

COMITE NATIONAL FRANCAIS DE GEODESIE ET GEOPHYSIQUE

SECTION D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

Séance du 25 février 1947

ORDRE DU JOUR

- 1°- Approbation du procès-verbal de la précédente séance.
- 2°- Congrès d'Oslo - Communication par M. le Président DIENERT.
- 3°- Influence des pertes de charge dans les écoulements turbulents. Mise en évidence de cette influence par un exemple d'amortissement des coups de bélier dans une conduite de gros diamètre, par M. VIBERT, Ingénieur en Chef de la Ville de PARIS.
- 4°- Etude comparative des variations annuelles des précipitations d'un bassin et des écoulements fluviaux correspondants, par M. COUTAGNE, Ingénieur-conseil.
- 5°- Création et organisation d'une Commission scientifique de la Garonne et de son bassin, par M. FROLOW, Ingénieur-Docteur, au nom de M. CALVET, Inspecteur Général des Eaux et du Génie Rural.
- 6°- Compte-rendu des travaux de la Commission de la Seine et de son bassin, par M. W. FROLOW, Ingénieur-Docteur, Secrétaire général de la Commission.
- 7°- Questions diverses.

- PROCES-VERBAL -

La séance est ouverte à 16 h. 30, au ministère des Travaux Publics.

Etaient présents : M. DIENERT, Président, MM. BOURCART, COYNE FROLOW, GEZE, LABROUSTE, J. LAURENT, LE STRAT, PASTEUR, PIOGER, SCHOELLER, SIVADE, VIBERT, VIVIER.

Absents excusés : MM. AUBERT, CALVET, COUTAGNE, GENISSIEU, GUILLERD, LUTAUD, PACAUD, PRENANT, TROMBE.

L'adoption du procès-verbal de la séance du 12 juillet 1946 appelle de la part de M. FROLOW les observations suivantes :

Le vœu relatif à l'organisation d'un enseignement théorique et pratique de l'Hydrologie générale pour les besoins de la métropole et de l'Union Française aurait dû être adressé, non au Président de la Commission interministérielle de réorganisation de la recherche scientifique qui n'est pas compétente, mais au Directeur du Centre national de la recherche scientifique, 13 quai d'Orsay. Par contre, le vœu se rapportant à l'inscription de la recherche d'ordre hydrologique dans le plan de réorganisation de la recherche scientifique n'est pas parvenu au président de la Commission interministérielle de réorganisation de la recherche scientifique.

Bonne note étant prise des précisions apportées par M. FROLOW il est décidé de transmettre d'urgence les deux vœux à leurs destinataires respectifs.

M. le Président indique que le temps laissé pour la préparation du Congrès d'Oslo ayant été jugé insuffisant, la date en est reportée au mois de septembre 1948, la Norvège se proposant, d'autre part, de demander à la Suède une collaboration scientifique.

M. SIVADE signale que les titres des communications qui devront être présentées au Congrès ne sont pas toujours très explicites, par exemple, que doit-on entendre par pression ascensionnelle ? Après un échange de vues auquel prennent part : MM. DIENERT et VIBERT, il est convenu de traiter sous cette appellation de l'interprétation des variations de niveaux.

Les différentes possibilités de mettre à la disposition du public la bibliothèque de l'Association Internationale, laissée à la France sont envisagées : dépôt au Service du Génie Rural, à la Bibliothèque des Ponts et Chaussées, à la Recherche Scientifique, au Laboratoire de Géographie physique, à la rue d'Ulm. Les solutions proposées seront étudiées.

o  
o o

M. le Président donne la parole à M. VIBERT qui traite de "l'Influence des pertes de charge sur l'amortissement des coups de bélier dans les conduites" :

Au point de vue théorique, tout paraît avoir été dit sur les coups de bélier auxquels donnent lieu les conduites industrielles, à la suite des changements de régime occasionnés dans le débit de ces dernières par une cause perturbatrice quelconque. En particulier, l'influence des pertes de charge sur "l'usure" du coup de bélier est un phénomène bien connu et même utilisé, dans de nombreux cas, pour l'équipement des appareils "anti-béliers" destinés à limiter les surpressions produites par ce phénomène vibratoire.

