

La résonance des conduites à caractéristiques linéairement variables

Autor(en): **Favre, Henry**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **68 (1942)**

Heft 6

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-51794>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 13.50 francs

Etranger : 16 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 11 francs

Etranger : 13.50 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairie
F. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : M. IMER, à Genève ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; A. DE KALBERMATTEN, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

Publicité :
TARIF DES ANNONCES

Le millimètre
(larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions
de pages.

Rabais pour annonces
répétées.

ANNONCES-SUISSES S.A.

5, Rue Centrale,
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; M. IMER.

SOMMAIRE : *La résonance des conduites à caractéristiques linéairement variables* (suite et fin), par HENRY FAVRE, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale. — *Section genevoise de la Société suisse des ingénieurs et des architectes : Rapport de la Commission d'étude des problèmes techniques genevois.* — NÉCROLOGIE : *Alfred-E. Vallette, ingénieur.* — *Société suisse des ingénieurs et des architectes : Communiqué du Secrétariat.* — BIBLIOGRAPHIE. — SERVICE DE PLACEMENT. — DOCUMENTATION.

La résonance des conduites à caractéristiques linéairement variables

par HENRY FAVRE,
professeur à l'Ecole polytechnique fédérale.

(Suite et fin).¹

§ 3. Comparaison des valeurs données par l'équation des périodes à quelques résultats expérimentaux.

Les principales expériences de MM. Camichel, Eydoux et Gariel ont été faites sur les conduites C_4 et P_3 de l'usine de Soulom (Hautes-Pyrénées).

La première a une longueur de 536,36 m et un diamètre intérieur de 810 mm. Elle est composée de 40 tronçons d'épaisseur variant de 7 à 20 mm, allant de la chambre d'eau au distributeur. La seconde a une longueur de 346,51 m et un diamètre intérieur de 1200 mm. Son épaisseur varie de 7 à 13 mm.

Ces deux conduites sont à diamètre constant. Par contre, a varie le long de l'axe puisque l'épaisseur est variable. Si l'on dessine, pour chacune d'elles, le diagramme de a en fonction de x , on constate qu'il est très facile de tracer une « droite moyenne » ce qui signifie que ces conduites se laissent facilement « assimiler » à des conduites à caractéristiques linéairement variables².

Les expérimentateurs ont très bien pu mesurer les périodes apparentes de C_4 et P_3 .

¹ Voir *Bulletin technique* du 7 mars 1942, page 48.

² Voir à la page 255 de l'ouvrage de MM. CAMICHEL, EYDOUX et GARIEL le diagramme de a pour la conduite C_4 .

Une troisième conduite à caractéristiques variables a été également l'objet de mesures analogues. C'est la conduite IE de l'Institut électrotechnique de Toulouse. Celle-ci se laisse plus difficilement assimiler à une conduite à caractéristiques linéairement variables, car elle est constituée par deux tronçons très différents. Le premier a une longueur de 201,63 m, un diamètre de 80 mm et une épaisseur de 5 mm. Le second a une longueur de 105,85 m, un diamètre de 40 mm et une épaisseur de 3 mm.

Il est donc intéressant de comparer les résultats d'expériences faites sur ces trois conduites à ceux donnés par la formule (22) ou (22'). C'est ce que nous avons fait au tableau suivant, dont les deux premières lignes se rapportent aux conduites C_4 et P_3 et le troisième à la conduite IE .

A la deuxième colonne de ce tableau est indiquée la période théorique $2T$ calculée par MM. Camichel, Eydoux et Gariel d'après les caractéristiques des tronçons.

Les colonnes 3 à 6 contiennent les valeurs de D_a , D_o , a_o , a_m relatives aux conduites à caractéristiques linéairement variables qui s'approchent le plus des conduites données¹. 7, 8, 9 sont les valeurs correspondantes de μ , ν et σ .

La colonne 10 donne la valeur de la période apparente du fondamental $(T_a)_1$ calculée d'après (22), tandis que 11 indique la valeur mesurée pour cette période.

La comparaison des chiffres des colonnes 10 et 11 montre que la formule (22) ou (22') est confirmée par

¹ Pour la conduite IE , le diamètre D_o a été pris égal à celui du tronçon inférieur, tandis que D_a a été choisi de façon que la conduite conique ait un volume d'eau égal à celui de la conduite donnée.

