

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin technique de la Suisse romande
<b>Band:</b>	84 (1958)
<b>Heft:</b>	25
<b>Artikel:</b>	Comparaison de propriétés physiques de quelques types d'éléments combustibles
<b>Autor:</b>	Lehmann, P. / Meier, R.W. / Schneeberger, J.-P.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-63513">https://doi.org/10.5169/seals-63513</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:** 27.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)  
de la Section genevoise de la S.I.A.  
de l'Association des anciens élèves de l'E.P.U.L. (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole  
polytechnique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: J. Calame, ing. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève  
Membres:  
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: Cl. Grosgrain, arch.; E. Martin, arch.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.  
Ch. Thévenaz, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »  
Président: A. Stucky, ing.  
Membres: M. Bridel; R. Neeser, ing.; P. Waltenspuhl, arch.  
Adresse: Ch. de Roseneck 6, Lausanne

## RÉDACTION

D. Bonnard, ing.  
Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse Fr. 26.—	Etranger. . Fr. 30.—
Sociétaires . . . . .	» 22.—	» . . . 27.—
Prix du numéro . . . . .	» 1.60	
Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », N° II. 57 75, Lausanne.		
Adresser toutes communications concernant abonnement, changements d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29 Lausanne		

## ANNONCES

Tarif des annonces:  
1/1 page . . . . . Fr. 275.—  
1/2 " . . . . . » 140.—  
1/4 " . . . . . » 70.—  
1/8 " . . . . . » 35.—

Adresse: Annonces Suisses S. A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Comparaison des propriétés physiques de quelques types d'éléments combustibles, par P. Lehmann, R. W. Meier et J. P. Schneeberger.  
Le coût des petites stations d'épuration biologique partielle des eaux usées, par M. Yves Maystre, ingénieur EPF.  
Divers : Assemblée de discussion concernant les installations auxiliaires des centrales hydrauliques et des sous-stations.  
Bibliographie. — Service de placement. — Documentation générale. — Nouveautés, informations diverses.

## COMPARAISON DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE QUELQUES TYPES D'ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES

par P. LEHMANN, R. W. MEIER et J. P. SCHNEEBERGER

*Dans le cadre d'une étude générale sur les réacteurs sous pression modérés à l'eau lourde, dont le but est de comparer le système à cuve sous pression au système à éléments sous pression, le buckling matériel de deux types d'éléments combustibles différents en uranium naturel est étudié. Il s'agit d'éléments formés de groupes de barres pour le système à cuve sous pression, d'éléments composés de groupes de tubes refroidis de l'intérieur pour le système à éléments sous pression. Les méthodes de calcul utilisent les résultats les plus récents publiés au Canada, en Amérique et en France, élargis afin d'être applicables aux éléments fractionnés envisagés. Des conditions thermiques permettent de réduire le nombre des variables géométriques; la puissance spécifique (Watt par gramme de combustible) est introduite comme paramètre. Le buckling matériel est donné en fonction du rapport volumétrique modérateur à uranium à la puissance nominale (températures d'équilibre et empoisonnement par le xénon et le samarium) et à la puissance zéro (20° C, uranium non empoisonné).*

Le choix de l'élément combustible joue un rôle prépondérant dans l'élaboration du projet d'un réacteur de puissance. Il est à déterminer en tenant compte des impératifs de la construction, des propriétés physiques du réseau, des lois de la transmission de la chaleur,

de la métallurgie, des possibilités de régénération et de la simplicité de fabrication. Des considérations de sécurité et d'économie interviennent également. Les recherches intensives entreprises partout à ce sujet témoignent de l'importance du problème.

Dans les réacteurs utilisant l'uranium naturel comme combustible, les propriétés physiques, en particulier statiques, nécessitent une attention plus grande que dans les types à uranium enrichi. Dans ce dernier cas en effet, le degré d'enrichissement est un paramètre que l'on peut faire encore intervenir pour un réacteur fixé, de façon à modifier le bilan neutronique.

Dans ce qui suit, nous nous occupons des propriétés statiques, mentionnées ci-dessus, de réacteurs modérés à l'eau lourde et composés d'éléments combustibles en uranium naturel. Pour l'élément le plus simple, soit le barreau cylindrique en uranium métallique, la théorie ainsi qu'un grand nombre d'expériences en accord avec cette dernière, fournissent une base satisfaisante pour les calculs. L'utilisation de cet élément simple, avantageux également du point de vue physique, dans un réacteur de puissance est limitée cependant par des conditions thermiques, sur lesquelles nous

revenons en détail au paragraphe suivant. Celles-ci — la température maximum dans le combustible par exemple — doivent être respectées afin d'éviter que des dommages mécaniques puissent se produire. La puissance spécifique élevée nécessaire dans les réacteurs de puissance ne peut être atteinte qu'en augmentant la surface de refroidissement de l'élément, par fractionnement de sa section par exemple. La théorie et l'expérience pour ces types d'éléments combustibles n'en sont cependant qu'à leur début.

