

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin technique de la Suisse romande
<b>Band:</b>	73 (1947)
<b>Heft:</b>	24
<b>Artikel:</b>	Etude des propriétés d'un réglage automatique: essai de synthèse de différentes méthodes de calcul: application au réglage de vitesse d'un groupe hydro-électrique
<b>Autor:</b>	Cuénod, Michel
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-55154">https://doi.org/10.5169/seals-55154</a>

### **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:** 26.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

## ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 20 francs

Etranger : 25 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 17 francs

Etranger : 22 francs

Prix du numéro :

1 Fr. 25

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie

F. Rouge &amp; Cie, à Lausanne.

Paraisant tous les 15 jours

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. EPITAUX, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud* : MM. F. CHENAUX, ingénieur ; † E. ELSKES, ingénieur ; E. D'OKOLSKI, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; *Ch. Thévenaz*, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; G. FURTER, ingénieur ; R. GUYE, ingénieur ; *Valais* : M. J. DUBUIS, ingénieur ; D. BURGNER, architecte.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE : *Etude des propriétés d'un réglage automatique (suite)*, par MICHEL CUÉNOD, ingénieur. — *Le quartier de la Cité à Lausanne*. —NÉCROLOGIE : *Edouard Lacroix, ingénieur* ; *Charles Borel, ingénieur*. — BIBLIOGRAPHIE. — LES CONGRÈS : *Fêtes du centenaire de l'Institut royal des ingénieurs hollandais*. — *Congrès international de mécanique des terres et de fondations, Rotterdam 1948*. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT.

### Etude des propriétés d'un réglage automatique.

Essai de synthèse de différentes méthodes de calcul.

Application au réglage de vitesse d'un groupe hydro-électrique,

par MICHEL CUÉNOD, ingénieur à la S. A. Brown-Boveri.

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

C.D. 621.3.016.3

### VI. Réglage de vitesse d'un groupe hydroélectrique compte tenu des phénomènes de coup de bâlier et des dispositifs de stabilisation.

Après avoir exposé en grandes lignes le principe de certaines nouvelles méthodes de calcul pour l'étude de la stabilité d'un réglage automatique et les avoir illustrées par quelques cas simples, nous allons en montrer l'application pour le problème de réglage particulièrement complexe de la stabilité des turbines hydrauliques. Nous verrons que ces méthodes permettent de tenir compte de certains facteurs que les méthodes classiques avaient dû négliger pour éviter de rendre les calculs trop compliqués. Nous montrerons que par des approximations successives, il est possible de tenir compte des caractéristiques dynamiques non idéales des différents éléments du circuit de réglage, que l'on peut soit calculer, soit déterminer expérimentalement.

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* des 26 avril et 10 mai 1947.

## A. Etude des propriétés dynamiques des organes de réglage.

## a) Groupe turbo-générateur.

L'inertie de l'eau dans la conduite forcée d'un groupe hydroélectrique fait en sorte que les variations du couple moteur ne suivent pas immédiatement celles de l'ouverture de la turbine, comme nous l'avions admis en toute première approximation. Ce phénomène du coup de bâlier a fait l'objet de nombreuses études<sup>1</sup>. Nous rappelons rapidement le résultat auquel elles ont conduit pour en déduire la fonction de transfert et la courbe d'allure dont nous avons besoin. Comme point de départ, nous prenons les relations physiques telles que M. P. Almeras les donne dans l'étude publiée dans la *Houille blanche*<sup>2</sup>

soit  $\frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{M}_{max}} = \frac{m}{m_{max}} \left( \frac{H}{H_0} \right)^{\frac{3}{2}}$  la valeur relative du couple moteur

avec  $\frac{H}{H_0} = 1 + \sigma$  = pression relative de la colonne d'eau

<sup>1</sup> Nous signalons en particulier les travaux suivants : *L. Allievi* : Le coup de bâlier et le réglage automatique des turbines hydrauliques.

*D. Gaden* : Considérations sur le problème de la stabilité ; Etude de la stabilité d'un réglage automatique de vitesse par des diagrammes vectorielles.

*D. Gaden et Schnyder* : Coup de bâlier de petites et de grandes amplitudes ; *Bull. Tech. de la Suisse romande*, 8 juillet 1944.

*P. Almeras* : Influence de l'inertie de l'eau sur la stabilité des groupes hydroélectriques, *« La Houille Blanche »* nov. 1945, janv. 1946, mars 1946.

*H. Favre* : Théorie des coups de bâlier dans les conduites à caractéristiques linéairement variables le long de l'axe. — La résonance des conduites à caractéristiques linéairement variables. — Les coups de bâlier d'ouverture brusques dans les conduites à caractéristiques linéairement variables.

<sup>2</sup> « La Houille Blanche », N° 1, p. 81-90.

## Publicité :

## TARIF DES ANNONCES

Le millimètre  
(larg. 47 mm.) 20 cts.Réclames : 60 cts. le mm.  
(largeur 95 mm.)Rabais pour annonces  
répétées.

ANNONCES-SUISSES S.A.  
5, rue Centrale Tél. 2.33.26  
LAUSANNE  
& Succursales.

$\frac{m}{m_{max}}$  = ouverture relative de la turbine

$$\sigma = \text{surpression relative} = -\theta \frac{d \frac{\sigma}{\sigma_m}}{dt}$$

$\frac{\sigma}{\sigma_m}$  = vitesse relative de l'eau à la sortie de la conduite

$$\theta = \frac{L \sigma_m}{g H_0} = \text{temps caractéristique de la conduite}$$

$L$  = longueur de la conduite

$\sigma_m$  = vitesse moyenne de l'eau à la sortie de la conduite en pleine ouverture.

