

PERTES DE CHARGE EN COUPS DE BELIER DANS UN RESEAU RAMIFIE

Par

Ahmed KETTAB

Docteur d'Etat en Hydraulique, Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Polytechnique, Alger

Brahim SALAH

Magister en Hydraulique, Maître Assistant à l'ENSH, Soumaa (Blida)

Résumé

Le coup de bélier occasionné dans une canalisation est atténué en partie par les pertes de charge produites par l'écoulement à l'intérieur de celle-ci. La relation donnant ces pertes d'énergie étant celle de Darcy Weisbach en régime permanent, tenant compte de la variation de la vitesse, le long de la canalisation, à chaque passage d'un front d'onde.

Dans notre étude, nous nous intéressons aux fronts d'onde naissant au niveau des points de changement de diamètre, ou des nœuds de ramification, et à l'influence de cette perte de charge résultante, pour une caractéristique imposée, sur le coup de bélier.

Mots clés : coup de bélier - perte de charge - loi de Darcy Weisbach - canalisation - front d'onde.

1 INTRODUCTION

Un régime transitoire est un régime variable dans le temps et dans l'espace, se manifestant entre deux régimes stationnaires. C'est un écoulement varié, où les paramètres hydrauliques changent :

$$\left(\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial p}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial p}{\partial x} \neq 0, \frac{\partial v}{\partial x} \neq 0, \dots\right)$$

Il peut se manifester soit dans un canal à ciel ouvert, soit dans une conduite à écoulement en charge par accroissement ou décroissement du débit. L'approche mathématique du problème régissant les phénomènes transitoires peut être abordée de deux manières :

- a) Si le paramètre modificateur occasionne une variation lente du débit et de la pression dans la canalisation, on admet que la loi d'évolution de l'écoulement est donnée d'une façon approchée par l'équation régissant les mouvements non permanents. Cette approche suppose un fluide incompressible et une canalisation indéformable. Le débit, la vitesse et les accélérations

sont identiques en un instant donné en tout point de la canalisation ; c'est un mouvement en masse.

- b) Si le paramètre modificateur occasionne une variation brusque, en donnant un gradient de débit ou de pression important, la déformation de l'enveloppe de la conduite et la compressibilité de l'eau sont à considérer nécessairement. Ces variations rapides du couple débit-pression, n'étant plus constantes en un instant "t" se présentent et se propagent sous forme d'ondes : on dit qu'il se produit un coup de bélier. Nous avons donc affaire à un mouvement dit d'ondes.

Ces deux approches sont régies par les mêmes équations de base :

- ✓ Théorème de quantité de mouvement.
- ✓ Equation de continuité.

2 INFLUENCE DE LA PERTE DE CHARGE SUR LE COUP DE BELIER

La perte de charge a pour rôle d'amortir le coup de bélier par frottement des molécules liquides entre elles et contre la paroi du dispositif solide qui guide le courant. Etant donné qu'en régime transitoire la vitesse d'écoulement est variable dans le temps et dans l'espace, il est très délicat de déterminer sa valeur précise en tout point le long de la canalisation. Par conséquent, pour en tenir compte, nous pouvons supposer une variation parabolique de la vitesse suivant la longueur "l" de la conduite sous forme (voir figure 1) :

$$x = \alpha \cdot v_x^2$$

avec :

$$x_b - x_a = l$$

On peut écrire que :

$$v_x = \sqrt{\frac{x}{\alpha}} \Rightarrow v_x^2 = \frac{x}{\alpha} \quad (1)'$$

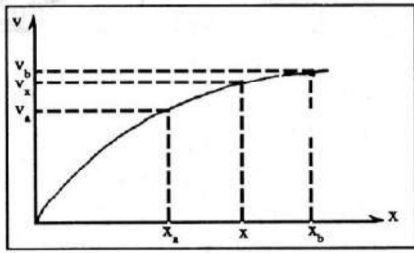


Figure 1

Et $Jx = B v_x^2$ (2)

La perte de charge établie sur une longueur dx sera :

$$\Delta H = Jx \cdot dx \quad (2')$$

D'où pour une longueur $l = x_b - x_a$

$$\Delta H = \int_{x_a}^{x_b} Jx \cdot dx = \int_{x_a}^{x_b} B \cdot v_x^2 \cdot dx \quad (2a)$$