Le buckling matériel  $B_m^2$  est la grandeur physique fondamentale d'un élément combustible donné. En général, on recherche un optimum de cette grandeur, intervenant pour une distance déterminée entre éléments du réseau. Ce sont les variations du buckling avec le pas du réseau et sa comparaison pour différents types d'éléments qui forment l'objet essentiel de ce travail. On remarquera que pour de telles comparaisons la précision à attendre des calculs sera nettement meilleure que pour les valeurs absolues.

Deux classes d'éléments sont considérées, soit celle comprenant des groupes de barres cylindriques, et celle formée de groupes de tubes refroidis de l'intérieur. Le choix particulier de ces deux types est en rapport avec une étude plus générale sur les réacteurs sous pression modérés à l'eau lourde, dont le but est de comparer le système à cuve sous pression au système à éléments sous pression<sup>1</sup>. A chaque système est associé un type d'éléments : éléments formés de groupes de barres pour le système à cuve sous pression, éléments composés de groupes de tubes refroidis de l'intérieur pour le second système. La géométrie de ces deux types d'éléments, sur lesquels nous revenons au paragraphe suivant, ressort des figures 1 et 2.

Pour les deux types d'éléments, même si l'on ne considère que des configurations symétriques à géométrie simple, on a encore plusieurs paramètres à fixer. Ainsi, dans le cas des éléments à groupes de barres, par exemple, ce sera la section

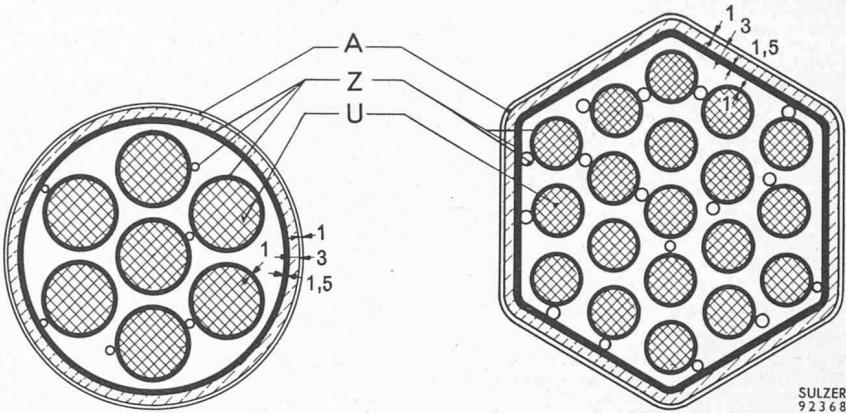


Fig. 1. — Données géométriques des éléments à groupes de barres.

A Aluminium      Z Zirconium      U Uranium

Puissance spécifique à 100 W/cm <sup>2</sup>	Watt par g uranium	Groupes de 7 barres			Groupes de 19 barres	
		12	20	30	20	30
Désignation . . . . .		7S12	7S20	7S30	19S20	19S30
Rayon d'une barre . . . . .	cm	0.982	0.621	0.438	0.621	0.438
Distance entre barres . . . . .	cm	2.419	1.756	1.419	1.875	1.530
Rayon extérieur du tube d'aluminium, resp. du cercle inscrit . . . . .	cm	4.306	3.341	2.850	4.948	4.200
Section de l'uranium . . . . .	cm <sup>2</sup>	21.21	8.48	4.22	23.02	11.45
Section du réfrigérant . . . . .	cm <sup>2</sup>	18.21	12.48	9.60	33.15	25.75
Section du zirconium . . . . .	cm <sup>2</sup>	8.54	6.21	5.05	15.50	12.81
Section de l'aluminium . . . . .	cm <sup>2</sup>	2.67	2.07	1.76	3.40	2.87
Section de l'isolant . . . . .	cm <sup>2</sup>	7.65	5.83	4.90	9.76	8.21
Constante de dissipation . . . . .	cm <sup>-3</sup>	28.88	29.20	29.10	29.00	28.20

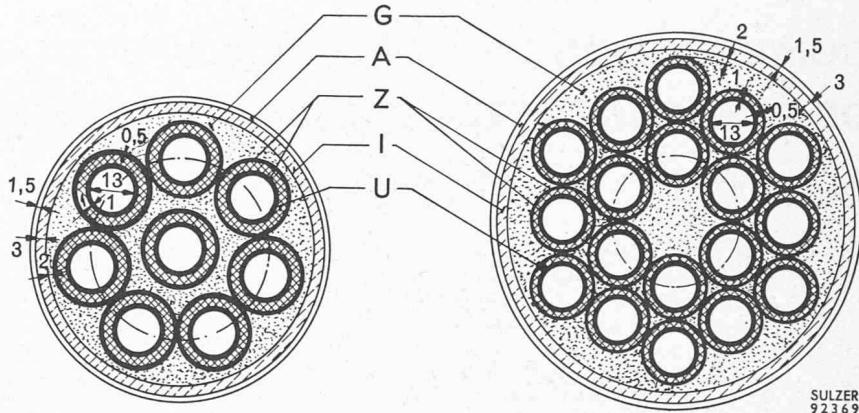


Fig. 2. — Données géométriques des éléments à groupes de tubes.

