**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande

**Band:** 73 (1947)

**Heft:** 25

**Artikel:** 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

**Autor:** Cuénod, Michel

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-55156

**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:** 16.08.2025

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

73e année — 6 décembre 1947 — N° 25

# BULLETIN TECHNIQUE
## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

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 & Cie, à Lausanne.

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. Burgener, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur, Case postale Chauderon 475, Lausanne.

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.

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 et fin), par Michel Cuénod, ingénieur. — *L'Exposition Internationale d'Urbanisme et d'Habitation de Paris 1947*, par Jean Tschumi, architecte de la Section suisse. — Société suisse des ingénieurs et des architectes : *Extraits des procès-verbaux des séances du Comité central antérieures au 24 octobre 1947 ; Communiqué du Secrétariat.* — Bibliographie. — Service de placement. — Information.

# 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 et fin.)* [1]

### B. Détermination de la stabilité de réglage.

1. *Régulateur et servomoteur purement statiques.*

Nous admettons que servomoteur et régulateur agissent infiniment rapidement, ce qui nous donne la courbe d'allure et la fonction de transfert suivantes :

$$\varphi_{\nu\mu} \equiv J_{\nu\mu} \equiv -\frac{1}{\delta}\,.$$

La courbe d'allure du réglage $J_R$ est donnée par le produit de la courbe d'allure du groupe $J_{\mu\nu}$ par celle du dispositif de réglage $J_{\nu\mu}$

$$J_R = J_{\nu\mu} \cdot J_{\mu\nu} = -\frac{1}{\delta}\, J_{\mu\nu}$$

Elle a la même forme que la courbe d'allure $J_{\mu\nu}$ ; elle est décalée de 180° et multiplie par le facteur $\frac{1}{\delta}$. La valeur limite du statisme $\delta$ peut se déduire directement de la figure 27.

[1] Voir *Bulletin technique* du 26 avril, 10 mai et 22 novembre 1947.

Pour que la condition de Nyquist soit remplie, il faut que la courbe d'allure $J_R$ coupe l'axe réel pour une valeur plus petite que 1. Nous en déduisons pour $T_a = 10$ sec

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| pour | $\theta y_0 = 0{,}5$ | $J_{\mu\nu} = 0{,}05$ | $\frac{1}{\delta_R} < 20$ | $\delta > 5\ \%$ |
| » | 1 | » 0,1 | » $< 10$ | $\delta > 10\ \%$ |

Ces valeurs de statisme sont beaucoup trop élevées pour être admissibles, d'autant plus qu'elles ne concernent que le cas le plus favorable d'un servomoteur infiniment rapide. D'où la nécessité d'introduire un servomoteur astatique avec statisme passager ou régleur avec accéléromètre.

2. *Réglage avec dispositif de stabilisation.*

a) *Dispositif idéal.*

Nous considérons l'accéléromètre idéal dont nous avons déjà établi la courbe d'allure et qui donne la courbe d'allure du réglage ouvert suivante :

$$J_R = J_{\mu\nu} J_{\nu\mu} = -\left(1 - \frac{3j\zeta T_c}{1 + j\zeta T_c}\right) \cdot \frac{1}{j\zeta T_a} \cdot \frac{1 + j\zeta A}{j\zeta T_s \delta}\,.$$

Avec $A = a\delta$.

Les figures 40 et 41 représentent ces courbes d'allures obtenues en combinant les courbes d'allures des figures 21, 22 et 30, pour les valeurs numériques suivantes :

$T_c = 1$ sec
$T_a = 10$ sec
$T_s = 5$ sec
$\delta = 10\ \%$
$A$ = paramètre = 0, 1, 2, 5.

Nous en déduisons immédiatement que si $A$ est trop faible ($A < 1$) le réglage est instable puisque la phase $\psi$ est toujours négative ; si par contre $A$ est trop élevé ($A > 5$) le réglage est de nouveau instable car sa grandeur absolue est plus élevée que 1 lorsqu'elle coupe l'axe réel ; il existe une valeur optimale de $A$ ($A \sim 3$) qui détermine le dosage accélérométrique le plus favorable.

