Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 84 (1958)

Heft: 25

Artikel: Comparaison de propriétés physiques de quelques types d'éléments combustibles

Autor: Lehmann, P. / Meier, R.W. / Schneeberger, J.-P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-63513

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: 09.07.2025

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

84e année Lausanne, 6 décembre 1958 N° 25

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. Grosgurin, 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 [1]. 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

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

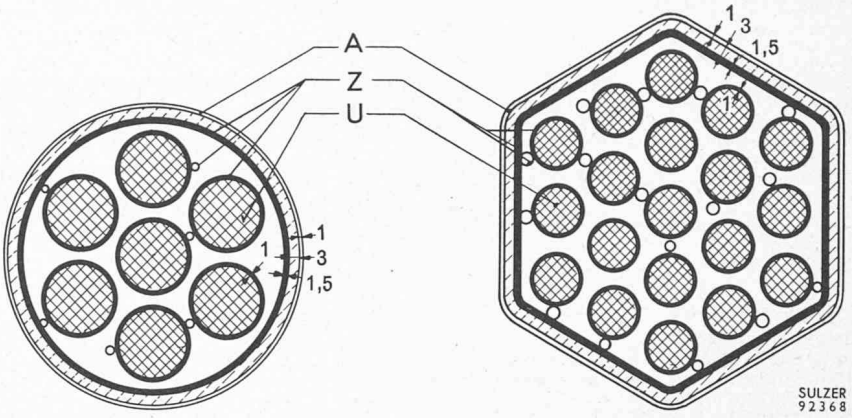

Fig. 1. — Données géométriques des éléments à groupes de barres.
A Aluminium Z Zirconium U Uranium

Puissance spécifique à 100 W/cm²	Watt par g uranium	Groupes de 7 barres 12	20	30	Groupes de 19 barres 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	cm²	21.21	8.48	4.22	23.02	11.45
Section du réfrigérant	cm²	18.21	12.48	9.60	33.15	25.75
Section du zirconium	cm²	8.54	6.21	5.05	15.50	12.81
Section de l'aluminium	cm²	2.67	2.07	1.76	3.40	2.87
Section de l'isolant	cm²	7.65	5.83	4.90	9.76	8.21
Constante de dissipation	cm⁻³	28.88	29.20	29.10	29.00	28.20

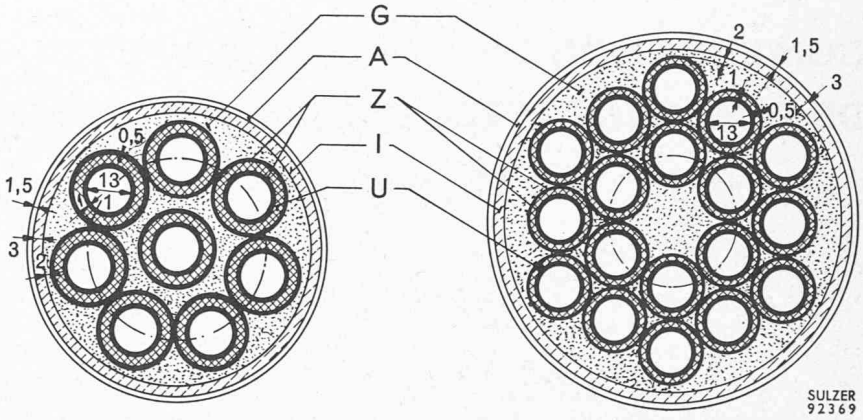

Fig. 2. — Données géométriques des éléments à groupes de tubes.
G Poudre de graphite A Aluminium Z Zirconium I Isolant U Uranium

Puissance spécifique à 100 W/cm²	Watt par g uranium	Groupes de 8 tubes 12	20	30	Groupes de 18 tubes 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	cm²	14.59	8.74	5.82	19.66	13.09
Section du réfrigérant	cm²	10.62	10.62	10.62	23.89	23.89
Section du zirconium	cm²	6.27	5.98	5.82	13.45	13.10
Section de l'aluminium	cm²	4.03	3.67	3.47	5.27	4.98
Section de l'isolant	cm²	7.64	6.92	6.52	10.12	9.53
Section de la poudre de graphite	cm²	16.32	13.59	12.17	28.61	25.51
Constante de dissipation	cm⁻³	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10

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/cm². 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 : ψ, 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 ψ 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 :

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

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

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

Bilan thermique : $Q = U_k \cdot L \cdot q = c \cdot f_k \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$

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

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

avec les notations :

ζ : Coefficient de frottement des tuyaux.
ρ : 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.
ΔT : Différence de température sur L.
c : Vitesse du réfrigérant.
ψ : Dissipation de puissance.
Q : Puissance thermique transmise.

