MISCELLANÉES

MISCELLANY

AVEC LA COLLABORATION DU PROFESSEUR CYPRIEN LEBORGNE

A PROPOS DU CHARMEUR DE CALEBASSE

(Problème n° 31) (*)

Chers Amis,

Notre énigme du charmeur de calebasse me semble définitivement dénouée puisque M. Durat nous en sert, toute chaude, la solution imprimée noir sur blanc dans un ouvrage vieux de plus de deux siècles.

Que M. Durat soit un « hydraulicien amateur », comme il le dit, nous voulons bien le croire, qu'il soit un bibliophile particulièrement bien informé, vous en serez comme moi absolument convaincus. Ceci prouve une fois de plus en tout cas que, comme j'aime à le répéter souvent, les connaissances scientifiques ne suffisent pas toujours pour résoudre les énigmes hydrauliques. Le « charmeur de calebasse » nous aura montré que l'art de collectionner et de compiler les vieux bouquins peut s'avérer tout aussi efficace.

N'abandonnez pas pour autant l''hydraulique, chers Amis, mais profitez un peu de ce que vos ancêtres avaient imaginé et écrit.

C. L.

LETTRE DE M. DURAT

Monsieur et Cher Professeur.

Modeste hydraulicien amateur, je me suis bien gardé jusqu'à présent d'intervenir dans les savants débats que vous animez si spirituellement dans les Miscellanées, et que je suis toujours, comme je peux, avec un très grand plaisir. L'histoire de votre charmeur de calebasse, par exemple, m'a beaucoup amusé, et j'ai vivement admiré l'astucieuse ingéniosité des solutions suggérées par vos éminents correspondants. Mais, bibliophile enragé et parfois servi par la chance, les quelques mots de votre ami P. Ihr Ahmid, concernant la revue *Sphinx*, ont suffi à exciter ma curiosité et à m'engager dans de patientes recherches qui, comme vous le verrez, se sont avérées fructueuses.

J'envie beaucoup d'abord le collègue de M. P. Ahmid qui est assez heureux pour posséder une collection complète du *Sphinx*, mais cette revue de mathématiques, éditée je crois à Bruxelles, est principalement consacrée aux problèmes curieux et aux mathématiques amusantes... ou réputées telles. Or, le problème du charmeur de calebasse me semble plutôt appartenir au domaine de

(*) Cf. *La Houille Blanche* n° 6/1949 page 84; n° 4/1954 page 518; n° 5/1954 page 642.

l'hydraulique ou de la physique (voire de la magie) qu'à celui des mathématiques, fussent-elles amusantes.

Aussi, je me demande si la référence que cherche M. Delanoy ne se trouve pas plutôt dans la revue américaine *The Sphinx*, revue de magie, qui, après diverses tribulations, était, récemment encore, publiée à New-York sous la direction de John Mulholland. N'ayant pas davantage la collection de cette revue, je n'ai pu vérifier moi-même l'existence effective de l'article en question. Supposons qu'il existe et n'en parlons plus, car j'ai là sous la main deux références, à mon humble avis beaucoup plus intéressantes.

L'une est le fameux ouvrage d'Ozanam, *Récréations mathématiques*, dont la première édition est de 1694 et qui eut, d'après la bibliographie universelle, de nouvelles éditions en 1720, 1735, 1741, 1778 et 1790.

D'après Rouse Ball, l'édition de 1694 est de Paris; une édition en 1696 fut imprimée à Amsterdam — l'une et l'autre en deux volumes. En 1723, six ans après la mort d'Ozanam, il y eut une édition en trois volumes suivis d'un quatrième volume, en supplément, consacré à différents problèmes de physique et à des casse-têtes. Rouse Ball cite également des éditions en 1741, 1750, 1770 et 1790. L'édition de 1750 aurait été corrigée par Montucla dont le nom n'est pas cité.

Une traduction anglaise de l'ouvrage original parut en 1708 et eut quatre éditions : l'édition corrigée par Montucla fut traduite en anglais par C. Hutton et eut trois éditions respectivement en 1803, 1814 et 1840.

