

RECHERCHES SUR LES CONDUITES POSSÉDANT DES RÉSERVOIRS D'AIR

Dans un mémoire récent (1), M. Camichel, Professeur à la Faculté des Sciences et Directeur de l'Institut Electrotechnique de Toulouse publie les résultats de recherches non publiées jusqu'alors sur les conduites possédant des réservoirs d'air.

La place nous manque pour donner comme il conviendrait ce travail en entier, mais nous en extrayons les applications pratiques suivantes dont nos lecteurs pourront apprécier la valeur.

APPLICATIONS DIVERSES.

Remplissage des conduites.

Dans les conditions de basse chute, il se produit parfois, au moment du remplissage, des oscillations en masse susceptibles de provoquer des pressions élevées; ces oscillations peuvent provenir du déplacement des grandes bulles existant dans la conduite.

D'une façon générale, il convient de faire arriver l'eau avec le maximum de lenteur compatible avec les conditions de l'installation et d'attendre que la purge de la conduite soit complète pour mettre en marche les turbines, la présence de bulles d'air étant susceptible de provoquer des phénomènes de résonance dangereux.

La vidange d'une poche d'air peut provoquer des pressions élevées; l'expérience suivante le montre: on ouvre le robinet d'une poche d'air située à l'extrémité aval de la conduite de 80 millimètres (fig. 23); l'écoulement de l'air produit dans la

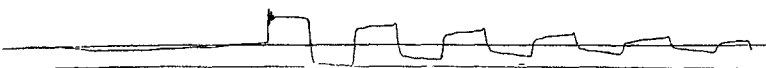


Fig. 23. — Surpression produite par la vidange d'une poche d'air; on voit que la surpression dépasse la pression statique; expérience: IE-162-6.

conduite un coup de bélier d'ouverture qui s'amortit rapidement. La vitesse de l'eau dans la conduite a une valeur sensiblement constante v_0 . Au moment où l'air est complètement évacué, la vitesse de l'eau dans la conduite décroît brusquement jusqu'à une valeur très faible; tout se passe comme dans le cas d'une fermeture de très courte durée. La surpression est très sensiblement égale à $\frac{av_0}{g}$, elle peut dépasser beaucoup la pression statique.

Un accident de ce genre peut se produire quand un réservoir d'air branché sur une conduite en charge est fêlé par accident.

Clapet automatique enregistreur de purge.

On peut se rendre compte de l'état d'une conduite par l'examen des diagrammes de fermeture, par la méthode de la dépression

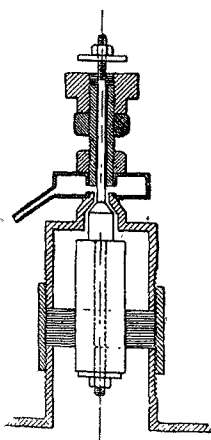


Fig. 24. — Clapet automatique enregistreur de purge.

brusque, etc., comme je l'ai indiqué, mais il est plus simple dans la pratique d'employer un clapet automatique (fig. 24) susceptible

(1) Publications de l'Institut d'Electrotechnique et de Mécanique appliquée de l'Université de Toulouse (1920).

de donner, par son fonctionnement, que des variations de pression très réduites; on y arrive facilement en munissant le clapet à sa partie inférieure d'une masse assez lourde pour qu'il s'ouvre dès que la pression devient légèrement inférieure à la pression statique. Un tachymètre actionné par le mouvement alternatif du clapet indique directement l'état de la conduite. La période de la conduite entièrement purgée est calculée *a priori*, ou bien déterminée par l'expérience. La figure 25 indique le graphique des variations de pression indiquées par l'appareil.

Emploi des ventouses pour la purge des conduites.

On emploie souvent pour éliminer les bulles d'air qui se produisent dans les conduites des appareils appelés ventouses. La figure 26 représente le schéma d'une ventouse de la maison d'Aubriès de Villerupt. Le fonctionnement de ces appareils est très simple: quand une bulle entraînée par le mouvement de l'eau dans la conduite arrive en regard de la cloche A, l'air monte vers la partie supérieure de cette cloche et remplit la chambre H. Le clapet B tombe et démasque l'orifice C. L'air sous pression est évacué par la tubulure D, ce qui provoque un mouvement ascendant de l'eau dans la cloche A et une certaine vitesse v_0 dans la conduite.