Dosage accélérométrique $a = \dfrac{A}{\delta} = 30$

c'est-à-dire que l'accéléromètre parcourt toute sa course lorsque la vitesse varie de 3,3 % par sec.

b) *Réglage avec accéléromètre à vitesse limitée.*

La courbe d'allure du dispositif de réglage a été établie à la page 324.

La courbe d'allure de réglage est la suivante :

$$J_R = J_{\mu\nu} \cdot J_{\nu\mu} = -\left(1 - \frac{3j\zeta T_c}{1 + j\zeta T_c}\right) \frac{1}{j\zeta T_a} \cdot \frac{1 + j\zeta A}{j\zeta T_s \delta (1 + j\zeta C)(1 + j\zeta D)}$$

Les figures 42 et 43 les représentent pour les valeurs numériques suivantes :

$$T_c = 1 \text{ sec}$$
$$T_a = 10 \text{ sec}$$
$$T_s = 10 \text{ sec}$$
$$\delta = 10\ \%$$
$$A = 5\ ^1/\text{sec} = C + a\ 0{,}1 \left(1 - \frac{D}{C}\right)$$

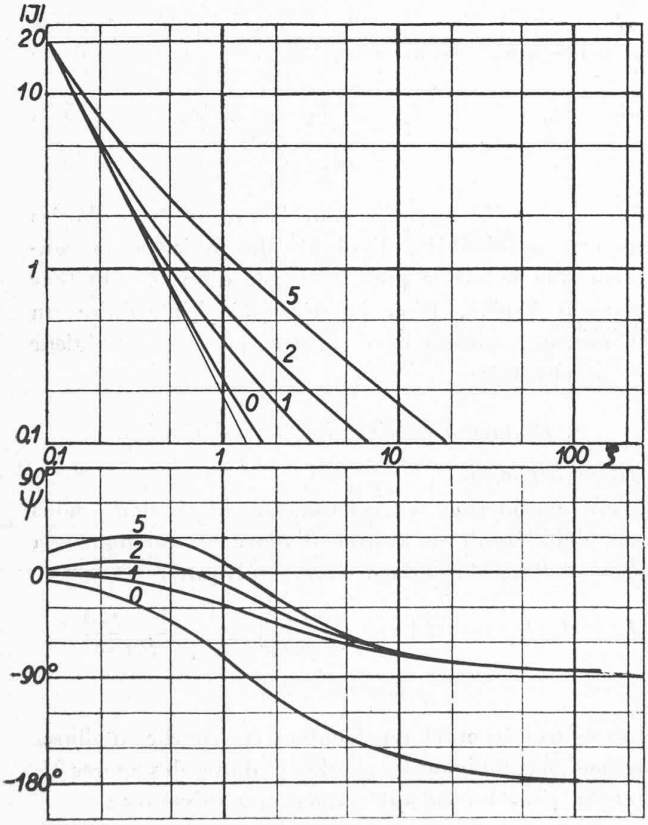


Fig. 40. — Courbe d'allure du réglage ouvert sous forme cartésienne, avec dispositif de stabilisation idéal.

$$J_R = -\left(1 - \frac{3j\zeta T_c}{1 + j\zeta T_c}\right) \frac{1}{j\zeta T_a} \frac{1 + j\zeta A}{j\zeta T_s \delta}$$

$T_c = 1$ sec. $T_a = 10$ sec. $T_s = 5$ sec. $\delta = 10$ %.
$A$ = paramètre = 0, 1, 2, 5 sec.

