

COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS
COMMENTS AND DISCUSSIONS

Sur les coups de bélier d'onde pouvant être créés par le diaphragme placé à la base d'une cheminée d'équilibre

Concerning water-hammer pressure waves which can be
provoked by a diaphragm placed at the base of a surge-tank

English synopsis p. 95

S'attachant à analyser l'effet de l'étranglement placé à la base d'une cheminée d'équilibre sur les coups de bélier d'onde, M. ESCANDE a fait paraître une communication à l'Académie des Sciences (30 septembre 1946) puis une très intéressante étude parue dans la revue *la Houille Blanche* de juillet-août 1949. Résumant ses conclusions, il a pu préciser, lors de sa conférence au troisième Congrès de l'A.I.R.T.H., que, pour toutes les manœuvres de fermeture lente, il n'y a pas à craindre que les surpressions remontant la conduite forcée se transmettent, même en partie, dans la galerie d'adduction.

Dans ses études, M. ESCANDE a su tenir un compte serré de l'inertie de l'eau contenue dans les éléments suivants : liaison « conduite-cheminée », diaphragme et cheminée. En supposant que l'ouvrage de protection n'a pas des proportions anormales, il a bien prouvé que l'inertie de l'eau n'a pas d'effets fâcheux. Ce diaphragme présente, au contraire, les grands avantages, bien connus d'ailleurs, de réduire le volume de la cheminée dans une large mesure et d'améliorer souvent les conditions de stabilité.

Cependant, on doit signaler que d'autres effets que ceux dus à l'inertie des masses considérées plus haut peuvent apparaître si les proportions de l'ouvrage ou si la rapidité des manœuvres s'écartent de la normale.

Il ne pouvait s'agir ici que de cas fort rares. Notre petite contribution tendra à montrer que, par la perte de charge qu'il crée, le diaphragme

peut produire une élévation rapide de pression et donner lieu, dans la galerie d'amenée, à des phénomènes de coup de bélier d'onde. C'est donc le 3^e de la conclusion de M. ESCANDE (page 478 de *la Houille Blanche*) que nous voudrions ici développer.

En nous appuyant sur les résultats d'une étude récente, nous montrerons que, dans certains cas, cet aspect de la question mérite d'être étudié. Nous montrerons aussi que ces phénomènes peuvent être diminués ou pratiquement supprimés, quant à leurs effets, par un tube auxiliaire non diaphragmé qui donne dans ce cas au dispositif de protection l'allure d'une cheminée différentielle du type Johnson.

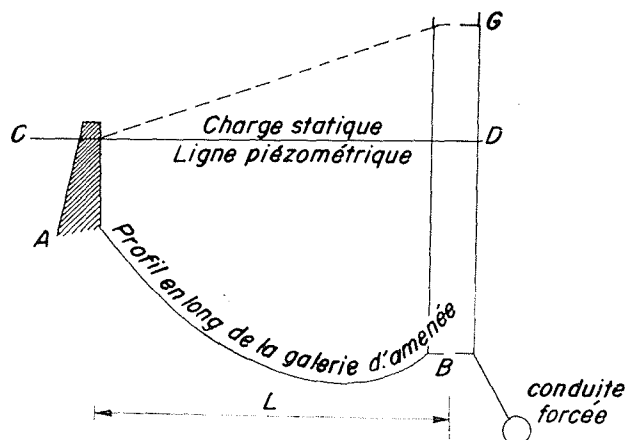


FIG. 1

Nous porterons ci-après une attention particulière à ce que M. L. BERGERON aurait appelé « la répartition des maxima de surpression le long de la galerie d'aménée ». C'est cette répartition (représentée fig. 2, 3, 4, 5 et 6) qui est à la base de notre remarque. L'installation étudiée est représentée figure 1.

