

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin technique de la Suisse romande
<b>Band:</b>	93 (1967)
<b>Heft:</b>	24
<b>Artikel:</b>	Réglage d'un réacteur nucléaire: fonction de transfert de la mesure (travail de diplôme d'ingénieur physicien dipl. EPUL)
<b>Autor:</b>	Ba, Dank Van
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-69095">https://doi.org/10.5169/seals-69095</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

Paraisant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)  
de la Section genevoise de la SIA  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole poly-  
technique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. à Genève

Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne

Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

Membres:

Fribourg: H. Cicot, ing.; M. Waeber, arch.

Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgrain, arch.; J.-C. Ott, ing.

Neuchâtel: J. Béguin, arch.; M. Chevalier, ing.

Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.

Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;

M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: D. Bonnard, ing.

Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; M. Cosandey, ing.; J. Favre, arch.; A. Rivoire, arch.; J.-P. Stucky, ing.

Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

## RÉDACTION

D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua, architecte  
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse Fr. 40.—	Etranger Fr. 44.—
Sociétaires . . . . .	» 33.—	
Prix du numéro . . . . .	» 2.—	» 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »  
N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à : Imprimerie  
La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:

1/1 page . . . . .	Fr. 423.—
1/2 " . . . . .	» 220.—
1/4 " . . . . .	» 112.—
1/8 " . . . . .	» 57.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.

Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Réglage d'un réacteur nucléaire : fonction de transfert de la mesure, par M. Dang van Ba, ingénieur physicien EPUL.

Sur le calcul d'une coupole hyperstatique au point de vue des déformations, par A. Ansermet, ing.-prof.

Bibliographie. — Carnet des concours.

Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Informations diverses.

## COMMUNICATION DE L'INSTITUT DE RÉGLAGE AUTOMATIQUE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE (EPUL)<sup>1</sup>

### RÉGLAGE D'UN RÉACTEUR NUCLÉAIRE: FONCTION DE TRANSFERT DE LA MESURE

(Travail de diplôme d'ingénieur physicien dipl. EPUL)

par M. DANG VAN BA, ingénieur physicien EPUL

Professeur: Alfred ROCH, ing., prof. EPUL

#### I. Donnée du problème

Le réglage d'un réacteur nucléaire de puissance utilise d'une part la mesure du flux neutronique existant dans le cœur du réacteur, d'autre part une grandeur dérivée de la précédente : la période (égale à l'inverse de la dérivée logarithmique du flux par rapport au temps). Indépendamment du fait que l'instrument mesure le flux en un lieu assez arbitraire, ces mesures sont entachées d'erreurs provenant des retards d'information liés à la fonction de transfert des instruments eux-mêmes.

On étudiera, dans des hypothèses aussi près de la réalité que possible, les deux fonctions de transfert :

Flux moyen . . . mesure fournie au régulateur, et  
Période . . . indication fournie au régulateur

L'étude sera basée aussi bien sur des expériences (ou rapports expérimentaux) que sur les calculs ; on four-

nira les éléments d'une simulation par calculatrice analogique.

#### II. Introduction

Nous nous proposons, dans ce travail, d'étudier les fonctions de transfert des appareils Pilos-1 mesurant le flux moyen et la période d'un réacteur nucléaire.

La figure 1 représente le schéma bloc d'un tel dispositif de mesure : les détecteurs utilisés sont soit la chambre de fission, soit le compteur proportionnel BF<sub>3</sub>; la limite supérieure de leur taux de comptage est de l'ordre de  $2 \cdot 10^5$  coups/sec. La chambre de fission est une chambre d'ionisation dont l'intérieur est couvert du composé d'uranium enrichi U<sup>235</sup>; le flux de neutrons thermiques y entraîne la fission de l'uranium, et les fragments résultants produisent une ionisation consi-

<sup>1</sup> Voir *Bulletin Technique* du 27 août 1967. (Réd.)