Les beaux travaux de M. de Sparre et de M. Bergeron ont jeté sur cette question une grande lumière.

À notre connaissance, toutefois, la part de l'amortissement inhérente à la perte de charge générale de la conduite n'a jamais été mise en évidence d'une façon telle qu'il soit possible de suivre, pour ainsi dire pas à pas, l'amenuisement du coup de bélier dû à cette perte de charge. Aussi constate-t-on parfois un doute à ce sujet dans l'esprit des Ingénieurs qui, sans être des spécialistes de ces questions délicates, n'en doivent pas moins les connaître.

À l'occasion d'une étude récente, nous avons eu besoin d'étudier ce rôle de très près, et les résultats que nous avons obtenus nous ont paru suffisamment intéressants pour être portés à l'attention des techniciens.

À noter que cette question ne présente aucune difficulté lorsqu'il est fait usage de la méthode graphique de calcul des propagations d'ondes planes dont M. Bergeron, l'éminent hydraulicien et ingénieur bien connu est devenu le père et le maître incontesté par le haut degré de perfectionnement auquel il a su la porter.

Toutefois, dans un cas simple et théorique que nous exposons ci-après, elle se prête également à une solution analytique, qui n'est d'ailleurs que l'expression algébrique des constructions auxquelles conduit la méthode graphique.

En principe, il s'agit d'une conduite de refoulement à caractéristique unique, aboutissant à un réservoir d'accumulation, et dans laquelle une pompe centrifuge refoule en régime normal un débit  $Q$  seconde, auquel correspond une vitesse  $V_0$  dans la conduite.

Nous ne considérons que le cas; le plus simple et le plus dangereux à la fois, d'un arrêt inopiné et instantané de la pompe pour une cause fortuite quelconque (disjonction électrique par exemple).

1er cas - La conduite ne comporte aucun dispositif de protection.

Si  $L$  est sa longueur,  $a$  la vitesse de propagation des ébranlements finis à l'intérieur de cette dernière, sa période  $\theta$  pour valeur :

$$2 \theta = \frac{4 L}{a}$$

L'arrêt instantané du refoulement produit à l'origine de ce dernier un coup de bélier :

$$\xi_0 = - \frac{a V_0}{g}$$

Si l'écoulement du fluide à l'intérieur de la conduite ne donne lieu à aucune perte de charge, on sait que ce coup de bélier se transmet intégralement et indéfiniment, de sorte que sa variation au point M<sub>0</sub>, origine du refoulement, est représentée par le graphique n° 1 ci-contre.

L'expérience montre que cette hypothèse est entièrement théorique et que le coup de bélier s'amenuise progressivement pour devenir nul au bout d'un temps plus ou moins long, la cause de l'amortissement étant précisément la perte de charge à laquelle donne lieu l'écoulement du fluide, dans un sens ou dans l'autre, à l'intérieur de la conduite.

Dans ce cas simple et purement hypothétique, on peut mettre en évidence l'influence de cette perte de charge assez aisément.

En effet, soit  $J = K V^2$  la caractéristique des pertes de charge à l'intérieur de la conduite,

Si H est la hauteur géométrique du refoulement, la pression au point M<sub>0</sub> à la sortie de la pompe, en régime établi, est égale à

$$H + K V_0^2$$

Dès que l'arrêt instantané du refoulement se produit, et pendant toute la durée de la demi-période  $\theta = \frac{2L}{a}$

la pression au même point descend d'une quantité  $\frac{\Delta p}{\rho} = - \frac{a V_0}{g}$  (1) qui représente précisément la valeur du coup de bélier instantané.

A la fin de cette demi-période et sous l'effet de l'onde réfléchie par le réservoir, la pression au point M<sub>0</sub> redeviendrait rigoureusement égale à H si les pertes de charge dans la conduite étaient nulles et reste au contraire égale à

$$H - J V_1^2$$

(V<sub>1</sub> étant la vitesse négative du fluide à l'intérieur de la conduite à cet instant).

du fait de l'existence de ces dernières.