Je m'excuse de cette longue énumération, mais étant donné le quiproquo sur *The Sphinx* et *Sphinx*, je tiens à préciser que j'ai devant moi l'édition française de 1770 en quatre volumes éditée par Jombert (supposée corrigée par Montucla) et le passage qui correspond à notre problème se trouve dans le tome IV et, par conséquent, ne doit pas exister dans les éditions de 1694 et 1696 publiées du vivant de l'auteur.

Je vous prête volontiers cet ouvrage pour que vous puissiez reproduire pour vos lecteurs le passage intéressant et la figure correspondante.

La deuxième référence que je puis vous offrir est celle de l'ouvrage de *Récréations Physiques*, de Guyot, qui eut également plusieurs éditions au XVIIIe siècle. Celle que je possède est une réédition, de 1814, de la 4e édition parue en 1799 (3 vol.) qui décrit, quelque peu différemment, une expérience analogue à celle de Ozanam (tome 2).

Vous verrez, d'après ces références, que ni Ozanam ni Guyot ne semblent considérer la chose comme neuve de leur temps et mentionnent même qu'on la trouvait couramment en vente dans le commerce comme curiosité. Peut-être quelque lecteur de *la Houille Blanche* saura nous trouver une référence plus ancienne qui permettra d'élucider le problème soulevé par C. Delanoy de l'origine probable de cette curiosité hydraulique.

En espérant que ces références pourront déjà quelque peu satisfaire la curiosité de M. Delanoy et de vos fidèles lecteurs.

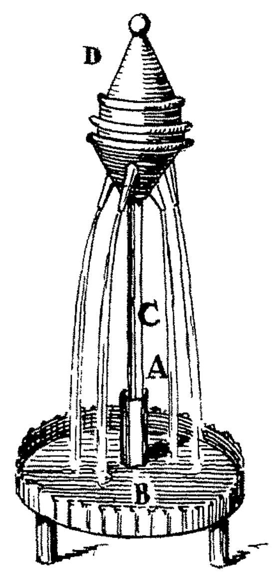
Je reste votre dévoué, B. DURAT.

Merci à M. Durat de nous avoir fait passer l'ouvrage d'Ozanam; j'ai fait copier le passage qui nous intéresse, le voici avec la figure qui l'illustre.

LA FONTAINE DE JOUVENCE

d'après Ozanam (*)

« ... La Fontaine de Jouvence, ou de commandement, se fait de fer-blanc; on en trouve chez les ferblantiers : mais si on la veut faire faire, on la fera construire de



huit pouces de haut, le bord du bassin d'en bas d'un pouce et demi, le tuyau d'en bas de A à B doit avoir trois pouces de haut, et le trou de ce tuyau doit avoir un pouce. Le tuyau C doit s'emboîter dans le tuyau B fort juste. Lorsque vous voulez emplir la fontaine, vous tirez ce tuyau de dedans l'au-

(*) *Récréations mathématiques et physiques*, par feu M. OZANAM, de l'Académie Royale des Sciences, et professeur en Mathématique. Nouvelle édition. — Tome Quatrième. — Chez Claude-Antoine Jombert, Fils, Libraire, rue Dauphine, à Paris.

tre, vous renversez le haut de la fontaine D en bas, vous tournez le tuyau en haut, vous l'emplissez d'eau et vous le remettez dans le tuyau B. La fontaine coule aussitôt, jusqu'à ce que le bassin soit rempli et le trou du tuyau B bouché; pour lors, la fontaine s'arrête et ne coule plus, jusqu'à ce que l'eau se soit écoulée du bassin par un petit trou dans un pot à l'eau, ou autre vaisseau sur lequel la fontaine est posée. Vous prenez garde, quand le trou B se bouche, ou se débouche, pour commander à la fontaine de s'arrêter ou de couler. Quand vous voyez qu'il se débouche, vous lui dites de couler pour le Roi de France; et lorsqu'il est prêt de se boucher, vous lui dites de jouer pour le Grand Turc et elle ne joue pas. Vous lui dites de jouer pour les jeunes, elle joue; pour les vieux, elle s'arrête; et vous continuez de dire différents discours jusqu'à ce que la fontaine ne coule plus et que toute l'eau soit écoulée... »