Comparaison de quelques résultats d'expériences aux valeurs de $(T_a)_1$ données par la formule

$$\operatorname{tg} \left(\pi \frac{T}{T_a} \right) = - \frac{\pi T}{T_a} \frac{1}{\sigma} \quad (22)$$

Conduite	$2T$	D_A	D_o	a_o	a_m	μ $= \frac{D_A - D_o}{D_o}$	ν $= \frac{a_o - a_m}{a_m}$	σ d'après (12)	$(T_a)_1$ d'après (22)	$(T_a)_1$ mesuré
	sec	mm	mm	m sec ⁻¹	m sec ⁻¹				sec	sec
C_4	2,008	810	810	1236	1068	0	0,1573	0,1698	1,89	1,87 ⁵
P_3	1,461	1200	1200	800	949	0	0,1570	0,1693	1,37 ⁵	1,36 ⁵
IE	0,932	94,3	40	1376	1320	1,359	0,0273	1,425	0,68	0,69
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

l'expérience, du moins en ce qui concerne la période apparente du fondamental ¹.

§ 4. La résonance des conduites à caractéristiques linéairement variables.

Certaines manœuvres rythmiques de l'obturateur peuvent provoquer des phénomènes de résonance dangereux pour les conduites. Il est donc important de pouvoir reconnaître dans quelles conditions ces phénomènes se produisent.

La résonance a déjà été étudiée de façon systématique dans le cas des conduites à caractéristique unique (Allievi, Camichel), dans celui des conduites formées de plusieurs tronçons (Camichel, Jæger) et dans celui des conduites avec chambre à air (Foch).

Nous voulons l'étudier pour les conduites à caractéristiques linéairement variables. Nous n'envisagerons ici que les manœuvres qui ramènent périodiquement l'obturateur au point de fermeture totale. Ce sont en effet les plus dangereuses ².

¹ Les expériences de MM. CAMICHEL, EYDOUX et GABRIEL permettent par contre difficilement de faire une vérification des périodes données par la formule (22) pour les harmoniques. Voici pourquoi.

¹o Conduites C_4 et P_3 . Les périodes apparentes et théoriques calculées pour les harmoniques de même ordre diffèrent entre elles de moins de 1 %, comme le montrent les formules (22''). Il faudrait donc faire des expériences d'une extrême précision pour prouver que ces conduites vibrent avec les périodes apparentes et non avec les théoriques. Les expériences citées semblent confirmer la formule (22), sans toutefois permettre de trancher la question.

²o Conduite IE . Les périodes mesurées pour les harmoniques tendent à confirmer que ce sont les périodes théoriques qui entrent en ligne de compte. Cela vient probablement du fait que cette conduite est constituée par deux tronçons très différents. Chaque tronçon est le siège d'un système déterminé d'ondes stationnaires. Il n'est donc pas possible, pour les harmoniques, d'assimiler IE à une conduite à caractéristiques linéairement variables.

² Voir CH. JÆGER : C. R., t. 202, p. 913.

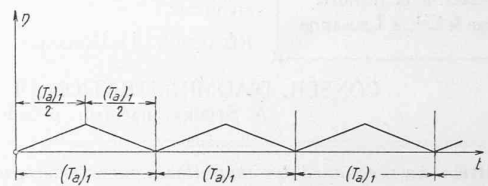


Fig. 6. — Manœuvre de l'obturateur provoquant la résonance. (Premier cas.)

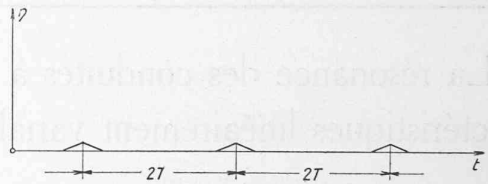


Fig. 7. — Manœuvre de l'obturateur provoquant la résonance. (Deuxième cas.)

La question primordiale est d'examiner quelle période doit avoir une manœuvre rythmique pour provoquer la résonance. Cette période doit-elle être égale à la période apparente ou à la période théorique de la conduite ?

La réponse nous paraît immédiate ¹. Si l'ouverture de l'obturateur varie sans arrêt pendant la manœuvre, c'est la période apparente qui provoquera la résonance (fig. 6). Au contraire, si l'obturateur s'ouvre et se referme très rapidement à intervalles réguliers et espacés, c'est la période théorique qui sera dangereuse (fig. 7).

¹ Pour simplifier nous n'envisagerons ici que la résonance du fondamental. Des affirmations analogues à celles que nous indiquerons sont valables pour les harmoniques.