PREMIER CAS

Ce cas est normalement peu dangereux, il porte sur les galeries ne produisant pas de pertes de charge sensible. En régime établi, le niveau dans la cheminée est en D :

a) Si le débit se trouve être coupé instantanément, la pression sous le diaphragme placé en B augmente brusquement de la hauteur DE (égale à la perte de charge produite par le diaphragme) et une onde de surpression remonte vers le barrage en conservant sa valeur jusqu'au pied de celui-ci. La répartition des maxima de surpression le long de la galerie d'aménée est représentée par l'horizontale EF sur la figure 2. (Si la

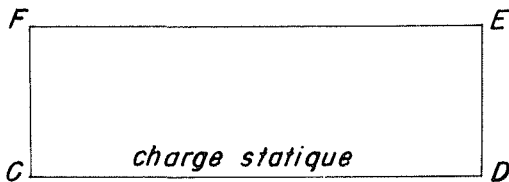


FIG. 2

montée finale du niveau dans la cheminée est en G, il faudra plus tard tenir compte de la ligne CG, mais cette ligne ne fait pas partie du sujet traité ici.)

b) Si le débit est coupé aux turbines en un temps t inférieur à la période $\frac{2L}{a}$ de la galerie, la répartition des maxima de surpression a l'allure CF_1E (fig. 3), la distance horizontale l de C à F_1 est donnée par $t = \frac{2l}{a}$.

c) Si la cheminée utilisée est une Johnson

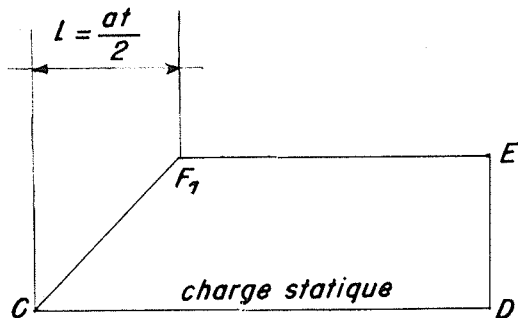


FIG. 3

dont le tube auxiliaire déverse à l'altitude E, et si t est le temps de remplissage du tube, la répartition des maxima de surpression est la même que sur la figure 3 (à la courbure de CF_1 près).

REMARQUE SUR LE PREMIER CAS

Nous admettons que généralement la hauteur DE n'est pas très considérable et que, par conséquent, la surpression est assez réduite tout le long de la galerie. Si la galerie a une résistance à peu près uniforme, elle sera calculée pour résister à la pression BE (ou BG) et sa résistance sera facilement suffisante sur toute la longueur.

DEUXIÈME CAS

Ce cas peut être assez dangereux, il porte sur les longues galeries produisant beaucoup de pertes de charge. Pour le gros débit établi, le niveau dans la cheminée est en M (fig. 4 et 5).

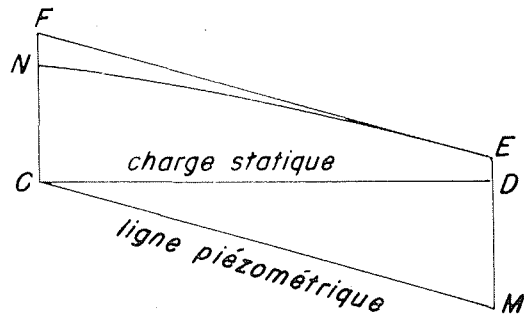


FIG. 4.

a) Si le débit se trouve être coupé instantanément, la pression sous le diaphragme augmente brusquement de la hauteur ME (égale à la perte de charge produite par le diaphragme) et une onde de surpression (fig. 4) remonte vers le barrage en conservant à peu près sa valeur et en s'ajoutant à la charge piézométrique préétablie.

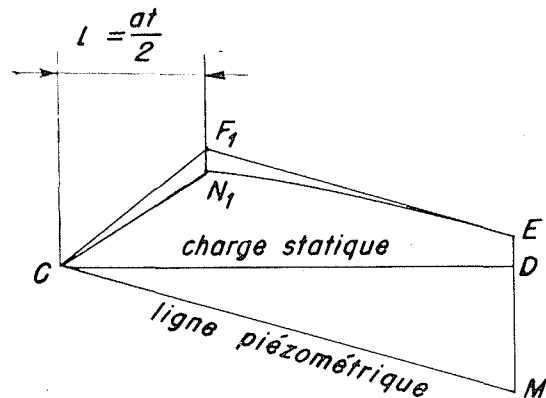


FIG. 5

On constate donc que si la surpression n'est pas grande (et égale à DE) vers la partie aval de la

galerie, elle avoisine la valeur $CF = ME$ vers la partie amont.