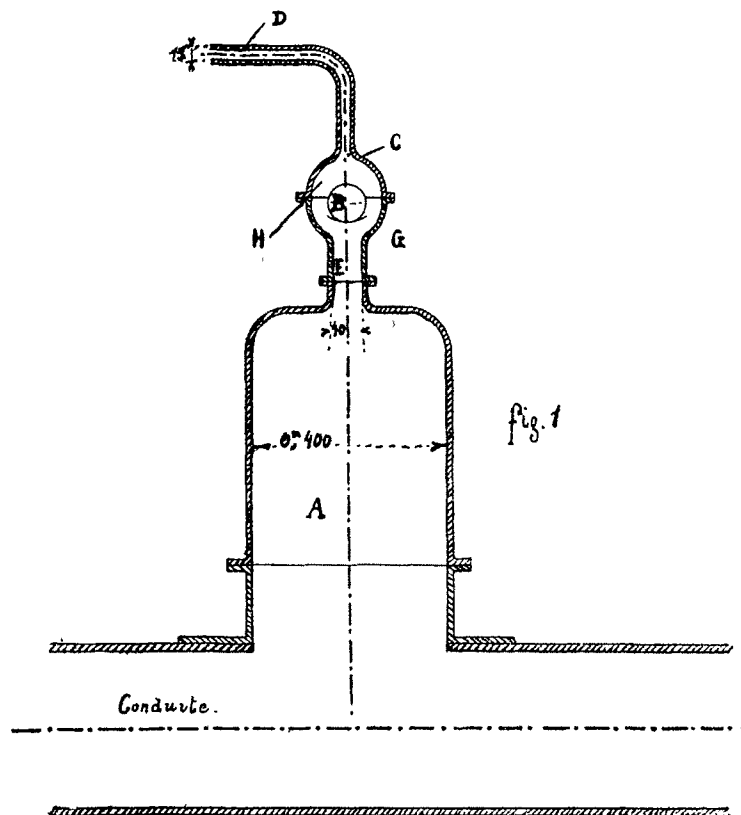


Fig. 26. — Ventouse.

Au moment où l'eau arrive au sommet de la cloche A, sa vitesse varie dans un intervalle de temps très court dans un rapport sensiblement égal au rapport des surfaces de la section de la cloche A et de la section de la tubulure E; pour les dimensions indiquées sur la figure 26 ce rapport est égal à $\frac{1}{100}$, les pertes de charge sont négligées. De pareilles variations de vitesse provoquent des surpressions élevées susceptibles d'entraîner des ruptures de la conduite.

Dans une étude faite en collaboration avec M. l'ingénieur Espagnol, nous avons atténué très notablement ces surpressions, en ajoutant au bas de la tubulure E un tube percé de trous, comme le montre la figure 27: la diminution de la vitesse de l'eau se produit d'une façon progressive, car les trous par lesquels l'air

peut sortir sont fermés à mesure que l'eau monte dans la cloche. La loi de variation de la vitesse de l'eau dans la conduite peut être modifiée à volonté en changeant le progresseur et la disposition des trous percés dans le tube. *Tout se passe donc comme si la conduite était munie d'un distributeur dont la vitesse de fermeture est variable à volonté.*