Or

$$\frac{\sigma}{\sigma_m} = \frac{m}{m_{max}} \left( \frac{H}{H_0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{d'où} \quad d \frac{\sigma}{\sigma_m} \simeq d\mu + \frac{1}{2} y_0 d\sigma$$

avec  $y_0 = \frac{m_0}{m_{max}}$  = charge relative de la turbine,

$\mu$  = valeur relative de la variation de l'ouverture

$$\text{donc} \quad \sigma \simeq -\theta \left( \frac{d\mu}{dt} + \frac{1}{2} y_0 \frac{d\sigma}{dt} \right).$$

L'équation de la turbine en valeurs relatives prend la forme suivante :

$$T_a \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\mathfrak{N}_c}{\mathfrak{N}_{max}} = \left( \frac{m_0}{m_{max}} + \mu \right) (1 + \sigma)^{\frac{3}{2}}$$

$\nu$  = valeur relative de l'écart de vitesse

$M_c$  = couple résistant électrique.

$T_a$  = temps d'accélération du groupe.

En considérant que  $\sigma$  est petit par rapport à 1, et en négligeant l'influence de l'écart de vitesse sur la différence entre le couple moteur et le couple résistant, nous obtenons :

$$\frac{\mathfrak{N}_{eo}}{\mathfrak{N}_{max}} = \frac{m_0}{m_{max}} = y_0$$

et finalement

$$T_a \frac{d\sigma}{dt} \simeq \mu + \frac{3}{2} y_0 \sigma.$$

Nous éliminons la surpression  $\sigma$  et obtenons finalement la fonction de transfert cherchée  $\varphi_{\mu\nu}$  sous forme opérationnelle

$$\varphi_{\mu\nu} = \frac{1 - \theta y_0 p}{1 + \theta y_0 p} \cdot \frac{1}{p T_a} = \varphi_{\mu\mu^*} \cdot \varphi_{\mu^* \nu}.$$

Nous voyons que la fonction de transfert  $\varphi_{\mu\nu}$  peut être considérée comme le produit des deux fonctions de transfert  $\varphi_{\mu\mu^*}$  et  $\varphi_{\mu^* \nu}$  dans lesquelles  $\mu^*$  désigne la valeur relative du couple moteur.

Ainsi  $\varphi_{\mu\mu^*}$  décrit comment le couple moteur varie à la suite d'un mouvement du vannage, tandis que  $\varphi_{\mu^* \nu}$  décrit comment la vitesse du groupe varie à la suite d'une variation de son couple moteur.

La figure 19 représente la courbe de réponse  $\Phi_{\mu\mu^*}$ . A la suite d'une ouverture brusque du vannage par exemple, le couple moteur commence par diminuer

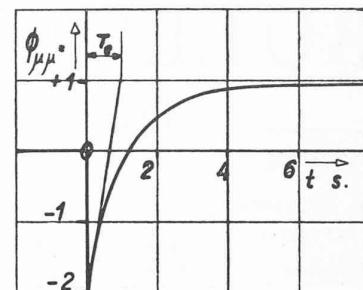


Fig. 19. — Courbe de réponse de la conduite forcée. Variation du couple moteur à la suite d'une ouverture brusque du vannage.

$$\varphi_{\mu\mu^*} = 1 - 3e^{-\frac{t}{T_c}} \quad \text{avec} \quad T_c = \frac{\theta y_0}{2} = 1 \text{ sec.}$$

brusquement puis tend exponentiellement vers sa nouvelle valeur

$$\Phi_{\mu\mu^*} = 1 - 3e^{-\frac{t}{T_c}} \quad T_c = \text{constante de temps de la conduite} = \frac{\theta y_0}{2}.$$

Une étude plus rigoureuse devrait tenir compte de l'élasticité de l'eau et des parois de la conduite. Le cas particulier que nous envisageons est celui d'une installation à basse chute où la conduite est courte et où le temps d'aller et retour d'une onde de pression est négligeable par rapport à la période des oscillations du réglage.

En remplaçant  $p$  par  $j\zeta$  dans l'expression de la fonction de transfert, nous obtenons l'équation de la courbe d'allure

$$J_{\mu\mu^*} = \frac{1 - \theta y_0 j\zeta}{1 + \frac{\theta y_0 j\zeta}{2}} = 1 - \frac{3j\zeta T_c}{1 + j\zeta T_c}.$$

La figure 20 représente cette courbe d'allure  $J_{\mu\mu^*}$  sous forme vectorielle avec  $T_c = 1$  sec. ; c'est un demi-cercle situé à cheval entre le troisième et le quatrième quadrant, ayant un diamètre égal à 3 et son centre au point  $(-\frac{1}{2}, j_0)$ .

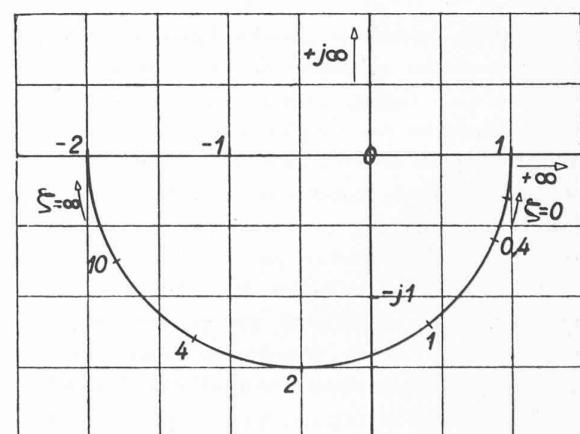


Fig. 20. — Courbe d'allure de la conduite forcée sous forme vectorielle.

$$J_{\mu\mu^*} = 1 - \frac{3j\zeta T_c}{1 + j\zeta T_c} \quad \text{avec} \quad T_c = \frac{\theta y_0}{2} = 1 \text{ sec.}$$

