

Considérations sur les cheminées amortissantes du type à chambres d'expansion

A discussion of expansion chamber type surge tanks

PAR

M. BOUVARD, J. MOLBERT, P. GÉRARD

INGÉNIEURS A L'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE (R.E.H. ALPES II)

L'amortissement des oscillations qui permet des prises en charge plus rapides ou des reprises en charge n'importe quand après un déclenchement constitue une qualité de plus en plus recherchée pour les centrales de pointe. L'amortissement parfait (arrêt total des oscillations en un temps fini) ne peut se produire qu'avec une cheminée différentielle ou d'un type apparenté.

Les cheminées à chambre d'expansion ont un très léger effet différentiel naturel, dû principalement au fait que la chambre d'expansion supérieure ne se vide pas aussi vite que les calculs ne le prévoient. Cet effet naturel, propre aux chambres d'expansion, peut être augmenté au moyen d'aménagements peu coûteux (avec un mur percé; avec mur et tuyau). Calcul d'une telle cheminée.

La cheminée projetée à Pressy (Alpes françaises), avec chambre d'expansion médiane, est amortissante quel que soit le débit coupé et au bout d'une demi-oscillation seulement. Elle permet donc de reprendre la charge à n'importe quel moment après une coupure, sans aucune précaution; elle est également amortissante à la prise en charge pour tous les débits.

Méthode de calcul de cette cheminée. Contrôle des résultats sur modèle réduit.

Oscillation damping, which allows load to be taken on more rapidly or for load to be taken on again at any time after shut down, is a much sought after quality in peak load power stations. Perfect damping, i.e. total suppression of oscillations in a finite period of time, can only be effected by using a differential surge tank or a related type.

Expansion chamber surge tanks have a very slight natural differential effect, which is largely due to the fact that the upper expansion chamber does not drain as quickly as predicted by calculation. This natural property of expansion chambers can be accentuated by inexpensive alterations e.g. a pierced wall, or a wall traversed by pipes. Calculations for this type of surge tank.

The surge tank contemplated at Pressy in the French Alps, contains a middle expansion chamber and has a damping effect after half an oscillation, whatever the flow at shut down may have been. So it is possible to take on the load again at any time after shutting down without taking any precautions. Damping is also effective when taking on load at all rates of flow.

Method of calculation for this surge tank. A scale model checks the results.

On a l'habitude de calculer les cheminées d'équilibre pour des conditions d'ouverture et de fermeture données, mais ce n'est qu'assez récemment que fut construite, à Lavey (Suisse), une cheminée d'équilibre tenant compte, en plus de ces conditions, d'un critère supplémentaire. En effet, cette cheminée a été calculée de manière à obtenir l'amortissement total des oscillations du plan d'eau en un temps très court. L'ouvrage qui fut construit à Lavey est ainsi du type « différentiel à amortissement immédiat ».

Dans une thèse de doctorat, M. EBNER a indiqué quels étaient les critères de dimensionnement de cet ouvrage. Les avantages de cette stabilisation rapide des oscillations sont évidents; on est, en général, pressé de reprendre la charge

après un déclenchement et les possibilités d'ouverture de la chambre varient essentiellement suivant l'allure des oscillations résiduelles au moment où l'on ouvre. On risquera d'autant moins de fausses manœuvres que l'oscillation résiduelle sera plus réduite.

Nous nous proposons d'étudier d'abord quelle sera la position des cheminées du type « à chambres d'expansion » vis-à-vis de ce problème; quelles améliorations peuvent leur être apportées à peu de frais. Nous exposerons ensuite comment, dans un cas particulier, nous avons été amenés à proposer une cheminée d'équilibre d'un type un peu nouveau présentant le maximum d'avantages vis-à-vis de ce critère.

I. — Considérations générales sur l'amortissement

Une cheminée d'équilibre non différentielle peut être considérée comme un transformateur d'énergie, transformant l'énergie cinétique de la galerie en énergie potentielle, puis cette énergie potentielle en énergie cinétique, etc...

Si les pertes de charge n'existaient pas, le système oscillerait indéfiniment suivant une période bien déterminée. Avec les pertes de charge de la galerie et, éventuellement, de l'étranglement, le système s'amortit, mais étant donné que les pertes de charge ne peuvent, à chaque oscillation, dissiper qu'une fraction de l'énergie restante, les oscillations tout en devenant très petites durent indéfiniment.

Pour obtenir l'amortissement parfait, il faudrait dissiper, en un temps fini, une quantité d'énergie égale à l'énergie initiale de la galerie.

Comme on l'a vu, avec une seule chambre, ce n'est pas possible. Il en est tout autrement avec une cheminée à deux chambres dissemblables, donc différentielles. Les deux chambres étant dissemblables, au bout d'un certain temps leurs oscillations ne sont plus en concordance et il y a production d'un courant d'eau parasite d'une

chambre dans l'autre avec, pour conséquence, destruction d'énergie par pertes de charge (fig. 1).

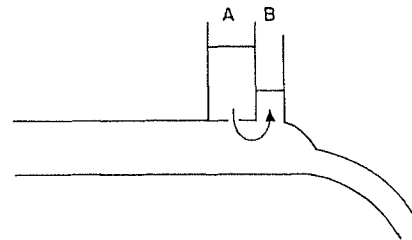


FIG. 1

Cette destruction d'énergie vient comme supplément à la destruction ordinaire d'énergie par pertes de charge dans la galerie et on conçoit que la somme — pertes d'énergie en galerie + pertes d'énergie propre à la cheminée — puisse être au bout d'un nombre d'oscillations finies juste égale à l'énergie initiale.

On conçoit évidemment et à plus forte raison que si le puits B déverse dans la chambre A, cette destruction supplémentaire d'énergie soit encore plus facile.

II. — Effet différentiel et d'amortissement naturel des chambres d'expansion

Rappelons brièvement le fonctionnement des cheminées à chambre d'expansion dans le cas d'une manœuvre de fermeture du vannage : le plan d'eau monte d'abord rapidement dans le puits central à partir du niveau piézométrique puis, arrivée au niveau de la chambre d'expansion, la vitesse de montée du niveau est considérablement ralentie jusqu'à atteindre le niveau maximum où elle s'annule. Ensuite, la descente s'amorce; lentement tant que le niveau est dans les chambres supérieures, puis plus rapidement, avec un maximum de vitesse sensiblement au droit du niveau statique. Dans les calculs classiques, on suppose, quand l'eau atteint ou quitte le radier des chambres supérieures, que le niveau y est le même que dans le puits central. Cela est physiquement impossible car la montée (ou la baisse) du niveau implique un certain débit à l'entrée de la chambre qui nécessite, lui-même, une certaine charge. A la montée, ce phénomène donne lieu à une augmentation de l'effet de freinage dont l'intensité dépend de dispositions de détails : largeur des chambres, diamètre du puits. A la descente, il correspond à une dissipation d'énergie que nous allons préciser.

En définitive, la cheminée se conduit un peu comme une cheminée différentielle, la chambre d'expansion jouant en partie le rôle du puits B. Précisons le phénomène : au remplissage, il y a

formation d'ondes à front plus ou moins raide, puis formation de ressaut au retour de la première onde. Ces phénomènes contribuent déjà à détruire une certaine quantité d'énergie non prévue par les calculs ou les épures. Cependant, cette énergie est très faible et probablement négligeable.

En revanche, au cours de la vidange de la chambre d'expansion supérieure, l'écoulement de l'eau vers le puits est d'abord fluvial; puis le niveau baisse dans le puits et le débit de sortie de l'eau de la chambre augmente; à un moment donné, il se forme, au débouché de la galerie, une section de contrôle (fig. 2). A partir de ce moment, la vidange de la chambre se fait suivant sa loi propre qu'il est d'ailleurs facile de déterminer en première approximation. En effet, le débit quittant la chambre d'expansion a pour valeur :

$$Q = k h^{3/2}$$

et, d'autre part, si F' est la section de la chambre supérieure :

$$F' dh = Q dt$$

Ce système s'intègre facilement et donne enfin :

$$q = \frac{q_0}{(\alpha t + 1)^3} \quad \text{avec } \alpha = \frac{k h_0}{2 F'}$$

