Surpression engendrée au distributeur par la rupture d'une conduite forcée

Overpressure caused at the distributor by a break in a penstock

PAR L. ESCANDE

MEMBRE DE L'INSTITUT

INGÉNIEUR I.E.T.

DIRECTEUR DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ÉLECTROTECHNIQUE
ET D'HYDRAULIQUE DE TOULOUSE

La rupture d'une conduite horizontale, en son milieu, provoque, au distributeur, une dépression initiale, suivie de surpressions et dépressions alternées. La surpression obtenue, relativement modérée tant que la déchirure est insuffisante pour engendrer une cavitation au distributeur, peut devenir très importante pour des ruptures plus étendues. La variation de la surpression maximum avec l'importance de la brèche présente de curieuses discontinuités.

The rupture at the middle of a horizontal pipe first produces a depression at the distributor then alternate over-pressures and depressions. The over-pressure obtained is relatively small when the break is not big enough to cause cavitation at the distributor, but becomes very important for larger breaks. The variation of the maximum over-pressure with the size of the rupture presents curious discontinuities.

Considérons une conduite horizontale AB, à caractéristique unique, alimentée par un réservoir, sous une pression de y_0 mètres d'eau (fig. 1). Nous supposons qu'une rupture, offrant au passage de l'eau une section utile ms , se produit instantanément, au milieu c de la conduite : nous partons d'un état initial de repos, avec distributeur complètement fermé.

Nous négligeons la mise en vitesse et les per-

Fig. 1.

tes de charge, ce qui est parfaitement admissible car nous nous limitons à des débits ne dépassant guère ceux qui interviennent dans le fonctionnement normal de l'usine.

PREMIER CAS. — *Rupture assez faible pour ne pas engendrer des cavitations au distributeur A.*

Nous considérons que la brèche C est alimentée par les deux conduites AC' (débit q' compté positivement de A vers C') et BC'' (débit q'' compté positivement de B vers C'').

q désignant le débit qui s'échappe de la brèche, à l'instant t , on a les relations :

$$\xi = -y_0 + \frac{q^2}{2g m^2 s^2} \quad (1)$$

$$q = q' + q'' \quad (2)$$

Soit P la parabole représentée par l'équation (1), dans le diagramme habituel en (q, ξ) de la méthode de BERGERON (fig. 2), soit n' et n'' les

Fig. 2.

points de fonctionnement en C' et C'' au même instant, la continuité des pressions exige que la surpression ait la même valeur en C' et C''; il en résulte que les points n' et n'' sont situés sur une même horizontale qui, d'après (2), doit couper la parabole P en un point n d'abscisse égale à $q' + q''$.

Nous prenons comme unité de temps $\theta/4$, en appelant θ la durée d'un aller-retour d'onde d'un bout à l'autre de la conduite AB, avec les valeurs suivantes, caractérisant l'installation étudiée :

la pression statique..... $y_0 = 50$ m
la section de la conduite..... $S = 0,50$ m²
la célérité des ondes..... $a = 100 \times g$

I—B. — Nous avons appliqué la même méthode à l'étude de brèches d'importance croissante, jusqu'à la valeur limite au-dessus de laquelle une cavité se forme en A, cas que nous examinons dans la seconde partie de cette étude.

Nous avons caractérisé chacun des exemples

FIG. 5.

ainsi étudiés par la valeur du débit q_0 de régime permanent s'écoulant par la brèche.

Le tableau ci-après donne, en fonction de q_0 , les valeurs de la dépression maximum ξ'_M et de la pression maximum ξ_M atteintes au distributeur A, ainsi que celles du quotient ξ_M/y_0 . Pour simplifier, nous avons admis que la pression atmosphérique correspond à $y_a = 10$ m.

q_0 m ³ /s	ξ'_M m	ξ_M m	ξ_M/y_0
0,100	— 18,2	15,00	0,30
0,200	— 32,6	21,00	0,42
0,270	— 41,2	22,40	0,4475
0,357	— 50	21,50	0,43
0,474	— 60	17,20	0,344

On voit que la dépression croît sans arrêt avec l'importance de la brèche, tandis que la surpression en A augmente tout d'abord puis décroît après être passée par un maximum.