Autrement dit, par rapport à la pression statique H il subsiste une dépression  $Y = - J V_1^2$

Or, la même vitesse V<sub>1</sub> satisfait également à l'équation du point figuratif du régime à la sortie de la pompe (2), équation qui rapportée aux axes OX et OY a pour expression :

$$y = - \frac{a}{g} ( V_0 + V_1 )$$

---

(1) Cette valeur ne pouvant en tout état de cause être inférieure au zéro absolu des pressions.  
(2) M. BERGERON. Technique Moderne (janvier 1936) Mars 1935 - R.G.H. janvier-février 1935 - Mars-avril 1935, etc., etc...

On peut donc écrire :  $-\frac{a}{g} (V_0 + V_1) = -K V_1^2$

et déduire :  $V_1 = \frac{a - \sqrt{a^2 - 4K\xi_0 g^2}}{2Kg}$

la seule racine acceptable étant celle qui implique la présence du signe - devant le radical, attendu que  $V_1$  est négatif.

En raisonnant de proche en proche, on montre aisément que les vitesses comme les surpressions elles-mêmes forment des séries récurrentes à termes alternés ayant pour expression générale :

$$V_{2n} = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4K\xi_{2n-1}g^2}}{2Kg}$$

$$V_{2n+1} = - \left[ \frac{-a + \sqrt{a^2 - 4K\xi_{2n}g^2}}{2Kg} \right]$$

$$\xi_{2n} = \frac{-aV_{2n}}{g} = \frac{-a \left[ -a + \sqrt{a^2 + 4K\xi_{2n-1}g^2} \right]}{2Kg^2}$$

$$\xi_{2n+1} = \frac{-aV_{2n+1}}{g} = \frac{a \left[ -a + \sqrt{a^2 - 4K\xi_{2n}g^2} \right]}{2Kg^2}$$

En particulier, en ne considérant que la valeur absolue des surpressions, on peut écrire :

$$\xi_n = \frac{a \left[ -a + \sqrt{a^2 + 4K\xi_{n-1}g^2} \right]}{2Kg^2}$$

terme général d'une série récurrente qui tend vers 0 en même temps que  $n$  comme il est facile de le montrer.

On a en effet :

$$\begin{aligned}\xi_{n+1} - \xi_n &= \frac{a \left( a + \sqrt{a^2 + 4K \xi_n g^2} \right) - 2Kg^2 \xi_n}{2Kg^2} \\ &= \frac{\sqrt{a^4 + 4a^2 K \xi_n g^2} - (a^2 + 2Kg^2 \xi_n)}{2Kg^2}\end{aligned}$$

$$\text{Or } \left[ \sqrt{a^4 + 4a^2 K \xi_n g^2} \right]^2 = a^4 + 4a^2 K \xi_n g^2$$

$$\text{et } (a^2 + 2Kg^2 \xi_n)^2 = a^4 + 4a^2 Kg^2 \xi_n + 4K^2 g^4 \xi_n^2$$

$4K^2 g^4 \xi_n^2$  étant essentiellement positif.

Il en résulte que  $(a^2 + 2Kg^2 \xi_n)^2 > \left[ \sqrt{a^4 + 4a^2 K \xi_n g^2} \right]^2$