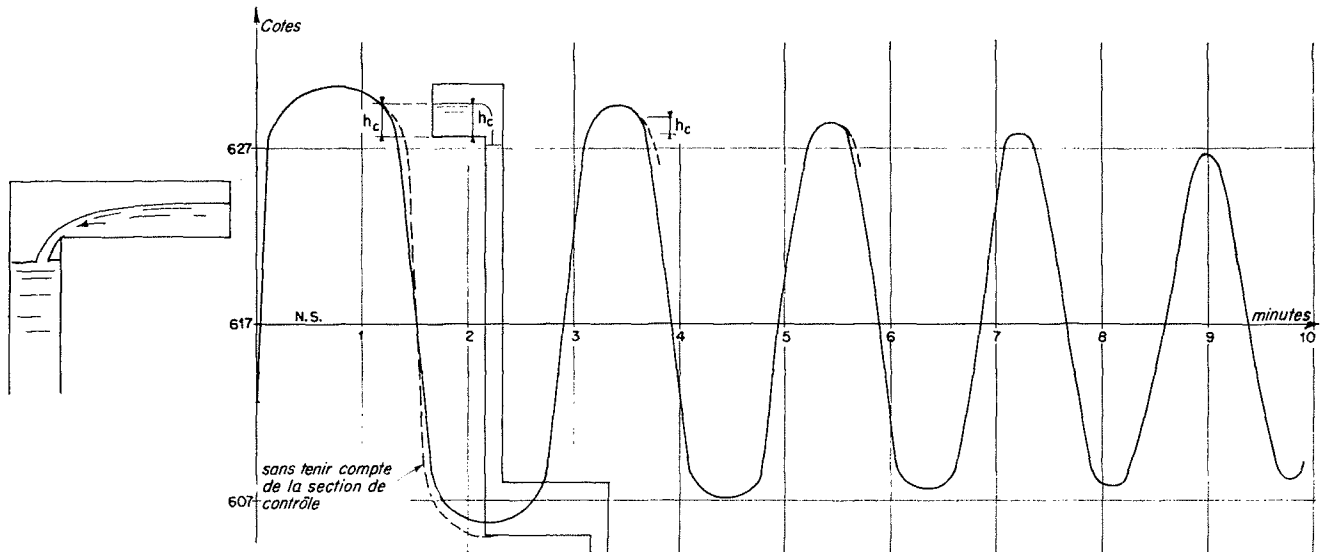


FIG. 2

Amortissement naturel dû à la section de contrôle.

Pendant un temps assez long (et même théoriquement infini si le radier de la chambre est horizontal), il y a donc chute d'eau dans le puits, c'est-à-dire destruction d'énergie, donc effet d'amortissement.

La formule que nous avons donnée permet, d'ailleurs, de faire une épure suivant le procédé

graphique que nous avons indiqué dans le numéro 5 de sept-oct. 1950 de la *Houille Blanche*. On constate que cet effet qui présente, dans le cas de chambres d'expansion longues et étroites, une certaine importance, reste assez réduit dans le cas général (fig. 2).

III. — Modifications à apporter à une cheminée d'équilibre à chambres d'expansion existantes pour augmenter son pouvoir d'amortissement

Nous nous sommes donc demandés s'il était possible, au moyen d'aménagements peu coûteux, d'augmenter cet effet différentiel naturel des cheminées à chambres d'expansion. Nous allons exposer deux procédés qui permettent, à peu de frais, d'obtenir un amortissement substantiel et même, dans certains cas, parfait.

1° CHEMINÉE A CHAMBRE D'EXPANSION BARRÉE PAR UN MUR PERCÉ D'UN DIAPHRAGME.

Pour augmenter cet effet, la première idée — et la plus simple — est de construire, à l'extrémité de la chambre, un barrage percé d'un trou. Ce barrage fonctionne en déversoir au remplissage et le trou règle le débit à la vidange, de sorte que toute l'eau retenue dans le barrage est restituée alors que le niveau est bas dans le puits; ce système a d'ailleurs été fréquemment utilisé, notamment en Italie.

Mais les essais sur épure montrent que cet effet, quoique sensible, est encore insuffisant, tout au moins si on désire obtenir l'amortissement en une période d'oscillations comme à

Lavey. Il est probable qu'on pourrait obtenir l'amortissement total au bout d'un nombre de périodes fini, mais supérieur à 1; cependant, dans ce cas, il faudrait admettre que la vidange de la chambre supérieure ne soit pas terminée au cours de la deuxième remontée de l'eau, ce qui pourrait être dangereux s'il se produisait des manœuvres alternées malencontreuses. Tout se passerait alors comme si la cheminée avait un volume moindre; elle risquerait de déverser.

Nous pensons donc qu'il est préférable de se contenter d'un amortissement partiel (qui reste encore intéressant comparé à la solution sans mur déversoir) et de calculer l'orifice pour que la vidange soit terminée au bout d'une oscillation. On conçoit d'ailleurs assez bien, dans ce cas, que l'énergie dissipée soit insuffisante: en effet, si nous négligeons le temps mort pendant lequel l'orifice est encore noyé, le débit de cet orifice est bien plus grand au début de la première descente (quand le niveau dans le puits est au-dessus du niveau statique) qu'après; donc, l'énergie détruite ne peut pas être très grande puisque la différence des deux niveaux est faible quand le débit est fort (fig. 3).

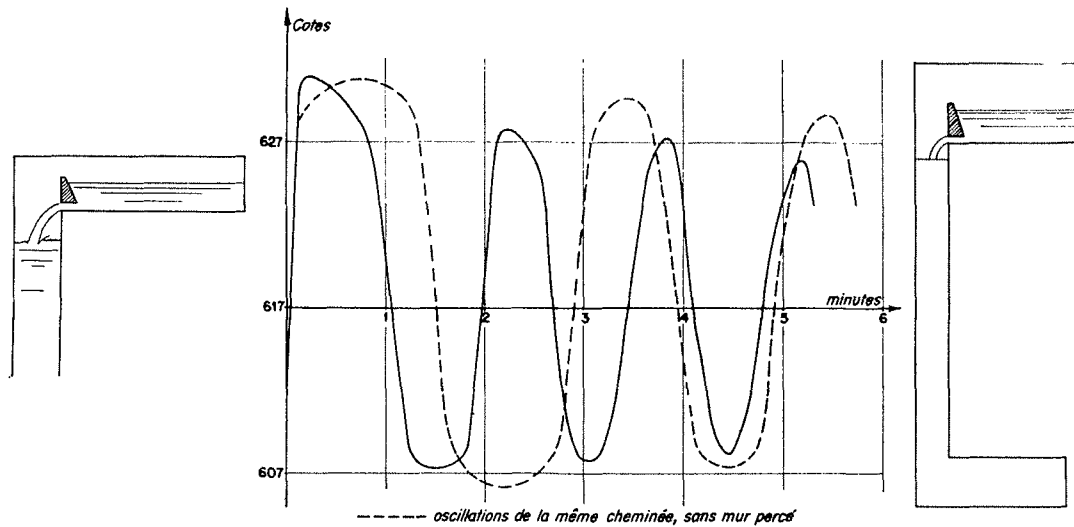


FIG. 3

Amortissement de la cheminée « mur percé ».

2° CHEMINÉE A CHAMBRE D'EXPANSION ET A TUYAU.

D'où l'idée, pour détruire plus d'énergie, de brancher sur le trou, au pied du mur, un tuyau qui débouche bas dans le puits en dessous du niveau statique (fig. 4)

Le volume d'eau, qui est restitué pendant la fraction de période où le niveau dans le puits est plus bas que le niveau statique, perdra donc une charge supérieure à celle qu'il a acquise pendant la montée; le reste du temps, l'eau restituée perdra une charge évidemment moindre que celle qu'elle a acquise. On conçoit qu'il soit possible, par ce procédé, de détruire par la seule vidange de la chambre supérieure tout juste l'énergie accumulée dans celle-ci et dans le puits pendant la première montée.

Ce mur tuyau peut aussi bien être présenté comme un déphaseur d'énergie. Pendant tout le

temps que le niveau est supérieur au niveau statique, le système cherche à retenir de l'énergie qu'il lâche quand l'énergie qu'il a gardée est en opposition de phase, c'est-à-dire quand le niveau est inférieur au niveau statique: on voit bien ainsi son rôle amortisseur. L'idéal théorique serait évidemment un clapet en pied du tuyau qui serait fermé tant que le niveau est supérieur au niveau statique, et ouvert quand il est inférieur.

La loi parabolique du débit dans le tuyau, proportionnel à \sqrt{h} , est une première approximation de la loi rectangulaire tout ou rien du clapet.

On voit que dans son principe même, ce procédé suppose une descente consécutive à la première montée; mais on s'estimera satisfait si, après cette première descente, le niveau remonte et s'arrête à la cote définitive.

Cet amortissement, que nous appellerons parfait, dépend des paramètres suivants :

- Débit Q au moment de la fermeture et caractéristiques de la fermeture;
- Diamètre du puits Φ ;
- Cote d'arasement du mur déversoir H ;
- Diamètre du tuyau ϕ , ou, en fait, diamètre de son diaphragme de pied;
- Egalement, bien que cela soit de deuxième ordre, section horizontale de la chambre d'expansion;
- Enfin, si le tuyau ne plonge pas jusqu'au fond de la cheminée, cote du débouché du tuyau.

