Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 89/90 (1927)

Heft: 6

Artikel: De la stabilité des installations hydrauliques munies de chambres d'équilibre

Autor: Calame, Jules / Gaden, Daniel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-41731

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: 20.02.2026

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

INHALT: De la stabilité des installations hydrauliques munies de chambres d'équilibre. — Das Kraftwerk Eglisau der N. O. K. — Das Soldatenhaus in Bellinzona. — Das farbige Zürich. — Internationale Vorschriften für Eisenbeton — Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft. — Finanz- und betriebswissenschaftlicher Kurs des S. I. A. — Mitteilungen: Eidgnössische Technische Hochschule. Eine Pragel-Strasse. Internationales Flugmeeting in Zürich. Die Dampfkesselanlage des Grosskraftwerks Rummelsburg. Abschiedsfeier für Prof. Dr. W. Wyssling. Elektrische Schnellzug-Lokomotiven für Indien. Aussergewöhnliche Marschleistung. Evang. Kirche Frauenfeld. Schweizer Naturforschende Gesellschaft. — Wettbewerbe: Kirchgemeindehaus Grossmünster-Predigern. — Preisausschreiben: Preisaufgabe der Denzler-Stiftung des S. E. V. — Nekrologe: H. Meili-Wapf. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Sektion Bern des S. I. A. S. T. S.

Band 90. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 6

De la stabilité des installations hydrauliques munies de chambres d'équilibre.

Par JULES CALAME et DANIEL GADEN,
Ingénieurs aux „Ateliers des Charmilles", Genève et Paris.

Fin de la page 59[1].)

IV. INFLUENCE DE L'ALLURE DE LA COURBE DE RENDEMENT DES TURBINES ET DE LA CONDUITE FORCEE.

Nous avons supposé jusqu'ici que le rendement global des turbines et de la conduite était constant, dans les conditions de fonctionnement correspondant à de petites oscillations de la valeur du débit. Pour étudier l'influence de la variation du rendement, considérons d'abord la courbe de rendement, à puissance constante, en fonction de la chute (fig. 4):

$$\eta = f(H_0 + X)$$

Comme il s'agit ici de petites oscillations, on remplacera, autour de la chute H_0 considérée, la courbe par sa tangente:

$$\eta = \eta_0 + \left(\frac{d\eta}{dX}\right)_0 X = \eta_0 + \left(\frac{d\eta}{dx}\right)_0 x \quad . \quad . \quad (15)$$

η_0 étant la valeur du rendement à l'état de régime permanent considéré.

L'expression de u devient:

$$u = \left(1 - \frac{x}{h_0}\right)\left(\frac{\eta_0}{\eta}\right) = \left(1 - \frac{x}{h_0}\right) \frac{1}{1 + \frac{x}{\eta_0}\left(\frac{d\eta}{dx}\right)_0}$$

$$= \left(1 - \frac{x}{h_0}\right)\left[1 - \frac{x}{\eta_0}\left(\frac{d\eta}{dx}\right)_0\right] = 1 - \frac{x}{h_0}\left[1 + \frac{h_0}{\eta_0}\left(\frac{d\eta}{dx}\right)_0\right]$$

Autrement dit, h_0 est à remplacer dans l'expression (5') par h_0' tel que:

$$\frac{1}{h_0'} = \frac{1}{h_0}\left[1 + \frac{h_0}{\eta_0}\left(\frac{d\eta}{dx}\right)_0\right]$$

d'où:

$$h_0' = h_0 \frac{1}{1 + \frac{h_0}{\eta_0}\left(\frac{d\eta}{dx}\right)_0} \quad ; \quad H_0' = H_0 \frac{1}{1 + \frac{H_0}{\eta_0}\left(\frac{d\eta}{dx}\right)_0} \quad . \quad . \quad (16)$$

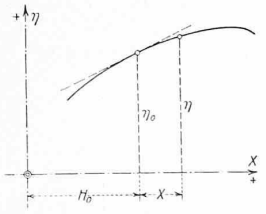

Fig. 4.