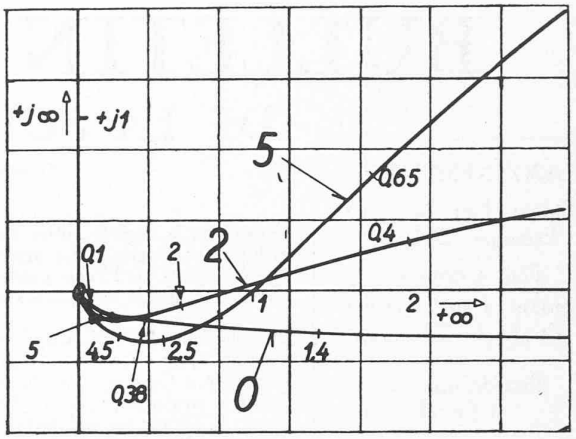


Fig. 41. — Courbe d'allure du réglage ouvert sous forme vectorielle avec dispositif de stabilisation idéal.

$T_c = 1$ sec. $T_a = 10$ sec. $T_s = 5$ sec. $\delta = 10$ %.
$A$ = paramètre = 0, 2, 5 sec.

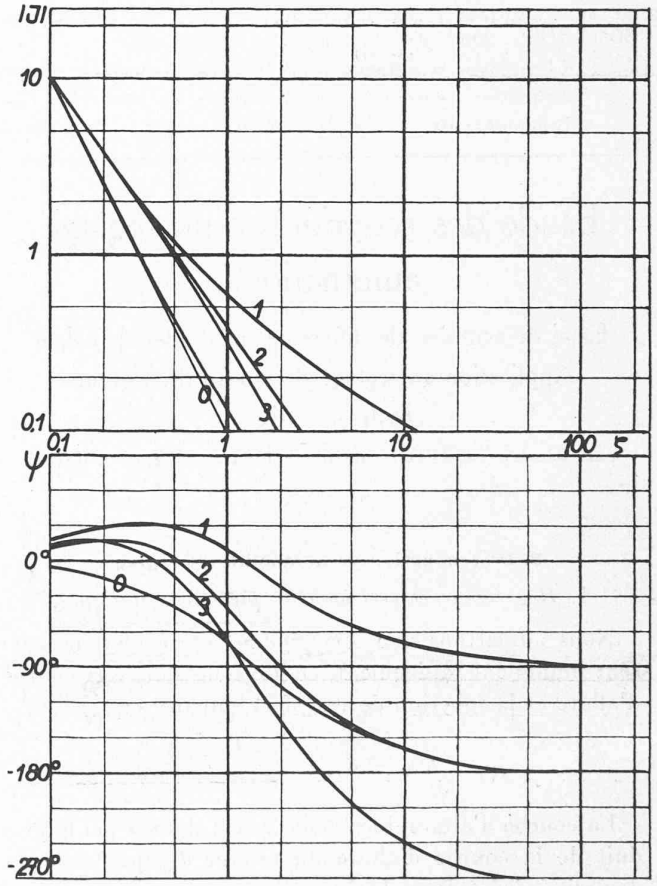


Fig. 42. — Courbe d'allure du réglage ouvert sous forme cartésienne avec régleur accéléro-tachymétrique à vitesse limitée.

$$J_R = -\left(1 - \frac{3j\zeta T_c}{1 + j\zeta T_c}\right) \frac{1}{j\zeta T_a} \frac{1 + j\zeta A}{j\zeta T_s \delta\ (1 + j\zeta c)\ (1 + j\zeta D)}$$

$T_c = 1$ sec. $T_a = 10$ sec. $T_s = 10$ sec. $\delta = 10$ %.
$A$, $C$ et $D$ = paramètre.

| Courbes | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| $A$ sec. | 0 | 5 | 3 | 5 |
| $C$ sec. | 0 | 0 | 3 | 5 |
| $D$ sec. | 0 | 0 | 0 | 0,5 |