et en valeur absolue  $\xi_n > \xi_{n+1}$

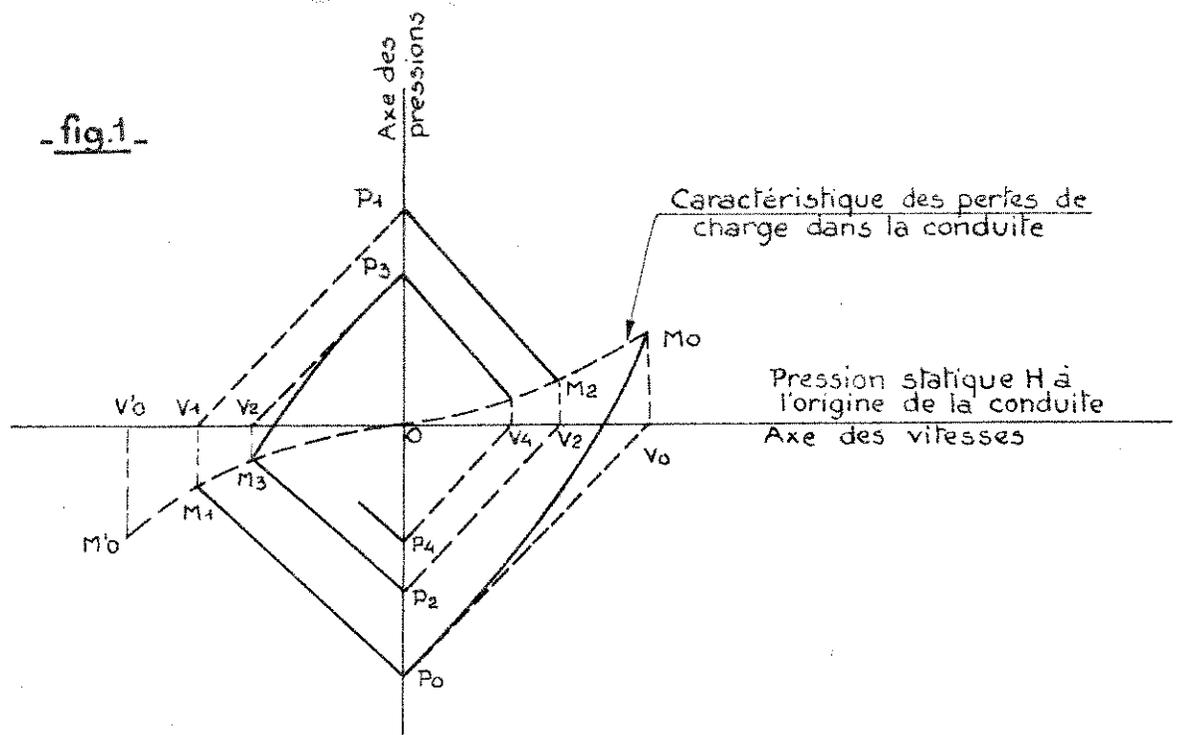
En conséquence, le coup de bélier va constamment en décroissant, comme l'indique le graphique ci-joint (fig. 2) et, au bout d'un nombre d'oscillations plus ou moins grand, devient inférieur à toute valeur fixée.

Dans ce cas théorique, il apparaît donc que le calcul conduit assez simplement à la solution du problème qui consiste à déterminer le nombre d'oscillations au bout desquelles, sous la seule influence des pertes de charge, la valeur de la surpression devient inférieure à une limite donnée. Mais ces calculs auxquels conduit la loi de récurrence sus indiquée sont longs et éminemment fastidieux.