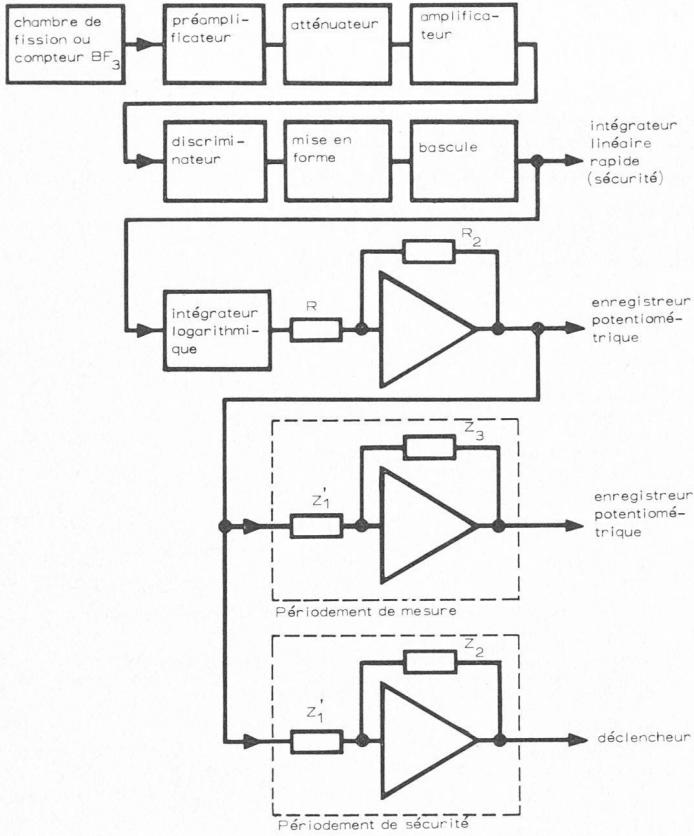


Fig. 1. — Chaîne de mesure du flux moyen et de la période du réacteur.

dérable dans le gaz. Dans le compteur proportionnel BF<sub>3</sub>, ce sont les réactions nucléaires B<sub>5</sub><sup>10</sup>(n, α) — Li<sup>7</sup> qui permettent de détecter les neutrons. En moyenne, une telle réaction libère une énergie cinétique de 2·345 MeV, ce qui correspond à 7,1·10<sup>4</sup> paires d'ions libérés dans le gaz. Ces détecteurs délivrent des impulsions électriques négatives qui seront amplifiées. Le discriminateur d'amplitude de tension élimine les impulsions dues aux rayons γ. Après une mise en forme, les impulsions arrivent à l'intégrateur logarithmique composé de pompes à diodes. Ces dernières sont reliées à un circuit de sommation menant soit vers l'enregistrement de  $V = k \cdot \log_{10} n + \text{constante}$ , soit vers l'entrée des périodomètres.

### III. Intégrateur logarithmique (fig. 2)

C'est une association de pompes à diodes (sept dans notre cas). Analysons tout d'abord le fonctionnement d'une pompe à diodes (fig. 3) :

Au moment où le signal en A est égal à  $E_i$ , le condensateur  $C_{bi}$  se charge à travers la diode  $D_{ai}$ , la diode  $D_{bi}$  étant bloquée. Lorsque le potentiel d'entrée revient à zéro,  $D_{ai}$  se bloque et  $D_{bi}$  conduit. La capacité  $C_{ai}$  se décharge, la quantité d'électricité qui s'écoule vers le circuit ( $R_i - C_{bi}$ ) valant :

$$Q = C_{ai} (E_i - V_{si}).$$

Si  $\frac{n}{2}$  est le nombre de fronts de tension dans un sens à l'entrée de la pompe à diodes, le courant moyen d'entrée dans le circuit ( $R_i - C_{bi}$ ) s'écrit :  $\frac{n}{2} C_{ai} (E_i - V_{si})$ . D'où l'équation différentielle :

