

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 60 (1934)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Résonance de l'oscillation dans une chambre d'équilibre  
**Autor:** Calame, Jules  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-46390>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 06.03.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Sembrancher. Sur ces 9 conducteurs, 3 seulement sont équipés en première étape. On a envisagé que le transformateur 10/64 kV à installer plus tard à Orsières, ne serait pas alimenté directement depuis l'un des alternateurs, mais bien depuis le jeu de barres auxiliaires à 10 kV, ce qui permettra de régler la tension du départ correspondant, indépendamment de celle des autres départs, soit par l'introduction d'un régulateur d'induction, soit en dotant le transformateur d'un interrupteur à gradins.

Pour des motifs d'opportunité et d'ordre administratif, la Compagnie des Forces Motrices d'Orsières a renoncé à construire sa propre ligne de transport jusqu'à Monthey, mais s'est bornée au tronçon aboutissant à Vernayaz, à 5 km environ à l'aval de Martigny, dans la vallée du Rhône. De là, la Compagnie fait transiter son énergie sur une ligne 50 kV existante, venant du Haut Valais et se dirigeant également vers Monthey. En cet endroit, une dérivation de cette ligne pénètre dans la sous-station de la Société pour l'Industrie chimique qui a été complétée par un poste, avec un auto-transformateur à réglage automatique par gradins, afin d'obtenir une tension très constante et indépendante des fluctuations du réseau transitaire.

Au départ d'Orsières, le tracé de la ligne, orienté vers le nord, suit le flanc gauche de la vallée de la Drance, jusque près de Sembrancher, à une altitude variant entre 850 et 1000 m. Là, après un angle brusque de près de 50°, réparti sur deux supports, la ligne prend une direction nord-est pour franchir le Mont-Chemin, au Col des Planches (altitude 1450 m) près de l'hôtel du même nom, et gagner de là la vallée du Rhône (altitude 460 m), non loin de Martigny. Le passage du Mont-Chemin pose des conditions assez dures pour la construction d'une ligne, particulièrement la descente dans la vallée du Rhône qui est très accidentée. La différence de niveau est de 1000 m en chiffres ronds, pour une distance en projection horizontale de 1500 m seulement. Ce premier tronçon depuis Orsières est dénommé « tronçon montagne », par opposition au « tronçon plaine » pour le trajet Martigny-Vernayaz. Sur ce parcours, le tracé s'est adapté aux conditions imposées par le grand nombre de lignes existantes, ceci afin de réduire à un minimum le nombre des croisements et de conserver un certain ordre de répartition. Il faut cependant constater que, par suite des enfilades de peupliers, qui sont un des traits caractéristiques de la Vallée du Rhône, les nombreuses lignes à haute tension sont à peine visibles et ne causent de ce fait, aucune perturbation dans le paysage. Le tracé a une longueur totale de 47,25 km dont 11,95 km en montagne et 5,30 km en plaine.

(A suivre).

## Résonance de l'oscillation dans une chambre d'équilibre,

par JULES CALAME, ingénieur-conseil, à Genève.

(Suite et fin.)<sup>1</sup>

### 3. Ouvertures successives.

Examinons la possibilité de réduire au minimum l'oscillation résultant de deux manœuvres partielles, en posant le problème dans toute sa généralité et montrons d'abord que, quel que soit le délai qui sépare l'ouverture consécutive de deux turbines, la dénivellation due à la résultante des oscillations séparées de ces deux turbines ne dépassera jamais la dénivellation maximum que provoquerait leur ouverture simultanée.

On négligera, ici encore, l'effet de la perte de charge qui augmente la descente et qui est maximum pour le plus fort débit. Si l'on démontre, par conséquent, sans tenir compte des pertes, que des manœuvres successives donnent lieu à une oscillation d'amplitude plus faible que celle résultant de la manœuvre simultanée des deux groupes, on aura démontré, *a fortiori*, que cette même descente est moins importante encore pour des manœuvres successives, quand on tient compte de la perte de charge.

Examinons d'abord quelques cas particuliers d'oscillations provoquées par des manœuvres successives de deux turbines, ces manœuvres étant séparées par un intervalle de temps  $t_0$ , dont on supposera qu'il prend les valeurs  $T:4$ ,  $T:2$ ,  $3T:4$ , ainsi que le montrent les figures 6, 7 et 8. Dès l'instant où la seconde turbine se met en marche, l'oscillation qu'elle provoque, compensée par l'oscillation provenant de la première turbine, donne lieu à une oscillation résultante, de même période que les oscillations composantes, mais dont l'amplitude dépend du délai  $t_0$ .