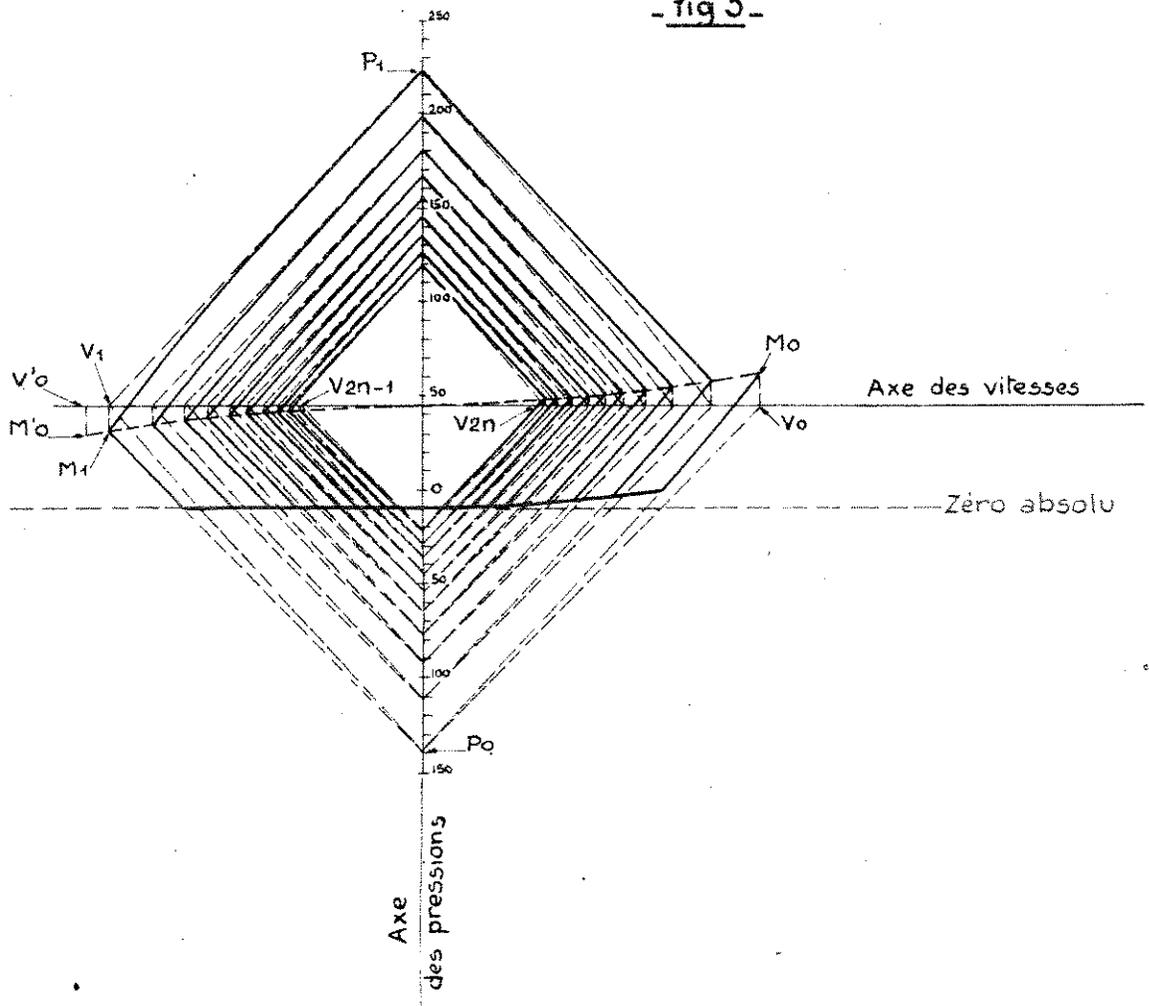
La méthode graphique, au contraire, permet d'arriver à ce même résultat au moyen d'une épure simple (fig. 3) dont l'exécution est à la portée d'un dessinateur non hydraulicien.

2ème cas - A proximité de l'origine du refoulement, la même conduite que précédemment est en communication libre avec un réservoir à air ayant une capacité déterminée.