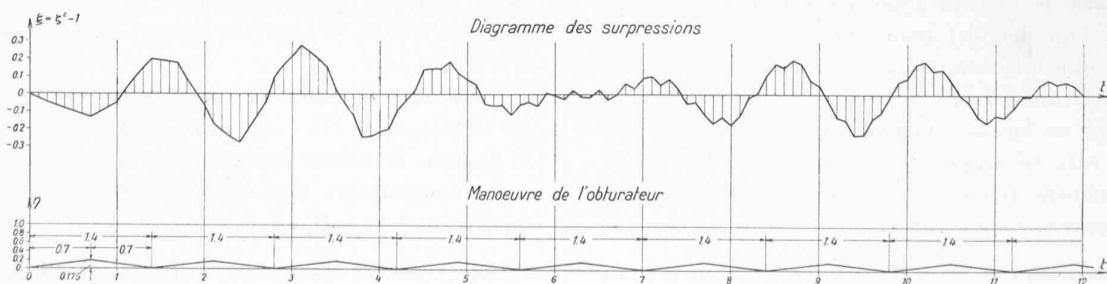


Fig. 8.

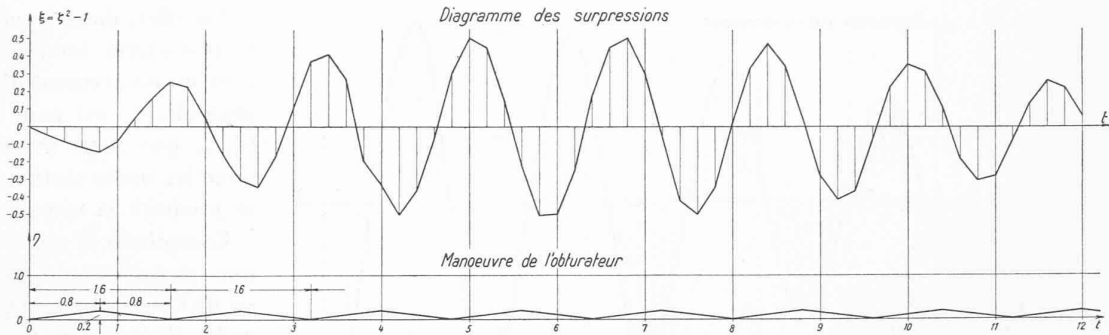


Fig. 9.

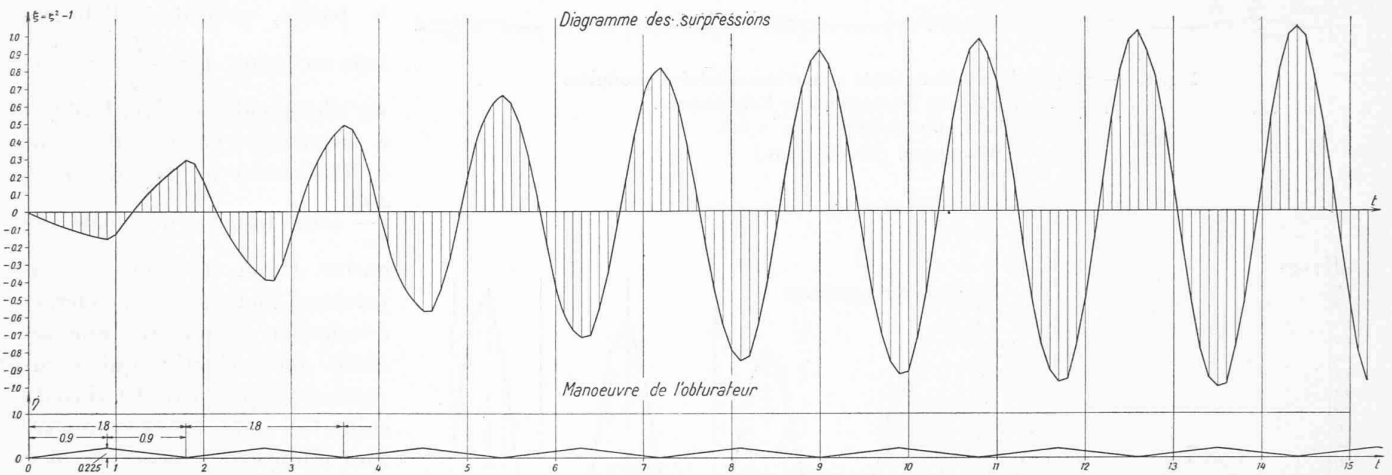


Fig. 10. — Résonance. (Premier cas.)