DE L'UNIVERS EN EXPANSION A LA FILLETTE DE MAITRE SIMON

(Problème n° 68)

C'est une bien curieuse histoire que nous conte ce M. J. Seiche... qui, bien entendu, a toutes les chances de s'appeler Dupont ou Smith, comme vous et moi!

Vous tirez 17 seaux d'eau d'un tonneau... et lorsque vous voulez les y remettre, il n'en va plus que 15! et encore, le tonneau se met à déborder cinq minutes avant le début d'un orage...

Il est vrai qu'il y a du sable dans le tonneau et que sa présence ne doit guère simplifier les choses. Mais tout de même! Essayez, réfléchissez, nous en reparlerons.

C. L.

LETTRE DE M. J. SEICHE

Maître Simon Labèche est l'heureux exploitant d'une grosse ferme située entre l'Artois et le Comtat-Venaissin, c'est aussi un mien-cousin à la mode de Bretagne ayant des ascendants lorrains et bourguignons.

Nous l'appelons « Maître » Simon, car simple fermier, c'est un savant à sa manière. Dans un petit manoir attenant à sa ferme, il a monté une petite bibliothèque où se rencontrent un peu tous les genres, et l'hiver, quand les travaux des champs laissent un peu de répit, il s'y enferme quelques heures par jour. Il aime particulièrement les livres de vulgarisation scientifique, surtout ceux d'une certaine tenue. Le manoir est transformé l'été en pension de famille sous la haute direction de Mme Labèche, née Palouffe. C'est là que je passe mes vacances en compagnie de quelques amis, ingénieurs et physiciens.

Une ou deux fois la semaine, Maître Simon vient passer la soirée avec nous et met en discussion un de ses livres favoris.

Ce soir-là, nous discutions de l'univers en expansion et la conversation dériva sur des comparaisons d'infiniment grands et d'infiniment petits.

« Vous m'amusez, vous autres théoriciens ». dit notre " Maître ", « à vouloir régenter avec vos équations l'infiniment grand et l'infiniment petit; à chacun de vous je dirai : vas-y voir. Expliquez-moi plutôt les réalités de chaque jour, à notre échelle. Sans doute vous me trouvez bien ignorant, mais tant pis; vous me faites penser à ce livre de géologie, là, sur la table, que je lisais l'autre jour, et qui échafaude force théories sur le secondaire et le tertiaire, comme il appelle ces lointaines périodes, et ne parle sensiblement pas du quaternaire, la géologie qui se fait sous nos yeux, que je peux voir moi-même en action dans mes promenades.

« Tenez, votre Univers en expansion me rappelle une expérience curieuse que j'ai faite l'autre jour avec ma fillette, et, bien que l'analogie avec notre discussion soit bien lointaine, si vous me prêtez main forte nous allons la refaire. »

Il nous entraîna vers la cour de la ferme tout ébahis, car, en fait de fillette, nous ne lui connaissions que quatre beaux gaillards de garçons.

La fillette était en réalité une grande tonne ou tonneau, dressée sur des bois équarris et dont le fond supérieur était enlevé. Elle était pleine de sable de rivière, jusqu'à 1 cm du bord, et pleine d'eau à ras-bord.

Un robinet traversait le fond inférieur et était accessible entre les bois, quelques pavés enlevés permettant de glisser un seau en dessous. « J'ai mis une crépine avant le robinet, nous dit-il, si bien que je peux vider l'eau sans entraîner le sable; allons, aidez-moi, tous à l'ouvrage; voyez ces seaux sous l'appentis. »

Nous remplîmes dix-sept seaux en deux heures, mais comme alors l'eau ne venait plus que goutte à goutte, nous nous déclarâmes satisfaits, nous demandant à quoi cela nous mènerait.