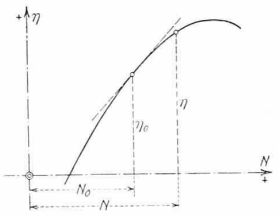

Fig. 5.

Reste à estimer la valeur de $\left(\frac{d\eta}{dX}\right)_0$; or, en pratique, la courbe de rendement usuelle est donnée (fig. 5) en fonction de la puissance:

$$\eta = f(N) \quad \text{pour} \quad H_0 = \text{const.}$$

Puisque, par hypothèse, X est faible vis-à-vis de H_0, on peut admettre que la courbe $\eta = f(N)$ pour la chute $(H_0 + X)$ se déduit de celle pour la chute H_0 simplement en modifiant l'échelle des abscisses N dans le rapport:

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{H_0 + X}{H_0}\right)^{3/2}$$

d'où

$$\left(\frac{dN}{dX}\right)_0 = \frac{3}{2}\frac{N_0}{H_0}\left(\frac{H_0 + X}{H_0}\right)^{1/2}_{X=0} = \frac{3}{2}\frac{N_0}{H_0} \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

$$\left(\frac{d\eta}{dX}\right)_0 = -\left(\frac{d\eta}{dN}\right)_0 \left(\frac{dN}{dX}\right)_0 = -\frac{3}{2}\frac{N_0}{H_0}\left(\frac{d\eta}{dN}\right)_0 . \quad (18)$$

Le signe moins est dû au fait que, la puissance fournie étant supposée constante et X étant par exemple positif (accroissement de la chute), on doit, pour retrouver la même valeur N_0 après le changement de l'échelle des abscisses, se déplacer dans le sens négatif.

En introduisant cette dernière valeur (18) dans (16), on trouve:

$$h_0' = \frac{h_0}{1 - \frac{3}{2}\frac{N_0}{\eta_0}\left(\frac{d\eta}{dN}\right)_0} \quad ; \quad H_0' = \frac{H_0}{1 - \frac{3}{2}\frac{N_0}{\eta_0}\left(\frac{d\eta}{dN}\right)_0} \quad (19)$$

ou, en posant:

$$\frac{d\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right)}{d\left(\frac{N}{N_0}\right)} = -\operatorname{tg}\beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

$$h_0' = \frac{h_0}{1 + \frac{3}{2}\operatorname{tg}\beta} \quad ; \quad H_0' = \frac{H_0}{1 + \frac{3}{2}\operatorname{tg}\beta} \quad . \quad . \quad (5'b)$$

la formule Thoma devient:

$$p_0 > \frac{1 + \frac{3}{2}\operatorname{tg}\beta}{2\,f_0}$$

ou, en introduisant les données du problème:

$$F_{0\eta} > \frac{W_0^2}{2g}\,\frac{Lf}{H_0 P_{n0}}\left(1 + \frac{3}{2}\operatorname{tg}\beta\right) \quad . \quad . \quad (10b)^{2)}$$

Si la courbe de rendement est ascendante (ouverture des turbines inférieure à celle du rendement maximum, $\operatorname{tg}\beta < 0$), son influence tend à réduire la valeur de $F_{0\eta}$. Au contraire, si les turbines fonctionnent au delà du point de rendement maximum ($\operatorname{tg}\beta > 0$), la condition de stabilité exige une plus grande valeur de $F_{0\eta}$.

On remarque toute l'importance que ce facteur $\left(1 + \frac{3}{2}\operatorname{tg}\beta\right)$ peut avoir lorsque la courbe de rendement des turbines a une allure plongeante marquée vers les ouvertures maxima, allure qui est encore aggravée par la considération du rendement de la conduite forcée qui décroît toujours avec l'augmentation de puissance. On peut être ainsi conduit à doubler la valeur de F_0 et même plus encore.

Cependant il y a lieu de remarquer que, pour le *schutes* relativement *basses* où la formule de Thoma conduit à des sections de chambres particulièrement grandes, les turbines atteignent leur rendement maximum à une ouverture proche de la pleine charge. En outre, dans les basses chutes, la conduite forcée, si elle existe, n'a le plus souvent qu'une très faible longueur.