Considérons d'abord une coupure instantanée d'un débit Q ; supposons l'extrémité du tuyau très immergée et, enfin, toute l'eau accumulée dans la chambre supérieure à la même cote moyenne.

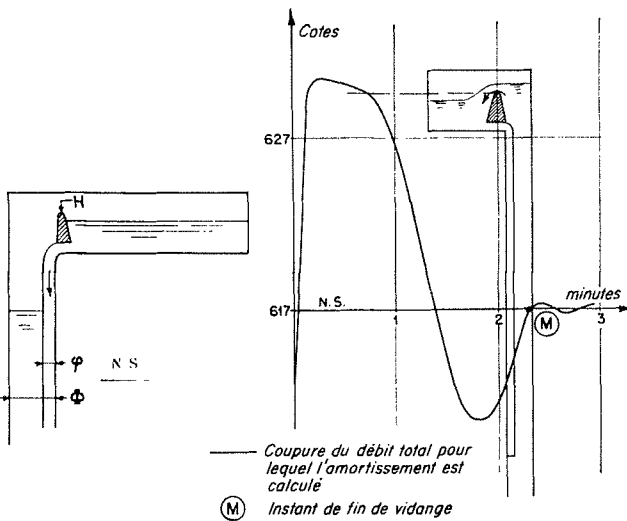


FIG. 4.

Amortissement de la cheminée « mur tuyau ».

Il reste 4 paramètres :

Q coupé, H déversoir, Φ puits, φ tuyau.

Nous allons voir qu'il existe, pour réaliser l'amortissement parfait, deux relations indépendantes à satisfaire entre ces paramètres, c'est-à-dire que deux d'entre eux étant choisis, les deux autres sont imposés.

a) A la montée, le paramètre φ n'intervient pratiquement pas (on néglige le remplissage de la chambre par le tuyau qui se fait sous une charge faible pendant un temps court). L'équation fondamentale de la cheminée qui traduit $f = mg$ permet de calculer le volume accumulé dans la chambre d'expansion, en fonction des caractéristiques de la galerie (termes fixes) et des paramètres : Q coupé, H et Φ.

Soit $V = V(Q, H, \Phi)$ ce volume accumulé.

b) A la descente, l'application de la même relation fondamentale, compte tenu du débit de vidange de la chambre supérieure, donne un système d'équations qui, si on peut le résoudre, définit la loi d'oscillation dans la cheminée $Z(t)$ en fonction de Φ, de H et du débit de vidange $q(t)$ — soit en définitive φ. Ce dernier est lui-même fonction de $Z(t)$. Finalement, on a une loi :

$$Z = Z(\Phi, H, \varphi \text{ et } t)$$

On a parallèlement la loi du débit dans la galerie :

$$Q = Q(\Phi, H, \varphi \text{ et } t)$$

}

I

Le volume accumulé V fixe l'instant $t = \theta$ de la fin de vidange de la chambre.

Pour que l'oscillation s'arrête, il y a deux conditions à satisfaire; il faut qu'à cet instant θ :

- 1) le niveau Z(θ) soit le niveau statique,
- 2) le débit dans la galerie soit nul.

Nous allons montrer que cela se traduit par deux relations mathématiques indépendantes qui sont nécessaires et suffisantes entre Φ, H, φ et Q.

— Il y a une relation à satisfaire entre H, Φ et φ pour qu'il puisse exister un instant θ de l'oscillation où simultanément le débit en galerie soit nul et le niveau en cheminée soit le niveau statique : en effet, dans le système I où les seconds membres sont nuls, on obtient en éliminant le temps t (dont la valeur θ est solution des deux équations) :

$$f_1(\Phi, H, \varphi) = 0 \tag{1}$$

— Il y a une relation à satisfaire entre H, Φ, φ et le volume V pour qu'à cet instant θ la somme $\int_0^\theta q(t) dt$ soit égale à V.

En effet, soit $Z(H, \Phi, \varphi, t)$ la loi fondamentale d'oscillation à la descente que nous avons considérée plus haut.

De cette loi, on tire la valeur θ de t, telle que $Z = 0$.

$$\theta = \theta(H, \Phi, \varphi) \tag{2}$$

Le volume d'eau V' qui a été vidangé de l'instant 0 à θ , si H est la hauteur de la chambre et m une constante, est :

$$V' = \int_0^\theta m \varphi \sqrt{H - Z(H, \Phi, t)} dt$$

Supposons résolue cette intégrale qui est fonction de H, Φ, φ et θ . Exprimons θ d'après (2) en fonction de H, Φ et φ. L'intégrale résolue s'écrit alors :

$$V' = V'(H, \Phi, \varphi)$$

On a vu que le volume accumulé à la montée était $V = V(Q, H, \Phi)$. Il faut donc :

$$V(Q, H, \Phi) = V'(H, \Phi, \varphi)$$

soit en définitive une relation :

$$f_2(H, \Phi, \varphi, Q) = 0 \tag{2}$$

Si l'on satisfait (1) et (2), on a l'amortissement parfait.

Si on s'est donné H et Q, Φ et φ sont imposés. En fait, trois des paramètres ont un ordre de grandeur imposé : H qui définit la surpression qu'on admet et l'importance des excavations des chambres, Q qui doit être le débit le plus fréquent, et Φ plus ou moins imposé par la section de Thoma et l'importance des excavations. Heureusement, en jouant sur ces trois plages d'incertitude, on trouve une solution admissible pour les trois et on déduit φ.

Pratiquement, pour réaliser le projet, on fait des épures en coordonnées Q galerie, H cheminée.

La courbe d'oscillations doit avoir la forme ci-contre (fig. 5), c'est-à-dire atteindre l'origine après une première descente. On appellera M le point d'une courbe d'oscillations à l'instant où la vidange est terminée. Dans toute la suite, on

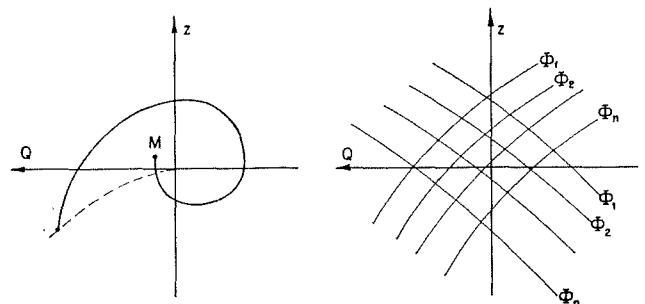


FIG. 5

arrêtera les épures en ce point M : ensuite, l'oscillation suit les lois normales. C'est ce point M qu'il faut amener à l'origine.

On retrouve les deux conditions vues ci-dessus pour atteindre ce but :

- 1° Il faut que la courbe d'oscillation passe par l'origine [relation (1)];
- 2° Il faut que sur cette courbe le point M soit l'origine [relation (2)].

On constate évidemment qu'en général la courbe ne passe pas par l'origine et que si elle y passe, la vidange n'a aucune raison d'être achevée juste en ce point.

En jouant successivement sur les divers paramètres, on pourrait tracer des réseaux de courbes d'oscillations encadrant l'origine. Sur ces quatre réseaux à Q, H, Φ , φ variables, on

traceraient des réseaux de courbes liant les points M. On verrait par interpolation que l'origine est une double infinité de points M donnant la double infinité de solutions.

Pratiquement, on se donne, avant tout calcul, Q et H. On en a déduit un réseau de courbes lieu de M pour divers jeux de valeurs de Φ et φ (fig. 5).

En interpolant, l'origine est un point M par où passent deux courbes donnant Φ et φ .

Remarquons tout de suite que l'amortissement parfait ne se fait que pour un débit coupé Q donné. Si, par exemple, ce débit coupé est le débit maximum turbinable, pour toutes les coupures à débit intermédiaire, l'amortissement ne sera pas immédiat mais il restera encore bien meilleur que dans le cas d'une cheminée sans tuyau.

IV. — La cheminée à amortissement immédiat de Pressy

Nous venons de voir qu'il était possible, avec de légères modifications, de rendre une cheminée à chambres d'expansion parfaitement amortissante. Toutefois, cet amortissement, sensible à tous les débits, n'est parfait que pour un seul débit. D'autre part, nous avons considéré comme « parfait » l'amortissement total au bout d'une période complète d'oscillations en cas de fermeture et d'une période et demie en cas d'ouverture.