-fig.1-

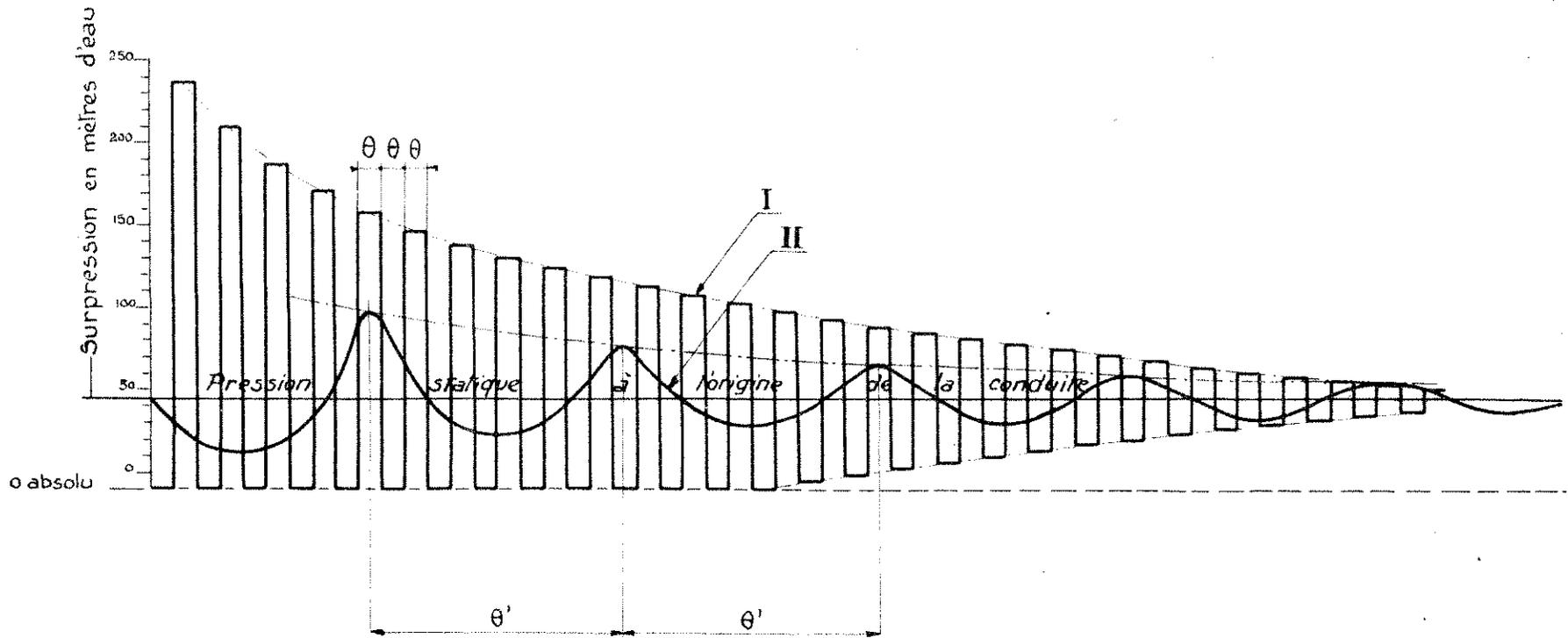


-fig.3-



- fig 2 -

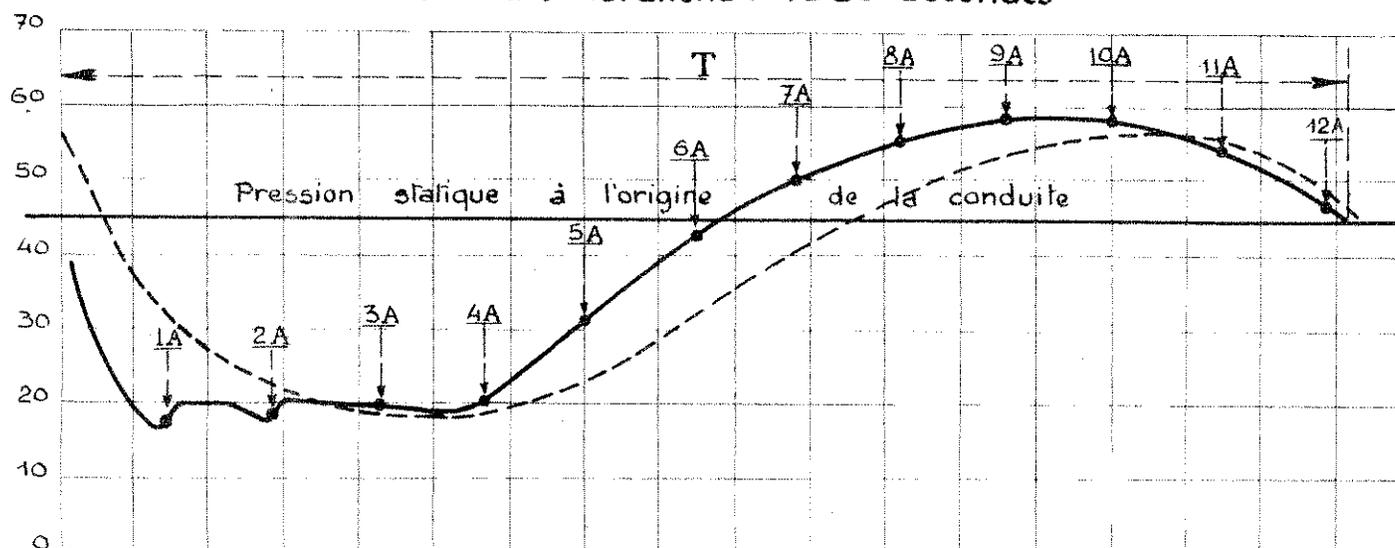
I . Surpression dans la conduite sans réservoir d'air  
II . \_\_\_\_\_ id \_\_\_\_\_ avec \_\_\_\_\_ id \_\_\_\_\_