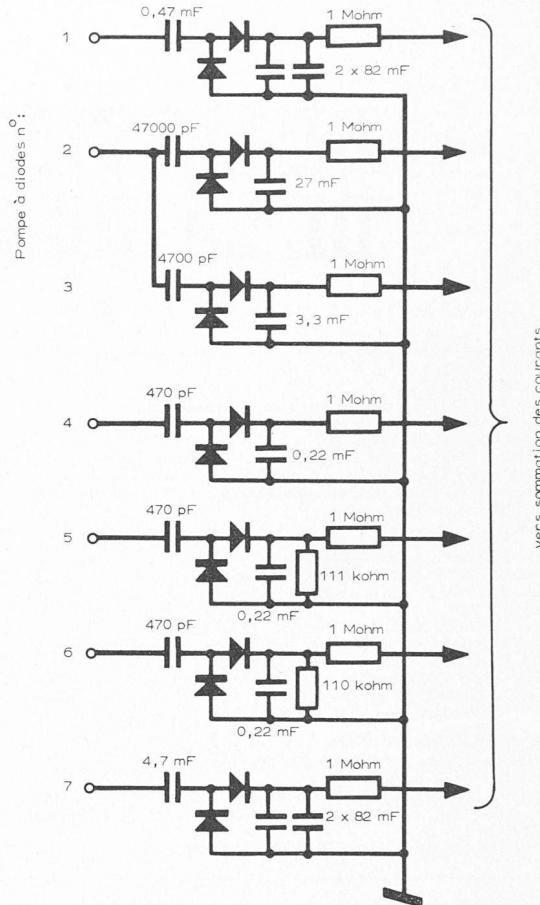


Fig. 2. — Intégrateur logarithmique.

$$C_{bi} \frac{dV_{si}}{dt} + \frac{V_{si}}{R_i} = \frac{n(t)}{2} C_{ai} (E_i - V_{si})$$

ou bien :

$$R_i C_{bi} V_{si} + \left(1 + \frac{R_i C_{ai}}{2} n(t)\right) V_{si} - \frac{R_i C_{ai}}{2} E_i n(t) = 0 \quad (\text{II.1})$$

C'est une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients variables. Remarquons en passant que, pour une pompe à diodes, la grandeur de sortie  $V_{si}$  dépend de la grandeur d'entrée  $n$ . Le système est donc non linéaire ; il sera toutefois rendu linéaire si  $V_{si} \ll E_i$ .

Cherchons la solution de l'équation pour les sauts de la grandeur d'entrée de  $n_o$  à  $n$  ( $n < n_o$ ) ou inversement de  $n$  à  $n_o$ , et ceci pour des variations exponentielles du taux de comptage. En posant :

$$V_{si} (\text{de saturation}) = V_{si}(0) + \Delta V_{si}(0)$$

on trouve par la transformation de Laplace :

$$\Delta V_{si}(t) = \Delta V_{si}(0) \left[ 1 - \exp \left( -\frac{1 + \frac{R_i C_{ai}}{2} n_o}{R_i C_{bi}} t \right) \right] \quad (\text{II.2})$$

pour un saut de  $n_o$  à  $n$ .

$$\Delta V_{si}(t) = -\Delta V_{si}(0) \left[ 1 - \exp \left( -\frac{1 + \frac{R_i C_{ai}}{2} n_o}{|R_i C_{ai}|} t \right) \right] \quad (\text{II.3})$$

pour un saut de  $n$  à  $n_o$ .

En résolvant l'équation (II.1) pour  $n(t) = n_o \exp(t/T)$ , on trouve :

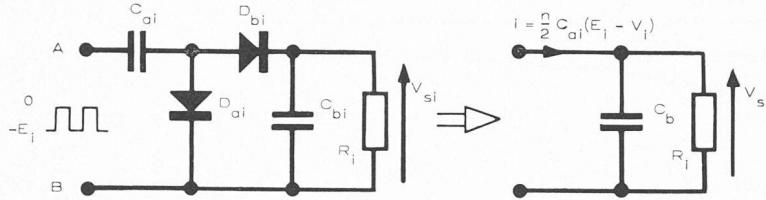


Fig. 3. — Pompe à diodes.

Taux	10	2	5	$10^2$	2	5	$10^3$	2	5	$10^4$	2	5	$10^5$
Temps de réponse	52	26	15	8	3,6	1,8	1	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
augmentation du taux de comptage													
Temps de réponse	77	45,5	23	13	6,4	3,2	1,5	0,5	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2
diminution du taux de comptage													

Fig. 5. — Temps de réponse de l'intégrateur logarithmique à une entrée variant par sauts pour différentes valeurs initiales.