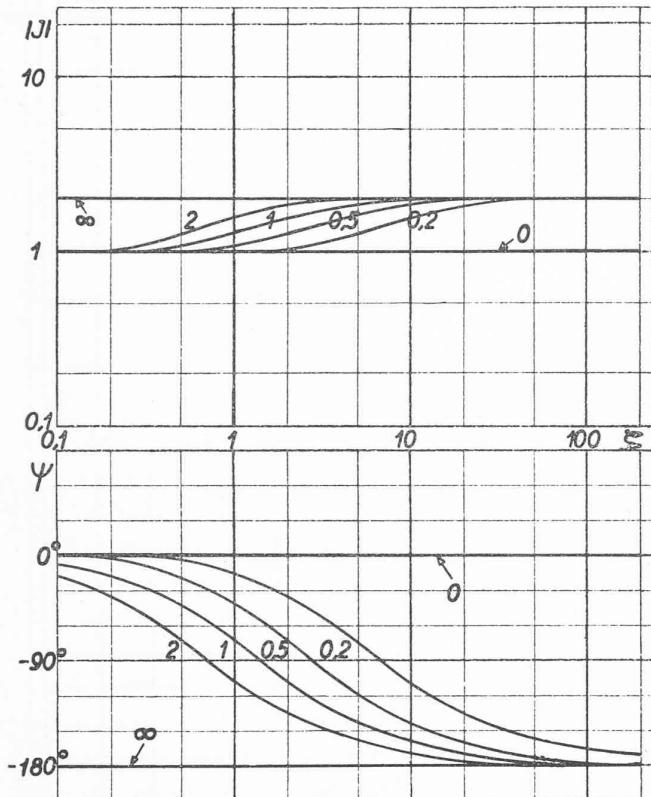


Fig. 21. — Courbe d'allure de la conduite forcée sous forme cartésienne.

paramètre  $= T_c = \frac{\theta y_0}{2} = \text{constante de temps de la conduite forcée.}$   
 $T_c = 0, 0.2, 0.5, 1, 2, \infty.$

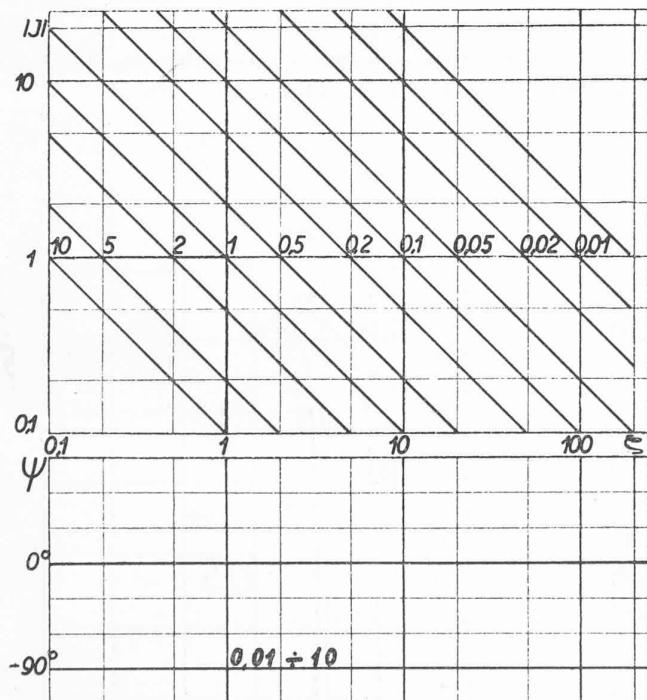


Fig. 22. — Courbe d'allure du groupe hydroélectrique en marche libre sous forme cartésienne.  
paramètre  $T_a = \text{temps de démarrage.}$

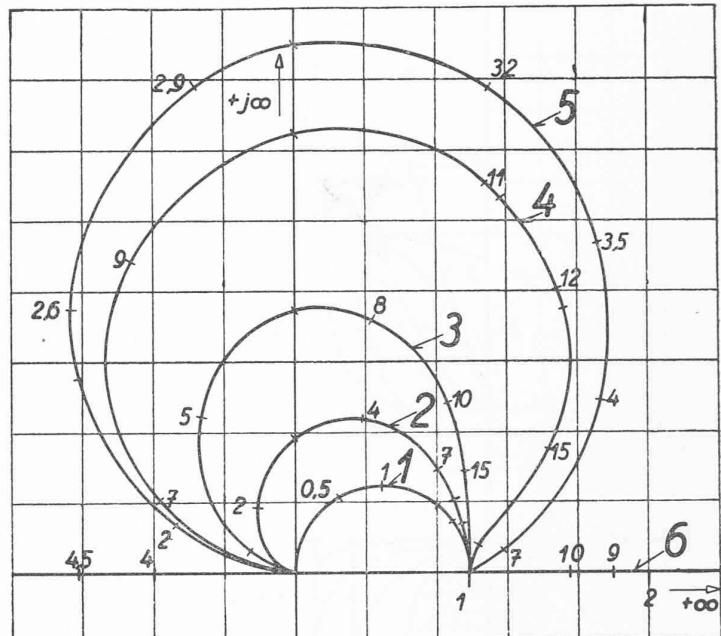


Fig. 23. — Facteur de réseau sous forme vectorielle.

$$\mathfrak{D} \zeta (j\zeta) = - \frac{\zeta^2}{\Omega^2 - \zeta^2 + 2j\zeta} \frac{1}{T_g}$$

paramètre  $\Omega = \text{pulsation propre du groupe.}$   
 $T_g = \text{constante d'amortissement du groupe.}$

Courbes	1	2	3	4	5	6
$\Omega^1/\text{sec.}$	0	3	6	10	3	6
$T_g \text{ sec.}$	2	0.5	0.5	0.5	2	0

La figure 21 représente cette même courbe d'allure sous forme cartésienne pour différentes valeurs de la constante de temps de la conduite.