DEUXIÈME CAS. — Rupture assez importante pour engendrer une cavitation au distributeur A.

En A, la dépression ne peut devenir supérieure à $y_0 + y_a = 60$ m. De plus, le débit n'est pas forcément nul en A, pendant la cavitation; un débit positif est toujours possible, avec formation d'une cavité, un débit négatif pouvant lui-même intervenir, quand une cavité préexiste, jusqu'à complet remplissage de celle-ci.

Donc, tant qu'une cavité existe en A, le lieu du point de fonctionnement en A est la droite Δ ($\xi = -60$ m) correspondant au vide en A : quand la cavité est refermée, le lieu du point de fonctionnement redevient l'axe $q = 0$.

FIG. 6.

II — A. — Considérons, par exemple, le graphique relatif à $q_0 = 0,80 \text{ m}^3/\text{s}$ (fig. 6).

Le point d'intersection de l'axe 0ξ et de la droite Φ' issue de 02', ne peut être retenu car il se place au-dessous de la droite Δ : le point de fonctionnement 13 — A se trouve donc sur Δ et une cavité se forme, durant deux unités de temps, avec un débit de $0,084 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les points 13 — B, 24'' et 24' étant déterminés selon les principes déjà exposés, cherchons la position du ou des points de fonctionnement en A pendant l'intervalle de temps 35.

FIG. 7

Au début de cet intervalle, le point est en 3.3, 42 — A à l'intersection de la droite Δ et de la droite Φ' issue de 24'; la cavité se referme, avec un débit négatif $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$, en un temps égal à :

$$\frac{2 \times 0,084}{0,40} = 0,42$$

Ensuite, pendant l'intervalle de temps 3,42.5, la cavité étant fermée, le point de fonctionnement saute en 3,42.5 — A, à l'intersection de 0ξ et de la droite Φ' issue de 24'. La construction habituelle continue ensuite, mais, dans chaque intervalle de deux unités de temps consécutives,

il y a maintenant deux points de fonctionnement successifs à considérer en A, B, C' et C''.

La figure 7 donne les courbes (t, ξ) en A et C.

II — B. — Nous avons aussi étudié les cas relatifs aux valeurs de q_0 indiquées dans le tableau suivant, qui fournit également les valeurs de la surpression maximum ξ_M en A, ainsi que celles du rapport ξ_M/y_0 .

$q \text{ m}^3/\text{s}$	$\xi_M \text{ m}$	$0_M/y_0$
0,174	60	1,20
0,5	58,2	1,165
0,8	40	0,80
1,0	28,2	0,565
1,1	21,6	0,43
1,2	80	1,60
1,5	72,40	1,45
2	57,00	1,14
2,2	31	0,68
2,5	27	0,54
	80	1,60
	68	1,36

On observe la forme de la courbe donnant ξ_M/q_0 en fonction de q_0 (fig. 8), curieuse par ses discontinuités autres que celle, *a priori* normale, qui marque l'apparition des cavitations.

FIG. 8

DISCUSSION

M. le Président GABRIEL remercie M. ESCANDE et souligne l'intérêt de la méthode graphique Bergeron; lors des expériences faites à Toulouse par MM. CAMICHEL et EYDOUX, et auxquelles M. GABRIEL a participé et associé son nom, l'étude de phénomènes aussi compliqués et discontinus que celui qui vient d'être décrit aurait paru inaccessible, mais la méthode Bergeron permet, maintenant, de

les suivre graphiquement, et M. ESCANDE a pleinement réussi à les mettre en lumière de cette façon.

M. AILLERET rapproche le phénomène hydraulique de la rupture d'une conduite de celui du coup de foudre sur une ligne électrique : dans chaque phénomène il y a réflexion avec changement de signe et avec annulation soit d'une des grandeurs soit de l'autre.