Les temps de réponse sont exprimés en secondes et calculés entre 0 et 90 % de la valeur finale.

$$V_{si}(t) = \exp \left[ -\frac{1}{R_i C_{bi}} \left( t + \frac{n_0}{2} R_i C_{ai} T e^{t/T} \right) \right]$$

$$\left. \left\{ \frac{R_i C_{ai} E_i}{2 R_i C_{bi}} \int_0^t n_0 e^{t/T} \cdot \exp \left[ \frac{1}{R_i C_{bi}} \left( t + \frac{n_0}{2} R_i C_{ai} T e^{t/T} \right) \right] dt + \right. \right.$$

$$\left. \left. + V_{si}(0) \exp \frac{n_0 R_i C_{ai} T}{2 R_i C_{bi}} \right\} \right] \quad (\text{II.4})$$

Comme la résolution analytique de l'intégrale située dans la parenthèse est exclue, nous recourrons à la méthode d'approximation suivante :

$$\int_0^t f(t) dt \approx \sum_{i=1}^n f(t_i) \cdot \Delta t_i \quad \text{avec : } t = n \cdot \Delta t_i \quad (\text{II.4a})$$

L'approximation sera bonne si  $n$  est grand et si  $\Delta t_i$  est petit. Lorsque l'entrée de notre intégrateur logarithmique à sept pompes à diodes varie par sauts, on obtient à la sortie du circuit de sommation :

$$\Delta V \cdot (t) = -\frac{R_2}{R} \sum_{i=1}^7 \Delta V_{si}(t)$$

Grâce à la calculatrice IBM 7040 de l'EPUL, nous avons pu trouver les temps de réponse correspondants aux différents sauts pour une gamme de valeurs initiales. Les résultats sont rassemblés sur la figure 5.

Ces résultats sont entièrement en accord avec l'expérience, sauf pour les faibles valeurs de  $n$ . L'écart constaté provient en fait des fluctuations statistiques. De même, à la sortie du circuit de sommation, on a, pour une même loi de variation du taux de comptage :

$$V(t) = -\frac{R_2}{R} \sum_{i=1}^7 V_{si}(t) \quad (\text{II.5})$$

Nous définissons ici, comme entrée de l'intégrateur logarithmique, la valeur asymptotique  $V_\infty$  de la formule (II.5).

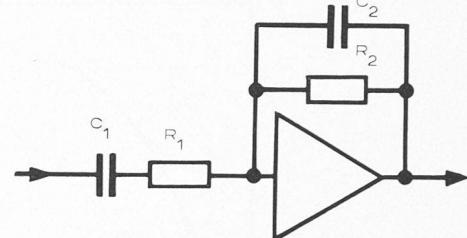


Fig. 4. — Périodomètre.

On trouve sur la figure 6 les réponses de l'intégrateur logarithmique pour deux périodes extrêmes du réacteur et pour deux valeurs initiales  $n_0$  du taux de comptage. L'équation (II.1) et la figure 6 montrent que le système intégrateur est non linéaire : la sortie dépend de la valeur initiale  $n_0$ , de la loi de variation du taux de comptage, et de l'échelle de lecture de l'intégrateur. Nous donnons ci-dessous quelques remarques et résultats :

- 1) L'appareil répond rapidement si on a à son entrée un nombre de fronts de tension élevé (à partir de  $10^3$  coups/sec).
- 2) Les temps de réponse du système diminuent quand la période du réacteur est grande et le taux de comptage initial élevé.
- 3) Les constantes de temps moyennes pour les réponses indicielles sont :