« Et maintenant, dit notre Maître avec un sourire énigmatique, remettons l'eau dans la fillette. » Tout d'abord, le sable encore humide avalait l'eau rapidement, mais bientôt il cessa

Sous l'appentis, nous regardions, quand, stupeur, la fillette se mit à déborder cinq minutes avant que la pluie ne commence à tomber.

Maître Simon garde son sourire narquois et ne dit mot.

Soupçonnant quelque supercherie, nous ve-

d'absorber l'eau et c'est de justesse qu'on arriva aux premières lueurs de l'aube à lui faire absorber, par petits coups, le quinzième seau.

Voilà maintenant neuf jours que le seizième et dix-septième seaux sont là en attente à côté de cette fillette qui nous nargue.

Mais, oh! comble, tout à l'heure, à l'approche de l'orage, l'un de nous s'écria : « La pluie qui vient va la faire déborder, allons voir ça. »

nons de sonder le sable en tous sens. Aucun faux fonds ou cloisons. Les données du problème sont bien telles que Maître Simon nous les a présentées tout d'abord et qu'il vient de nous les confirmer.

En qualité d'ancien élève, je me permets...

Votre dévoué,

Jean SEICHE.

LE RÉSERVOIR ANTI-BÉLIER DE SAINT-CYPRIEN

(Problème n° 63) (*)

Je ne regrette décidément pas d'avoir à nouveau ouvert le dossier de Saint-Cyprien... il y a un an déjà! Le réservoir anti-bélier, le problème n° 63, est de ceux qui m'ont valu la correspondance la plus abondante, et j'ai pu vous tenir au courant de l'essentiel des arguments développés au cours de la discussion. Je ne vous ai pourtant pas encore livré la plus longue, et, me semble-t-il, la plus substantielle de toutes ces réponses. M. Bitoun a pris le taureau par les cornes, et le problème à la base; il nous explique les contradictions qui chagrinaient

(*) Cf. *La Houille Blanche* n° 2/1954 page 203; et n° 4/1954 page 638.

tant Nimbus et Dumatoir, et qui faillirent semer la révolution sur les rives de la paisible Gartempe.

Comme quoi les problèmes les plus anodins en apparence peuvent parfois conduire vers les sommets les plus ardus de l'hydraulique. La fréquentation de ces sommets n'est certes pas sans danger : je me suis fait sérieusement étriller par le père Neptune, en même temps que mon excellent ami Casimir Nimbus « encaissait » de la part de M. Sliosberg; nous ne nous en portons pas plus mal ni les uns ni les autres, et *la Houille Blanche* et ses lecteurs sont satisfaits.

Merci à M. Bitoun. Qui dit mieux?

C. L.

LETTRE DE M. BITOUN

Cher Professeur,

Le nouveau problème de Saint-Cyprien-sur-Gartempe m'a d'autant plus intéressé que je me suis moi-même heurté à une difficulté analogue à propos d'un autre problème de protection anti-bélier.

Tout d'abord, il semble bien une fois de plus que :

1. Les abaques et nomogrammes sont faits pour induire en erreur les gens trop paresseux pour réfléchir;
2. Les hypothèses de base, sur lesquelles les vieux professeurs insistent toujours quand ils démontrent un théorème quelconque, sont la première des choses que l'élève ingénieur s'empresse d'oublier;
3. Les problèmes de protection anti-bélier doivent toujours être laissés aux spécialistes, même quand ils paraissent faciles à résoudre.

Ceci dit, permettez-moi de vous livrer le résultat de mes réflexions à propos de la solution de continuité qui semble avoir été découverte lors de la dernière réunion du Conseil Municipal de Saint-Cyprien-sur-Gartempe.