Or, afin de réserver à la centrale une marge suffisante pour répondre à une demande de puissance lors de pointes passagères du réseau, l'exploitant a intérêt à régler le nombre des groupes en marche de manière à se tenir suffisamment au-dessous de la pleine charge, c'est-à-dire en deçà du point de rendement maximum. Ce n'est qu'en cas de marche en parallèle avec d'autres centrales du réseau qu'un fonctionnement permanent, au voisinage de la pleine charge, serait envisagé, et on serait alors conduit à des conditions de stabilité toutes différentes, comme nous le montrerons sous VI.

[1]) *Corrigenda:* Dans l'expression donnée pour Z_* à la page 55, deuxième colonne, le premier „g", qui s'y est introduit par erreur, est à supprimer. La réd.

[2]) Les auteurs précités ont déjà établi une formule analogue.

Dans ces conditions, il n'y a donc pas lieu, en général, de se préoccuper outre mesure de la répercussion aggravante de la forme de la courbe de rendement. Elle peut cependant se produire d'une manière défavorable dans d'autres circonstances et spécialement dans le cas d'une centrale appelée à travailler toujours seule sur un réseau.

VI. INFLUENCE DE LA VALEUR DU STATISME DES RÉGULATEURS.

Etant donnée l'allure ralentie du phénomène, que nous avons déjà fait observer, le régulateur automatique des turbines, susceptible d'une vitesse de manœuvre beaucoup plus grande que celle de l'oscillation, suivra servilement les variations périodiques de la chute. On ne peut évidemment conseiller de rechercher une amélioration des conditions de stabilité en augmentant le temps de fermeture ou d'ouverture du régulateur, car il faudrait agir dans des proportions telles que le régulateur serait mis hors d'état de remplir normalement son rôle.

On peut au contraire admettre que le régulateur, n'ayant pratiquement pas de retard[1]) dans une action aussi lente, *les seules variations de vitesse* du groupe qui auront lieu seront celles dues au statisme du régulateur. C'est l'unique propriété du régulateur qui puisse être mise à profit. Encore faut-il distinguer entre le statisme *permanent,* différence relative de vitesse entre la marche à vide et la marche à pleine ouverture de la turbine, et le statisme *temporaire,* provoqué dans certains types de régulateurs par des dispositifs amortisseurs faisant usage de freins à huile. Or, dans le cas précédent, avec des vitesses de manœuvre aussi réduites, pour pouvoir compter sur une action efficace d'amortisseurs à dash-pot, il faudrait régler ces derniers de manière telle qu'à d'autres occasions ils gêneraient considérablement le fonctionnement. Quoiqu'il en soit, si l'on voulait en tenir compte, il suffirait de traduire leur action par une augmentation du statisme.

*

L'influence du statisme ne peut se produire que dans la mesure où la puissance demandée aux groupes générateurs par le réseau d'utilisation dépend de leur vitesse de rotation. Suivant les cas, cette puissance peut varier proportionnellement à la vitesse de rotation ou à son carré.

1° Supposons tout d'abord la proportionnalité:

$$\Delta N = \frac{N_0}{\omega_0} \Delta \omega \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

N_0, ω_0 étant la puissance et la vitesse de régime permanent, ΔN, $\Delta \omega$ la variation de la puissance *demandée* par le réseau et celle de la vitesse.

Le statisme positif étant défini par:

$$\delta = -\frac{d\omega}{\omega_0} : \frac{dN}{N_0}$$

et en admettant que sa loi soit linéaire, l'expression de la puissance *fournie* sous la chute H_0 peut s'écrire, en fonction du statisme:

$$N = N_0 - \frac{N_0}{\omega_0} \frac{\Delta \omega}{\delta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

Les équations (21) et (22) sont représentées par les deux droites en traits pleins de la figure 6 et leur point d'intersection m_0 correspond au régime permanent.