Dans le cas particulier de Pressy, on a cherché s'il n'était pas possible d'aller plus loin. En effet, cet aménagement comporte une galerie d'amenée de faible longueur qui correspond à une cheminée d'un volume d'excavation peu coûteux pour les manœuvres d'ouverture et de fermeture, mais qui implique aussi de faibles pertes de charge et par suite un amortissement très lent. L'intérêt d'appliquer dans ce cas un système amortissant est encore augmenté par le fait que l'usine est destinée à faire des « pointes » et qu'il est impossible pour d'autres raisons (*) de placer un diaphragme au pied de la cheminée. Il devenait alors intéressant dans ce cas de consentir à une certaine complication de génie civil (et nous verrons plus loin que le volume d'excavation n'est pas supérieur au volume d'une cheminée simple non amortissante) pour obtenir des conditions d'exploitation meilleures.

Plus précisément, il a paru intéressant :

- 1° De redémarrer l'usine après un déclenchement sans aucune considération de délai, ce qui entraîne le fait de n'avoir aucune descente en dessous du niveau statique (amortissement en une demi-période);

- 2° D'encaisser un déclenchement à n'importe quel instant après une ouverture, ce qui entraîne le fait de n'avoir aucune montée au-dessus du niveau statique consécutive à l'ouverture (amortissement en une demi-période). De même, on pourra démarrer beaucoup plus vite une deuxième fraction de l'usine si on amortit en une demi-période les oscillations dues au démarrage de la première fraction;
- 3° Que cet amortissement en une demi-période soit total quel que soit le débit ouvert ou coupé.

PRINCIPE

Une cheminée comporte toujours un puits vertical dans lequel de l'énergie s'accumule. Les cheminées amortissantes que l'on a vues comprennent des organes annexes destinés à détruire l'énergie qui vient en plus de celle accumulée dans le puits principal. Pour avoir l'amortissement total, c'est-à-dire la destruction de ces deux énergies, on utilise une fraction de l'énergie déversée dans les organes destructeurs qu'on déphase par rapport à l'énergie oscillant dans le puits. L'addition de ces deux énergies déphasées permet de les détruire. On conçoit bien que cette destruction totale ne soit possible :

- qu'après au moins une demi-oscillation puisqu'il a fallu déphaser,
- que pour un débit donné. En effet, l'énergie accumulée dans le puits est la même pour beaucoup de débits coupés. L'énergie déversée dans les organes annexes est variable. Donc, si ces organes ne se

(*) Coup de bélier de dépression dans la partie amont de la conduite.

règlent pas en fonction du débit qu'on coupe, on obtiendra tout juste l'énergie antagoniste à celle qui oscille dans le puits central, uniquement pour un débit donné.

On pourrait penser que l'énergie oscillante du seul puits central par exemple, et qui peut être une petite fraction de l'énergie coupée, ne gêne pas beaucoup un redémarrage de l'usine. En fait, il faut alors considérer les débits et non plus les énergies *qui varient comme le carré des débits*.

Prenons un exemple: même si après un arrêt brusque de 24 m³/s, on a détruit les 8/9 de l'énergie correspondante, le 1/9 d'énergie oscillante restante correspond à un débit de 1/3 soit 8 m³/s. Il y a un moment défavorable de l'oscillation où redémarrer avec un débit de 12 m³/s est équivalent à ouvrir un débit de $12 + 8 = 20$ m³/s (en fait, la manœuvre envisagée est même plus dangereuse que le démarrage de 0 à 20 m³/s car la perte de charge moyenne en galerie est plus faible entre $- 8$ m³/s et $+ 12$ m³/s qu'entre 0 et 20).

Il faut donc vraiment, pour ne pas donner de consignes d'exploitation pour les manœuvres cumulées, détruire en une demi-oscillation *toute* l'énergie oscillante quel que soit le débit coupé ou ouvert.

Ce qui précède montre qu'on y parviendra seulement :

- a) en réduisant le puits central à un très faible volume,
- b) en détruisant immédiatement toute l'énergie qui ne reste pas dans le puits.

Mais alors :

- Ou bien l'on détruit presque toute l'énergie à chaque instant qu'elle apparaît, en arasant très bas la margelle supérieure du puits central, mais on ne crée pas la charge décélétratrice nécessaire à un bon freinage. On excave un volume considérable si on ne déverse pas. Encore, faut-il détruire, suivant les procédés indiqués dans la première partie, l'énergie stockée dans ce volume;
- Ou bien on crée la charge nécessaire à un bon freinage, mais pour cela on a accumulé une énergie gênante dans le puits central.

L'idée de la cheminée différentielle de Pressy est de dissocier les deux fonctions mal compatibles de création d'une force accélératrice-décélétratrice d'une part, et destruction d'énergie d'autre part.

Schématiquement (et pour la fermeture seu-

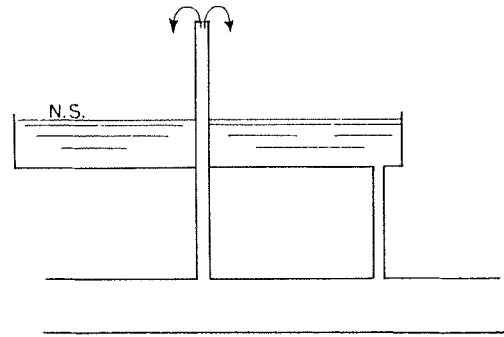


FIG. 6

lement) (fig. 6), la cheminée de Pressy est un tube très fin arasé à la cote de surpression économique, émergeant d'une large surface d'eau qui est à la cote piézométrique du tube. Son fonctionnement et son pouvoir amortissant sont évidents.

La cheminée réelle se trouve reproduite sur la figure 7 où on retrouve l'essentiel du schéma : en particulier, la large surface d'eau au niveau statique sous forme d'une chambre médiane dont nous verrons plus loin plusieurs autres avantages.

— A gauche du mur, est l'organe frein-accelérateur. Il a deux caractéristiques :

- a) Il est de dimensions réduites en sorte qu'il n'utilise, pour fonctionner, qu'une faible part de l'énergie apportée par la galerie, la plus grosse part pouvant être immédiatement détruite;
- b) C'est un puits étroit terminé par deux chambres d'expansion d'assez faible importance, de sorte qu'il fonctionne au mieux : la surpression ou la dépression prend tout de suite la valeur maximum choisie. C'est de cette façon qu'on recueille ou qu'on consomme le plus petit volume d'eau aux fermetures ou aux démarrages : c'est ainsi que la cheminée a le volume minimum.

— A droite du mur, la chambre différentielle est l'organe destructeur d'énergie; cette destruction se fait sous forme de pertes de charge dans des diaphragmes ou de déversements qui ramènent dans une chambre médiane au potentiel zéro l'eau prélevée dans la cheminée.

Comme le premier organe n'utilise qu'une faible énergie, le second peut être dimensionné pour détruire presque toute l'énergie qui apparaît à chaque instant. On est ainsi assuré d'une oscillation très limitée.

— A la fermeture, on prélève dans le puits pour la ramener au niveau statique, dans la chambre médiane, toute l'eau qui monte dans la cheminée, sauf la faible part destinée à créer la charge décélétratrice.