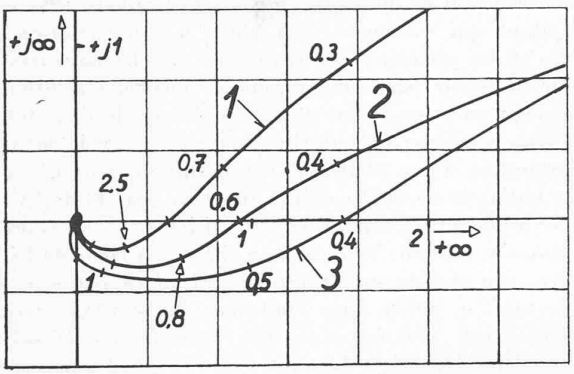


Fig. 43. — Courbe d'allure du réglage ouvert sous forme vectorielle avec régleur accéléro-tachymétrique à vitesse limitée.
$T_c = 1$ sec. $T_a = 10$ sec. $T_s = 10$ sec. $\delta = 10\ \%$.
$A$, $C$ et $D$ = paramètres.

| Courbes | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $A$ sec. | 5 | 5 | 5 |
| $C$ sec. | 0 | 1 | 1 |
| $D$ sec. | 0 | 0 | 0,5 |

avec $C$ et $D$ comme paramètres, nous déduisons les conditions de marche suivantes :

courbe 1 $C = D = 0$ réglage stable
2 $C = 1$ sec $D = 0$ réglage à la limite de la stabilité
3 $C = 1$ sec $D = 0{,}5$ sec réglage instable

Ce qui nous conduit aux conclusions suivantes :
Un accéléromètre lent ($D$ élevé) est plus nuisible qu'utile ; cependant, il est inutile de pousser trop haut l'exigence de la rapidité de l'accéléromètre, une faible valeur de $D$ n'a pratiquement aucune influence sur la stabilité du réglage. Nous sommes ainsi en mesure de déterminer quantitativement la vitesse de réaction nécessaire et suffisante de l'accéléromètre.

*Remarque :*

Nous avons vu qu'un des avantages de la méthode de Nyquist est de donner la possibilité de déterminer les caractéristiques dynamiques des différents éléments du circuit de réglage par un essai ; cet essai peut consister dans le relevé de la courbe de réponse ou dans celui de la courbe d'allure ; l'un et l'autre de ces essais peuvent présenter certaines difficultés pratiques ; aussi il peut être avantageux de généraliser ce mode de détermination : il suffit de relever simultanément la variation de la grandeur d'entrée et de sortie d'un dispositif pour pouvoir en calculer la courbe d'allure.

Considérons l'exemple du servomoteur avec asservissement, soit par exemple :

$$\rho(t) = \frac{t}{T_R}$$

une certaine variation que l'on fait agir à l'entrée du servomoteur, représentée par la figure 44 ;
nous enregistrons simultanément la variation de $\mu(t)$

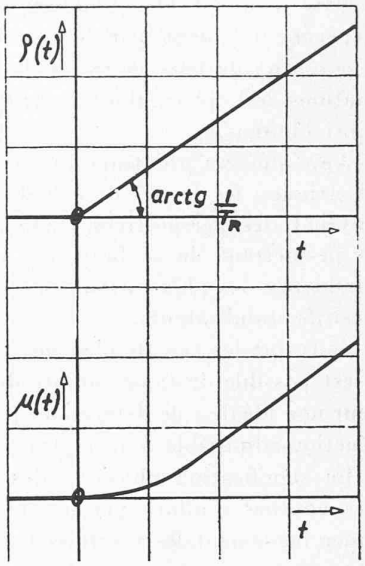


Fig. 44.
Détermination expérimentale généralisée de la fonction de transfert d'un servomoteur avec asservissement.

soit par exemple : $\mu(t) = \frac{t}{T_R} - \frac{T_s}{T_R}\left((1 - e^{-\frac{t}{T_s}}\right)$.