La relation pour la dissipation ψ 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 ε (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 ε = 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 ε = 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 contentons 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* [2] selon l'expression :

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

[2] *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, ... 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* [2].

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 μ sont deux constantes matérielles ayant les dimensions cm^2 et g/cm^2 respectivement ; M est la masse d'uranium et S_{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.

λ Index numérotant les surfaces intérieures.

$(S_i)_\lambda$ Surface intérieure λ.

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

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

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 [3].

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.)

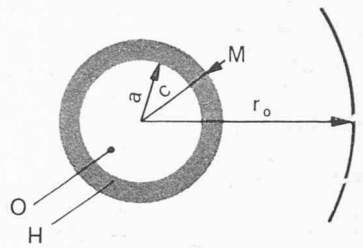

Fig. 3. — Modèle pour le calcul du facteur f.

H : Zone annulaire, tenant compte des tubes extérieurs

M : Modérateur

r_0 : 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 :

$$\frac{1}{f} = \frac{\Sigma_{a,\,O} V_O}{\Sigma_{a,\,U} V_U}\,(1 + H + M), \text{ avec}$$

$$H = \frac{\Sigma_{a,\,H} V_H \;<\varnothing_H>}{\Sigma_{a,\,O} V_O \;<\varnothing_O>}, \qquad M = \frac{\Sigma_{a,\,M} V_M \;<\varnothing_M>}{\Sigma_{a,\,O} V_O \;<\varnothing_O>},$$

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* [4] ;

$$G = 1 + A\,\frac{\Sigma_{a,\,O}}{\Sigma_{t,\,O}} \cdot \left[1 + \alpha\,\frac{\Sigma_{s,\,O}}{\Sigma_{t,\,O}} + \beta\left(\frac{\Sigma_{s,\,O}}{\Sigma_{t,\,O}}\right)^2\right]$$

A, α et β sont des fonctions du paramètre $a\,.\,\Sigma_{t,\,O}$, λ la longueur d'extrapolation du corps noir, δ_1 et δ_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

$$L^2_{\text{th}} = \Sigma_i\, f_i\, L^2_{i,\,\text{th}}$$

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

[3] *P. Lehmann, R. W. Meier* et *J. P. Schneeberger : Les propriétés physiques de quelques éléments composés, dans des réacteurs du type U-D₂O.* 2e Conférence internationale pour les applications pacifiques de l'énergie atomique, Genève (1958), rapport nº 245.

[4] *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 ε, nous avons utilisé la méthode proposée par *Spinrad* [5], en réduisant les éléments considérés à des éléments homogènes équivalents. η, 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^2_m est calculé en théorie à deux groupes de neutrons, d'après l'expression connue

$$\varepsilon \cdot p \cdot f \cdot \eta = k = (1 + L^2_{th} B^2)(1 + L^2_s B^2).$$

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 inclues 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

[5] *B. I. Spinrad : Fast Effect in Lattice Reactors.* Nuclear Science and Engineering, 1, 455 (1956).

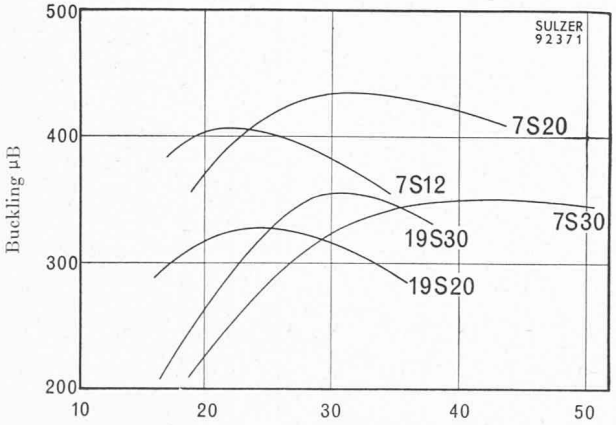

Fig. 5. — Buckling des éléments à groupes de barres, à la puissance nominale.