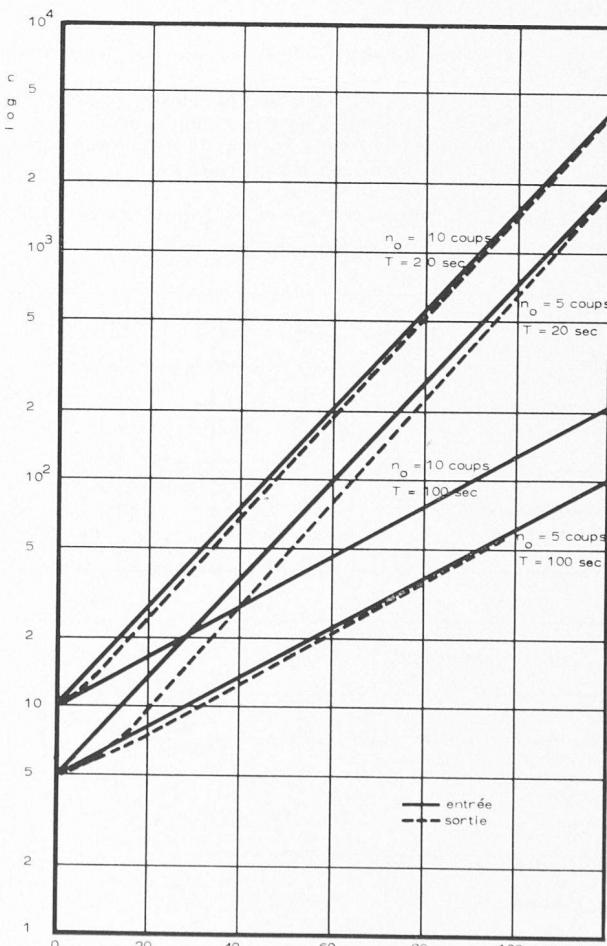


Fig. 6. — Réponse de l'intégrateur logarithmique à une entrée exponentielle du taux de comptage.

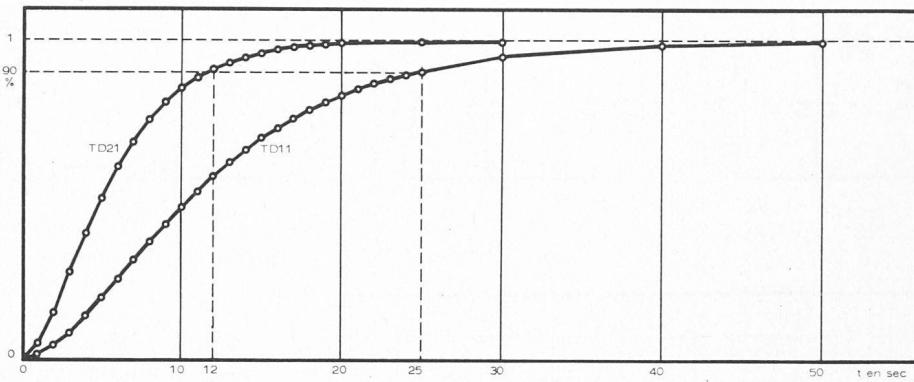


Fig. 7. — Réponse des périodemètres.

Taux de comptage	10	$10^2$	$10^3$	$10^5$ coups/sec
Augmentation du taux	9 sec	1,2 sec		
Diminution du taux	13 sec	2 sec		

Cela signifie que, lorsqu'on a par exemple un saut de 200 à 500 coups/sec, la constante de temps sera égale à 1,2 sec.

Nous allons maintenant déterminer la fonction de transfert de l'intégrateur. Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- 1) Le système intégrateur est assimilé à un système linéaire dans un certain domaine de l'échelle de lecture.
- 2) Les fonctions de transfert seront données uniquement à partir des constantes de temps moyennes.
- 3) Les constantes de temps des appareils accessoires pour l'enregistrement de  $\log n$  sont négligées.

Le tableau ci-dessous donne les fonctions de transfert de la chaîne de mesure du flux moyen :

Taux de comptage	10	$10^2$	$10^3$	$10^5$ coups/sec
Augmentation du taux	$\frac{1}{1+9 \text{ s}}$	$\frac{1}{1+1,2 \text{ s}}$		
Diminution du taux	$\frac{1}{1+13 \text{ s}}$	$\frac{1}{1+2 \text{ s}}$	$\frac{1}{1+0,3 \text{ s}}$	

Nous avons ici une vérification directe du moins qualitative de la théorie : supposons que le taux de comptage varie selon  $V_\infty = \frac{t}{T} k \log_{10} n + V_0$ ; la sortie sera en retard par rapport à l'entrée. Cet effet se remarque sur la figure 6 : la courbe correspondant à la sortie est située légèrement en dessous de celle correspondant à l'entrée.