G Poudre de graphite      A Aluminium      Z Zirconium      I Isolant      U Uranium

Puissance spécifique à 100 W/cm <sup>2</sup>	Watt par g uranium	Groupes de 8 tubes			Groupes de 18 tubes	
		12	20	30	20	30
Désignation . . . . .		8R12	8R20	8R30	18R20	18R30
Rayon extérieur d'un tube . . . . .	cm	1.119	1.004	0.941	1.004	0.941
Rayon du cercle des centres . . . . .	cm	2.580	2.315	2.170	2.008	1.882
Rayon extérieur du tube d'aluminium . . . . .	cm	4.350	3.970	3.760	5.670	5.355
Section de l'uranium . . . . .	cm <sup>2</sup>	14.59	8.74	5.82	19.66	13.09
Section du réfrigérant . . . . .	cm <sup>2</sup>	10.62	10.62	10.62	23.89	23.89
Section du zirconium . . . . .	cm <sup>2</sup>	6.27	5.98	5.82	13.45	13.10
Section de l'aluminium . . . . .	cm <sup>2</sup>	4.03	3.67	3.47	5.27	4.98
Section de l'isolant . . . . .	cm <sup>2</sup>	7.64	6.92	6.52	10.12	9.53
Section de la poudre de graphite . . . . .	cm <sup>2</sup>	16.32	13.59	12.17	28.61	25.51
Constante de dissipation . . . . .	cm <sup>-3</sup>	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10

<sup>1</sup> P. de Haller et A. F. Fritzsche : Sulzer Project for a Prototype Heavy Water Power Reactor for Location in an Underground Cavern. 2<sup>e</sup> Conférence internationale pour les applications pacifiques de l'énergie atomique, Genève (1958), rapport n° 246.

d'uranium de chaque barre, la distance entre barres et leur nombre dans l'élément, finalement la distance entre éléments dans le réseau.

### Conditions thermiques

Il est difficile, en raison de la variété des données, de se faire une image d'ensemble claire des propriétés physiques de différentes formes d'éléments. Du fait cependant que ces éléments sont étudiés en vue de leur utilisation dans un réacteur de puissance, il est possible, sur la base de considérations thermiques, de restreindre le nombre et le domaine de variation des paramètres. Ce sont en premier lieu des limitations thermiques absolues qui, si elles ne sont pas respectées, peuvent conduire à des dommages mécaniques irréversibles :

- la température maximum dans la matière fissile, donnée par les changements de phase dans l'uranium ;
- la sollicitation maximum, fixée par la plus grande contrainte admissible dans l'uranium ;
- le flux de chaleur superficiel maximum, fixé par les sollicitations thermiques dans la gaine de zirconium et par la pression nécessaire à empêcher toute ébullition locale.

Dans le domaine des puissances spécifiques considérées, c'est, de ces trois conditions, la dernière qui est déterminante pour le dimensionnement. Sa valeur est encore discutée. Dans ce qui suit, nous avons adopté une valeur constante de 100 Watt/cm<sup>2</sup>. Une valeur plus grande est concevable ; elle nécessiterait auparavant une confirmation par l'expérience.

Afin de réduire encore le nombre des paramètres, une autre grandeur, permettant une comparaison objective entre les différentes formes d'éléments, est introduite :  $\psi$ , dissipation de puissance, définie comme le rapport de la puissance des pompes  $N$  à la puissance thermique transmise  $Q$ . A la condition sur le flux de chaleur superficiel, nous imposerons de plus que tous les éléments envisagés auront même valeur de  $\psi$  et de  $\Delta T/L$  (échauffement du réfrigérant par unité de longueur de l'élément). On obtient ainsi la section du réfrigérant d'éléments comparables, comme le montrent les relations suivantes :

$$\text{Puissance des pompes : } N = c \cdot f_k \cdot \Delta p$$

$$\text{Perte de charge : } \Delta p = \zeta \cdot \frac{L}{d_h} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot c^2$$

$$\text{Diamètre hydraulique } d_h = \frac{4 \cdot f_k}{U_b}$$

$$\text{Bilan thermique : } Q = U_b \cdot L \cdot q = c \cdot f_k \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

d'où l'on tire, après élimination de la vitesse  $c$ , la dissipation :

$$\psi = \frac{N}{Q} = \frac{\zeta}{8} \frac{1}{\rho^2 c_p^3} \cdot \frac{U_k^2 \cdot U_b}{f_k^3} \cdot \left( \frac{L}{\Delta T} \right)^3$$

avec les notations :

$\zeta$  : Coefficient de frottement des tuyaux.

$\rho$  : Densité du réfrigérant.