En régime troublé et lorsque l'ordonnée du niveau dans la chambre d'équilibre a pour valeur relative x, l'équation (22) devient:

$$N = \left[N_0 - \frac{N_0}{\omega_0} \frac{\Delta \omega}{\delta}\right] \left(1 + \frac{x}{h_0}\right)^{3/2}$$

ou encore, comme il s'agit de petites oscillations et comme $\Delta\omega$ ainsi que x restent de ce fait très faibles:

$$N = N_0 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{x}{h_0}\right) - \frac{N_0}{\omega_0} \frac{\Delta \omega}{\delta} \quad . \quad . \quad . \quad (22')$$

Sur le diagramme de la figure 6, le point figuratif correspondant, à un instant donné, au régime troublé, vient en m_δ; à l'amplitude x correspond donc une puissance de valeur:

$$N = N_0 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{x}{h_0}\right) - \frac{N - N_0}{\delta}$$

déduite des équations (21) et (22'), ou:

$$N = N_0 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{x}{h_0} \frac{\delta}{1 + \delta}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

De même que de l'hypothèse d'une puissance constante on a tiré (5'):

$$u = 1 - \frac{x}{h_0}$$

on déduit maintenant de l'équation (23)

$$u = 1 - \frac{x}{h_0} + \frac{3}{2} \frac{x}{h_0} \frac{\delta}{1 + \delta}$$

$$= 1 - \frac{x}{h_0} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{\delta}{1 + \delta}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5'c)$$

Dès lors, la formule de Thoma devient:

$$p_0 > \frac{1 - \frac{3}{2} \frac{\delta}{1 + \delta}}{2 h_0}$$

ce qui, en introduisant les données, conduit à la condition:

$$F_{0\delta} > \frac{W_0^2}{2g} \frac{Lf}{H_0 P_{n0}} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{\delta}{1 + \delta}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (10c)$$

2° Si la puissance *demandée* variait proportionnellement au carré de la vitesse de rotation des groupes

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2$$

on aurait, pour de petites oscillations:

$$\Delta N = 2 \frac{N_0}{\omega_0} \Delta \omega \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

ou le double de la variation obtenue en (21).

En développant, on obtient:

$$u = 1 - \frac{x}{h_0} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{2\delta}{1 + 2\delta}\right) \quad . \quad . \quad . \quad (5'd)$$

et

$$p_0 > \frac{1 - \frac{3}{2} \frac{2\delta}{1 + 2\delta}}{2 h_0}$$

ou, en fonction des données:

$$F_{0\delta} > \frac{W_0^2}{2g} \frac{Lf}{H_0 P_{n0}} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{2\delta}{1 + 2\delta}\right) \quad . \quad . \quad (10d)$$

Avec	on obtient par (10c) ou (10d)		
$\delta = 1\,\%$	$F_{0\delta} = 98{,}50\,\%$	ou $97\,\%$	de F_0
$\delta = 2\,\%$	$F_{0\delta} = 97\,\%$	ou $94{,}25\,\%$	„ F_0
$\delta = 4\,\%$	$F_{0\delta} = 94{,}25\,\%$	ou $89\,\%$	„ F_0
$\delta = 6\,\%$	$F_{0\delta} = 91{,}50\,\%$	ou $84\,\%$	„ F_0

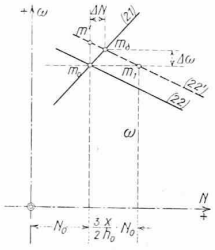

Fig. 6.

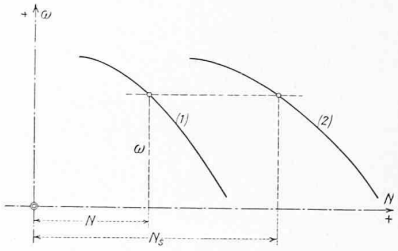

Fig. 7.

On constate finalement que l'influence du statisme, bien que certaine, reste malgré tout relativement faible, surtout si l'on table par prudence sur la première hypothèse conduisant à l'équation (10c). En outre, comme en général une installation bien conçue devrait être stable même avec de faibles valeurs du statisme, il nous parait que l'on peut négliger son influence devant la marge qu'il y a lieu de prendre d'autre part au-dessus de la limite F_0, pour s'assurer de l'amortissement suffisant des oscillations.