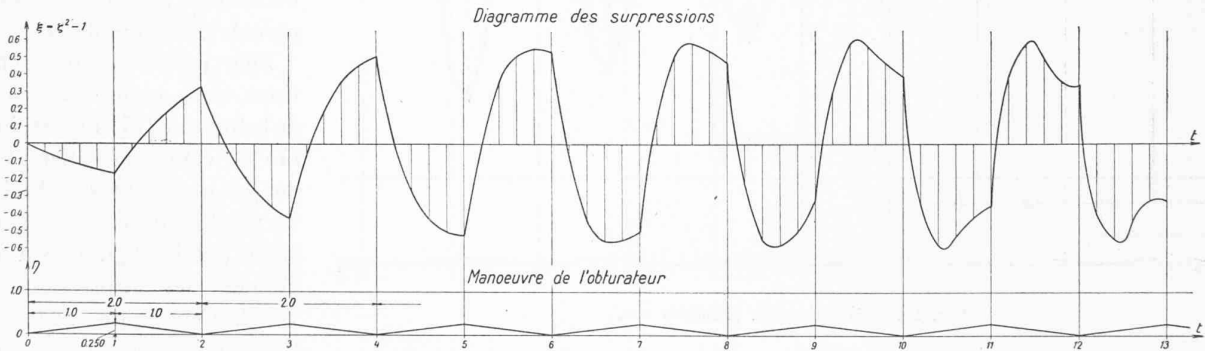


Fig. 11.

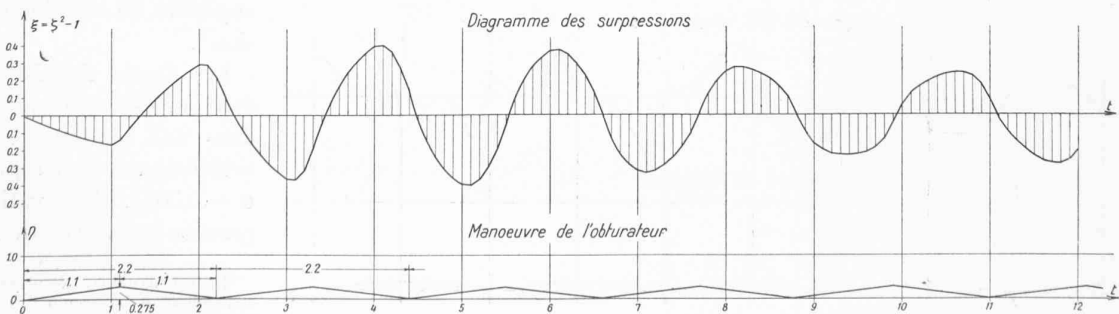


Fig. 12.

Fig. 8 à 12. — Surpressions à l'extrémité aval d'une conduite, produites par différentes manœuvres brisées de l'obturateur. ($\rho_0 = 0,5$, $\sigma = 0,3077$, $\theta_1 = 0,9$).

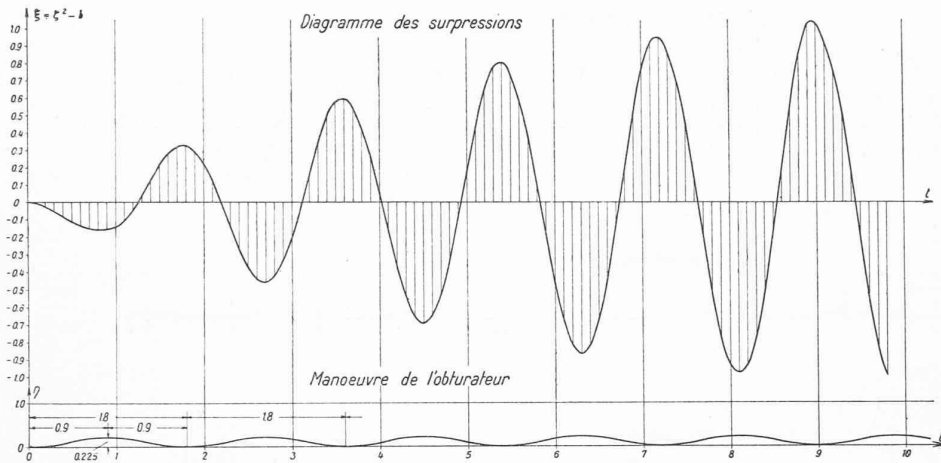


Fig. 13. — Surpressions à l'extrémité aval d'une conduite, produites par une manoeuvre sinusoïdale de l'obturateur. ($\rho_0 = 0,5$, $\sigma = 0,3077$, $\bar{\theta}_1 = 0,9$) Résonance. (Premier cas.)