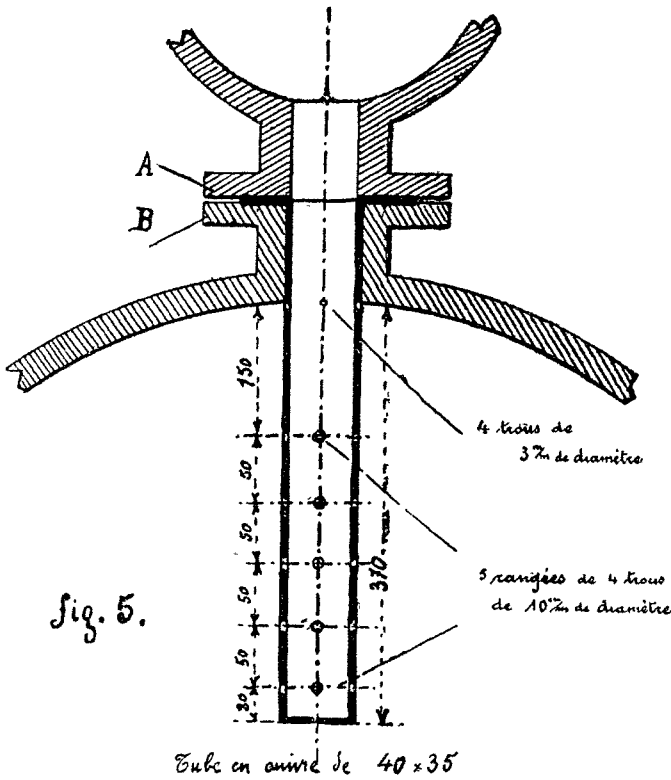


Fig. 27. — Ventouse munie d'un tube destiné à l'atténuation des coups de bélier.

Un autre procédé susceptible d'améliorer le fonctionnement des ventouses et d'éviter les ruptures de conduites consiste à subdiviser celles-ci en divers tronçons en les munissant, aux points les plus élevés, de chambre d'eau ou de cheminées d'équilibre de grand diamètre. On réduit ainsi l'énergie accumulée dans la masse d'eau en mouvement au moment de la sortie de l'air (1).

A cet égard, on peut dire qu'une grosse bulle située dans une conduite est susceptible de protéger celle-ci en faisant l'office de chambre d'eau et produisant un véritable sectionnement de la conduite. A condition que le volume de cette bulle soit assez considérable, la pression y reste sensiblement constante et les réflexions s'y produisent avec changement de signe comme sur une chambre d'eau ; les surpressions n'atteignent pas les portions de la conduite situées au-delà.

REMARQUE SUR L'EMPLOI DES INDICATEURS ; INFLUENCE DE TUBE DE COMMUNICATION RELIANT LE MANOMÈTRE A LA CONDUITE

En vue de l'emploi des indicateurs et du choix du tube mettant la conduite en communication avec celui-ci, on peut faire la remarque suivante (2) :

(1) Pour l'étude des cheminées d'équilibre, consulter le Mémoire de M. Eydoux, *Les mouvements de l'eau et les coups de bélier dans les cheminées d'équilibre* (1919).

(2) Tous les systèmes élastiques sont évidemment susceptibles de provoquer des oscillations dans les conduites et, si leur importance est assez grande, des oscillations en masse. Dans les conduites étudiées, j'ai évité d'employer des joints élastiques. Dans une conduite de 100 mètres de long à joints de caoutchouc installée à l'usine à gaz de Toulouse, la fermeture du robinet située à l'extrémité aval provoquait des déplacements de l'extrémité atteignant 25 centimètres d'amplitude. La conduite de 80 millimètres de l'Institut électrotechnique était formée de tronçons réunis entre eux par des raccords à vis sans interposition de joints de caoutchouc.

Considérons un manomètre M. branché sur une conduite C par l'intermédiaire d'un tube de longueur L et de section S. Le manomètre, quel qu'il soit, indicateur, manomètres genre Bourdon, plaque métallique mince analogue à celles employées dans les baromètres anéroïdes, enregistre les variations de pression,

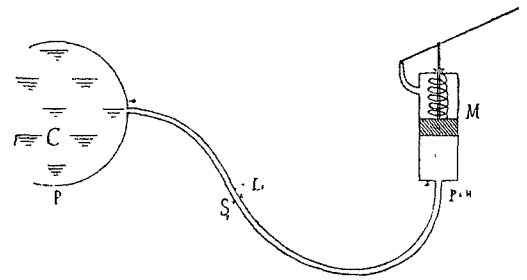


Fig. 28. — Schéma d'une conduite munie d'un indicateur.

par une déformation, qui provoque dans le tube de communication une mouvement en masse de l'eau. Soit $y + H$ la pression en M, la pression au temps t sera $H(1+z) + y$, y la pression dans la conduite C au point où se trouve le tube de communication. Le théorème des forces vives donne, en désignant par v la vitesse de l'eau dans le tube,

$$HS_1 v dt + [yS_1 - (y + H(1+z))S_1] v dt = \frac{LS_1}{g} v dv$$

ou

$$\frac{L}{g} \frac{dv}{dt} = -Hz. \tag{29}$$

La variation de pression Hdz entraîne, par suite du déplacement du piston de l'indicateur, une variation de volume qui lui est proportionnelle ; en appelant k le rapport de proportionnalité, on a :

$$S_1 v dt = k H dz,$$

d'où :

$$\frac{L}{g} \frac{k}{S_1} H \frac{d^2z}{dt^2} = -Hz.$$

La période τ de l'oscillation en masse qui va prendre naissance sera :