VI. INFLUENCE D'UNE MARCHE EN PARALLÈLE SUR UN RÉSEAU.

Ce n'est plus alors la puissance N de *l'installation considérée* qui doit être supposée constante au cours du phénomène oscillatoire, mais bien la somme N_s des puis-

[1]) L'insensibilité du tachymètre jouerait ici dans un sens favorable, mais il ne nous paraît pas prudent de compter sur un défaut que tous les constructeurs s'attachent à réduire, sinon à supprimer.

sances fournies au réseau par les diverses installations:

$$N_s = N + N_e$$

N_e étant la puissance développée par les centrales extérieures.

Considérons (fig. 7) les courbes caractéristiques $\omega = f(N)$ de l'installation considérée (1) et du réseau (2). Elles expriment, en fonction de la puissance N de l'installation considérée et de la puissance totale N_s, la valeur de la vitesse de rotation des groupes (périodicité) ou celle du degré d'ouverture des turbines, puisque ces deux grandeurs sont liées l'une à l'autre par le fonctionnement du réglage automatique.

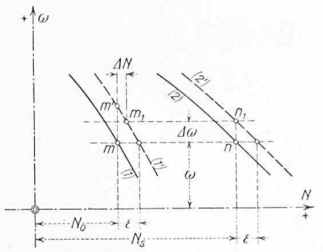

Fig. 8.

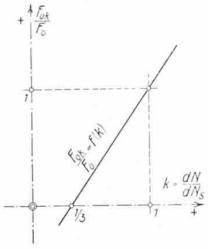

Fig. 9.

L'allure de ces courbes dépend de la mise au point des régulateurs (valeur du statisme et forme de sa loi), puis des puissances respectives des diverses centrales. On sait qu'elles déterminent la façon dont les centrales extérieures et celle considérée se répartissent une augmentation ou une diminution de la charge générale du réseau; c'est dans ce sens que nous les utiliserons.

Remarquons encore que, si toutes les centrales sont réglées avec un statisme *positif*, comme c'est le cas général, la courbe (2) $\omega = f(N_s)$ est obligatoirement plus inclinée que celle (1) $\omega = f(N)$:

$$\left|\frac{d\omega}{dN}\right| > \left|\frac{d\omega}{dN_s}\right|$$

Or, les oscillations de faible amplitude que nous étudions ne peuvent entraîner que des variations de même ordre de la puissance ou de l'ouverture des turbines. On peut donc remplacer les courbes (1) et (2) par leurs tangentes (fig. 8) aux points m et n correspondant au régime permanent envisagé, points qui se trouvent évidemment sur la même horizontale, la marche en parallèle impliquant la même vitesse (ou une vitesse proportionnelle) de tous les groupes.

Lorsque la chute passe de la valeur H_0, pour laquelle les courbes (1) et (2) sont tracées, à $(H_0 + X)$, la courbe caractéristique (1) se déplace, comme précédemment (voir sous V), parallèlement à elle-même en (1') de la quantité:

$$\varepsilon = N_0 \frac{3}{2} \frac{x}{h_0}$$

Si la centrale considérée était *seule* ($N = N_0 =$ const.), le point figuratif m devrait passer de m en m', entraînant une fermeture des turbines correspondant à l'augmentation de vitesse m m'.

Mais avec le fonctionnement en parallèle, c'est la puissance $N_s = N_{s0}$ qui doit demeurer constante: n passe donc en n_1 et m en m_1, la vitesse et par conséquent les ouvertures des turbines des diverses centrales ayant changé proportionnellement à:

$$n\,n_1 = \Delta\omega = \varepsilon \frac{d\omega}{dN_s}$$

Or, *cette modification entraîne pour l'installation considérée une variation de puissance* ΔN égale à la différence des abscisses des points m et m_1.

