisées et spécifie qu'il sera tenu compte de ces réserves pour la fixation des redevances au profit de l'Etat. Comment établir la valeur de ces réserves si l'on n'a, auparavant, déterminé les besoins en eau des agriculteurs, dans le périmètre de l'usine envisagée.

Le problème de l'Aménagement du Rhône place également ces études au premier plan ; lisons, en effet, ce que dit M. Troté, ingénieur général de l'Hydraulique agricole, dans son rapport au Conseil supérieur des travaux publics sur l'aménagement de la vallée rhodanienne :

« La vallée du Rhône est une des plus fertiles de notre pays. Dans la partie supérieure, les céréales, les légumes, les arbres fruitiers donnent des produits rémunérateurs. Dans la partie inférieure, soumise au climat méditerranéen, la terre, à la condition de trouver une humidité suffisante, fournit des rendements exceptionnels. La culture des primeurs et des graines assure au sol une des valeurs foncières les plus élevées de la France entière. Les propriétés de certaines communes arrosées par les canaux dérivés de la Durance procurent des revenus s'élevant à 2.000 francs par hectare.

« La production agricole de la vallée du Rhône ne satisfaisait pas seulement avant la guerre, la consommation locale, certains produits avaient des débouchés fort lointains. Le marché de Châteaurenard expédiait des primeurs par wagons entiers à Paris et à l'étranger. Saint-Rémy vendait des graines à toute la France, et Nîmes constituait l'un des plus grands centres du commerce des vins.

« Malgré son importance, cette production doit être augmentée, car elle est appelée à faire face à des besoins nouveaux. D'une part, les centres de Lyon et de Marseille ont pris un développement considérable ; d'autre part, une importante population ne pourra pas manquer de s'établir le long du Rhône, lorsque la force du fleuve aura été aménagée et lorsque l'amélioration de la navigation facilitera les transports. Au surplus, il importe de tirer parti des éléments de richesse qui résultent des conditions favorables