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{Lk}{gS_1}} \quad \text{posons :} \quad Hz = A \sin \frac{2\pi t}{\tau}. \tag{30}$$

En désignant par v_0 la valeur de la vitesse v à l'époque zéro, où H est nul, on a :

$$v_0 = \frac{k}{S_1} A \frac{2\pi}{\tau},$$

d'où :

$$A = v_0 \frac{S_1}{k} \frac{\tau}{2\pi} = v_0 \frac{L}{g} \frac{2\pi}{\tau} = v_0 \sqrt{\frac{L S_1}{g k}}, \tag{31}$$

On pourra employer l'une ou l'autre de ces formules. Donnons un exemple :

Prenons un indicateur à ressort extérieur (fig. 3 du tome I) donnant une déviation du style de 60 millimètres pour une augmentation de pression de 1 atmosphère ; le piston de cet indicateur a 2 centimètres de diamètre. Quand le style se déplace de 6 centimètres, le piston se déplace de 1 centimètre seulement. On a :

$$\begin{aligned} \pi \times 10^{-4} \times 10^{-2} &= k \times 10, \\ k &= \pi \times 10^{-7}. \end{aligned}$$

Voici une expérience IE-138-9 (fig. 29) :
 $l = 15,3$; $d = 11$ mm. diamètre du tube de communication
 $H = 4$ m 70, v_0 correspond à un débit de 1350 cm³ en 80^s.

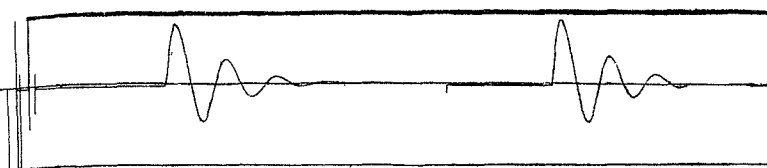


Fig. 29. — Influence du tube de communication placé entre le manomètre et la conduite; expérience : IE-138-8 et 9

Nous avons :

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{15,3 \times \pi \times 10^{-7}}{9,81 \times \pi \times \frac{1,1}{4} \times 10^{-4}}} = 0^s,45,$$

on trouve 0^s,46.

v_0 est donné par la formule :

$$v_0 \times \pi \times \frac{1,1^2}{4} \times 10^{-4} = \frac{1350}{80} \times 10^{-4},$$

d'où $v_0 = 0$ m. 18

et

$$A \text{ calc.} = \frac{1350}{80} \times \frac{4 \times 10^{-2}}{1,1^2} \times \frac{2 \times 15,3}{9,81 \times 0,45} = 3 \text{ m. } 85.$$

Comme sur le diagramme : IE-138-9, 27 mm. 2 correspondent à 4 m. 7 de pression, et que la surpression A est mesurée par 21 m 5, on a :

$$A \text{ obs.} = \frac{4,7 \times 21,5}{27,2} = 3 \text{ m. } 71;$$

on a exagéré, à dessein, les perturbations dans les expériences précédentes.

C. CAMICHEL,
 Professeur à la Faculté des Sciences,
 Directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

MÉCANIQUE APPLIQUÉE

Sur une nouvelle forme canonique des massifs armés. — Note de M. Charles RABUT.