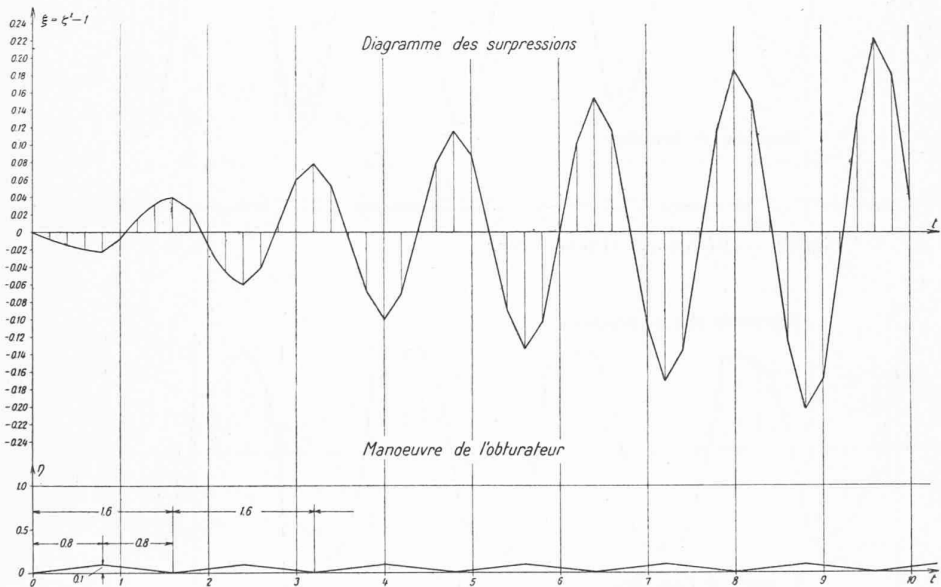


Fig. 14. — Résonance. (Premier cas.)

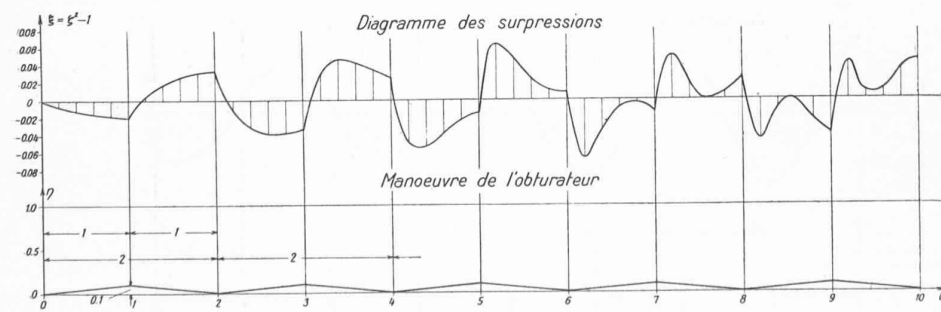


Fig. 15.

Fig. 14 et 15. — Surpressions à l'extrémité aval d'une conduite, produites par deux manoeuvres brisées de l'obturateur. ($\rho_0 = 0,2$, $\sigma = 0,7955$, $\bar{\theta}_1 = 0,8$).

En effet, dans le *premier cas*, la manoeuvre tend à donner à l'eau un mouvement d'oscillation générale et c'est pour la période $(T_a)_1$, que nous avons obtenue pour les ondes stationnaires, que se produira la résonance.

Examinons le *second cas*. Chaque ouverture — très courte — de l'obturateur engendre une onde élémentaire négative qui remonte la conduite, se réfléchit avec changement de signe dans le bassin, revient à l'obturateur au temps $T = \frac{2L}{a_m}$ sous forme d'une onde positive. Elle fait à nouveau ce voyage et revient à l'obturateur au temps $2T = \frac{4L}{a_m}$ sous forme d'une onde négative. Or, à ce moment, l'obturateur s'ouvre et se referme à nouveau, ce qui crée une seconde onde négative qui se superpose à la première. Et ainsi de suite. Les ondes élémentaires seront doublées, triplées, etc. Il y a donc résonance, et ceci ne se produit que si la période de la manoeuvre est $2T$, c'est-à-dire la période théorique de la conduite.

Pour justifier ces deux affirmations, nous avons étudié à l'aide de la formule (14) un certain nombre de coups de bélier produits par des manoeuvres rythmiques¹. Le résultat de ces calculs est résumé par les figures 8 à 17 qui donnent les surpressions relatives à l'extrémité aval en fonction du temps. Au-dessous de chaque diagramme est indiquée la manoeuvre de l'obturateur qui engendre les variations de pression².