I. — INTRODUCTION

Il est exact, ainsi qu'on le verra plus loin, que le calcul de la pression minimum obtenue en présence de réservoirs d'air suffisamment petits donne, quand on se sert de la formule classique des réservoirs d'air, des pressions minima inférieures à $H_0 - (a\,V_0/g)$.

II. — CALCUL EXACT

J'ai pris comme exemple l'installation de refoulement de Saint-Cyprien-le-Haut : ∅ 800 mm.

$$e = 6 \text{ mm}, \quad H_0 = 90 \text{ m}, \quad Q_0 = 0{,}25 \text{ m}^3/\text{s},$$

$$L = 10.000 \text{ m}$$

(Cette longueur ne figure pas dans les données du problème posé par M. Casimir Nimbus, mais j'ai pu la déduire du coefficient n calculé par lui.) J'ai calculé, par la méthode de M. Sliosberg, les pressions minima obtenues en présence de réservoirs d'air de volumes initiaux différents : 0,1 m³, 0,5 m³, 1 m³, 2 m³, 4 m³. J'ai, d'autre part, calculé par intégration graphique (méthode Schnyder-Bergeron) les mêmes pressions minima exactes. Les résultats sont représentés graphiquement par deux courbes continues sur un diagramme (Z, V) (fig. 1). L'on voit ainsi que la courbe en traits discontinus (méthode exacte) a un minimum égal à $Z_0 - (a\,V_0/g)$.

La courbe en traits continus indique les volumes trouvés par la méthode de l'oscillation en masse. Il est facile d'obtenir l'équation de cette courbe.

Partons de :

$$\frac{z_0}{z} - 1 - \mathrm{L}\,\frac{z_0}{z} = \frac{v_0^2}{2\,g\,z_0} \cdot \frac{\mathrm{L}\,s}{\mathrm{V}_0}$$

Comme la courbe est établie en fonction de V_{max} au lieu de V_0, l'équation s'écrit :

$$z_0 - z - z\,\mathrm{L}\,\frac{z_0}{z} = \frac{v_0^2}{2\,g} \cdot \frac{\mathrm{L}\,s}{\mathrm{V}_{max}}$$

et dans le cas qui nous occupe :

$$z_0 - z - z\,\mathrm{L}\,\frac{z_0}{z} = \frac{62{,}5}{\mathrm{V}_{max}}$$

Nous voyons donc que cette courbe est asymptote à l'axe des z (mais cela est sans intérêt physique car cela se passe dans la région des z négatifs); elle coupe l'axe des V en un point tel que :

$$\mathrm{V} = \frac{62{,}5}{100} = 0{,}625$$

Ainsi la théorie des oscillations en masse, prise comme une vérité absolue, aboutirait à ce résultat burlesque : dans une canalisation non protégée, la seule présence d'une bulle d'air de quelques centimètres cubes ($V_0 \neq 0$) suffirait à provoquer la cavitation à l'origine, cavitation