Si le groupe est en marche libre, nous avons déjà déterminé la fonction de transfert  $\varphi_{\mu^*v} = \frac{1}{pT_a} \cdot$

La figure 22 donne sous forme cartésienne, pour différentes valeurs de  $T_a$ , la courbe d'allure  $J_{\mu^*v} = \frac{1}{j\zeta T_a} \cdot$

Si le groupe est accouplé à un réseau supposé infiniment puissant, nous obtenons une fonction de transfert  $\varphi_{\mu^*v}^*$  telle que

$$\varphi_{\mu^*v}^* = \frac{p}{T_a \left( p^2 + \frac{2p}{T_g} + \Omega^2 \right)} = \frac{1}{pT_a} \cdot \frac{p^2}{p^2 + \frac{2p}{T_g} + \Omega^2} = \varphi_{\mu^*v} \cdot \mathfrak{D} \zeta (p)$$

avec  $\Omega = \text{pulsation propre du groupe ;}$   
 $T_g = \text{temps d'amortissement du groupe.}$

Cette fonction de transfert  $\varphi_{\mu^*v}^*$  peut être considérée comme le produit de la fonction de transfert  $\varphi_{\mu^*v}$  du groupe en marche libre avec le « facteur de réseau »  $\mathfrak{D} \zeta (p)$

$$\mathfrak{D} \zeta (p) = \frac{p^2}{p^2 + \frac{2p}{T_g} + \Omega^2} \cdot$$

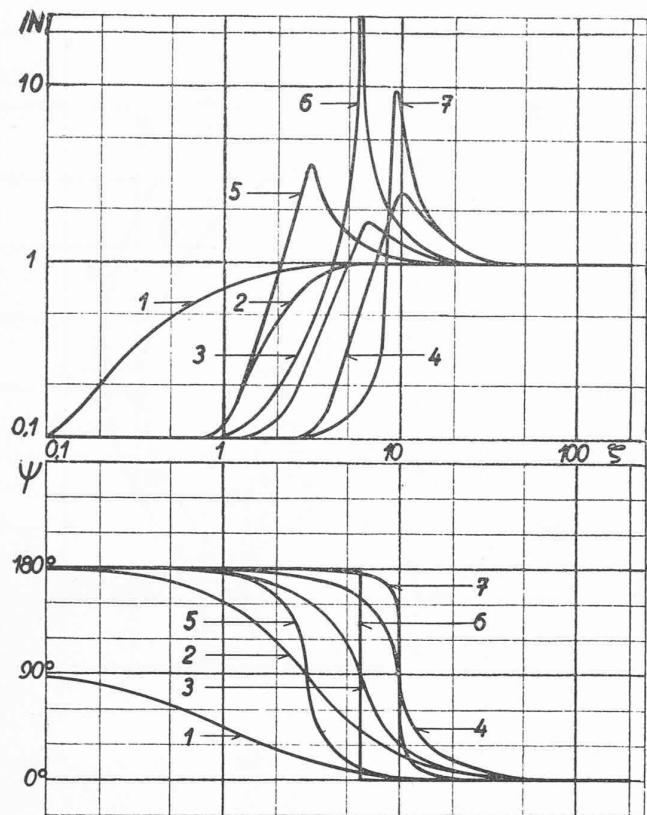


Fig. 24. — Facteur de réseau sous forme cartésienne.  
 paramètre  $\Omega$  = pulsation propre du groupe.  
 $T_g$  = constante d'amortissement du groupe.

Courbes	1	2	3	4	5	6	7
$\Omega^1/\text{sec.}$	0	3	6	10	3	6	10
$T_g \text{ sec.}$	2	0,5	0,5	0,5	2	0	2

De même la courbe d'allure  $J_{\mu^*v}^*$  peut être considérée comme le produit de la courbe d'allure  $J_{\mu^*v}$  du générateur en marche libre par le facteur  $\mathfrak{U}(j\zeta)$ . La figure 23 représente ce facteur sous forme vectorielle, la figure 24,

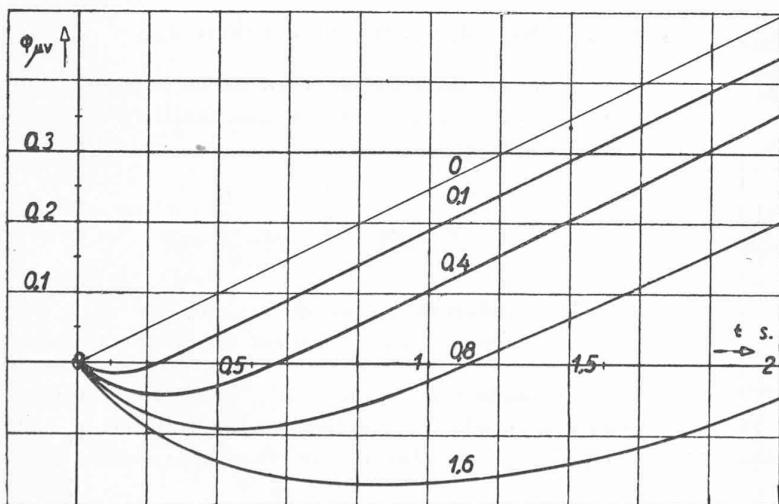


Fig. 25. — Courbe de réponse du groupe hydroélectrique. Variation de la vitesse à la suite d'une ouverture brusque du vannage. paramètre  $= \theta y_0 = 0,1, 0,4, 0,8, 1,6$ .

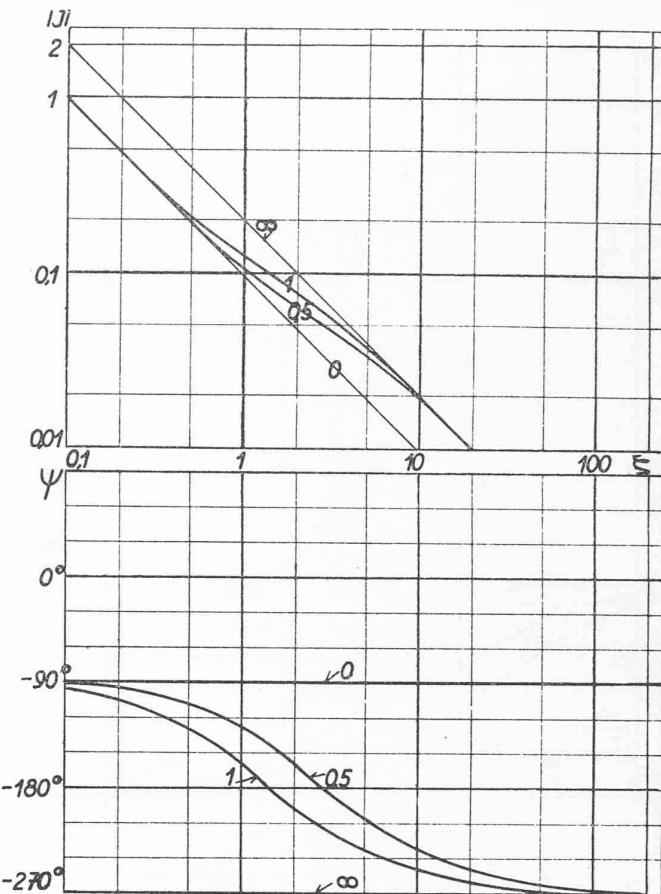


Fig. 26. — Courbe d'allure du groupe hydroélectrique sous forme cartésienne.

sous forme cartésienne pour différentes valeurs des paramètres  $\Omega$  et  $T_g$ .