#### IV. Périodemètres

Le schéma de principe des périodemètres est donné par la figure 4. A partir des valeurs numériques de leurs différents éléments, on obtient leurs fonctions de transfert :

$$\text{Périodemètre TD 11 : } F_p(s) = \frac{-68 \text{ s}}{(1 + 5,6 \text{ s})(1 + 6,8 \text{ s})} \quad (\text{III.1})$$

$$\text{Périodemètre TD 21 : } G_p(s) = \frac{-68 \text{ s}}{(1 + 2,7 \text{ s})(1 + 3,2 \text{ s})}$$

La figure 7 donne leurs temps de réponse calculés à partir de (III.1) : les résultats sont en bon accord avec l'expérience.

Finalement, les fonctions de transfert de la chaîne de mesure de la période seront égales aux fonctions tirées du tableau précédent multipliées par  $F_p(s)$ , respectivement par  $G_p(s)$ . Nous ne donnons ci-dessous que le tableau des fonctions de transfert correspondant à la chaîne de mesure munie du périodemètre TD 11.

#### V. Conclusions

Cette étude rudimentaire des fonctions de transfert de la mesure dans un réacteur nucléaire nous amène aux conclusions suivantes, qu'il y aurait lieu de vérifier par une étude expérimentale approfondie :

Taux de comptage	10	$10^2$	$10^3$	$10^5$ coups/sec
Augmentation du taux	$F(s) = \frac{-68 \text{ s}}{(1 + 9 \text{ s})} \cdot \frac{1}{(1 + 5,6 \text{ s})(1 + 6,8 \text{ s})}$	$F(s) = \frac{-68 \text{ s}}{(1 + 1,2 \text{ s})} \cdot \frac{1}{(1 + 5,6 \text{ s})(1 + 6,8 \text{ s})}$		$F(s) = \frac{-68 \text{ s}}{(1 + 0,3 \text{ s})} \cdot \frac{1}{(1 + 5,6 \text{ s})(1 + 6,8 \text{ s})}$
Diminution du taux	$F(s) = \frac{-68 \text{ s}}{(1 + 13 \text{ s})} \cdot \frac{1}{(1 + 5,6 \text{ s})(1 + 6,8 \text{ s})}$	$F(s) = \frac{-68 \text{ s}}{(1 + 2 \text{ s})} \cdot \frac{1}{(1 + 5,6 \text{ s})(1 + 6,8 \text{ s})}$		$\frac{1}{(1 + 5,6 \text{ s})(1 + 6,8 \text{ s})}$

- En ce qui concerne la mesure du flux moyen : lorsque le taux de comptage est relativement élevé (niveau de puissance nominale du réacteur), la constante de temps de l'appareillage de mesure est satisfaisante et il n'y a pas lieu de prendre des mesures particulières pour l'utiliser dans une chaîne de réglage. Au contraire, pour les taux de comptage bas (niveau de démarrage du réacteur), la constante de temps de plusieurs secondes peut devenir gênante, ou même dangereuse lors de son utilisation dans une chaîne de réglage automatique.
- Pour la mesure de la période, nous constatons que pour les faibles taux de comptage, c'est le temps de réponse des intégrateurs logarithmiques qui est prépondérant, tandis qu'aux taux élevés, c'est celui des périodes qui l'emporte.

On en déduit que les systèmes de mesure exposés ci-dessus peuvent être utilisés dans le réglage automatique d'un réacteur de puissance, lors du démarrage ou de l'arrêt, lorsque la période est maintenue supérieure à quelque 50 secondes. Ils seront également utiles dans le réglage des réacteurs de faible puissance en fonctionnement normal.

Par contre, dans le cas d'anomalies de fonctionnement du réacteur, et d'une façon plus générale en ce qui concerne les équipements de sécurité et d'alarme, leur information perd la plus grande partie de son intérêt, le temps de réponse devenant prohibitif.