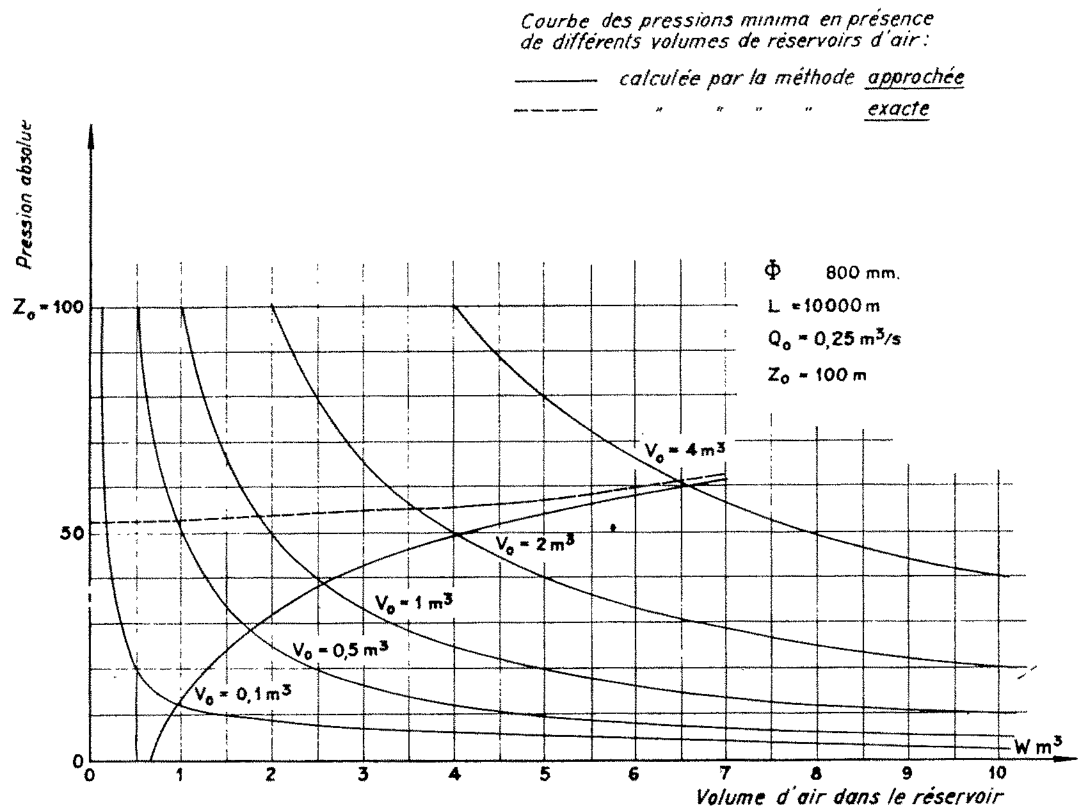


FIG. 1

qui provoquerait, en retour évidemment, une surpression d'autant plus grande que la bulle d'air serait plus petite.

Enfin, notons que les deux courbes sont pratiquement confondues pour des valeurs de V_{max} supérieures à 5 m³.

Un premier résultat peut donc être déduit de cette étude : la méthode Sliosberg est une méthode approchée possédant une bonne approximation si le réservoir choisi est suffisamment grand, mais qui conduit à des erreurs très appréciables quand il s'agit de réservoirs trop petits.

III. — EXPLICATION DE LA CONTRADICTION

La raison de cette différence de résultats entre les deux méthodes est simple. Notons tout d'abord que la méthode de M. Sliosberg n'est originale que dans la façon dont le problème est résolu. Elle est basée sur une théorie des réservoirs d'air qui avait conduit Rateau, à la fin du siècle dernier, à une formule approchée devenue classique depuis lors. Les hypothèses de base de cette théorie avaient d'ailleurs été rappelées par M. Sliosberg dans son article paru dans *la Houille Blanche*, n° 3 - 1952. Toutefois, il eût été indispensable, à mon avis, d'en déduire les limites de validité de cette théorie, et de les préciser. Rateau avait établi sa formule en négligeant la compressibilité de l'eau et la dilatabilité de la conduite devant l'élasticité de l'air contenu dans la cloche anti-bélier. Les cas pratiques où cette hypothèse n'est plus valable sont rares, mais ils existent, et conduisent à des absurdités : Saint-Cyprien-le-Haut en est un.

Calculons la variation de volume de la conduite, et de l'eau, due à une variation de pression de 10 m d'eau.

a) VARIATION DE VOLUME DE LA CONDUITE v_1 :

$$\frac{dr}{r} = \frac{dR}{E}$$

où r = rayon de la conduite,
R = contrainte,
E = module de Young,
D = diamètre de la conduite,
e = épaisseur des tuyaux,
p = pression.