La figure 25 représente la courbe de réponse  $\Phi_{\mu\nu}$  d'un groupe électrogène en marche libre.

$$\Phi_{\mu\nu} = \frac{t}{T_a} - 3 \frac{T_c}{T_a} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_c}} \right).$$

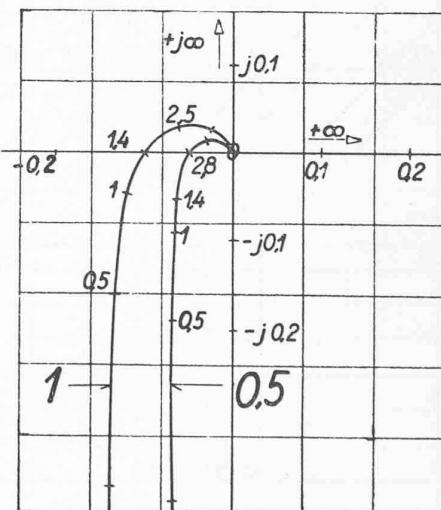


Fig. 27. — Courbe d'allure du groupe hydroélectrique sous forme vectorielle.

A la suite d'une brusque ouverture du vannage, du fait de la dépression due au coup de bâlier, au lieu d'augmenter, la vitesse de la turbine commence passagèrement par diminuer, et cela d'autant plus que la charge  $y_0$  et le temps caractéristique de la conduite  $\theta$  sont élevés.

Cette circonstance est très défavorable pour la stabilité du réglage puisque la vitesse varie tout d'abord en sens inverse de celui dont elle devrait être corrigée.

La courbe d'allure  $J_{\mu\nu}$  s'obtient en faisant le produit des courbes d'allure  $J_{\mu\mu^*}$  et  $J_{\mu^*\nu}$  représentées par les figures 21 et 22. La figure 26 en donne une représentation cartésienne, la figure 27, une représentation vectorielle. S'il n'y avait pas de coup de bâlier, cette courbe d'allure serait égale à  $J_{\mu^*\nu}$  et se confondrait avec le demi-axe imaginaire négatif. Du fait du coup de bâlier, cette courbe d'allure est déphasée jusqu'à  $-270^\circ$  pour des valeurs élevées de la pulsation  $\zeta$ .

### b) Dispositif de réglage.

Depuis longtemps, l'expérience a prouvé qu'il était nécessaire de doter le réglage des turbines hydrauliques de dispositifs stabilisateurs; cette nécessité est confirmée par l'étude théorique et apparaît d'une façon particulièrement évidente de la considération des courbes d'allures  $J_{\mu\nu}$ . A titre d'exemple nous allons étudier le mode de stabilisation à l'aide de l'accéléromètre et pour cela nous établissons les caractéristiques dynamiques du dispositif de réglage (régleur + servomoteur). La stabilisation à l'aide d'un servomoteur astatique avec statisme passager se laisserait étudier selon le même procédé.

#### Première approximation.

Nous admettons que le régleur mesure instantanément l'écart à régler et sa dérivée, ce qui conduit à l'équation différentielle suivante :

$$\rho = \frac{v}{\delta} + a \frac{dv}{dt}$$

$\delta$  = statisme du régleur

$\rho$  = valeur relative de la variation de course du régleur

$a$  = dosage accélérométrique (homogène à un temps)

fonction de transfert :  $\varphi_{vp} = \frac{1}{\delta} + ap$

courbe de réponse : (fig. 28)

$$\Phi_{vp} = \infty \quad t = 0$$

$$\Phi_{vp} = \frac{1}{\delta} \quad t > 0$$

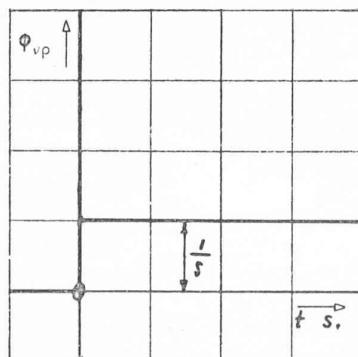


Fig. 28.  
Courbe de réponse du régleur accéléro-tachymétrique idéal.

$$\Phi_{vp} = \infty \quad \varphi_{vp} = \frac{1}{\delta}$$

$$t = 0 \quad t > 0$$

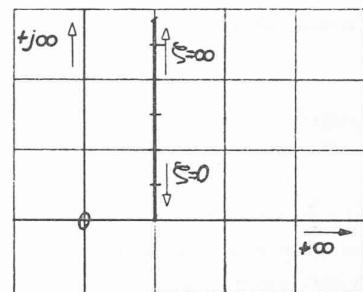


Fig. 29.  
Courbe d'allure d'un régleur accéléro-tachymétrique idéal sous forme vectorielle.

A la suite d'une variation brusque de la grandeur à régler, le régleur fait un saut théoriquement infiniment grand, puis revient à l'écart  $\frac{1}{\delta}$ .

#### Courbe d'allure

$$J_{vp} = \frac{1}{\delta} + aj\zeta = \frac{1}{\delta} (1 + Aj\zeta)$$

avec

$$A = a\delta$$

La courbe d'allure  $1 + Aj\zeta$  est une parallèle au demi-axe imaginaire positif. Elle est représentée sous forme vectorielle par la figure 29 et sous forme cartésienne pour différentes valeurs du paramètre  $A$  par la figure 30.