Soit $\Delta H = \frac{B}{2\alpha} (x_b^2 - x_a^2) = \frac{B}{2\alpha} (x_b - x_a) \cdot (x_b + x_a)$ (2b)

Tenant compte de (1) ; on tire :

$$\begin{aligned} \Delta H &= \frac{B}{2\alpha} (x_b - x_a) (\alpha v_b^2 + \alpha v_a^2) \\ &= \frac{B}{2} (v_b^2 + v_a^2) (x_b - x_a) \end{aligned} \quad (2c)$$

Finalement :

$$\Delta H = \frac{\lambda \cdot l}{2D} \left(\frac{v_b^2}{2g} + \frac{v_a^2}{2g} \right) \quad (2d)$$

Soit deux tronçons de sections S_1 et S_2 , ($S_1 < S_2$) en série traversés par un front d'ondes de coup de bélier comme l'indique la figure n°2.

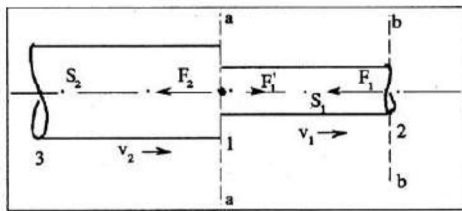


Figure 2

Le front d'onde F_1 , arrivant au point "1", se décompose en deux ondes ; à la suite du changement brusque du diamètre :

- F_1' : réfléchi
- F_2 : transmise

Le principe de raisonnement se fait en se basant sur la méthode d'Allievi et plus précisément à la deuxième équation du système d'Allievi.

$$v_1 = v_{01} - \frac{g}{c_1} (F_1 - F_1') \quad \text{pour le tronçon 1-2} \quad (3)$$

$$v_2 = v_{02} - \frac{g}{c_2} F_2 \quad \text{pour le tronçon 1-3}$$

Si nous nous intéressons au tronçon (1-2) nous pouvons écrire

$$v_a = v_{01} - \frac{g}{c_1} F_1' \quad (3a)$$

$$v_b = v_{01} - \frac{g}{c_1} F_1$$

Selon le concept de réflexion et de transmission des ondes, aux points de singularité, nous pouvons écrire que :

$$F_1' = s_{31} \cdot F_{31} \quad (4)$$

$$F_1 = r_{12} \cdot F_1'$$

En remplaçant (4) dans (3a) nous obtenons :

$$v_a = v_{01} - \frac{g}{c_1} F_1' = v_{01} \left(1 - \frac{g}{c_1 v_{01}} F_1' \right) \quad (5)$$

$$v_b = v_{01} - \frac{g}{c_1} F_1 = v_{01} \left(1 - \frac{g}{c_1 v_{01}} F_1 \right)$$

D'autre part, nous pouvons écrire que :

$$v_a = v_{01} \left(1 - \frac{g}{c_1 v_{01}} F_1' \right) \quad (5a)$$

$$v_b = v_{01} \left(1 - \frac{g}{c_1 v_{01}} r_{12} \cdot F_1' \right)$$

On remarque que :

$$h_{01} = \frac{c_1 v_{01}}{g}$$

est la valeur du coup de bélier majorante engendrée par la vitesse initiale v_{01} du tronçon considéré.

Ce qui nous donne :

$$v_a = v_{01} \left(1 - \frac{F_1'}{h_{01}} \right) \quad (5b)$$

$$v_b = v_{01} \left(1 - r_{12} \cdot \frac{F_1'}{h_{01}} \right)$$

Si on pose, $\xi = \frac{F_1'}{h_{01}}$, comme valeur adimensionnelle du coup de bélier à imposer pour une installation hydraulique, Il en résulte :

$$v_a = v_{01} (1 - \xi) = K_a \cdot v_{01} \quad (5c)$$

$$v_b = v_{01} (1 - r_{12} \xi) = K_b \cdot v_{01}$$

avec :

$$K_a = 1 - \xi$$

$$K_b = 1 - r_{12} \xi$$

Le coefficient r_{12} de réflexion est fonction des caractéristiques de la canalisation telles que la section S et la célérité d'onde c , et est donné par la relation suivante :