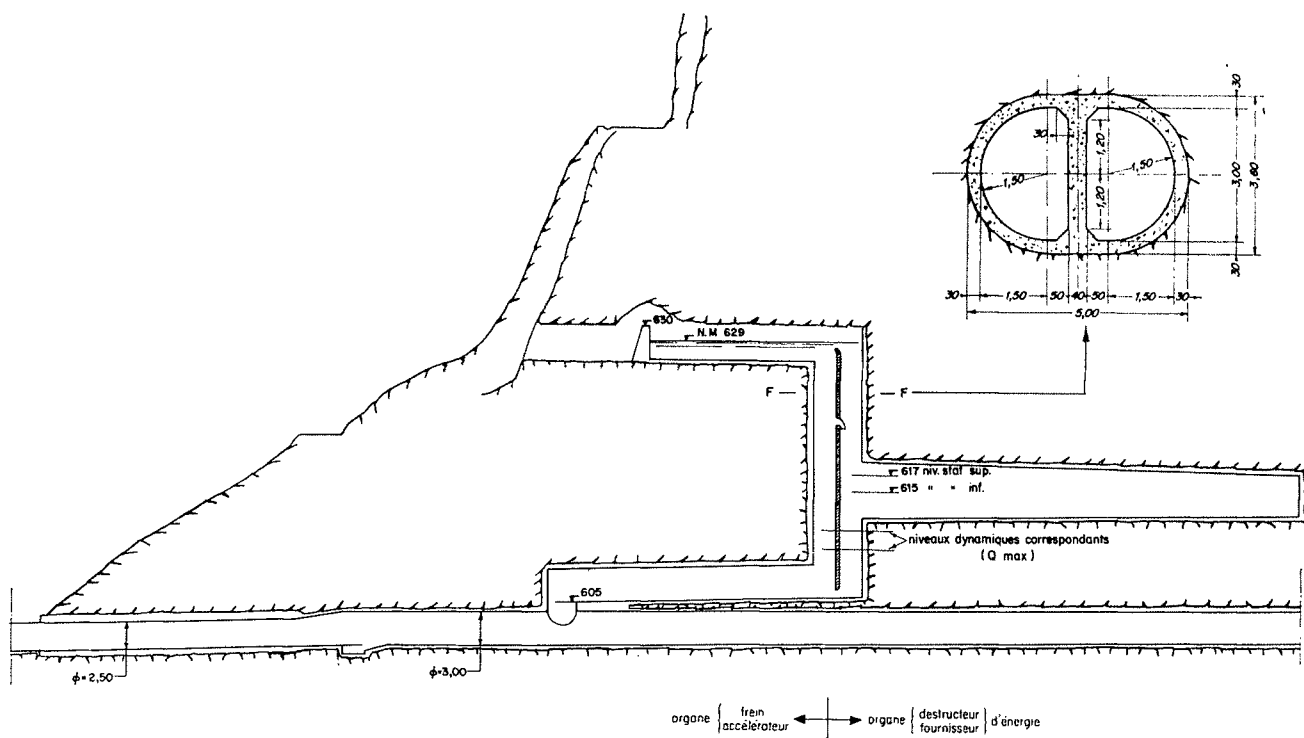


FIG. 7

— A l'ouverture, il faut fournir à chaque instant juste le débit nécessaire, c'est-à-dire la différence entre le débit demandé par la turbine et celui que peut déjà fournir la galerie à l'instant considéré.

Lorsqu'on fournit ce débit à l'aide d'une chambre d'expansion inférieure, on consomme automatiquement deux fois trop d'énergie : du fait que la cheminée fonctionne alors en accélérateur « élastique » pour amener la galerie à avoir une énergie $\frac{1}{2}mV^2$, elle demande pour elle-même à la retenue une énergie égale sous forme d'énergie potentielle. Cette énergie demandée inutilement est ensuite détruite en frottements sous forme d'oscillations autour de la valeur finale. Notons qu'ainsi l'énergie oscillante à détruire à la suite d'une ouverture est la même qu'à la suite de la fermeture du même débit.

Si, par contre, le puits est petit, la cheminée joue alors son rôle qui est de créer la dépression accélératrice (appliquée dès le début à sa valeur maximum) sans, pour autant, demander à la retenue beaucoup d'énergie en trop grâce à ses faibles dimensions. Quant à l'énergie qu'il faut fournir et que le petit puits n'a pas pour rôle de fournir, elle provient essentiellement de la chambre médiane qui se vide. Mais cette énergie-là, fournie à partir du niveau statique, donc sans surplus inutile, n'engendrera pas d'oscillations ultérieures et, en particulier, aucune remontée. Dans tous les artifices envisagés précédemment, on n'amortissait les oscillations d'ouverture au

mieux qu'à partir de la première remontée.

Enfin, autre avantage de ce procédé : la chambre médiane peut être calée de sorte que son radier soit au niveau dynamique le plus bas et sa calotte au niveau statique. Si l'aménagement ne présente pas de marnage, on peut dire que cette chambre, vide en cas de fermeture, pleine en cas d'ouverture, est l'équivalente de deux chambres, l'une supérieure, l'autre inférieure, et chacune de dimensions égales à la chambre médiane. En fait, dès qu'il y a marnage, cet avantage se réduit vite : 2 mètres de marnage le réduisent de 50 % à Pressy. Sinon le volume des ouvrages d'équilibre pourrait être réduit théoriquement de moitié avec ce type de cheminée; mais ceci est un avantage accessoire, le but essentiel recherché étant l'amortissement immédiat. Ceci nécessite évidemment une bonne connaissance et une bonne définition des pertes de charge de la galerie.

CALCULS

Pour aller plus loin dans le détail, il faut considérer le débit qui traverse la cheminée par les trous et le déversoir, débit qui est soutiré de la cheminée quand elle se remplit, et fourni quand elle se vide. Nous appellerons dans la suite « Q_c » le débit correspondant à l'énergie dissipée ou fournie.

Ce débit doit répondre aux exigences suivantes :

— être tel qu'il n'y ait pas de descente consécutive à une fermeture, c'est-à-dire que l'énergie

détruite au bout du temps T lorsque la vitesse de l'eau en galerie est devenue nulle, à savoir :

$$\int_0^T Q_c H dt$$

soit égale tout juste à l'énergie cinétique de la galerie — et ceci quel que soit le débit coupé et la vitesse de coupure;

— être tel que le volume $\int_0^T Q_c dt$

accumulé dans la chambre médiane pendant cette unique demi-oscillation soit une fonction parabolique du débit coupé afin que, parti dans la chambre médiane du niveau dynamique correspondant au niveau initial, on aboutisse au niveau statique.

D'autre part, comme on se refuse à employer tout artifice mécanique, le seul paramètre qui régit $Q_c(t)$ est la charge dans la cheminée.

Considérons alors les épures en coordonnées Q galerie, H cheminée :

Le système sera au repos après une fermeture lorsque le point représentatif de la cheminée sera au centre de l'épure (débit nul en galerie, niveau statique en cheminée). Il faut que la courbe d'oscillation parvienne à ce point au plus vite, autrement qu'en l'entourant asymptotiquement (fig. 8). Il n'y a physiquement que dans le pre-

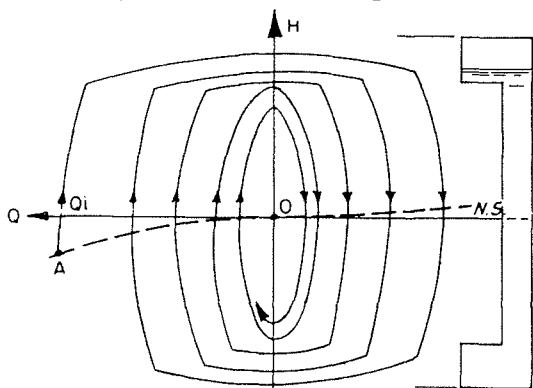


FIG. 8
Amortissement naturel.

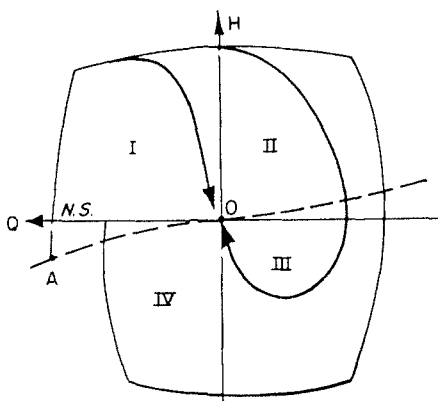


FIG. 9
Les deux types d'amortissement possibles.

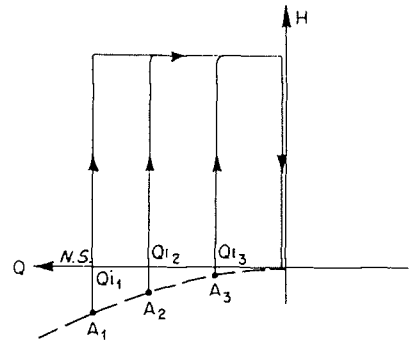


FIG. 10
Les courbes idéales d'amortissement pour divers « Qi » coupés.

mier et troisième quadrant qu'on puisse y parvenir. Il n'y a que dans le premier qu'on y parvienne sans aucune descente consécutive à la montée (fig. 9).

D'autre part, à montée maximum donnée, le volume d'eau accumulé est minimum (c'est-à-dire ici le volume de la chambre médiane) si la montée dans la cheminée atteint de suite sa valeur maximum. On peut donc tracer *a priori* la courbe d'oscillation idéale sur l'épure : elle affecte la forme rectangulaire ci-dessus (fig. 10). Or, si, quelle que soit la fermeture, on a cette même forme, il se trouve que le problème posé plus haut est résolu. En effet :

A. — On détruit évidemment, en une demi-oscillation, juste l'énergie de la galerie puisqu'on aboutit de suite au repos.

B. — Le volume accumulé $\int Q_c dt$ est bien parabolique en fonction du débit initial coupé : soit Q_i celui-ci et $Q(t)$ le débit qui rentre dans la cheminée. La hauteur décélétratrice étant constante, $Q(t)$ décroît linéairement de Q_i à 0, et le temps nécessaire à annuler Q_i est lui-même proportionnel à Q_i soit $T = K Q_i$. Ainsi le volume accumulé est $K \times (Q_i^2/2)$.