$$dR = \frac{D}{2e}\,dp$$

$D = 80$ cm, $e = 0{,}6$ cm, $dp = 1$ kg/cm²,

$r = 40$ cm, $E = 2{,}1 \times 10^6$ kg/cm² d'où :

$$dR = \frac{80}{2 \times 0,6} = 66,7 \text{ kg/cm}^2$$

et :

$$dr = \frac{40 \times 66,7}{2,1 \times 10^6} = 1,27 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

ou :

$$dr = 1,27 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Pour une conduite de 10.000 m de long, la variation de volume v_1 est :

$$v_1 = 10.000 \times \pi \times D \times dr$$

soit :

$$v_1 = 10.000 \times 3,14 \times 0,8 \times 1,27 \times 10^{-5}$$

d'où :

$$v_1 = 0,319 \text{ m}^3$$

b) VARIATION DE VOLUME DE L'EAU v_2 :

$\dfrac{dV}{V} = \dfrac{dp}{\varepsilon}$ où ε = coefficient de compressibilité de l'eau,

L = longueur de la conduite,

S = section de la conduite.

$$dP = 1 \text{ kg/cm}^2 = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$\varepsilon = 2,07 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$$

d'où :

$$\frac{dV}{V} = \frac{10^4}{2,07 \times 10^8} = 48,3 \times 10^{-6}$$

$$v_2 = 48,3 \times 10^{-6} \times S \times L$$

d'où :

$$v_2 = 48,3 \times 10^{-6} \times 0,5 \times 10.000$$

soit :

$$v_2 = 0,242 \text{ m}^3$$

La variation totale de volume due à une variation de pression de 10 m est donc :

$$v = 0,319 + 0,242 = 0,561 \text{ m}^3$$

REMARQUE. — Cette valeur aurait pu être calculée rapidement de façon approchée en considérant que, d'après Joukowsky, la variation de pression h est provoquée par l'arrêt brusque d'une vitesse d'eau V telle que $h = (aV/g)$. Le volume supplémentaire v' emmagasiné dans la conduite grâce à la compression de l'eau et à la dilatation de la conduite pendant le temps L/a est alors :

$$v' = SV \times \frac{L}{a} = S \times \frac{gh}{a} \times \frac{L}{a} = \frac{gh\,LS}{a^2}$$

si : $g = 9,81$ m/s²,

$h = 10$ m,

$L = 10.000$ m,

$S = 0,5$ m²,

$a = 930$ m/s.

$$v' = \frac{9,81 \times 10 \times 10.000 \times 0,5}{930^2} \text{ m}^3$$

ou :

$$v' = 0,561 \text{ m}^3,$$

résultat analogue au précédent.

Etant donné les différentes variations de pressions calculées par la méthode Schnyder-Bergeron en présence de divers réservoirs d'air, j'ai calculé les variations de volume correspondantes dues à l'élasticité de l'eau et de la conduite, et afin de les comparer aux volumes d'air, j'ai dressé le tableau suivant :

V_0 (m³)	V_{max} (m³)	V (m³)	H (m)	v (m³)	v/V (%)	dh/H (%)
0,1	0,95	0,85	48	2,69	325 %	83 %
0,5	1,77	1,27	47	2,63	207 %	53 %
1	2,57	1,57	46	2,58	164 %	33 %
2	4,04	2,04	45	2,52	123 %	11 %
4	6,60	2,60	39	2,18	84 %	2,5 %

V : Variation de volume de l'air; H : chute de pression; v : variation de volume (eau + conduite); dh : différence entre méthode exacte et approchée.

Ce tableau montre que la formule approchée donne des résultats satisfaisants dans la mesure où le volume d'eau provenant de l'expansion de l'eau et de la contraction de la conduite quand la pression diminue est plus faible que l'expansion de l'air contenu dans la cloche. Ce résultat tombait sous le sens qualitativement : il vient d'être précisé quantitativement dans le cas présent.