Pour  $t_0 = T:2$ , on ne s'étonne pas que l'effet de la deuxième turbine compense exactement celui de la première. Mais, dans tous les autres cas, l'amplitude de l'oscillation résultante n'est pas nulle et elle dépasse, pour plusieurs valeurs de  $t_0$ , l'amplitude de l'oscillation d'une seule turbine.

L'amplitude maximum de l'oscillation résultante, qui atteint (quand on ne tient pas compte des pertes de charge) le double de l'amplitude de l'oscillation d'une turbine (fig. 9), se produit, soit qu'on ouvre les deux turbines simultanément ( $t_0 = 0$ ), soit que le délai de mise en marche des deux turbines atteigne exactement la valeur d'une période complète ( $t_0 = T$ ) ou d'un multiple de cette période.

Il est d'ailleurs facile de montrer qu'il en est bien ainsi, dès qu'on fait abstraction des pertes de charge.

La première oscillation composante, provenant de l'ouverture d'une turbine sur deux, peut, en effet, s'écrire

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 26 mai 1934, page 122.

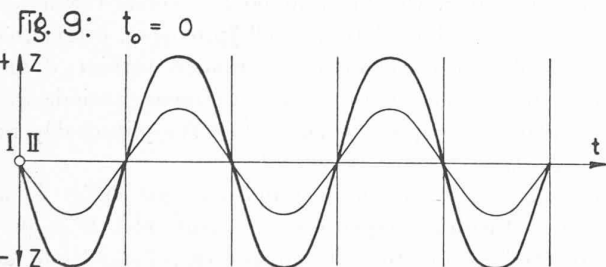
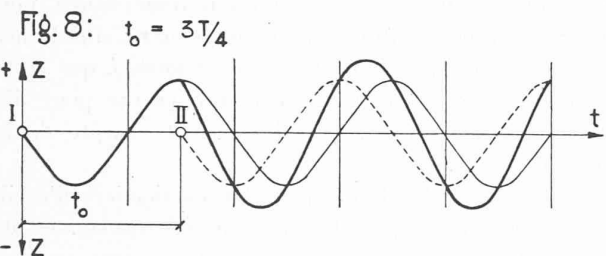
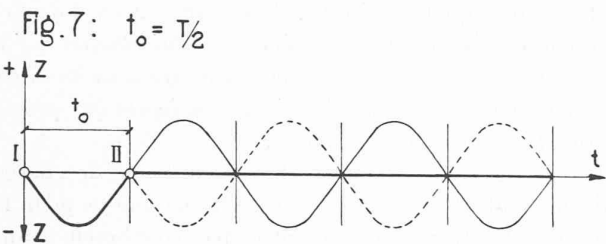
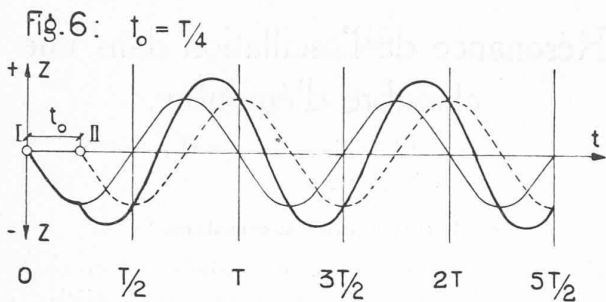


Fig. 6 à 9. — Ouvertures successives.

$t_0$  = délai séparant l'ouverture de 2 groupes,  
 I = ouverture du premier groupe,  
 II = ouverture du second groupe.

$$Z_1 = -\frac{1}{2} W_0 k \sin \frac{2\pi t}{T}$$

si l'on convient de poser encore  $k = \sqrt{\frac{Lj}{gF}}$ .