$c_p$  : Chaleur spécifique du réfrigérant.

$U_k$  : Périmètre transmettant la chaleur.

$U_b$  : Périmètre en contact avec le réfrigérant.

$f_k$  : Section du réfrigérant.

$q$  : Flux de chaleur superficiel moyen.

$L$  : Longueur de l'élément.

$\Delta T$  : Différence de température sur  $L$ .

$c$  : Vitesse du réfrigérant.

$\psi$  : Dissipation de puissance.

$Q$  : Puissance thermique transmise.

La relation pour la dissipation  $\psi$  montre que la géométrie de l'élément s'exprime par le facteur

$$\frac{U_k^2 \cdot U_b}{f_k^3}$$

que nous appellerons constante de dissipation.

### Choix des éléments

L'introduction des conditions thermiques précitées permet de caractériser aussi bien les éléments à groupes de barres que les éléments à groupes de tubes par deux paramètres. L'un est le nombre des subéléments par groupe qui, pour des configurations symétriques et compactes, n'est susceptible de prendre que quelques valeurs. L'autre est la puissance spécifique  $\epsilon$  (Watt par gramme de combustible), proportionnelle à la section d'uranium (à flux de chaleur superficiel constant).

Les calculs de buckling ont été exécutés pour 10 éléments différents. La figure 1 contient les caractéristiques du type à groupes de barres avec 7 et 19 barres respectivement. Les dimensions géométriques correspondant aux puissances spécifiques  $\epsilon = 12, 20$  et  $30$  Watt/gr sont données en détail dans le tableau de la figure 1. Les éléments contiennent le matériel de gainage nécessaire, ainsi qu'un tube isolant séparant thermiquement le réfrigérant du modérateur.

La figure 2 montre les caractéristiques des éléments à groupes de tubes composés de 8 et 18 tubes respectivement. Le nombre pair des tubes a été choisi afin d'avoir un système de refroidissement en épingle à cheveux. La poudre de graphite figurée entre les tubes d'un groupe est un matériau de bourrage destiné à empêcher les pertes axiales de neutrons par streaming. Les dimensions géométriques sont résumées dans le tableau de la figure 2 pour les mêmes puissances spécifiques  $\epsilon = 12, 20$  et  $30$  Watt/gr.

### Calculs de réseaux

Nous avons maintenant à calculer le buckling matériel des éléments ainsi définis, en fonction du rapport volumétrique modérateur à uranium. Dans le cadre de cet aperçu, il ne nous est pas possible de donner une justification des méthodes de calcul utilisées. Nous nous contenterons ci-après d'en donner un résumé et renvoyons à la littérature pour plus de détails.

*Probabilité d'échapper à l'absorption de résonance  $p$  (resonance escape probability)*

Nous calculons le facteur  $p$  d'après Critoph<sup>2</sup> selon l'expression :

$$(1 - p) = (1 - p_0) (1 + A_1 + A_2 + \dots)$$

<sup>2</sup> E. Critoph : Comparison of Theory and Experiment for Lattice Properties of  $D_2O-U$  Reactors AECL-350, Chalk River (1956).

où  $(1 - p_0)$  est la probabilité pour qu'un neutron soit absorbé dans les résonances de l'élément où il est émis, les coefficients  $A_1, A_2, \dots$  mesurant les probabilités relatives d'absorption du neutron considéré dans les autres éléments du réseau. Ces derniers sont donnés par les rapports

$$A_i = n(r_i) \frac{q_L(r_i, E_R)}{q_L(O, E_R)}, \text{ avec les notations}$$

$n(r_i)$  = nombre des éléments à la distance  $r_i$  de l'élément considéré ;

$q_L(r_i, E_R)$  = densité par modération (slowing down density), à l'énergie de résonance  $E_R$ , pour une source filiforme de neutrons de fission située en  $r = O$ .

Concernant la détermination semi-expérimentale de la grandeur  $q$  dans un modérateur à  $D_2O$  et le calcul du terme  $(1 - p_0)$ , nous renvoyons à l'article de Critoph<sup>2</sup>.

Le problème de l'absorption de résonance dans des éléments fractionnés est un facteur d'incertitude important. Nous avons pour l'intégrale de résonance :

$$J_{\text{eff}} = a \left[ 1 + \mu \frac{S_{\text{eff}}}{M} \right]$$

où le premier terme caractérise l'absorption en volume, le deuxième l'absorption de surface.  $a$  et  $\mu$  sont deux constantes matérielles ayant les dimensions  $\text{cm}^2$  et  $\text{g/cm}^2$  respectivement ;  $M$  est la masse d'uranium et  $S_{\text{eff}}$  la surface effective d'absorption des neutrons de résonance, par unité de longueur de l'élément. Celle-ci, en raison d'effets d'écran de surfaces avoisinantes, se compose de la surface extérieure effective et des surfaces intérieures effectives. Nous utilisons la relation :

$$S_{\text{eff}} = S_e + \sum_{\lambda} \alpha_{\lambda} (S_i)_{\lambda}, \text{ avec}$$

$S_e$  Surface extérieure (effective) de l'élément.