- fig.4 -

Période de la conduite :  $2\theta = 14$  secondes

Période des vibrations :  $T = 86$  secondes



Le trait \_\_\_\_\_ indique les pressions dans la conduite

Le trait - - - - - indique les pressions dans le réservoir d'air

On peut tenter encore de trouver une solution analytique en se fixant, arbitrairement d'ailleurs, une loi pour l'évolution de la masse d'air emprisonnée dans le réservoir.

Mais le problème est plus complexe que précédemment. La période du système formé par la conduite et le réservoir n'est plus qu'une fonction simple de  $\frac{L}{a}$  et le calcul devient rapidement inextricable.

Aussi n'admettrait-il pas de solution correcte si la méthode graphique ne mettait au service de l'Ingénieur le merveilleux procédé d'investigation qu'en a fait M. Bergeron.

Avec elle, au contraire, il est aisé d'arriver au résultat que résume la figure ; qui montre que, dans ce cas encore, le maximum des surpressions forme une série assez rapidement convergente, au même titre que les minima d'ailleurs.

La même figure qui n'est que la traduction de calculs effectués sur une conduite réelle pour laquelle on a :

$$L = 3700 \text{ m} \quad D = 0.900 \quad V_0 = 1 \text{ m } 80$$

met en évidence l'influence de la perte de charge qui, dans le premier cas, annihile pratiquement le coup de bélier au bout d'une trentaine d'oscillations, alors que cinq ou six sont suffisantes dans le cas du réservoir à air.

Il montre en outre que ce dernier réduit considérablement la suppression maximum maximum qui se manifeste pendant la seconde demi-période du phénomène et allonge sensiblement la valeur de cette période.

Enfin la figure montre qu'en disposant une perte de charge localisée et artificielle sur la communication entre la conduite et le réservoir, la surpression est pratiquement réduite à une valeur acceptable dès la première oscillation.

o  
o o

M. le Président remercie vivement M. VIBERT pour son intéressant exposé.

M. Jean LAURENT exprime le souhait de voir renaître l'activité de la Commission des mesures qui pourrait être reprise même en l'absence de crédits. M. Jean LAURENT propose de publier, dans la revue qu'il édite, les comptes-rendus de la Section; ceux-ci pourraient être imprimés sur papier de couleur et placés à la fin de la revue, ce qui en assurerait la diffusion.

Le rapport de M. COUTAGNE n'étant pas parvenu, M. le Président donne la parole à M. LE STRAT qui résume une étude de M. RUSSO, sur l' "Hydrogéologie des arènes granitiques de St-Bonnet de Joux".

MM. BOURCART et FROLOW regrettent que l'exposé de M. RUSSO n'ait pas été étoffé par quelques déterminations physico-chimiques.

o  
o o

M. le Président informe la Section que les Comités Nationaux doivent procéder à la nomination des membres du Comité exécutif de l'Association Internationale; il invite ses collègues à désigner les 2 délégués français.

A la suite d'un échange de vues auquel prennent part MM. BOURCART ET FROLOW, il est décidé de porter cette question à l'ordre du jour de la prochaine séance, le vote par correspondance sera admis.

o  
o

M. le Président donne la parole à M. FROLOW, qui, au nom de M. CALVET donne quelques précisions sur la Commission scientifique de la Garonne et de son bassin. Cette commission a été créée grâce à l'initiative de M. CALVET, Inspecteur Général du Génie Rural, à l'image de la Commission Scientifique de la Seine, en vue de prolonger l'oeuvre de la Section d'Hydrologie dans le bassin de la Garonne et les bassins pyrénéens.