Nous déterminons $\rho(t)$ et $\mu(t)$ sous forme opérationnelle $\rho(p)$ et $\mu(p)$. Comme il est possible de le démontrer mathématiquement, la fonction de transfert sous forme opérationnelle est égale au quotient de ces deux fonctions

$$\varphi_{\rho\mu} = \frac{\mu(p)}{\rho(p)} = \frac{\dfrac{1}{pT_R(1 + pT_s)}}{\dfrac{1}{pT_R}} = \frac{1}{1 + pT_s}.$$

Nous retrouvons la fonction de transfert que nous avions déjà établie. Cette méthode permet de déterminer pratiquement l'influence du coup de bélier sur la turbine en agissant sur son vannage à l'aide du dispositif de changement de vitesse et en enregistrant simultanément la course du vannage et la variation de la vitesse.

## VII. Conclusion.

Les modes d'analyse mis à disposition par les méthodes modernes de calcul permettent d'atteindre une vue plus pénétrante sur les propriétés dynamiques des réglages automatiques que celles que donnait la méthode classique de Hurwitz. Elles répondent à cette double exigence que préconisait Descartes :

1. Séparer les difficultés : chaque organe de réglage peut être étudié pour lui seul, par celui qui en est le spécialiste, indépendamment des autres organes de réglage.

2. Aller du simple au compliqué : à mesure que les caractéristiques dynamiques des organes de réglage sont connues de façon plus précise, il est possible d'en tenir compte dans la courbe d'allure de réglage, sans que sa détermination en soit plus compliquée puisqu'elle s'effectue graphiquement.

Les propriétés dynamiques des éléments du circuit de

réglage peuvent être établies soit théoriquement, soit expérimentalement par le relevé de leurs courbes de réponse ou de leur courbe d'allure. Grâce aux transformations de Laplace, il est facile de combiner les résultats ainsi obtenus.

Appliqués au problème du réglage des groupes hydro-électriques, les modes de calcul exposés dans cet article ouvrent des perspectives particulièrement intéressantes et permettent de se faire une image très concrète de l'influence des phénomènes de coup de bélier et des dispositifs stabilisateurs.

Sans que les calculs n'en deviennent plus compliqués, il est possible de tenir compte des propriétés de régulateur non idéal et de déterminer par exemple la vitesse de réaction admissible d'un régleur accéléro-tachymétrique.

La signification physique des courbes de réponse et des courbes d'allure permet de comparer et de combiner facilement les résultats théoriques et les résultats obtenus expérimentalement.

Si cet article pouvait indiquer une nouvelle marche à suivre et servir d'introduction à une étude où une judicieuse collaboration entre ingénieurs électriciens et mécaniciens semble tout indiquée, il aurait rempli le but dans lequel il a été conçu.

*Bibliographie.*

H. Nyquist : *Regeneration theory.* Bell System Technical Journal, January 1932.

Eugen Görk : *Gesetzmässigkeit bei Regelvorgängen.* Wissenschaftl. Veröffentlichg. aus den Siemenswerken 1942, Band XX 2.

W. Arthus : *Ueber die Behandlung der Stabilität, mechanische elektrische Regelsysteme.* Wissenschaftl. Veröffentlichg. aus den Siemenswerken, 1941, Band XX 1.

Grünwald : *Lösungsverfahren der Laplace-Transformation für Ausgleichvorgänge in linearen Netzen, angewandt auf selbsttätige Regelung.* Arch. für El. 1941, S. 379.

Dr. Ing. Feiss : *Untersuchung der Stabilität.* Diss. ETH Zurich.

Dr. Ing. Profos : *Vektorielle Regeltheorie.* Diss. ETH 1944.

Brown and Hall : *Dynamic Behavior and Design of Servomechanisme.* Transaction of the ASME, July 1946.

Whisteley : *Theory of Servosystem with particular reference to stabilization.* The journal of the institution of Electrical Engineers, August 1946.

H. Harris : *The frequency response of automatic controlsystem.* Electr. Engin. Transaction 1946, Nr. 8/9.

# L'Exposition Internationale d'Urbanisme et d'Habitation de Paris 1947

par Jean TSCHUMI, architecte de la Section suisse.