$\lambda$  Index numérotant les surfaces intérieures.

$(S_i)_{\lambda}$  Surface intérieure  $\lambda$ .

$\alpha_{\lambda} = \left( \frac{A_i}{A_e} \right)_{\lambda}$  et

$(A_i)_{\lambda}$  Coefficient d'absorption de résonance de la surface intérieure  $\lambda$ .

$A_e$  Coefficient d'absorption de résonance de la surface extérieure.

Pour le calcul des coefficients  $A_i, A_e$ , nous renvoyons à la publication ci-dessous<sup>3</sup>.

#### Utilisation thermique f

Le facteur  $f$  est calculé en réduisant les éléments au modèle suivant (fig. 3) :

$O$  : Zone combustible, considérée comme un mélange homogène des matériaux qui la composent (uranium, zirconium, réfrigérant, etc.)

<sup>3</sup> P. Lehmann, R. W. Meier et J. P. Schneeberger : *Les propriétés physiques de quelques éléments composés, dans des réacteurs du type U-D<sub>2</sub>O*. 2<sup>e</sup> Conférence internationale pour les applications pacifiques de l'énergie atomique, Genève (1958), rapport n° 245.

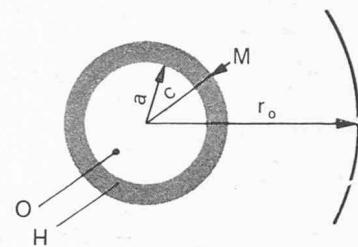


Fig. 3. — Modèle pour le calcul du facteur  $f$ .

$H$  : Zone annulaire, tenant compte des tubes extérieurs

$M$  : Modérateur

$r_o$  : Rayon équivalent de la cellule.

Posant  $V_0 = \pi a^2$ ,  $V_H = \pi (c^2 - a^2)$ ,  $V_M = \pi (r_o^2 - c^2)$ , on a les relations :

$$\frac{1}{f} = \frac{\Sigma_a, o V_o}{\Sigma_a, u V_u} (1 + H + M), \text{ avec}$$

$$H = \frac{\Sigma_a, H V_H}{\Sigma_a, o V_o} < \varnothing_H >, \quad M = \frac{\Sigma_a, M V_M}{\Sigma_a, o V_o} < \varnothing_M >,$$

où les  $\Sigma_a, i$  signifient les sections macroscopiques d'absorption de la zone ( $i$ ). Pour  $H$  et  $M$ , nous utilisons les expressions :

$$H = \frac{\Sigma_a, H V_H}{\Sigma_a, o V_o} \cdot (G + \delta_1)$$

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \text{ avec}$$

$$M_1 = \frac{\Sigma_a, M V_M}{\Sigma_a, o V_o} \cdot (G + \delta_2)$$

$$M_2 = \left( \frac{c}{L_M} \right)^2 \cdot F(w'), F(w') = \frac{1}{2} \left[ \frac{w'^4}{w'^2 - 1} \ln w' - \frac{3}{4} w'^2 + \frac{1}{4} \right]$$

$$M_3 = \frac{r_o^2 - c^2}{c} \Sigma_a, M \left( \frac{3}{2} \lambda - 1 \right).$$

Dans ces formules,  $G$  est le rapport du flux en  $r = a$  sur le flux moyen dans l'élément (disadvantage factor), que nous calculons d'après Amouyal, Benoist et Horowitz<sup>4</sup> ;

$$G = 1 + A \frac{\Sigma_a, o}{\Sigma_t, o} \cdot \left[ 1 + \alpha \frac{\Sigma_s, o}{\Sigma_t, o} + \beta \left( \frac{\Sigma_s, o}{\Sigma_t, o} \right)^2 \right]$$

$A$ ,  $\alpha$  et  $\beta$  sont des fonctions du paramètre  $a$ .  $\Sigma_t, o$ ,  $\lambda$  la longueur d'extrapolation du corps noir,  $\delta_1$  et  $\delta_2$  des termes correctifs tenant compte de l'épaisseur de la zone  $H$ .

#### Calcul du buckling matériel

La longueur de diffusion thermique est calculée d'après la formule

$$L_{\text{th}}^2 = \sum_i f_i L_{i, \text{th}}^2$$

où  $f_i$  est l'utilisation thermique de la composante ( $i$ ),  $L_{i, \text{th}}^2$  la longueur de diffusion correspondante.

<sup>4</sup> A. Amouyal, P. Benoist et J. Horowitz : *Nouvelle méthode de détermination du facteur d'utilisation thermique d'une cellule*. J. Nuclear Energy 6, 79 (1957).

L'âge (Fermi-age) des neutrons de fission dans le réseau est obtenu comme moyenne géométrique des âges des différents constituants. Une correction a été introduite dans l'âge du modérateur pour tenir compte des chocs inélastiques que subissent les neutrons rapides dans l'uranium.