En calant la chambre médiane de façon que son radier soit au niveau dynamique de Q_i max. et sa calotte au N.S., il existe une surface qui donne justement la valeur qui réalise la solution.

La loi Q_c cherchée est donc tout simplement celle qui donne l'épure d'oscillation rectangulaire idéale définie ci-dessus; il s'agit de la réaliser au mieux sans artifices mécaniques :

a) La montée verticale donc rapide [$Q(t)$ n'ayant pas diminué], suppose Q_c nul et une section de cheminée très petite. Notons qu'on n'est pas gêné par la section de Thoma car un autre avantage de la chambre médiane est de faire participer toute la chambre à la section, l'influence du diaphragme étant faible aux petites oscillations;

b) Puis la montée s'arrête et garde sa valeur. Cela suppose un débit Q_c qui s'égalise à $Q(t)$ et décroît avec lui. Ceci peut être presque rigoureusement réalisé par un déversoir à la hauteur de

lame d'eau déversante près. Ce déversoir déverse dans la chambre médiane.

c) Lorsque le débit en galerie est devenu très petit, il faudrait une vidange rapide du tube jusqu'au niveau statique. Ceci est le point délicat. Il est certain que, sans artifices mécaniques, on n'aura pas une augmentation de Q_e pendant cette 3^e phase très courte, mais plutôt une diminution, la charge H diminuant. De toute façon, il faut un trou en bas de la cheminée communiquant avec la chambre médiane. Ce trou est d'ailleurs indispensable aux manœuvres d'ouverture. Lorsque le débit en galerie, ralenti par la charge, deviendra plus petit que le débit du trou, la vidange de la cheminée commencera. Elle se poursuivra du fait que le débit de la galerie diminue plus vite que celui de ce trou.

Reconsidérons l'épure sur laquelle on va tracer la courbe du débit Q_e en fonction de H . Le point B est celui à partir duquel va commencer la descente (fig. 11). Pour s'approcher de notre courbe idéale, il faut « équarrir » cet angle B, ce sera le rôle d'une petite chambre d'expansion supérieure : continuer à faire courir presque horizontalement la courbe au-delà de B pour la faire chuter verticalement. En d'autres termes, on maintient un peu plus longtemps la charge maximum de façon que, lorsque la des-

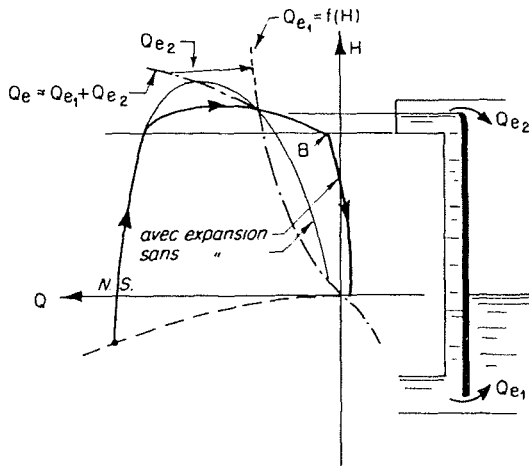


FIG. 11
Emploi d'une chambre supérieure pour « équarrir » la courbe en B.

cente vers le tube s'amorce, le débit en galerie soit presque nul et le débit de vidange (différence entre celui du trou et celui de la galerie) soit assez fort pour vider très vite le tube.

Ce petit volume supérieur, inutile en tant que réserve, trouve d'ailleurs une utilité comme sécurité pour éviter des déversements dans les « déclenchements malheureux » pour lesquelles la chambre médiane n'est pas dimensionnée.

Il est certain que par le jeu des arasements relatifs du déversoir, du radier de la chambre supérieure, du volume de celle-ci, on peut assurer une descente qui passe par le centre, et par

conséquent obtenir l'amortissement immédiat — mais ceci pour une manœuvre donnée. Du fait même de ce qui précède, on est assuré que pour les autres manœuvres l'amortissement sera presque immédiat. Voyons cependant la question :

- d'une part des fermetures de faibles débits,
- d'autre part des mouvements lents.

COUPURES DE DIFFÉRENTS DÉBITS

Les essais sur épure montrent le résultat ci-dessous (fig. 12) : il y a dispersion des redess-

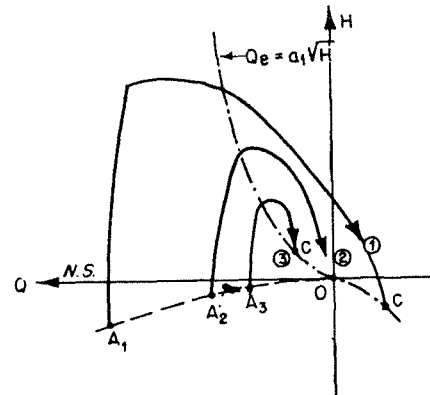


FIG. 12

Avec une courbe $Q_e = a_1 \sqrt{H}$, les courbes (1) (2) (3) divergent.

centes. Et ceci est assez grave car, à partir du point C le débit en galerie, donc le débit qui rentre dans la chambre d'accumulation, est très faible, certes, mais comme la hauteur décelératrice s'est prématurément amenuisée, le « frein » ne freine plus beaucoup et il peut se passer un temps assez long avant que la galerie ait perdu asymptotiquement toute sa vitesse. Un faible débit, pendant un temps très long, cela peut faire un gros volume dans la chambre médiane. Or, justement, puisqu'on est parti d'un Q_i faible, la tranche disponible à remplir était faible.

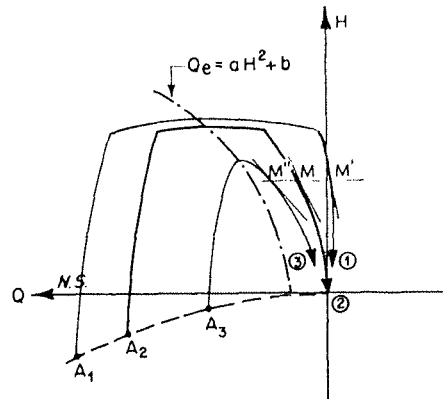


FIG. 13

Avec $Q_e = aH^2 + b$, les courbes (1) et (3) convergent vers la courbe moyenne (2).

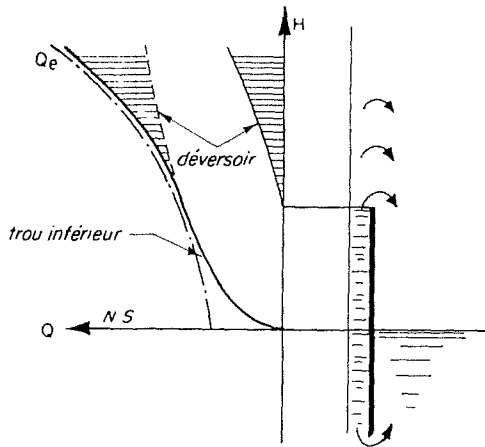


FIG. 14

Réalisation d'une approximation de $Q_e = aH^2 + b$.

Il faut donc rechercher la loi de débit $Q_e(H)$ qui permettrait aux courbes descendantes de converger vers l'origine. On peut démontrer que pour des fermetures instantanées de divers Q_i , les redescentes des courbes d'oscillations ne peuvent pas se couper. Le mieux qu'on puisse avoir est donc une courbe aboutissant droit sur l'origine et les autres de part et d'autre convergeant vers celle-ci. On choisira cette courbe parfaite pour la fermeture d'un débit moyen.

Une solution peut être trouvée : c'est la loi parabolique $Q_e(H)$, mais d'axe OQ : $Q_e = aH^2 + b$ (fig. 13). On peut démontrer alors qu'il existe une courbe d'oscillation parallèle à cette parabole et passant par l'origine, et que dans ces conditions :

En tout point, M' situé à droite de cette courbe, la tangente $\Delta Q/\Delta H$ est supérieure à $\Delta Q/\Delta H$ en M — et en tout point M'' situé à gauche, elle est inférieure; et la différence :

$$\left(\frac{\Delta Q}{\Delta H}\right)_{M'} - \left(\frac{\Delta Q}{\Delta H}\right)_M$$

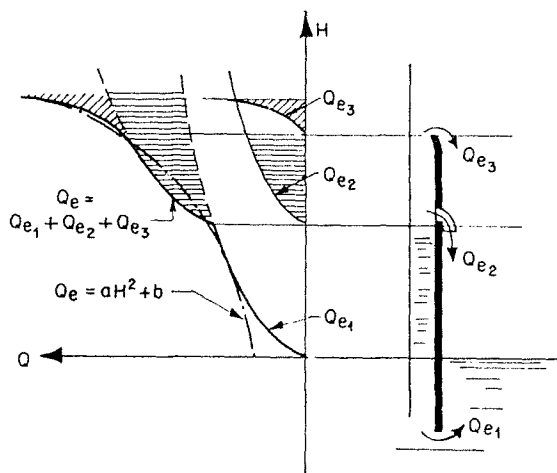


FIG. 15

Réalisation d'une approximation à l'aide de deux trous et d'un déversoir (Pressy).

est proportionnelle à $\overline{MM'}$. Ainsi les courbes convergent vers la courbe (2), réglée pour être moyenne.