L'existence de l'Université de Toulouse a rendu possible cette réalisation. Le Comité dont le siège social est à Toulouse est doté d'un statut légal. Il comprend des membres titulaires permanents, des coordonnateurs de sections et des directeurs de rubriques. Il comprend également des membres associés, des membres correspondants et des membres d'honneur. Une assemblée générale, qui se tient à Toulouse 2 fois par an, établit le plan de travail et approuve les comptes. Les ressources sont constituées par diverses subventions et dons ainsi qu'éventuellement par des cotisations d'ailleurs facultatives. L'apport de bonnes volontés est grand et M. FROLOW rend hommage à l'activité du dévoué secrétaire M. BABONNEAU; malheureusement les crédits sont limités.

Le plan de travail a été limité au bassin moyen du fleuve avec l'espoir que M. SCHOELLER pourra, à Bordeaux, poursuivre l'étude de la basse-garonne.

5 sections ont été créées, chacune englobant plusieurs rubriques.

La Commission de la Seine adresse ses chaleureuses félicitations à M. CALVET et à la Commission Scientifique de la Garonne; elle souhaite vivement que l'oeuvre entreprise puisse être continuée sur la basse-Garonne.

M. SCHOELLER fait part à la Section des difficultés qu'il rencontre pour créer à Bordeaux un Comité de la basse-Garonne; il pense qu'il serait plus indiqué de ne prévoir qu'un Comité englobant tout le bassin, ce Comité pouvant éventuellement constituer un sous-Comité à Bordeaux. Ces différents points seront étudiés lors d'une prochaine entrevue que doivent avoir MM. CALVET et SCHOELLER.

Des échanges de procès-verbaux interviendront entre les Commissions de la Seine et de la Garonne; d'autre part, M. CALVET ou son représentant, siègera à la Commission de la Seine.

Pour continuer l'oeuvre entreprise par les Commissions de la Seine et de la Garonne, il serait souhaitable de procéder à des études analogues sur le Rhône. La Compagnie Nationale du Rhône qui a déjà procédé à d'importants travaux sur le fleuve pourrait apporter une aide particulièrement précieuse. M. le Président demande à M. COYNE de bien vouloir assurer la liaison scientifique avec cet organisme.

7  
M. COYNE indique qu'il possède une documentation fort intéressante sur les rivières du Portugal où sévit, actuellement, une inondation particulièrement remarquable.

M. FROLOW fait ensuite un bref compte-rendu des travaux de la Commission de la Seine et de son bassin. Il a été demandé de courtes notices sur les travaux et critiques de l'ouvrage de Belgrand ainsi que les voeux que peuvent émettre les différentes rubriques concernant les travaux qu'elles sont susceptibles d'effectuer sur le terrain.

La carence de certaines rubriques, particulièrement en ce qui concerne les applications, risque de porter un préjudice aux rubriques qui ont fourni un gros travail; il y a là une situation grave qui peut amener à poser le principe d'une réorganisation; la question après décision de la Commission sera portée devant la Section.

M. Le Président rappelle que les études d'hydrologie se poursuivent essentiellement sur le terrain; elles nécessitent d'importants crédits que le Centre National de la Recherche refuse d'accorder.

M. BOURCART constate que les rubriques qui peuvent actuellement travailler sont celles qui ont une utilité immédiate, il y aurait donc intérêt à développer ces dernières et à restreindre les autres.

o  
o

La Section décide de présenter à l'agrément de la prochaine assemblée générale les candidatures de MM. GOSSELIN, Directeur des Travaux en Tunisie, SANSON, sous-Directeur de l'O.N.M. ROBAUX, Chef de la Section hydrologique au Maroc.

M. PIOGER présente à ses Collègues un ouvrage fort intéressant traitant des sols d'Indochine : " Le sol, étude théorique et pratique" par E.M. CASTAGNOL (Hanoi, 1942).

o  
o

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à 18 h.45.

-----