Pour le facteur de fission rapide  $\epsilon$ , nous avons utilisé la méthode proposée par Spinrad<sup>5</sup>, en réduisant les éléments considérés à des éléments homogènes équivalents.  $\eta$ , gain de neutrons dans l'uranium, est calculé sur la base des valeurs actuellement admises pour le noyau  $U_{235}$ , sous l'hypothèse d'une distribution purement maxwellienne des vitesses neutroniques.

Finalement, le buckling matériel  $B_m^2$  est calculé en théorie à deux groupes de neutrons, d'après l'expression connue

$$\epsilon \cdot p \cdot f \cdot \eta = k = (1 + L_{th}^2 B^2) (1 + L_s^2 B^2).$$

## Résultats

Le calcul du buckling matériel en fonction du rapport volumétrique modérateur à uranium, à différentes températures du modérateur et du réfrigérant et à différents enrichissements, est d'une ampleur telle que le recours à la machine à calculer électronique est indispensable. Pour cette raison, un programme pour la machine digitale IBM 650 a été établi. Il contient cinq entrées indépendantes, soit respectivement : température du réfrigérant et du modérateur, enrichissement, empoisonnement et pas du réseau. Les sections efficaces de l'uranium, approximées par des polynômes, sont incluses dans le programme, de sorte que celui-ci donne le buckling sans calculs intermédiaires. La figure 4 montre la structure de l'organigramme de ce programme.

Une comparaison importante est celle des buckling à la charge spécifique effective, à la concentration stationnaire en xénon et samarium, et aux températures

<sup>5</sup> B. I. Spinrad : *Fast Effect in Lattice Reactors*. Nuclear Science and Engineering, 1, 455 (1956).

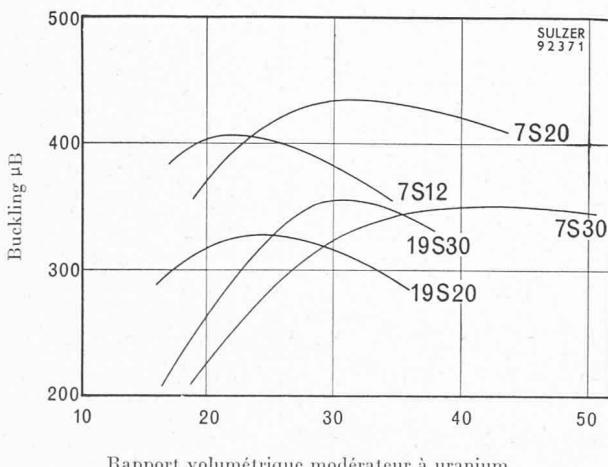


Fig. 5. — Buckling des éléments à groupes de barres, à la puissance nominale.

Modérateur : D<sub>2</sub>O, à 80° C  
Réfrigérant : D<sub>2</sub>O, à 200° C  
Combustible : Uranium naturel  
Réseau : Quadratique

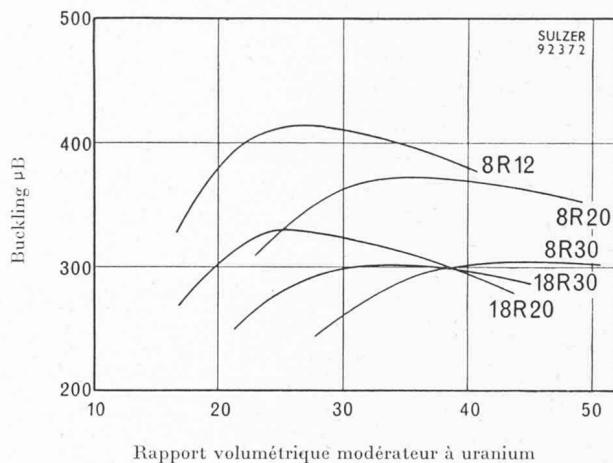


Fig. 6. — Buckling des éléments à groupes de tubes, à la puissance nominale.

Modérateur : D<sub>2</sub>O, à 80° C  
Réfrigérant : D<sub>2</sub>O, à 200° C  
Combustible : Uranium naturel  
Réseau : Quadratique

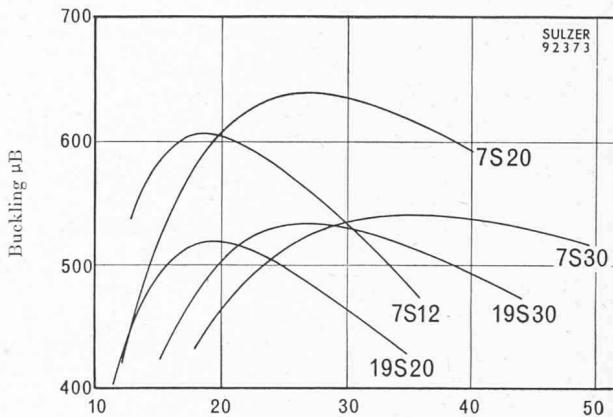


Fig. 7. — Buckling des éléments à groupes de barres, à la puissance zéro.