Il reste à réaliser dans la pratique :

$$Q_e = aH^2 + b.$$

On a nécessairement un trou au bas du mur débitant $Q_{e_1} = a_1 \sqrt{H}$. Si on crée dans le mur un déversoir de largeur variable calculée, il débitera $Q_{e_2} = a_2(H) \times H^{3/2}$.

a_1 et $a_2(H)$ peuvent être calculés de façon que $Q_{e_1} + Q_{e_2}$ soit très voisin de $aH^2 + b$ (fig. 14).

Pour des raisons constructives, on préférerait une série de trous calés à des cotes H_i et de sections proportionnelles à a_i , de sorte que :

$$\int_0^h a_i(h - h_i) dh \text{ soit voisin de } ah^2 + b.$$

On s'est contenté d'un seul trou. Avec l'orifice inférieur, celui-là et le déversoir, les essais sur épures montrent qu'on a une approximation suffisante de la forme parabolique cherchée (fig. 15).

CROUPES DES FAIBLES DÉBITS PAR DES MANŒUVRES LENTES

Voici réglé, avec une assez bonne approximation, le cas des fermetures pour différents débits. Il reste le problème des manœuvres très lentes. En effet, dans ce cas, le diaphragme ne crée pas beaucoup de pertes de charges et la cheminée fonctionne un peu comme si elle n'était qu'un vaste épanouissement autour du niveau statique. Il ne se crée pas beaucoup de charge accélératrice ou décélératrice en sorte qu'on peut craindre qu'il ne se consume une grande part du volume de la chambre médiane sous une faible charge (prenons le cas d'une ouverture) sans que pour autant la galerie ait été mise beaucoup en vitesse. Si, à ce moment précis, il y a une ouverture brusque, elle trouverait une chambre prématurément vidée et seule la chambre inférieure participerait à cette ouverture. Ce serait la même chose pour une fermeture lente suivie d'un déclenchement.

On a donc fait le calcul en recherchant l'ouverture qui consomme tout le volume de la chambre en ayant mis en route le débit le plus petit possible en galerie, et le calcul parallèle en fermeture.

Quelque invraisemblable que puisse être ce cas, on a considéré une ouverture parabolique en fonction du temps assurant une hauteur accélératrice linéairement croissante et un débit Q_e constant. La charge constante de vidange $h(Q_e = K\sqrt{h})$ la plus défavorable est calculée

égale à la moitié de la tranche à vider ou à remplir. En partant des situations les plus défavorables, on a trouvé qu'on ne pourrait pas vider les 2 m de tranche restante sans avoir mis en route un débit au moins égal à 7 m³/s en galerie, ce qui est très suffisant. En effet, si juste à ce moment, il y a un appel de puissance, la chambre inférieure permet d'ouvrir le reste de l'usine à la cadence de consigne de 1 groupe en 90 secondes. Quant à la fermeture, cette loi lente s'est révélée moins défavorable que le déclenchement instantané.

RÉSULTAT FINAL

Dans tous les cas extrêmes, on n'a pas l'amortissement absolument parfait : il subsiste une énergie oscillante de la masse de la chambre médiane autour du niveau du régime permanent. Mais cette énergie est rapidement détruite et l'oscillation tout de suite amortie par le diaphragme puissant que constitue l'orifice inférieur. A ce point de vue, on peut considérer qu'on a une double cheminée sans diaphragme au point de vue coup de bélier de pression et de dépression, et à très fort diaphragme au point de vue amortissement des oscillations. L'épure

de la figure 16 donne le résultat final pour plusieurs débits coupés.

Nous avons essayé, en séparant les diverses fonctions de la cheminée, de lui donner ce que chaque type (à simple expansion, différentiel, déversant, à diaphragme), a de bon, sans en recueillir les inconvénients.

PRIX DE CET OUVRAGE

L'excavation nécessaire n'a aucune raison d'être supérieure à celle d'une cheminée à chambres d'expansion : au contraire. En effet, nous avons, lors d'une fermeture, à accumuler une énergie qui est un produit ZV , c'est-à-dire un volume V sous une charge Z . L'eau déversée dans la chambre médiane ou introduite par les trous du mur central l'est sous une charge Z appliquée dès le début à sa valeur maximum. La chambre médiane aura donc le même volume que l'expansion supérieure d'une cheminée simple. Comme elle sert à l'ouverture, s'il n'y avait pas de marnage, comme on l'a vu, on aurait donc un volume de chambre médiane moitié de celui de la somme des deux chambres d'une cheminée simple.

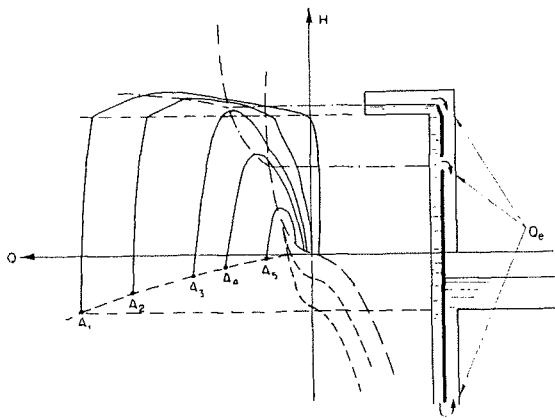


FIG. 16 a

Epure des fermetures instantanées de plusieurs débits.

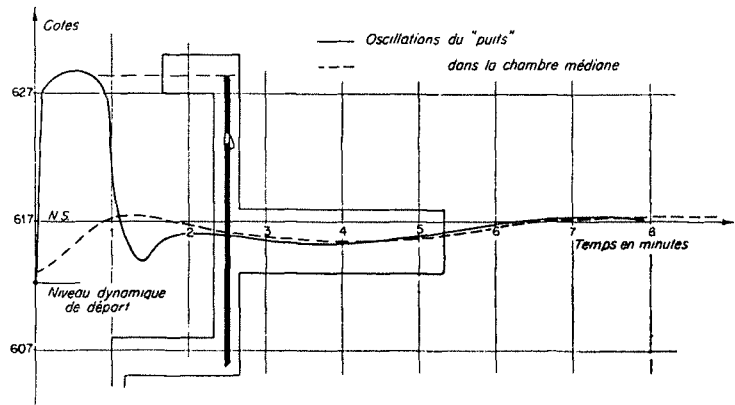


FIG. 16 b

Déclenchement total instantané.

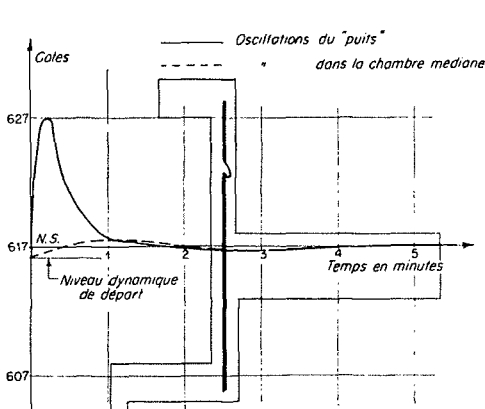


FIG. 16 c

Fermeture instantanée d'un débit moitié du maximum.

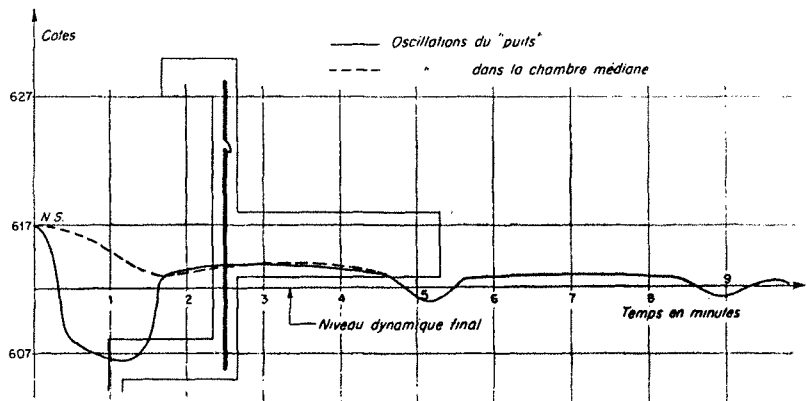
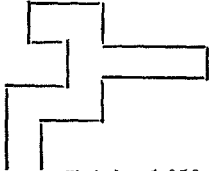
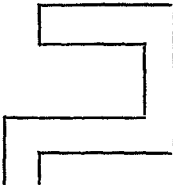
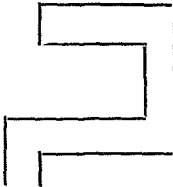


FIG. 16 d

Ouverture totale en 90 secondes (linéaire).