IV. — CONCLUSIONS PRATIQUES

J'ai eu jusqu'à présent à calculer un grand nombre de réservoirs d'air destinés à protéger de petites installations de pompage. Il peut être intéressant pour M. Casimir Nimbus de savoir de quelle façon je procède pour déterminer leur dimensionnement :

a) Je calcule le $(a\,V_0/g)$ et je contrôle s'il est compatible avec le profil en long de la conduite;

b) S'il ne l'est pas, je calcule la pression minimum obtenue en faisant intervenir l'inertie du groupe moto-pompe; cette inertie limite la dépression à des valeurs notablement plus faibles que $(a\,V_0/g)$, mais seulement sur le tronçon de la conduite situé immédiatement à l'amont du réservoir :

400 à 1.500 m si l'installation est électrique,

1.200 à 1.500 m si l'installation est diésel;

c) Si la pression minimum ainsi obtenue n'est toujours pas compatible avec le profil en long de

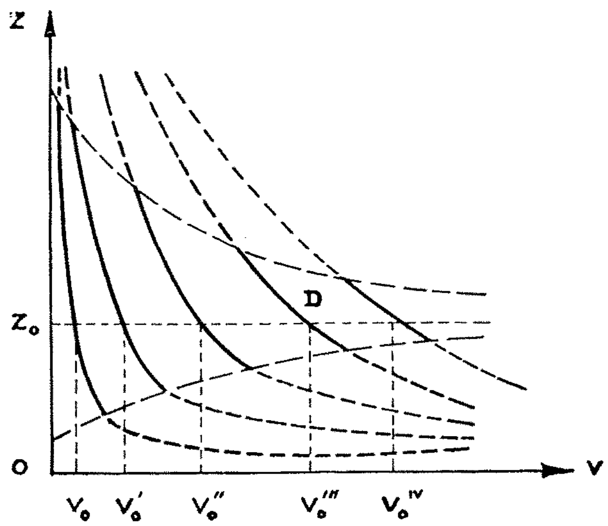


FIG. 2

la conduite, je trace un diagramme (Z, V) représentant la variation de volume de diverses masses d'air avec la pression (absolue), les volumes initiaux sous la pression absolue de refoulement Z_0 étant V_0, V'_0, V''_0, ...

Il est classique de supposer que la transformation est isotherme (Rateau, Sliosberg, ...); M. Camichel avait déjà montré que la transformation réelle est plus proche de l'adiabatique que de l'isotherme. Un coefficient $\gamma = 1{,}3$ serait à mon avis convenable. De toutes façons, on peut voir qu'un calcul adiabatique conduit, pour le même réservoir et la même installation, à des variations de pressions plus grandes. Il est donc plus sûr de faire le calcul avec des courbes Z, V adiabatiques.

L'on sait que l'évolution du phénomène se fera sur une portion de courbe adiabatique telle que les portions en traits pleins de la figure 2. La pression maximum sera d'autant plus élevée que le point de départ se trouvera sur la partie en pente de l'adiabatique. On a donc intérêt à se trouver en un point tel que D. Je choisis donc ainsi un volume initial V'''_0;

d) Je fais le calcul de l'évolution du coup de bélier par la méthode graphique Schnyder-Bergeron. Elle est un peu plus longue que la méthode Sliosberg, ou Combes-Borot, ..., mais l'exactitude des résultats justifie les quelques heures de travail nécessaires. De plus, les installations à caractéristiques uniques sont les seules qui puissent être calculées par une méthode approchée, et elles sont rares;

e) Ayant obtenu la distribution, le long de la conduite, des pressions maximum et minimum, je vérifie si ces pressions sont compatibles avec le profil en long de la conduite et son épaisseur. Le réservoir peut avoir été choisi soit trop grand, soit trop petit;

f) S'il est trop grand, la différence n'est généralement pas grande; si elle l'est, je refais le calcul avec un réservoir plus petit; si le volume initial V'''_0 avait été trop petit, je refais le calcul avec un volume plus grand.

Toutefois, quand l'opérateur est plus ou moins exercé, il est rare qu'il ait à faire deux calculs. Même en ce cas, il est rare de passer plus de deux journées de travail sur la protection d'une installation de pompage à l'aide d'un réservoir d'air.

Marcel BITOUN,
Ingénieur Hydraulicien.