Modérateur et  
réfrigérant : D<sub>2</sub>O, à 20° C  
Combustible : Uranium naturel  
Réseau : Quadratique

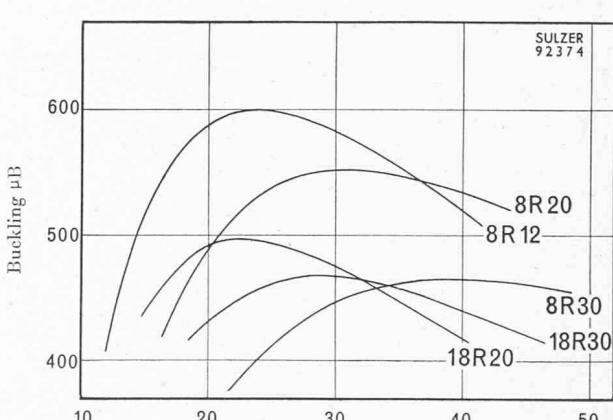
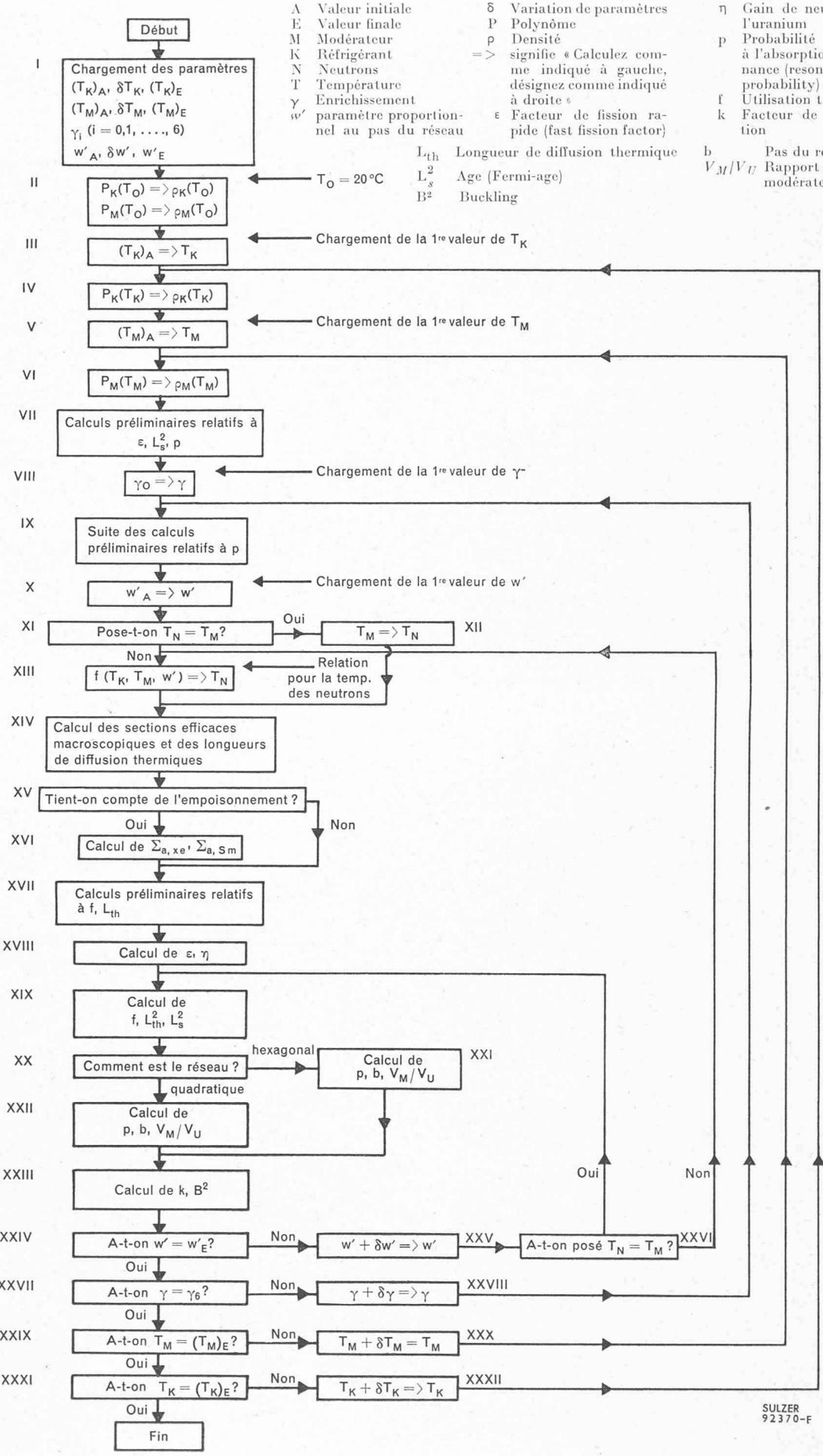


Fig. 8. — Buckling des éléments à groupes de tubes, à la puissance zéro.