$$\Delta N = \varepsilon - \Delta\omega \frac{dN}{d\omega} = \varepsilon - \varepsilon \frac{d\omega}{dN_s}\frac{dN}{d\omega}$$

$$= \varepsilon \left(1 - \frac{dN}{dN_s}\right)$$

$$= \frac{3}{2}\frac{x}{h_0} N_0 (1 - k) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

en convenant de poser:

$$k = \frac{dN}{dN_s} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

soit la *proportion dans laquelle l'installation considérée participe à une variation de la puissance totale fournie au réseau.* Si les statismes de toutes les centrales ont la *même valeur,* et si leur *loi,* en fonction de la puissance, est *linéaire,* l'expression de k se réduit à:

$$k = \frac{N}{N_s} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26')$$

L'expression de la puissance N correspondant à l'ordonnée relative x est dès lors, en tenant compte de l'équation (25):

d'où $$N = N_0 + \Delta N = N_0 \left[1 + \frac{3}{2}\frac{x}{h_0}(1 - k)\right]$$

$$u = \left(1 - \frac{x}{h_0}\right)\left[1 + \frac{3}{2}\frac{x}{h_0}(1 - k)\right]$$

$$= 1 - \frac{x}{h_0}\left[1 - \frac{3}{2}(1 - k)\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5'e)$$

ce qui revient, dans l'expression (5'), à remplacer h_0 par:

$$h_0' = \frac{h_0}{1 - \frac{3}{2}(1 - k)}$$

La formule de Thoma s'écrit, dans ces conditions:

$$p_0 > \frac{1 - \frac{3}{2}(1 - k)}{2\,h_0}$$

ou, en fonction des données:

$$F_{ok} > \frac{W_0^2}{2\,g}\,\frac{L\,f}{H_0\,P_{n0}}\left[1 - \frac{3}{2}(1 - k)\right] \quad . \quad . \quad (10e)$$

Si $k = 1$, c'est-à-dire si l'installation considérée pourvoit *seule* aux variations de puissance du réseau $F_{k0} = F_0$, on retombe sur la formule initiale de Thoma.

Si k diminue, c'est-à-dire si la part que prend l'installation considérée aux variations de puissance du réseau diminue, la section limite F_{ok} décroît suivant une loi linéaire qu'illustre la droite de la figure 9.

Lorsque k atteint la valeur $^1/_3$:

$$u = 1 = \text{const.}, \qquad F_{ok} = 0$$

Les oscillations, dans la chambre d'équilibre de l'installation considérée, suffisent juste à maintenir son débit constant malgré la réaction de ses régulateurs. Ces oscillations ne peuvent que s'amortir puisqu'il n'y a pas de variation de débit, et il est logique que la section limite s'annule théoriquement.

Quant à la valeur de $k = 0$

$$u = 1 + \frac{1}{2}\frac{x}{h_0} \cong \sqrt{\frac{h_0 + x}{h_0}}$$

elle correspond au cas où l'installation considérée ne participe pas du tout au réglage: ses régulateurs sont bloqués et il est évident qu'il ne saurait y avoir d'oscillations non amorties (ouverture constante).

On constate l'*énorme influence* sur les conditions de stabilité, de la marche en parallèle de l'installation considérée avec d'autres centrales dépourvues de chambres d'équilibre. *Pour que le phénomène des petites oscillations aille en s'amortissant, quelle que soit la section de la chambre, il suffit que l'installation considérée pourvoie seulement à un tiers des variations de charge du réseau,* autrement dit — et dans les hypothèses précédemment énoncées quant au statisme — que sa puissance soit seulement la moitié de celle du total des autres centrales.

En vue de vérifier expérimentalement la formule de Thoma, il ressort donc de cet exposé que l'examen de l'installation alimentant *seule* un réseau constitue l'*unique essai* auquel il est possible de faire confiance.

Enfin, lors du calcul de la chambre d'équilibre d'une installation formant l'un des éléments d'un ensemble d'usines, les formules données permettront de se rendre compte dans quelle mesure on peut se permettre de descendre au-dessous de la section limite de Thoma, si l'installation en question ne doit jamais être appelée qu'à fonctionner en parallèle avec d'autres.