Les figures 8 à 12 correspondent au cas de coups de bélier dans une conduite dont les caractéristiques sont : $\rho_0 = 0,5$ et $\sigma = 0,3077$. Les variations de pression sont produites par des

¹ Les calculs ont été exécutés par M. Prokop, assistant de mécanique à l'E. P. F. Nous le remercions sincèrement de sa collaboration.

² Les calculs ont été faits en prenant $n = 5$ ou 10 selon les cas. Les ordonnées dessinées sur les diagrammes indiquent les points calculés. Les temps t ont été indiqués en prenant la durée de la phase comme unité.

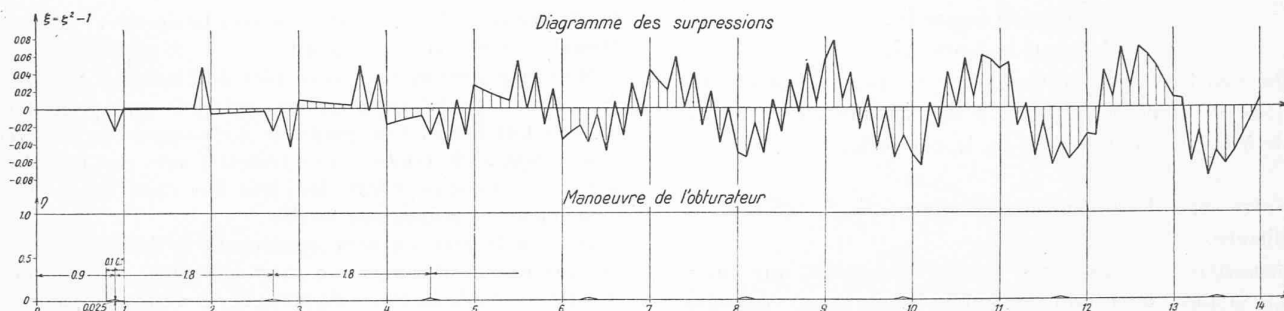


Fig. 16.

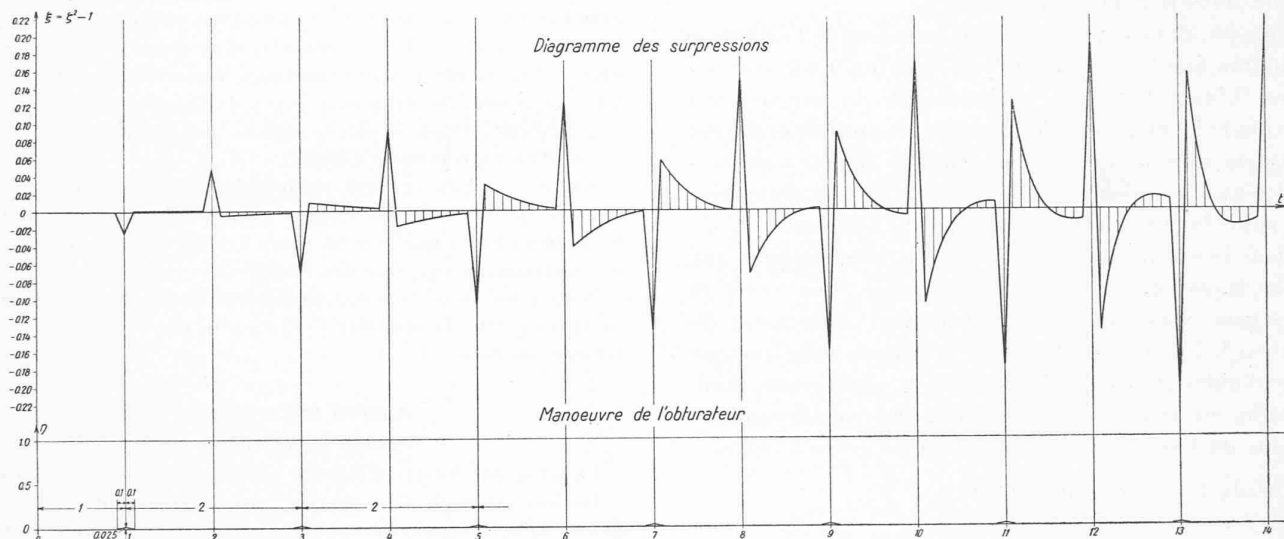


Fig. 17. — Résonance. (Deuxième cas.)