Modérateur : D_2O, à 80° C
Réfrigérant : D_2O, à 200° C
Combustible : Uranium naturel
Réseau : Quadratique

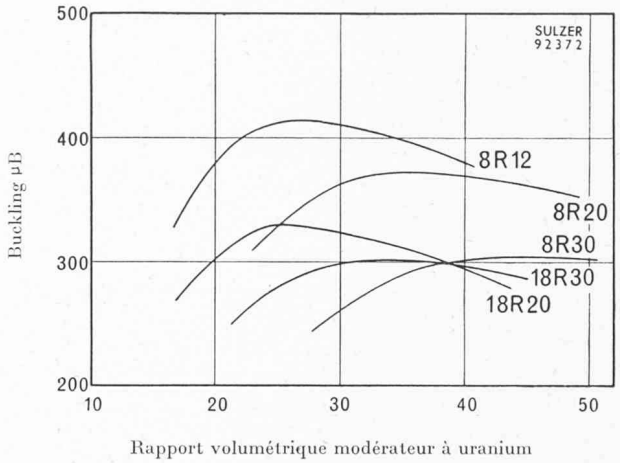

Fig. 6. — Buckling des éléments à groupes de tubes, à la puissance nominale.

Modérateur : D_2O, à 80° C
Réfrigérant : D_2O, à 200° C
Combustible : Uranium naturel
Réseau : Quadratique

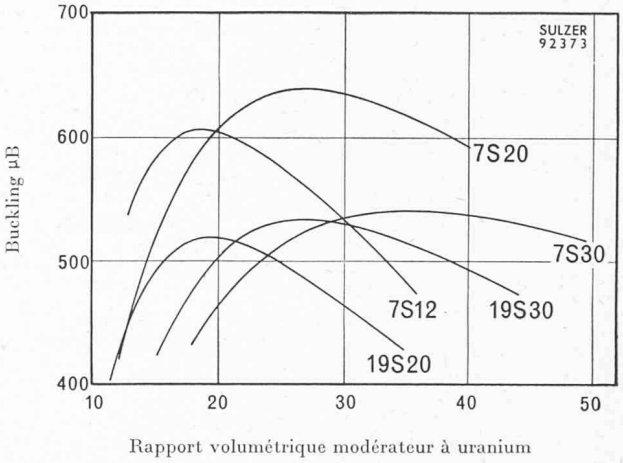

Fig. 7. — Buckling des éléments à groupes de barres, à la puissance zéro.

Modérateur et réfrigérant : D_2O, à 20° C
Combustible : Uranium naturel
Réseau : Quadratique

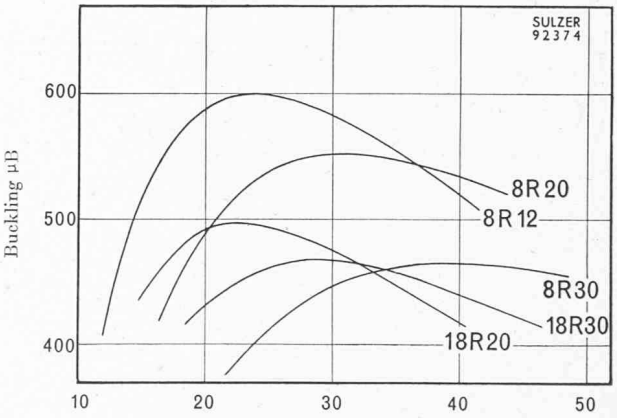

Fig. 8. — Buckling des éléments à groupes de tubes, à la puissance zéro.

Modérateur et réfrigérant : D_2O, 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).

A Valeur initiale
E Valeur finale
M Modérateur
K Réfrigérant
N Neutrons
T Température
γ Enrichissement
w' paramètre proportionnel au pas du réseau
δ Variation de paramètres
P Polynôme
ρ Densité
=> signifie « Calculez comme indiqué à gauche, désignez comme indiqué à droite »
ε Facteur de fission rapide (fast fission factor)
η Gain de neutrons dans l'uranium
p Probabilité d'échapper à l'absorption de résonance (resonance escape probability)
f Utilisation thermique
k Facteur de multiplication
L_{th} Longueur de diffusion thermique
L_s^2 Age (Fermi-age)
B^2 Buckling
b Pas du réseau
V_M/V_U Rapport volumétrique modérateur à uranium