## SUR LE CALCUL D'UNE COPOLE HYPERSTATIQUE AU POINT DE VUE DES DÉFORMATIONS

par A. ANSERMET<sup>1</sup>, ing.-prof.

### Rappel de notions générales et usuelles

Le calcul d'une structure hyperstatique articulée est un problème encore fort controversé ; cela tient en partie à la diversité des solutions à adopter. Il n'est pas toujours facile de faire un choix et, dans les lignes qui suivent, il n'est pas question de prendre position de façon positive en faveur de l'une ou l'autre des solutions.

En effet, presque simultanément, à Zurich et Lausanne, un même système articulé spatial à 15 barres surabondantes fut calculé au point de vue des déformations, par des voies complètement différentes : à Zurich, chaire de statique appliquée et de constructions métalliques, le calcul fut effectué en 71 secondes. A Lausanne (publication EPUL n° 95), la durée du travail était à peu près du même ordre de grandeur quant aux opérations menées à chef par voie électronique, ainsi qu'on le verra ci-après. Les résultats obtenus à Zurich et Lausanne concordent de façon réjouissante.

Comme solution encore moderne, il faut citer celle contenue dans le cours de statique de l'EPUL (EIL) de 1926 ; les caractéristiques sont les suivantes : on ne fait pas de coupures et le nombre des équations concorde avec celui des inconnues, ce qui est séduisant ; B. Mayor a établi des équations d'équilibre, linéaires, dont les termes absous ne sont pas tous différents de zéro, des équations aux liaisons, linéaires, sans termes absous et surtout, ce qui était nouveau, des équations aux déformations. Ces dernières jouent un rôle capital : elles sont aussi linéaires et sans termes absous. Les variations de coordonnées des noeuds, qui figurent dans les membres de gauche, sont les déplacements subis sous l'action des forces extérieures. Cette publication de 1926 est trop connue pour donner lieu à d'autres commentaires.

Récemment, dans les Mémoires de l'Association internationale des ponts et charpentes (AIPC), deux éminents staticiens, dans des articles remarquables, appli-

quent en principe la même solution, l'un planimétriquement, l'autre spatialement. Pour éviter tout malentendu, en ce qui concerne des questions de priorité, il convient de préciser qu'à la Rédaction des Mémoires AIPC on connaissait la première publication de Mayor seulement.

L'éminent professeur lausannois s'est borné à poser les équations, tandis que les professeurs Naruoks et Li développèrent le problème surtout en ce qui concerne l'ordre d'élimination des inconnues.

Quant à la chaire de Zurich, elle s'exprimait récemment comme suit : « Il existe une « langue » créée aux Etats-Unis pour l'utilisation des calculatrices électriques au domaine des ossatures ; il s'agit du STRESS... »

» ... Nous nous sommes permis de faire recalculer par le STRESS l'exemple de la figure I de votre article (Publication n° 95, EPUL). »

La structure en question comprend 30 barres, dont 15 surabondantes et 5 noeuds libres ; ce calcul sera développé ci-après. Avant de poursuivre, énumérons des notations : admettons tout d'abord, pour simplifier, un seul noeud libre

$A$	le travail de déformation dont on forme les dérivées partielles ;
$\nu_i$	les variations de longueur des barres ;
$l_i, S_i$	les longueurs et sections transversales de celles-ci ;
$T_i, E_i$	les efforts axiaux et coefficients d'élasticité ;
$Dx, Dy, Dz$	les variations de coordonnées du noeud (solution sans coupures) ;
$dx, dy, dz$	les variations de coordonnées du noeud (après coupures) ;
$p_i$ et $P_i$	les poids des barres à priori et posteriori.

*Rôle des coupures.* Initialement on aurait ici trop d'équations, d'où les coupures ; la condition du minimum pour  $A$  doit intervenir. Cette solution est plus connue que la précédente ; depuis longtemps, outre-Rhin, on remarqua la forme :

$$(1) \quad \text{somme des } p\nu = [p\nu] = \text{minimum.}$$

<sup>1</sup> Publication patronnée par la chaire de constructions métalliques EPUL.