$$r_{12} = \frac{\frac{S_1 C_2}{S_2 C_1} - 1}{\frac{S_1 C_2}{S_2 C_1} + 1} = \frac{\beta - 1}{\beta + 1} \quad (6)$$

avec :

$$\beta = \frac{S_1 C_2}{C_1 S_2}$$

Ce qui nous donne :

$$K_a = 1 - \xi$$

$$K_b = 1 - \frac{\beta - 1}{\beta + 1} \xi$$

En remplaçant (5c) dans (2d), nous obtenons :

$$\Delta H = \frac{\lambda l}{D} \cdot \frac{v_{01}^2}{2g} \cdot \left(\frac{K_a^2 + K_b^2}{2} \right) \quad (7)$$

On remarque que si $K_a = K_b = 1$, alors $\xi = 0$, le régime est permanent.

Si nous posons maintenant :

$$m = \frac{K_a^2 + K_b^2}{2}$$

Nous aurons donc :

$$m = \frac{1}{2} (K_a^2 + K_b^2) = \frac{1}{2} \left[(1 - \xi)^2 + \left(1 - \frac{\beta - 1}{\beta + 1} \xi \right)^2 \right]$$

$$m = \frac{\beta^2 + 1}{(\beta + 1)^2} \cdot \xi^2 - \frac{2\xi}{\beta + 1} + 1$$

Nous représentons graphiquement $m = m(\beta)$ pour $\xi = \text{constante}$, c'est-à-dire pour un coup de bélier imposé (Figure 3).

3 CONCLUSION

Etant donné que nous avons supposé une variation para-

bolique de la vitesse le long de la canalisation, nous nous sommes intéressés à celle-ci moyennant la 2ème équation d'Allievi, uniquement aux deux extrémités de la canalisation : c'est-à-dire aux points de naissance des ondes.

Nous avons donc conclu que la relation donnant la perte de charge en régime transitoire s'obtient en affectant celle en régime permanent d'un coefficient (m) qui est fonction des ondes transmises et réfléchies du coup de bélier et de la caractéristique de l'installation imposée.

De même qu'en phase de surpression ($\xi > 0$), ce coefficient (m) est inférieur à l'unité du fait de la perte de vitesse. Par conséquent la perte de charge vaut au maximum 90% de celle en régime permanent. Par contre en phase de dépression ($\xi < 0$), le coefficient (m) dépasse l'unité ☹

NOMENCLATURE

- V_x : Vitesse d'écoulement en un point x de la canalisation, cas d'un régime transitoire.
 x_b, x_a : Abscisses de deux extrémités de la conduite.
 J_x : Gradient de perte de charge au point " x ".
 B : Coefficient de perte de charge.
 ΔH : Perte de charge engendrée dans la canalisation en régime transitoire.
 D : Diamètre de la canalisation.
 λ : Coefficient de frottement.
 v_a, v_b : Vitesses d'écoulement aux points a et b de la conduite.
 v_{01} : Vitesse d'écoulement dans le tronçon 1 - 2, en régime permanent.
 v_{02} : Vitesse d'écoulement dans le tronçon 1 - 3, en régime permanent.
 C_1 : Célérité d'onde dans le tronçon 1 - 2.
 C_2 : Célérité d'onde dans le tronçon 1 - 3.
 S_1 : Section de la conduite 1 - 2.
 S_2 : Section de la conduite 1 - 3.
 s_{13} : Coefficient de transmission d'onde de coup de bélier.
 r_{12} : Coefficient de réflexion d'onde de coup de bélier.
 h_{01} : Valeur majorante du coup de bélier due à la vitesse.
 ξ : Valeur adimensionnelle du coup de bélier.
 K_a : Coefficient de réduction de vitesse initiale, sous le front d'onde au point " a ".
 K_b : Coefficient de réduction de vitesse initiale sous le front d'onde au point " b ".
 β : Caractéristique de la canalisation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. Bednarczyk : "Ruch nieustalony w przewodach pod cisnieniem". Archiwum Hydrotechniki 1974 t ; XXI.
- [2] L. Bergeron : "Du coup de bélier en hydraulique au coup de foudre en électricité". Edition Dunod, Paris, 1950.
- [3] J. Carlier : "Manuel d'hydraulique générale appliquée". Edition Eyrolles, Paris 1972.
- [4] L. Escande : "Coup de bélier dû à la fermeture instantanée dans une conduite à caractéristiques multiples".