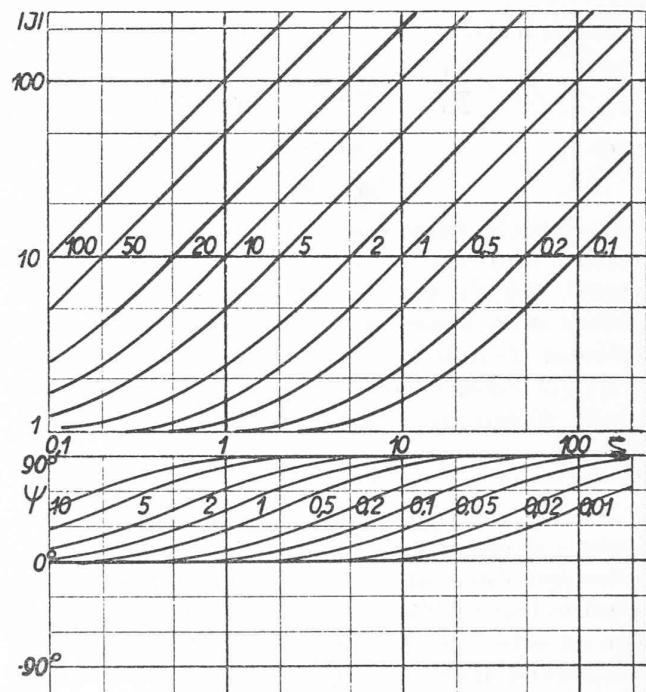


Fig. 30. — Courbe d'allure d'un régleur accéléro-tachymétrique.

$$\varphi_{vp} = \frac{1}{\delta} (1 + Aj\zeta)$$

$$\delta = 1 \quad \text{paramètre} = A.$$

La fonction de transfert d'un servomoteur sans asservissement est celle d'un dispositif astatique avec amortissement (cas 4 du tableau)

#### fonction de transfert

$$\varphi_{p\mu} = \frac{1}{pT_s}$$

$T_s$  = constante de temps du servomoteur

courbe de réponse

$$\Phi_{\rho\mu} = \frac{t}{T_s}$$

courbe d'allure

$$J_{\rho\mu} = \frac{1}{j\zeta T_s} \quad (\text{fig. 22})$$

La fonction de transfert  $\varphi_{vp}$  du *dispositif de réglage* est donnée par le produit de celle du régulateur  $\varphi_{vp}$  par celle du servomoteur  $\varphi_{\rho\mu}$

*fonction de transfert*

$$\varphi_{vp} = \varphi_{vp} \cdot \varphi_{\rho\mu} = \frac{1}{p T_s \delta} (1 + a \delta p)$$

courbe de réponse

$$\Phi_{vp} = \frac{a}{T_s} + \frac{t}{\delta T_s}.$$

Ainsi que la représente la figure 31, à la suite d'un changement brusque de la vitesse, la tige du servomoteur se déplace tout d'abord rapidement, d'un écart proportionnel au dosage accélérométrique et inversement proportionnel à sa constante de temps  $T_s$ , puis, ensuite d'une façon linéaire.

*Courbe d'allure*

$$J_{vp} = \frac{1}{j\zeta T_s} (1 + a \delta j\zeta) = \frac{1}{j\zeta B} (1 + j\zeta A)$$

avec

$$A = a\delta$$

$$B = T_s \delta$$

La figure 32 donne la courbe d'allure sous forme vectorielle, c'est une parallèle au demi-axe imaginaire négatif. S'il n'y avait pas d'accéléromètre, la courbe d'allure serait donnée par le demi-axe imaginaire négatif lui-même. Pour de hautes pulsations  $\zeta$  nous voyons que grâce à l'accéléromètre, le déphasage du vecteur de la courbe d'allure est théoriquement nul.

*Deuxième approximation.*

Nous avions admis que le régulateur à la suite d'un brusque changement de la vitesse faisait une déviation infinie qui s'annulait instantanément, ce qui est physiquement impossible à réaliser. Une meilleure approximation est obtenue si l'on considère qu'il fait tout d'abord une brusque déviation, proportionnelle à l'écart à régler puisqu'il décroît selon une exponentielle à la valeur fixée par son statisme passager, selon la courbe de réponse  $\varphi_{vp}$  représentée par la figure 33

$$\varphi_{vp} = \frac{1}{\delta} + \frac{a}{T_r} e^{-\frac{t}{T_r}}$$

$T_r$  = constante de temps du régulateur.

La surface hachurée de la figure 28 est égale au dosage accélérométrique  $a$ .

*Fonction de transfert*

$$\varphi_{vp} = \frac{1}{\delta} + \frac{ap}{1 + p T_r}$$

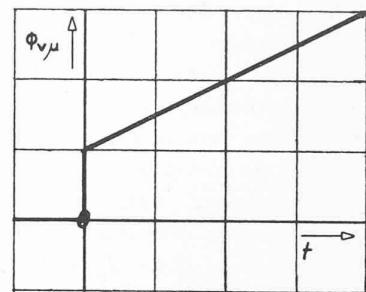


Fig. 31.  
Courbe de réponse du dispositif de réglage formé d'un régulateur accéléro-tachymétrique et d'un servomoteur astatique.

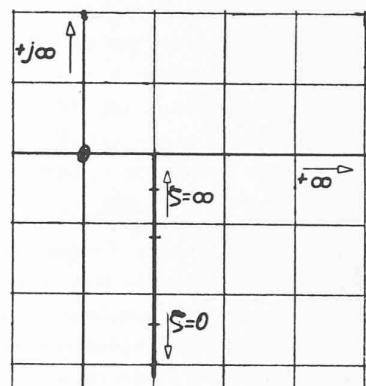


Fig. 32.  
Courbe d'allure idéale sous forme vectorielle du dispositif de réglage formé d'un régulateur accéléro-tachymétrique et d'un servomoteur astatique.