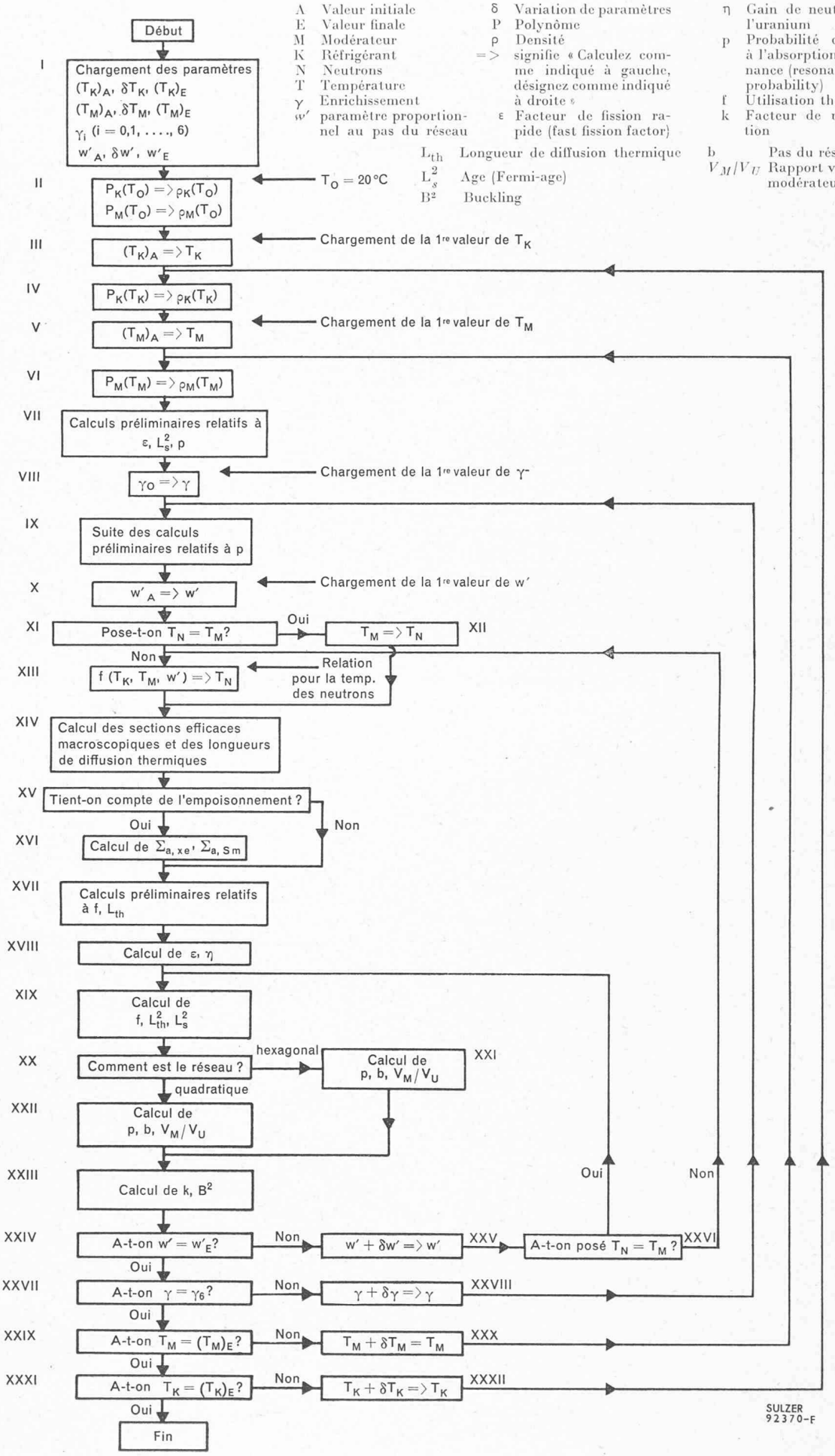

TABLEAU 1

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	23.1	24.7
V_M/V_U	12.2	15.6	19.4	23.5	27.9	32.6	37.6
η	1.337	1.337	1.337	1.337	1.337	1.337	1.337
ε	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	0.961^5	0.960	0.958	0.956	0.953	0.950^5
k	1.096	1.128	1.150	1.166	1.177	1.184	1.188
L^2_{th} (cm²)	69.9	86.0	104.3	124.7	147.3	172.2	199.3
L^2_s (cm²)	155.1	148.8	144.3	141.1	138.6	136.6	135.0
B^2 (μB)	418	530	585	601	593	570	539

Modérateur et réfrigérant : D_2O, à 20° C
Combustible : Uranium naturel
Réseau : Quadratique
b : Pas du réseau
V_M/V_U : Rapport volumétrique modérateur à uranium
1 μB : 10^{-6} cm^{-2}

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* [1]. 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

[1] *Schweizer Baublatt*, Sondernummer 9 mai 1952, Gewässerschutz und Abwasserreinigungsanlagen.