On doit cependant tenir compte de l'amortissement de l'onde de surpression dû en particulier aux pertes de charge, ce qui conduit à représenter la répartition des maxima de surpression par la ligne EN plus exacte.

b) Si le débit est coupé aux turbines en un temps t inférieur à la période $\frac{2L}{a}$ de la galerie, le point F_1 , comme pour le premier cas, se trouve placé à une distance $l = \frac{at}{2}$ de l'amont et en même temps *il est sensiblement abaissé*, comme on le constate facilement sur les figures 5 et 6.

Si l'on ne tient pas compte de l'effet des pertes de charge sur l'amortissement des ondes, on tracera la répartition des maxima suivant la ligne EF_1C (fig. 5 et 6); si l'on tient compte, au

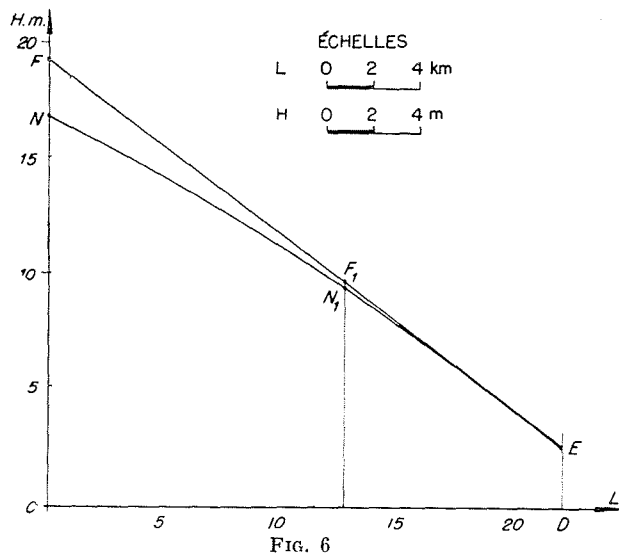


FIG. 6

contraire, de cet effet, on tracera la ligne EN_1C (fig. 5 et 6) plus exacte.

c) Si la cheminée utilisée est une Johnson dont le tube auxiliaire déverse à l'altitude E , et si t est le temps de remplissage du tube la répartition des maxima de surpression est la même que sur la figure 5 (à la courbure de CF_1 ou CN_1 près).

REMARQUES SUR LE DEUXIÈME CAS

Il est évident que le calcul de la galerie à la résistance ne doit pas seulement tenir compte de la montée finale de la cheminée ou de la surpression DE causée par la perte de charge du diaphragme. Le calcul de résistance doit au contraire tenir compte de cette propagation d'un

front d'onde très raide (et qui conduit à la ligne EN) si la fermeture est instantanée ou moins raide (et qui conduit à la ligne EN_1C) si la fermeture est effectuée en un temps t inférieur à la période $\frac{2l}{a}$ de la galerie ou si un tube auxiliaire produit un effet analogue.

Si l'on demande à un tube auxiliaire un effet complet de protection contre les coups de bélier d'onde, le point N_1 de la ligne CN_1E peut être confondu avec le point E si on le désire. Il suffit pour cela de choisir un diamètre assez grand pour le tube auxiliaire.

EXAMEN D'UNE ÉTUDE CHIFFRÉE

Nous avons été conduits à étudier, à l'aide de la méthode graphique Schnyder-Bergeron, le cas assez particulier d'une longue adduction d'eau potable.

Les principales données étaient les suivantes :

- Longueur de la conduite à l'amont de la cheminée = $L = 22.500$ m.
- Diamètre de la conduite = $1,25$ m.
- Débit coupé = $1,620$ m³/sec.
- Perte de charge = $DM = 16,70$ m.
- Célérité des ondes = $a = 1.000$ m/sec.

Nous admettions une élévation de pression = $ME = 19,3$ m.

En nous plaçant dans le cas d'une cheminée simple munie d'un diaphragme à la base (par. a du deuxième cas), nous trouvons $CN = 17$ m. La ligne EN est représentée à l'échelle sur la figure 6. En comparant cette ligne avec la parallèle EF à la ligne piézométrique, on constatera en passant que l'effet amortisseur des pertes de charge sur le coup de bélier d'onde n'est pas très important.