Fig. 16 et 17. — Surpressions à l'extrémité aval d'une conduite, produites par deux manœuvres isolées de l'obturateur. ($\rho_o = 0,5$, $\sigma = 0,3077$, $\bar{\theta}_1 = 0,9$).

manœuvres périodiques où l'ouverture de l'obturateur varie sans arrêt (1^{er} cas). Les diagrammes η sont des lignes brisées partant de zéro¹. La période de la manœuvre, évaluée en prenant la durée de la phase T comme unité, est de

1,4	pour la figure	8,
1,6	»	9,
1,8	»	10,
2,0	»	11,
2,2	»	12.

On voit que la résonance se produit pour une période de manœuvre égale à 1,8. Or, 1,8 est précisément la période apparente du fondamental ($T_{a1} = 2\bar{\theta}_1 = 2 \times 0,9$, comme le montre le diagramme de la figure 5).

La figure 13 correspond, pour la même conduite, au cas d'un coup de bélier engendré par une manœuvre sinusoïdale partant de zéro, dont la période est égale à la période apparente de la conduite (1,8). On voit qu'il y a aussi résonance².

¹ Dans les manœuvres des figures 8 à 12 et 16, 17, la vitesse de la manœuvre est la même (durée de la fermeture totale $\theta = 4$).

² Dans le cas des figures 10 et 13 (résonance), l'amplitude des oscillations de la pression relative tend à dépasser légèrement la valeur 1. La pression tend à intervalles réguliers à devenir inférieure à la pression atmosphérique. Les calculs ont été poussés jusqu'à ce que l'expression sous le radical de la formule (14) devienne négative, c'est-à-dire la racine imaginaire. Cette valeur imaginaire

Les figures 14 et 15 se rapportent à une conduite de caractéristique $\rho_o = 0,2$ et $\sigma = 0,7955$ ¹. Les variations de pression sont encore produites par des manœuvres périodiques où l'ouverture de l'obturateur varie sans arrêt (1^{er} cas). Les diagrammes η sont des lignes brisées partant de zéro. La période de la manœuvre est de

1,6	pour la figure	14,
2,0	pour la figure	15.

La résonance se produit pour 1,6 (fig. 14), qui de nouveau est précisément la période apparente du fondamental ($T_{a1} = 2\bar{\theta}_1 = 2 \times 0,8$ (voir fig. 5)).

Ces différents contrôles justifient nettement la première de nos affirmations.

Les figures 16 et 17 montrent les coups de bélier dans une conduite de caractéristiques : $\rho_o = 0,5$ et $\sigma = 0,3077$. Les variations de pression sont engendrées par des manœuvres périodiques où l'obturateur s'ouvre un instant très court et reste ensuite fermé jusqu'à l'ouverture suivante (2^e cas). Chaque diagramme η est une série de pointes triangulaires isolées, égales et équidistantes. La période de la manœuvre est de

correspond au fait que l'air extérieur a tendance à rentrer dans la conduite par l'obturateur lorsque la pression relative tombe au-dessous de zéro. La théorie n'est évidemment plus applicable dans ces nouvelles conditions.

¹ Les calculs ont été faits ici à l'aide de la formule (16).

1,8 pour la figure 16,

2,0 pour la figure 17.

On constate que la résonance se produit pour une période de manœuvre égale à 2,0 (fig. 17), c'est-à-dire égale à la *période théorique* de la conduite.

Notre seconde affirmation se trouve ainsi entièrement confirmée.

Remarque. — Les deux cas de résonance que nous avons définis sont non seulement caractérisés par des périodes différentes, mais aussi par la répartition des surpressions le long de la conduite.

En effet, dans le premier, le mouvement de l'eau constitue une oscillation qui est voisine d'une onde stationnaire. L'amplitude des variations de la pression est maximum à l'aval et nulle à l'amont. A un instant donné, la valeur absolue de la surpression va donc en décroissant d'aval à l'amont où elle est nulle. C'est l'obturateur qui subit les plus fortes variations de pression.

Dans le second cas, il s'agit d'ondes élémentaires qui, en se superposant, créent la résonance. Ces ondes se propagent vers l'amont en diminuant légèrement de hauteur¹. Le coup de bélier se propagera donc presque sans diminution d'aval à l'amont. Il pourra être, dans certains cas, très dangereux pour la partie de la conduite voisine du bassin, où l'épaisseur est en général faible.

Zurich, le 10 novembre 1941.

SECTION GENEVOISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

Rapport de la Commission d'étude des problèmes techniques genevois.

Introduction.

La *Section genevoise* de la *Société suisse des ingénieurs et des architectes* émue par la situation déficitaire grave dans laquelle se trouve le canton de Genève, a chargé quelques-uns de ses membres de l'étude des problèmes techniques dont la mise en exécution pourrait porter remède à cette situation.