La seconde oscillation s'écrira

$$Z_2 = -\frac{1}{2} W_0 k \sin \left( \frac{2\pi t}{T} - \beta \right)$$

$\beta$  désignant l'angle de retard, auquel correspond le délai

$$t_0 = \frac{\beta}{2\pi} T.$$

Par la règle de Fresnel, il est facile de déterminer la sinusoïde résultant de  $Z_1$  et de  $Z_2$  qui a pour équation :

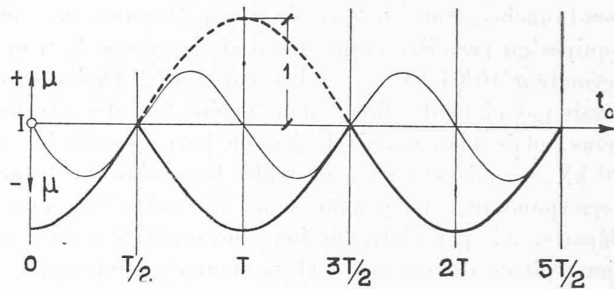


Fig. 10. — Lieu des minima et maxima de  $\mu$ , en fonction de l'intervalle  $t_0$ .

$$Z = \mu W_0 k \sin \left( \frac{2\pi t}{T} - \sigma \right)$$

dont la période est aussi  $T = 2\pi \sqrt{\frac{LF}{gf}}$ .

Il nous intéressera surtout de connaître sur quelle courbe (fig. 10) se meurent les minima et maxima des courbes en  $Z$ , en fonction du délai  $t_0$  qui s'écoule entre la mise en marche de deux turbines.

Dans ce cas de deux turbines

$$\sigma = \beta : 2$$

$$\mu = -\cos \frac{\beta}{2} = \sin \left( \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{2} \right)$$

c'est-à-dire que le coefficient  $\mu$  varie entre  $+1$  et  $-1$ .

Les minima et maxima s'obtiennent pour

$$\frac{d\mu}{d\beta} = \frac{1}{2} \sin \frac{\beta}{2} \dots = 0, \text{ c'est-à-dire}$$

quand  $t_0 = 0 + nT$ ; alors  $\mu = -1$   
 $= T + nT$ ; »  $\mu = +1$ .

Il est donc bien exact que, dans le cas de deux groupes identiques, l'amplitude de la résultante ne dépasse en aucun cas le double de l'amplitude d'une des composantes et ce maximum correspond à la manœuvre simultanée des deux unités ou à leur manœuvre distincte, décalée d'un nombre entier de périodes.

En suivant, dès lors, la courbe en trait fort de la figure 10, on voit qu'il est possible de choisir des délais  $t_0$  de manière que l'amplitude de la résultante ne dépasse jamais l'amplitude des composantes, ce qui serait nécessaire, par exemple, si l'on ne calculait la région inférieure de la chambre que pour l'ouverture d'une seule turbine.

De plus, comme il est intéressant, ainsi qu'on l'a montré à la fin du paragraphe précédent, d'avoir dans la chambre un niveau aussi constant que possible, notamment dans l'éventualité d'un court-circuit subséquent, on pourra se fixer comme règle, lors de l'ouverture consécutive de deux turbines destinées à prendre toutes deux immédiatement une charge importante, d'ouvrir la deuxième turbine après la première, dans un intervalle de temps aussi voisin que possible de  $\frac{1}{2} T + nT$ .

Si la période d'oscillation  $T$  était, par exemple, voisine de 3 minutes, on aurait intérêt à choisir ce délai de  $1 \frac{1}{2}$  ou  $4 \frac{1}{2}$  ou  $7 \frac{1}{2}$  minutes +  $n$  fois 3 minutes, si c'est nécessaire ( $n$  désignant un nombre entier et positif de périodes).

#### 4. Considérations d'ordre pratique.

En réalité la pratique des usines, pourvues de chambres d'équilibre, montre que les résultats extrêmes calculés sur la base des hypothèses ordinaires ne sont pas dépassés et l'on ne connaît pas de cas de manœuvres successives où des conditions plus défavorables seraient intervenues. M. R.-D. Johnson, l'éminent spécialiste américain des chambres d'équilibre, nous a indiqué, lui aussi que, des 33 chambres d'équilibre qu'il avait construites alors, la plupart n'étaient calculées que pour des ouvertures de 33 % ou de 50 % (selon qu'il s'agissait d'usines à 3 ou à 2 groupes); seules une ou deux des chambres qu'il a construites ont été calculées pour l'ouverture complète et simultanée de tous les groupes, quand il s'agissait d'usines fournissant exclusivement du courant de traction. C'est bien aussi le cas d'ouverture le plus défavorable qu'il ait considéré.

L'exploitation des réseaux d'une certaine importance montre, en effet, que les charges et décharges ne s'accumulent jamais en un seul instant dans un même sens, mais qu'au contraire les unes compensent toujours les autres et à tel point que les plus grandes variations de la charge n'atteignent en général qu'une fraction relativement minime de la puissance totale de l'usine et ne donnent lieu, par conséquent, qu'à des oscillations dans la chambre dont l'amplitude est à son tour une fraction seulement de l'amplitude maximum calculée.