Dans le cas étudié, le temps de fermeture de la turbine ne pouvait pas être très appréciable devant la période $\frac{2L}{a} = 45''$ de la galerie (qui

est ici, à proprement parler, une conduite d'amenée). Aussi, avons-nous d'abord envisagé de rendre le diaphragme moins efficace, mais la cheminée prenait alors une importance telle qu'il aurait été utile, pour la réduire, d'imaginer une cheminée déversante.

Cette solution était difficilement réalisable en raison des conditions topographiques et à cause des dispositifs de protection que nous étions obligés de prévoir sur l'orifice d'évacuation du fait que l'eau transportée était potable.

Le remède retenu consiste en une cheminée auxiliaire de $1,2$ m de diamètre. La cheminée principale a, dans ce cas, un diamètre de $5,30$ m, le diaphragme est établi pour créer une perte de charge de 24 m pour un débit entrant de 1 m³/sec.

Le temps de remplissage du tube est de 26 sec. (déjà appréciable devant la période de 45 sec.) et la surpression maxima N_1 n'atteint pas 10 m; elle est précisément reportée sur la figure 6. Cette surpression de 10 m était acceptable pour la conduite et il n'était pas nécessaire d'augmenter le diamètre du tube auxiliaire pour faire descendre le point N_1 vers le point E.

CONCLUSION

Le cas que nous mettons en avant est très particulier; il est caractérisé par les conditions suivantes :

- Adduction très longue,
- Adduction provoquant de fortes pertes de charge,
- Conduite forcée « cheminée-turbine » très courte.

En poussant les choses à l'extrême, on peut ainsi supposer que le temps de fermeture des turbines puisse être long devant la période $\frac{2L}{a}$ de la conduite forcée qui ne serait donc pas le siège de phénomènes de coup de bélier d'onde, mais pratiquement de mouvements en masse.

Au contraire, ce même temps de fermeture peut apparaître comme très court devant la période $\frac{2L}{a}$ de la galerie d'amenée.

On peut alors faire les distinctions suivantes :

— Si la cheminée d'équilibre placée à l'aval de cette galerie n'était pas munie d'un diaphragme (et en supposant qu'elle ait un diamètre suffisant pour que le niveau ne s'y élève pas d'une façon exagérément rapide), la galerie ne serait pas le siège de coup de bélier d'onde.

— Si l'on place à la base d'une telle cheminée un diaphragme provoquant une perte de charge sensible, la galerie sera le siège de phénomènes de coups de bélier d'onde et ceci par le seul fait du diaphragme. Ces ondes provoqueront une répartition des maxima de surpression le long de la galerie, d'autant plus irrégulière (et dange-

reuse vers l'amont) que la perte de charge de la galerie sera grande.

— Si, en plus du diaphragme, on place un tube auxiliaire analogue au tube Johnson, les phénomènes de coup de bélier d'onde tendront à disparaître. Ils disparaîtront complètement si le tube auxiliaire est calculé de façon telle que, compte tenu du diaphragme et de la section de la cheminée principale, il ne commence à déverser qu'après une période $\frac{2L}{a}$ de la galerie d'amenée.

Il est probable que, dans le domaine des installations hydro-électriques, les circonstances envisagées ci-dessus doivent être rarement réalisées. Dans ce domaine, la cheminée différentielle est ordinairement utilisée lorsque certaines hypothèses sont retenues pour les manœuvres des turbines (fermetures rapides totales et ouvertures rapides fractionnaires); dans le cas général (1), seuls les calculs d'oscillation en masse sont à appliquer.

Dans les conduites d'adduction d'eau, les circonstances envisagées ci-dessus peuvent, par contre, se rencontrer normalement dès qu'il se présente une cheminée d'équilibre. Les théories usuelles des oscillations en masse devront alors être complétées par des considérations de coup de bélier d'onde.

Y. PONSAR,

*Chef du service des irrigations
et des adductions d'eau
aux Etablissements Neyrpic.*

(1) M. D. GADEN a bien voulu nous indiquer que dans l'abondante correspondance qu'il a eu l'occasion d'échanger avec M. R.D. JOHNSON au cours des années 1926 et 1927, la question de l'utilité de l'adjonction d'un tube central (transformant la chambre à étranglement en chambre différentielle) avait été soulevée entre eux. Une idée de base était de donner au tube central un diamètre suffisant pour que son remplissage nécessite un temps de l'ordre de la période $\frac{2L}{a}$ de la galerie.

Nous n'avons fait que développer cette idée.