CHEMINÉE DE DÉPART	MANŒUVRES CLASSIQUES					INCIDENTS				Les volumes tiennent compte des aménagements tels que murs, diaphragmes, etc., exprimés en m ³ revêtus à 10.000
	Déclenchement total fermeture en 20 minutes	Ouverture du 1 ^{er} groupe à partir du système au repos	Ouverture du 2 ^e groupe à partir du régime permanent 12 m ³ /s	Démarrage du 2 ^e groupe après le 1 ^{er}	Reprise du 1 ^{er} groupe après déclenchement général	Reprise de toute l'usine après déclenchement général	Déclenchement après reprise du 2 ^e groupe au moment le plus défavorable	Déclenchement total Fermeture instantanée par défaut de fonctionnement du déchargeur	Volumes permettant toutes les mêmes performances	
Cheminée à chambre médiane :  Total : 1.050 m ³	oui	oui	oui	il faut attendre au max. 1,30 mn	n'importe quand	possible en 1,30 mn	déverse 100 m ³ (3)	oui	1.150	Performances de la cheminée de départ.
	1.150 (1)	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150		
Cheminée à tuyau :  Total : 1.100 m ³	oui	oui	oui	1,30 mn	n'importe quand	possible en 5 mn	déverse 270 m ³	oui	1.410	Performances de la cheminée de départ.
	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.220	1.290		(6)	Volume permettant les performances de la 1 ^{re} cheminée.
Cheminée non amortissante à expansions :  Total : 1.100 m ³	oui	oui	oui	il faut attendre 10-15 mn	il faut attendre 20 à 25 mn	possible en 30 à 40 mn	déverse 270 m ³	oui	plus de 3.000	Performances de la cheminée de départ.
	Cheminée de base 1.100 m ³	1.100 m ³	1.100 m ³	1.550 m ³	2.300 m ³ (2)	+ de 3.000 m ³	1.370 m ³ (5)		(7)	Volume permettant les performances de la 1 ^{re} cheminée.

REMARQUES

- (1) Le volume est en effet de 1.050 m³ plus 100 m³ d'équivalent, soit 1.150 m³.
- (2) La manœuvre conduirait à augmenter la chambre inférieure. Mais cela entraîne aussi une augmentation de la chambre supérieure afin qu'elle absorbe sans déverser la remontée de 1.200 m³, amortie seulement par les pertes de charge de la galerie.
- (3) Il faut remarquer l'infime probabilité de ce déversement. Si le déclenchement n'a plus lieu juste à la seconde la plus défavorable, le déversement devient très faible. Il ne semble donc pas nécessaire de couvrir ce faible risque.

Plage de temps où se situe l'instant du déclenchement.....	0 — 2 s	2 — 5 s	5 — 20 s	20 — 60 s	
Volume déversé le plus probable.....	Cheminée à chambre médiane.....	90 m ³	40 m ³	0	0
	Autre cheminée.....	260 m ³	200 m ³	90 m ³	0

- (4) Plus la chambre d'expansion inférieure est grande, plus le volume maximum déversé risque d'être grand. On a calculé les volumes des deux cheminées pour qu'elles déversent au maximum 100 m³.
- (5) La cheminée n'amortissant pas, les volumes calculés n'empêcheraient pas de déverser plus de 100 m³, s'il survenait un deuxième déclenchement malheureux.
- (6) Cette cheminée aurait 450 m³ de volume de chambre inférieure, et par suite 630 m³ et non 670 de volume de chambre supérieure à cause de la remarque (4).

$$450 + 690 + 250 + 20 = 1.410$$

- (7) Ce chiffre (qui serait même très supérieur si on appliquait la remarque 4) donne une idée. Il est évident qu'une telle cheminée est impensable.

Par contre, on n'utilise pas comme accumulation ni le puits, ni la petite expansion supérieure. Compte tenu de ceci, de la sécurité dans le calage de la chambre médiane, du marnage, on a finalement le même volume d'excavation.

Le tableau ci-après résume le volume à payer en « mètres cubes revêtus de cheminée simple » des cheminées amortissantes envisagées.

Il donne pour chaque cheminée :

- en première ligne les performances de la cheminée schématisée dans la première colonne;
- en deuxième ligne le volume qu'auraient la deuxième et la troisième cheminée pour atteindre les performances de la première cheminée.

AMÉLIORATIONS DES PERFORMANCES D'UNE CHEMINÉE A SIMPLES EXPANSIONS
EN FONCTION DE SON VOLUME

VOLUME TOTAL réparti au mieux entre les chambres supérieure et inférieure	1.150 1.100 m ³ (cheminée de base)	1.200 m ³	1.400 m ³	2.000 m ³	3.000 m ³
Temps de démarrage de l'usine totale.	15 à 20 mn	8 à 12 mn	4 à 7 mn	Instantané	Instantané
Après déclenchement général : a) Délai avant de reprendre un groupe	25 à 30 mn	15 à 20 mn	8 à 12 mn	2 mn	aucun
2) Délai pour que toute la charge soit reprise	35 à 40 mn	25 à 30 mn	14 à 18 mn	3 à 4 mn	90 s
Déversement maximum en cas de déclenchement malheureux	270 m ³	300 m ³	300 m ³	150 m ³	0 m ³

(Les deux valeurs correspondent à la fourchette des pertes de charge calculées)

La cheminée proposée, équivalente à 1.150 m³, permet les performances d'une cheminée classique de 1.800 à 3.000 m³

V. — Modèle réduit de la cheminée d'équilibre de Pressy

Après établissement, sur les bases définies ci-dessus, du projet, il a paru nécessaire de vérifier son bon fonctionnement sur modèle réduit. Le but des essais était notamment de vérifier que les manœuvres lentes, partielles ou rythmées, n'entraînaient pas d'incidents dans le bon fonctionnement de l'ouvrage.

Le modèle correspondant a été réalisé au Laboratoire des bétons Alpes II à Albertville. On a reproduit l'ouvrage au 1/50, en bois creusé, avec sur une face des panneaux vitrés et vissés pour observer le mouvement de l'eau.

Les essais ont entièrement confirmé les études sur épures. Ils ont donné des indications qualitatives sur la façon de résoudre les problèmes d'évacuation de l'air et sur la pente à donner aux galeries.

Ils ont montré la formation d'un ressaut dans la chambre inférieure et son influence.

Du point de vue théorique, ils ont confirmé qu'aucune manœuvre lente ou partielle, d'ouverture ou de fermeture, n'était plus défavorable que celles prévues par le calcul dans les cas que l'on pouvait résoudre.

Conclusion

La cheminée du type Pressy résoud presque complètement le problème de la suppression des oscillations. En un temps très court, leurs résidus sont parfaitement amortis quel que soit le débit coupé. Pour des manœuvres d'ouverture, l'amortissement reste excellent. Sur modèle réduit, nous avons essayé, au moyen de manœuvres alternées les plus invraisemblables, de la faire déverser. Nous n'y sommes pas arrivés, l'amortissement presque immédiat permet de reprendre la moitié de la charge à n'importe quel moment, puis de la couper, à nouveau de la reprendre, etc...

En outre, son volume est un peu inférieur à celui de la cheminée à chambre d'expansion créant la même hauteur accélératrice, mais de performance bien inférieure; en revanche, évidemment, son génie civil est plus compliqué.

Le lecteur trouvera peut-être que cette cheminée a beaucoup de qualités et bien peu de défauts. Dans le cas de Pressy, c'est incontestable.

Malheureusement, les conditions de Pressy se retrouvent rarement. En effet, pour que ce type de cheminée soit économique, il faut deux conditions :

— pertes de charge faibles en galerie,

— N.S. peu variable,

et la deuxième condition est assez rarement satisfaite.

Par contre, la cheminée à tuyau n'est assortie d'aucune condition; elle a l'avantage de pouvoir être surajoutée sans grande difficulté à un aménagement existant. En revanche, elle n'est parfaitement amortissante que pour un seul débit coupé et laisse une certaine sujétion à l'exploitation pour les autres débits. La cheminée à simple mur n'a été indiquée que pour marquer une progression. Si l'on veut rechercher un amortissement sensible, elle semble de faible intérêt.