La tendance actuelle à spécialiser les usines en « usines de base » et « usines de pointes » renforce encore la thèse précédente, en ce qui concerne les usines de base. Quant aux usines de pointes la variation inopinée de leur puissance, entre tout et rien, exige qu'on prenne, pour calculer la chambre d'équilibre, les précautions nécessaires.

#### Conclusions.

1. En général, le fait d'avoir calculé la chambre d'équilibre pour des manœuvres complètes d'ouverture et de fermeture à partir des niveaux extrêmes permet de ne pas se préoccuper, lors de l'exploitation normale, des intervalles de temps qui sépareront ou des mises en marche ou des arrêts des turbines. A moins qu'il ne s'agisse, à un moment donné, d'un réseau d'exploitation réglé d'après un programme rythmé, ce qui est bien rarement le cas, on peut admettre que le hasard des enclenchements et déclenchements provoqués sur le réseau ne conduira pas à des oscillations dangereuses du niveau dans la chambre. C'est l'expérience faite partout jusqu'ici.

2. La mise en marche normale de l'usine après l'arrêt complet (toute oscillation étant supposée éteinte) devra s'effectuer de préférence en ouvrant une turbine après l'autre, ce qui, pratiquement, est bien le cas. Pour diminuer l'amplitude de l'oscillation résultante, on laissera s'écouler, entre le début de l'ouverture de deux machines un temps  $\frac{1}{2} T + nT$ ,  $T$  désignant la période d'oscillation du système « galerie d'amenée-chambre d'équilibre » ;

c'est le meilleur moyen d'obtenir dès le début un niveau d'exploitation peu variable et c'est encore le moyen d'éviter toute surprise, si un court-circuit venait à se produire tôt après l'enclenchement du dernier groupe. La présence éventuelle d'un déversoir dans le haut de la chambre d'équilibre constituera toujours une mesure de précaution utile.

3. La mise en marche des groupes après un court-circuit, si elle a lieu très peu après le court-circuit, ne devrait pas se faire à un moment quelconque, mais on aura soin de laisser s'écouler après le court-circuit un temps  $T + nT$ , jusqu'au moment de la mise en marche soit de la première turbine, soit de toutes les turbines simultanément, soit encore entre la mise en marche de deux turbines consécutives. La présence éventuelle d'un déversoir dans le haut de la chambre d'équilibre constituera, en cas de fausse manœuvre, une mesure de précaution utile.

4. Quant à des manœuvres rythmées, il y a lieu de les éviter absolument, car rien, dans les installations ordinaires, ne pourrait s'opposer à leurs effets désastreux. De telles manœuvres ne seront d'ailleurs pas provoquées automatiquement à grande échelle, pour les besoins du réseau. Elles pourraient, tout au plus, se présenter lors des essais de réception. Si l'on veut les empêcher complètement, il suffira de prescrire que des manœuvres complètes d'ouverture ou de fermeture d'une turbine ou de plusieurs unités simultanément ne peuvent être tolérées successivement dans un délai voisin soit de la période entière, soit de la demi-période d'oscillation, selon qu'il s'agit de manœuvres de même nom, ou de manœuvres de nom contraire.

De telles prescriptions ne sont d'ailleurs généralement pas nécessaires, et en tout cas pas durant l'exploitation ordinaire, car le hasard des circonstances empêche les hypothèses toutes théoriques envisagées ici de se réaliser.

Mais il est certainement utile d'être au clair à ce sujet.

\* \* \*

De même que les conduites forcées modernes ne sont pas calculées pour les cas extrêmes de résonance (dont M. Allievi, entre autres, a donné les résultats), bien qu'on crût de tels cas plausibles à l'origine, du fait de l'automatisme du réglage des turbines, de même on peut généralement, dans le calcul des chambres d'équilibre, faire abstraction de la résonance, car les diverses causes qui la provoqueraient ne sont généralement présentes ni intégralement, ni simultanément.

Des cas fortuits ne sont pas exclus. On n'en connaît cependant aucun jusqu'ici. Si l'on veut parer à leurs effets, tout au moins à celui d'une montée d'eau exagérée, on munira la chambre d'un déversoir et d'une évacuation suffisante de ce dernier. Contre une descente exagérée du niveau et contre une rentrée d'air il n'y a, en revanche, pas d'autre moyen d'agir que de donner à la région inférieure de la chambre les dimensions suffisantes.

Genève, octobre 1933.