Mémoire et travaux de la S.H.F, N°1, Paris 1958.

[5] M. Meunier : "Coup de bélier dans les réseaux sous pression". Edition ENGREF, Paris 1978.

[6] K. Mukhtar Hussan : "Chambre d'équilibre, méthode de calculs détaillés à l'aide d'une calculatrice digital". Université de Lausanne, 1966.

[7] I. Parmakian : "Waterhammer analysis, théorie et calcul du coup de bélier". Prentice Hall, New York, 1955.

[8] E. Roche : "Principes généraux de calcul du coup de bélier et de la protection anti-bélier". I.C. Gref, Paris 1986.

[9] G. Combres et J. Zaoui : "Analyse des erreurs introduites par l'utilisation pratique de la méthode des caractéristiques dans le calcul des coups de bélier". Houille Blanche n°2, 1967.

[10] B. Salah : "Contribution à l'étude du coup de bélier dans une conduite à écoulement gravitaire". Thèse de Magister, ENP Alger, 1986.

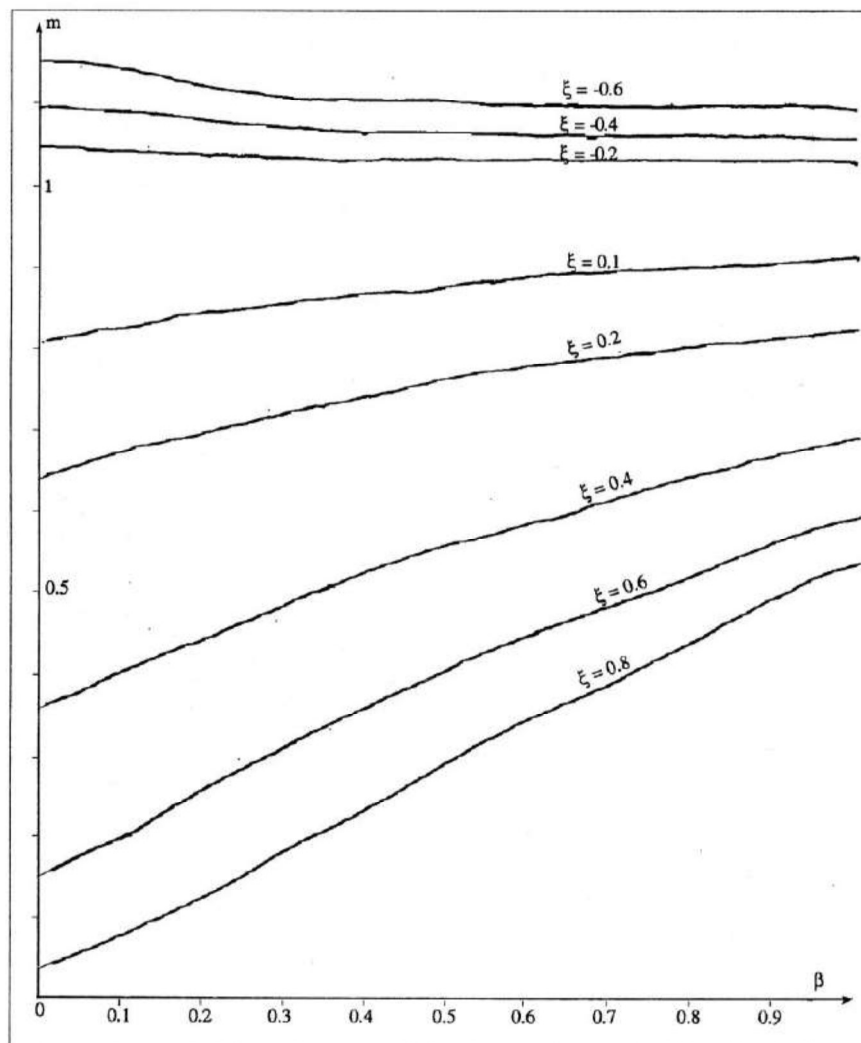


Figure 3 : Graphique de la fonction $m = m(\beta)$, $\xi = c^{te}$