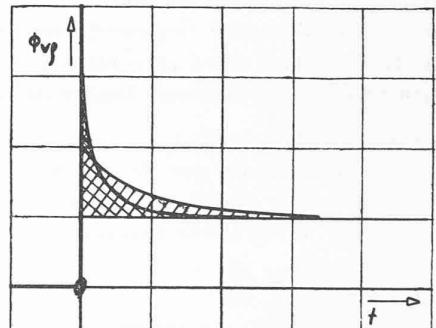


Fig. 33.  
Courbe de réponse d'un régulateur accéléro-tachymétrique en deuxième approximation.

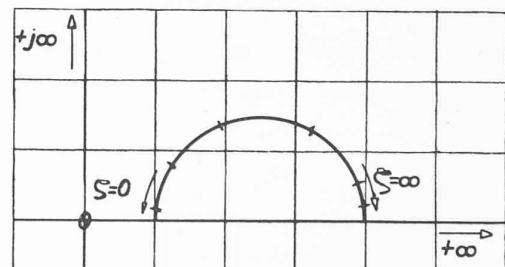


Fig. 34. — Courbe d'allure sous forme vectorielle d'un régulateur accéléro-tachymétrique en deuxième approximation.

*Courbe d'allure*

$$J_{vp} = \frac{1}{\delta} + \frac{aj\zeta}{1 + j\zeta T_r}$$

Selon figure 34, cette courbe d'allure est un demi-cercle situé dans le premier quadrant.

## Fonction de transfert du dispositif de réglage

$$\Phi_{vp} = \left( \frac{1}{\delta} + \frac{ap}{1 + pT_r} \right) \frac{1}{pT_s} = \frac{1}{pT_s \delta} \left( \frac{1 + p(T_r + a\delta)}{1 + pT_r} \right).$$

## Courbe d'allure du dispositif de réglage

$$J_{vp} = \frac{1}{j\zeta T_s \delta} \left( \frac{1 + j\zeta(T_r + a\delta)}{1 + j\zeta T_r} \right) = \frac{1}{j\zeta B} \frac{1 + j\zeta A}{1 + j\zeta C}$$

avec  $A = T_r + a\delta$   
 $B = \delta T_s$   
 $C = T_r$ .

La figure 35 représente cette courbe d'allure sous forme vectorielle ; la figure 36 donne sous forme cartésienne la courbe d'allure  $\frac{1}{1 + j\zeta C}$  d'un dispositif statique avec amortissement pour différentes valeurs du paramètre  $C$ . La courbe  $J_{vp}$  sous forme cartésienne se laisse aisément déterminer pour la combinaison des courbes des figures 22, 30 et 36.

La courbe de réponse du dispositif de réglage  $\Phi_{vp}$  est représentée par la figure 37.

$$\Phi_{vp} = \frac{1}{\delta} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) + \frac{t}{T_1}.$$

Sous forme opérationnelle nous obtenons :

$$\Phi_{vp} = \frac{1}{\delta} \left( \frac{1}{1 + pT_2} + \frac{1}{pT_1} \right) = \frac{1 + p \left( T_2 + \frac{T_1}{\delta} \right)}{pT_1(1 + pT_2)}.$$

Nous retrouvons l'expression que nous avions déjà obtenue et dont nous déduisons par analogie :

$$T_1 = T_s \delta, \quad \delta = \frac{T_s}{a}, \quad T_2 = T_r.$$

Il est facile de juger de l'influence des caractéristiques du régulateur sur celles du dispositif de réglage. Nous voyons en particulier que la constante de temps  $T_2$  qui a une grande influence sur la stabilité du réglage est donnée directement par la constante de temps du régulateur  $T_r$ . Pour être efficace l'accéléromètre doit se rapprocher le plus possible de son cas idéal.

## Troisième approximation.

Nous avons admis en deuxième approximation que le régulateur, à la suite d'une brusque variation de la grandeur à régler, faisait tout d'abord un saut infiniment brusque. En réalité, sa vitesse est limitée surtout si l'on tient compte du retard introduit par la transmission entre l'arbre du groupe et celui du régulateur. La courbe de réponse représentée par la figure 38 a l'expression suivante

$$\Phi_{vp} = \frac{1}{\delta} + \frac{a}{T_{r1}} e^{-\frac{t}{T_{r1}}} - \left( \frac{1}{\delta} + \frac{a}{T_{r1}} \right) e^{-\frac{t}{T_{r2}}}.$$

Fig. 35.  
Courbe d'allure sous forme vectorielle du dispositif de réglage formé d'un régulateur accéléro-tachymétrique et d'un servomoteur astatique, établie en deuxième approximation.

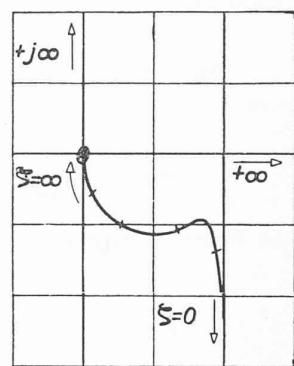


Fig. 37.  
Courbe de réponse d'un dispositif de réglage formé d'un régulateur accéléro-tachymétrique et d'un servomoteur astatique, établi en deuxième approximation.

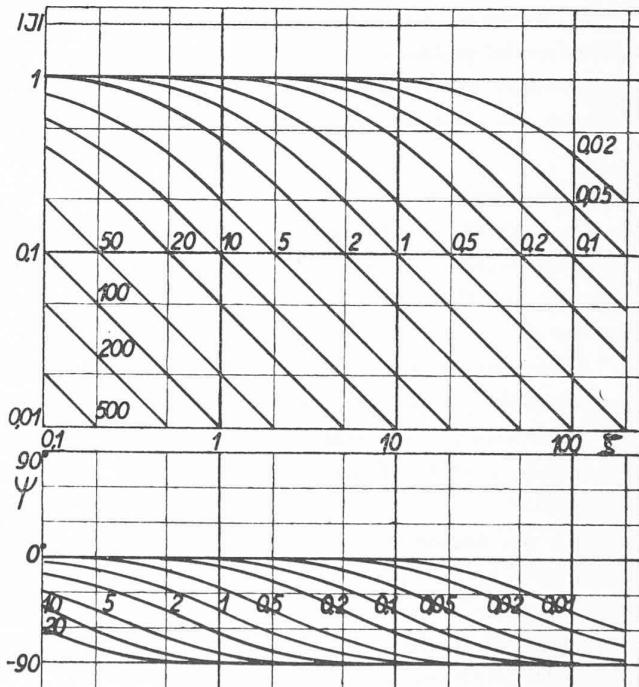
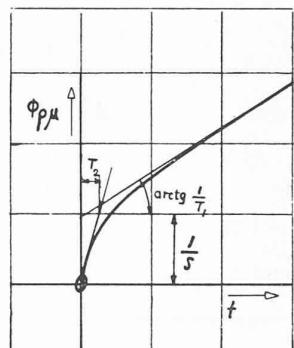