Dans les pages qui suivent, nous ne prétendons point apporter un programme complet de suggestions susceptible d'être immédiatement appliqué et suivi d'effet! Par une brève incursion dans le passé, nous avons recherché les causes de prospérité et de décadence dans l'histoire de notre cité. Nous y avons puisé l'enseignement que, malgré les avantages dus à sa situation géographique et à sa renommée internationale, une cité périlite dès que les intérêts particuliers prennent le pas sur l'intérêt de la communauté. En matière d'urbanisme cette vérité se vérifie facilement, et nos Pouvoirs publics y ont été sensibles dès 1929 en élaborant la loi sur les constructions. C'est la tâche des Associations professionnelles de soutenir les Autorités dans leurs efforts et nous avons la conviction que l'organisation systématique d'une collaboration entre magistrats et citoyens sera — dans tous

¹ Voir la fin du § 2, chap. I, de notre mémoire de la « Revue générale de l'hydraulique ».

les domaines — le moyen de redresser la situation, dans une féconde communauté de travail.

Mais nous devons nous persuader de l'inutilité des efforts dispersés, des solutions partielles, entrepris sans programme et sans but défini. Une politique d'urbanisme de caractère économique doit tendre, avec ténacité, vers des buts lointains. Un immense effort doit être fait dont bénéficieront pleinement les générations futures.

De grands travaux sont maintenant à l'étude, dont les réalisations ont un caractère vital pour Genève. Nous voulons insister ici sur la nécessité de rattacher ces travaux à un plan d'ensemble rationnel, véritable schéma de l'ordonnance de toutes les fonctions de la cité. Ce schéma établi dans ses grandes lignes, les éléments du problème pourront alors plus facilement être étudiés et réalisés, sans risquer de compromettre l'ensemble par des solutions fragmentaires. On aura ainsi la possibilité de mieux juger de l'importance relative des différents objets et de les classer, par mesure d'urgence, avant d'en entreprendre l'étude.

Avant de clore ce bref préambule, répétons encore que nous ne prétendons pas fournir ici des solutions aux nombreux problèmes qui se sont posés à notre esprit, mais bien au contraire de suggérer des études.

Nous avons aussi envisagé de renouveler certaines méthodes de travail, afin de stimuler l'effort collectif nécessaire à une rénovation nationale.

Aperçu historique.

Période préhistorique.

La situation donnée à Genève par la nature est privilégiée.

De formation glaciaire, notre territoire, vaste plaine striée de coteaux (anciennes moraines longitudinales) est envahie par les eaux après le retrait des glaces. La première agglomération préhistorique connue est une cité lacustre. Au cours des siècles se forme peu à peu la topographie du terrain : sur le fond lacustre, l'Arve divague en méandres, creuse la cuvette de Plainpalais, Carouge, la Praille, puis, rapide et érosive, elle assaille la chaîne de Pregny-Bernex, perce un passage entre Saint-Jean et le Bois de la Bâtie et entraîne le Rhône dans sa course. Entre Arve et Lac, un éperon émerge des eaux : c'est la colline de Genève, l'amorce du pont sur l'eau calme du fleuve.

C'est là que fleurirent les cités gauloise et allobroge qui semblent avoir connu déjà une certaine prospérité, arrêtée par l'invasion des Helvètes. Ces époques lointaines nous sont peu connues et ce n'est qu'en l'an 58 avant J.-C. que Jules César, mentionnant notre ville dans ses « Commentaires », précise qu'un pont y relie les deux rives du fleuve.

Epoque gallo-romaine.

Tête de pont de la civilisation romaine, notre cité joua un rôle stratégique important et fut le point de départ de la conquête du pays des Helvètes et, par là, des Gaules.

Un oppidum, maître du pont, occupe le sommet de la colline. Les voies de la rive gauche aboutissent à la porte sud-est (Saint-Léger); un chemin longe la rive du lac (rue de la Rôtisserie); un quartier de résidence s'ordonne sur le plateau de Saint-Victor (Tranchées); son tracé géométrique oriente ses espaces libres vers les lointains : le lac et le Mont de Sion, les Alpes et le Jura. Si ce tracé urbain avait été respecté, il serait aujourd'hui encore adapté à nos besoins et formerait, avec celui de la vieille ville et des régions avoisinantes, un tout homogène.

Le réseau routier de près de 25 000 km construit à travers les Gaules par les Romains faisait de notre cité, grâce à la