Modérateur et  
réfrigérant : D<sub>2</sub>O, à 20° C  
Combustible : Uranium naturel  
Réseau : Quadratique

Fig. 4. — Structure de l'organigramme relatif au programme de calcul du buckling (calculs effectués sur IBM 650).



SULZER  
92370-F

TABLEAU 1

Buckling de l'élément 8R12 à la puissance zéro (20° C, uranium non empoisonné)

$b$	15.4	17.0	18.5	20.0	21.6	23.4	24.7
$V_M/V_U$	12.2	15.6	19.4	23.5	27.9	32.6	37.6
$\eta$	1.337	1.337	1.337	1.337	1.337	1.337	1.337
$\epsilon$	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
$p$	0.838	0.863	0.882	0.896	0.906	0.914	0.920
$f$	0.963	0.961 <sup>5</sup>	0.960	0.958	0.956	0.953	0.950 <sup>5</sup>
$k$	1.096	1.128	1.150	1.166	1.177	1.184	1.188
$L_{th}^2$ (cm <sup>2</sup> )	69.9	86.0	104.3	124.7	147.3	172.2	199.3
$L_s^2$ (cm <sup>2</sup> )	455.4	488.8	444.3	441.1	438.6	436.6	435.0
$B^2$ ( $\mu B$ )	418	530	585	601	593	570	539

Modérateur et réfrigérant : D<sub>2</sub>O, à 20° C  
 Combustible : Uranium naturel  
 Réseau : Quadratique  
 $b$  : Pas du réseau  
 $V_M/V_U$  : Rapport volumétrique modérateur à uranium  
 $1 \mu B$  : 10<sup>-6</sup> cm<sup>-2</sup>

d'équilibre. La représentation de ces valeurs en fonction du rapport volumétrique modérateur à uranium ressort de la figure 5 pour les éléments à groupes de barres, de la figure 6 pour les éléments à groupes de tubes.

Une image de la réactivité initiale peut être déduite de la comparaison de ces valeurs à celles à puissance zéro (20° C, uranium non empoisonné). Les buckling

correspondants sont représentés aux figures 7 et 8.

Afin de permettre une comparaison avec d'autres structures d'éléments que celles envisagées ici, nous donnons dans le tableau ci-dessus le détail des constantes calculées de l'élément type 8R12, à puissance zéro (20° C, uranium non empoisonné), en fonction du rapport volumétrique modérateur à uranium.

## LE COÛT DES PETITES STATIONS D'ÉPURATION BIOLOGIQUE PARTIELLE DES EAUX USÉES

par M. YVES MAYSTRE, ingénieur EPF

Dans tous les pays fortement industrialisés les problèmes de l'assainissement sont à l'ordre du jour, tant pour des raisons d'hygiène sociale que pour des impératifs économiques, et nous pensons ici à la difficulté croissante à trouver de l'eau potable. L'épuration des eaux usées domestiques et industrielles est au premier plan des soucis des services publics, car c'est à ces derniers que revient la lourde tâche de réaliser un programme d'assainissement à l'échelle cantonale et fédérale.

Un plan d'assainissement doit être basé sur des données générales sans doute, mais concrètes et précises, tant techniques que légales et financières. En particulier, toutes les données générales concernant le coût de stations d'épuration des eaux usées sont autant de données précieuses pour l'élaboration d'un tel plan.

Dans de nombreux ouvrages, la courbe représentant le coût par habitant des stations d'épuration, en fonction du nombre d'habitants raccordés, est l'expression d'une fonction exponentielle. Pour de petites stations, ces courbes représentent des incertitudes appréciables quand elles ne sont pas tout simplement interrompues. Pourtant le coût de petites stations d'épuration est un

élément important des plans d'assainissement d'un pays comme la Suisse, comptant de nombreuses agglomérations de 1000 à 5000 habitants. L'étude ci-dessous concerne précisément le coût de stations d'épuration desservant moins de 5000 habitants.

\* \* \*

La description des installations construites en Suisse jusqu'en 1952 a été fournie par un numéro spécial du *Baublatt*<sup>1</sup>. Les installations construites après cette date ont été décrites dans de nombreux journaux locaux, dans des périodiques techniques, de même que dans des feuilles publiées par le VSA (ASPEE). Au cours du dépouillement des données de base, nous avons constaté que les différents facteurs de la construction n'influençaient guère le résultat général : pour certaines stations, le coût des fondations est anormalement élevé, à cause du mauvais terrain ; c'est le cas de Rapperswil et d'Yverdon, notamment. Pour d'autres, une disposition imposée pour les ouvrages, ou bien la nécessité

<sup>1</sup> Schweizer Baublatt, Sondernummer 9 mai 1952, Gewässerschutz und Abwasserreinigungsanlagen.