Fig. 36. — Courbe d'allure d'un dispositif de réglage statique avec amortissement sous forme cartésienne pour différentes valeurs du paramètre  $C$ .

$$J = \frac{1}{1 + j\zeta C}.$$

Nous obtenons la fonction de transfert suivante :

$$\varphi_{vp} = \frac{1}{\delta} + \frac{ap}{1+pT_{r_1}} - \left( \frac{1}{\delta} + \frac{a}{T_{r_1}} \right) \frac{pT_{r_2}}{1+pT_{r_2}}$$

$$\varphi_{vp} = \frac{1 + p \left( T_{r_1} + a\delta \left( 1 - \frac{T_{r_2}}{T_{r_1}} \right) \right)}{\delta (1 + pT_{r_1}) (1 + pT_{r_2})}.$$

La figure 39 représente la courbe d'allure

$$J_{vp} = \frac{1 + j\zeta \left( T_{r_1} + a\delta \left( 1 - \frac{T_{r_2}}{T_{r_1}} \right) \right)}{\delta (1 + j\zeta T_{r_1}) (1 + j\zeta T_{r_2})}.$$

La courbe d'allure du dispositif de réglage est donnée par l'expression suivante :

$$J_{vp} = \frac{1 + j\zeta A}{Bj\zeta (1 + Cj\zeta)(1 + Dj\zeta)}$$

avec

$$A = T_{r_1} + a\delta \left( 1 - \frac{T_{r_2}}{T_{r_1}} \right)$$

$$B = T_s\delta$$

$$C = T_{r_1}$$

$$D = T_{r_2}$$

(A suivre.)

Fig. 38.  
Courbe de réponse du régulateur accéléro-tachymétrique établie en troisième approximation.

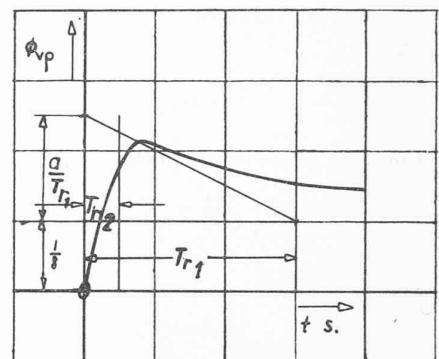
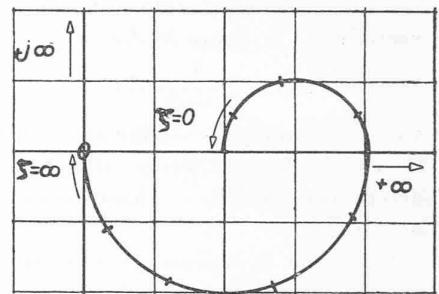


Fig. 39.  
Courbe d'allure du régulateur accéléro-tachymétrique établie en troisième approximation.



## Le quartier de la Cité à Lausanne

### Déclaration de la commission d'experts.<sup>1</sup>

Le Conseil d'Etat a chargé une commission d'experts d'étudier le problème de la reconstruction de la rue Cité-derrière et de lui présenter un rapport.

Cette commission a déposé la déclaration suivante :

« Après avoir examiné très à fond, à plusieurs reprises, le projet de M. Laverrière ; après avoir visité quelques-unes des maisons de la rue Cité-derrière dont le projet prévoit la démolition, la commission des experts déclare :

La reconstruction du côté Est de la rue Cité-derrière est désirable ; la plupart des maisons actuelles ne présentent aucun intérêt architectural et sont dans un état de vétusté avancé ; elles sont inévitablement appelées à disparaître.

Seuls des édifices publics largement composés, dotés d'une belle architecture et de façades en pierre de taille dont la couleur s'harmonisera avec la tonalité générale de la Cité, sont dignes d'occuper cet emplacement voisin de la Cathédrale et dominant la ville (fig. 28).

On doit tendre à créer à l'est de la Cité un bâtiment

correspondant dans ses grandes lignes à ce qu'on fit jadis à l'ouest en bâtissant l'Académie. Aussi la construction de simples logements ne doit-elle pas être envisagée.

Le projet de M. Laverrière correspond bien, par ses masses générales et la composition de ses façades, à ce qui est désirable pour couronner la colline de la Cité.

L'étude des plans définitifs permettra de décider des saillies des corps de bâtiments les uns par rapport aux autres, de l'implantation exacte des façades suivant une ligne plus ou moins brisée, de la pente des toitures et de quelques autres points de détail.

Loin de nuire à la Cathédrale, les lignes simples et tranquilles du projet, ses façades relativement basses, créeront un cadre très favorable à ce grand monument gothique qui doit demeurer dominant.

En conclusion, les experts déclarent que l'Etat de Vaud ferait œuvre utile et belle en passant sans plus tarder à l'exécution du projet présenté. »

Lausanne, le 3 octobre 1947.

L. BOSSET, archéologue cantonal.

F. DECKER, architecte à Neuchâtel.

A. GUYONNET, architecte à Genève.

CH. THÉVENAZ, architecte à Lausanne.

F. WAVRE, architecte à Neuchâtel.

<sup>1</sup> M. Virieux, architecte de l'Etat, nous prie de publier ces lignes et la figure qui les accompagne en complément de l'article que nous avons inséré dans notre numéro du 13 septembre 1947. (Réd.).