Jusqu'à ce jour, les pièces métalliques unies à du béton en vue de créer un ensemble résistant ont affecté la forme *linéaire*, c'est-à-dire celle de barres droites ou courbes dont la section peut avoir une forme quelconque, mais dont les dimensions transversales sont faibles par rapport à la dimension longitudinale. Dans une Note insérée aux *Comptes rendus* (avril 1902), intitulée *Lois de déformation, principes de calcul et règles d'emploi scientifique du béton armé*, j'ai établi que la forme canonique de cette combinaison comporte zéro, un, deux ou trois cours d'armatures tendues normales entre elles, dirigées en chaque point suivant les efforts moléculaires principaux, selon que, parmi ces efforts, il y a soit zéro, soit une, soit deux, soit trois tensions, et n'exerçant sur le béton que des réactions tangentielles suivant leur direction. Ces trois cours forment ainsi un *système de lignes triplement or-*

thogonal dont la généralité n'est pas plus restreinte que celle du système des *charges*, c'est-à-dire des forces extérieures auxquelles le massif doit résister.

Les nouvelles conditions économiques créées par la guerre, qui entraînent une révolution dans l'art de bâtir, m'ont conduit à envisager, étudier et réaliser le remplacement systématique de l'*armature-ligne* par l'*armature-surface*, formée de plaques planes ou courbes dont l'épaisseur peut, en principe, varier suivant une loi quelconque, mais reste faible par rapport aux deux dimensions superficielles.

Cette combinaison comporte zéro, un ou deux cours d'armatures normales entre elles, orientées en chaque point parallèlement à deux des trois efforts principaux, selon que parmi ces efforts il y a soit zéro, soit une ou deux, soit trois tensions, et n'exerçant sur le béton que des réactions tangentielles ; l'emploi de trois cours autour d'un point donné est toujours superflu puisque trois tensions triorthogonales peuvent se placer dans deux plans perpendiculaires, dont l'un possède même un degré de liberté ; il est toutefois avantageux que chacun de ces deux plans contienne deux des tensions principales, dont l'une soit la plus grande des trois ; cela posé, et admettant que les deux plus faibles tensions principales sont tangentes à un troisième cours *virtuel*, on peut dire que l'armature idéale complète forme un système de surfaces triplement orthogonal, d'autant plus que chacun des trois cours peut être réel dans certaines régions et virtuel dans d'autres selon l'agencement des forces extérieures

Dans une région où les trois efforts principaux sont des tensions, on peut, au lieu d'employer exclusivement des barres ou des plaques, combiner un cours de plaques avec un cours de barres ; en chaque point, la barre est dirigée suivant une des tensions principales et la plaque est orientée suivant le plan des deux autres. Il faut remarquer d'ailleurs qu'un massif où tous les efforts intérieurs seraient des tensions n'a pas sa raison d'être, l'emploi du béton ne pouvant être justifié que par l'existence et même la prédominance des pressions. Le système mixte qui vient d'être défini ne se réalisera donc jamais seul et doit être rationnellement considéré comme une transition motivée par l'emploi, dans deux parties contiguës d'une même construction, des deux formes canoniques simples, savoir : la forme actuelle (armature en barres) à laquelle restera attaché le nom d'*Hennebique*, et la forme nouvelle (armature en plaques) qui est, à mon avis, celle de l'avenir.

Elle présente en effet de nombreux avantages que l'évolution économique du monde tend à rendre de plus en plus grands, savoir :

Economie sur la main-d'œuvre nécessaire pour la mise en place et l'assujettissement d'un poids donné de métal ;

Plus grande stabilité avant et pendant l'enrobage ;

Utilisation de la résistance dans deux directions principales d'efforts intérieurs au lieu d'une seule ;

Pour une plaque enrobée sur ses deux côtés, indépendance des deux faces au point de vue de la direction de l'effort tangentiel total, d'où augmentation du nombre des paramètres dont-on dispose pour serrer de plus près les données d'un projet ;

Pour une plaque enrobée d'un seul côté, obtention de la résistance maxima par l'éloignement maximum de l'axe neutre ; suppression de la *tranche morte*, c'est-à-dire de la zone d'enrobage comprise entre l'armature et le parement, zone condamnée à la fissuration et ne possédant pas la même résistance que le reste du massif ;

Dans le même cas, protection du béton contre les chocs, les attaques chimiques, les infiltrations ;

Dans le même cas encore, faculté d'utiliser l'armature comme coffrage ;

Dans tous les cas, possibilité d'augmenter ou suppléer l'adhérence en soudant à la plaque des nervures métalliques transversales à l'effort tangentiel résultant et qui agissent par pression sur le béton ;

Enfin facilité de supprimer l'enrobage dans les régions où le métal est exclusivement tendu.