Le besoin de logements et la reconstruction en Europe des régions dévastées se posent aujourd'hui d'une manière si aiguë qu'une Exposition internationale d'urbanisme et d'habitation se devait de voir le jour dans la période actuelle.

La France qui en avait pris l'initiative dès fin 1945 put, après beaucoup de difficultés, organiser pour l'été 1947 cette exposition qui s'imposait. En effet, la confrontation des études et des premières expériences de tous les pays pouvait laisser entrevoir par comparaison les meilleurs solutions à préconiser, au point de vue de l'urbanisme et de l'habitation.

Il faut remercier les autorités françaises d'avoir entrepris l'organisation d'une semblable manifestation, sous la vigoureuse initiative de M. Prothin, directeur général de l'Urbanisme, président du comité de l'exposition et de M. Breton, commissaire général. Seule la date choisie au cœur de l'été a quelque peu nuit au succès qui devait lui être assuré, et si à l'ouverture, le public sous l'influence d'une presse hostile, « bouda » cette manifestation sous prétexte que le sinistré préférait des maisons à des prototypes et des dessins, par la suite, mieux averti, il visita largement et avec intérêt les différents stands du Grand Palais.

Les nations participantes furent nombreuses : Suède, Belgique, Danemark, Pologne, Suisse, Grèce, Italie, Tchécoslovaquie, Islande, Afrique du Sud, Mexique. L'absence des Etats-Unis et de la Russie fut très regrettable, celle de la Grande-Bretagne incompréhensible au moment où ce pays semble être lié au sort de l'Europe.

Le programme de l'exposition, très développé, comprenait des groupes bien distincts : Problème national du logement, Urbanisme, Habitation, Construction et équipement, Information.

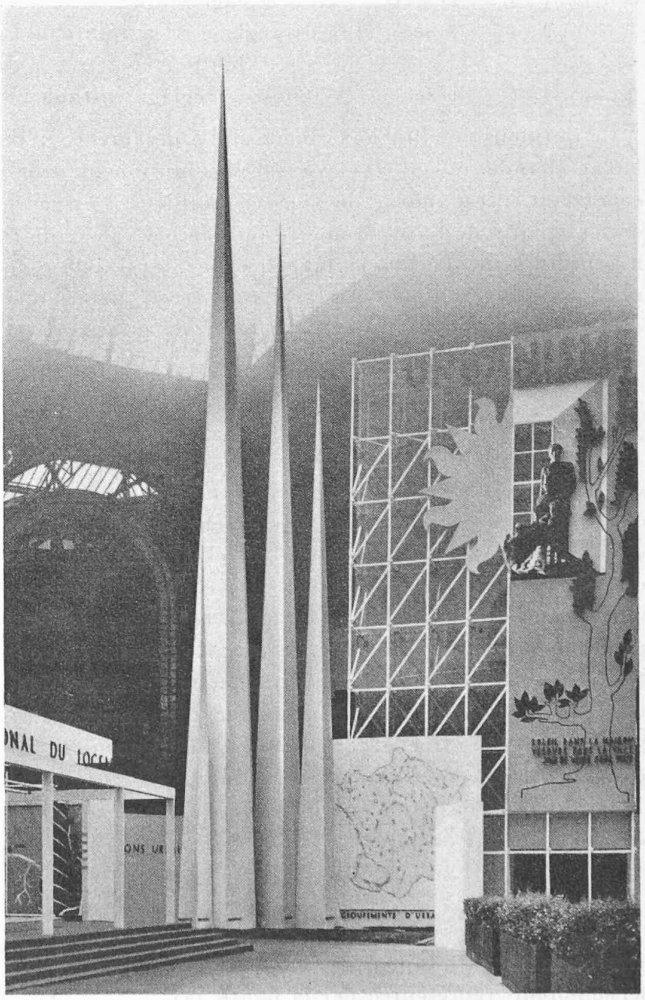

Fig. 1. — Centre de la section française. Auzelle, architecte.