Génie Atomique

EXAMEN ÉCRIT DE NEUTRONIQUE

5 novembre 2007

Remarques :

- Durée de l'examen : 3 heures.
- Les documents de cours sont autorisés.
- Les notations non définies sont celles du "Précis de neutronique".
- Les trois problèmes sont indépendants les uns des autres.
- Barème de notation (sur un total de 20 points) :

Premier problème : 8 points (plus 3 pour la question facultative)

Question	1	2	3	4	5
Points	1	1,5	1,5	2	2

Deuxième problème : 6 points

Question	1	2	3	4	5
Points	1	1	1,5	1,5	1

Troisième problème : 6 points

Question	1	2	3	4
Points	1,5	1,5	1,5	1,5

I - Déformation de la distribution du flux neutronique après une insertion locale de réactivité

On considère un réacteur initialement homogène et ayant la forme d'une plaque infinie comprise entre les abscisses $x = -(a+b)$ et $x = a+b$. Le flux neutronique qui y règne est calculé par la théorie "un groupe - diffusion". Les distances d'extrapolation au-delà des surfaces du réacteur sont négligées.

Notations proposées :

$$\chi_i^2 = \frac{k_{\infty,i} - 1}{M^2} \quad (i = 1, 2)$$
$$u = \chi_1 a \quad ; \quad v = \chi_2 b$$

Données pour les applications numériques des questions suivantes : demi-épaisseur totale : $a+b = 120$ cm ; aire de migration : $M^2 = 58,361$ cm^2.

1/ Expliciter la condition critique de ce réacteur. Calculer la valeur du facteur de multiplication $k_{\infty,0}$ du milieu constituant le réacteur, s'il est supposé critique.

2/ Dans une zone centrale comprise entre les plans d'abscisses $x = -a$ et $x = a$ une réactivité *positive* r est introduite : le facteur de multiplication infini y est remplacé par $k'_{\infty,1} = k_{\infty,0}/(1-r)$. Dans un deuxième temps, on rétablit la criticité en introduisant uniformément dans tout le réacteur une réactivité *négative* ρ ; finalement, donc, le facteur de multiplication dans la zone centrale sera $k_{\infty,1} = k_{\infty,0}/[(1-r)(1-\rho)]$ et dans les zones externes $k_{\infty,2} = k_{\infty,0}/(1-\rho)$. Expliciter l'équation donnant la condition critique qui relie implicitement r et ρ.

3/ Il se trouve que la réactivité ρ est égale à $-1\,000$ pcm. Vérifier qu'alors $k_{\infty,2}$ est exactement égal à 1. Expliciter la condition critique pour ce cas particulier. (On pourra, au choix, la déduire de la condition critique obtenue en **2** ou reprendre les équations de la diffusion pour ce cas. On ne cherchera pas à résoudre l'équation implicite obtenue.)

4/ Toujours pour ce cas particulier, expliciter les flux dans la zone centrale et dans les zones externes, et donner l'expression du facteur de forme $F = \Phi_{\text{maximum}}/\Phi_{\text{moyen}}$ où Φ est le flux et où la moyenne est calculée sur tout le réacteur.

5/ *Applications numériques :* calculer r et F, pour $\rho = -1\,000$ pcm et les valeurs suivantes du rapport a/b :

$$\frac{\pi\sqrt{3}}{18}\ ;\ \frac{\pi}{4}\ ;\ \frac{\pi\sqrt{3}}{3}.$$

Quelles sont les valeurs limites de F lorsque a tend vers zéro et lorsque b tend vers zéro ?

6/ Question facultative : reprendre l'ensemble du problème pour un réacteur de forme *sphérique*.

II - Prise en compte des photo-neutrons

Dans les réacteurs à eau lourde ou à béryllium, on observe, outre les neutrons retardés usuels, des photo-neutrons résultant des réactions (γ, n) sur les noyaux de deutérium ou de béryllium. Comme une partie des rayonnements γ provenant de la fission sont émis de façon différée par des produits de fission, ces photo-neutrons sont également en partie émis de façon différée. Dans l'ouvrage *Introduction à la cinétique des réacteurs* de Daniel Rozon, neuf groupes de photo-neutrons sont introduits, outre les six groupes usuels de neutrons retardés. Ici, nous simplifierons l'analyse en considérant un seul groupe pour les neutrons retardés usuels et un seul groupe pour les photo-neutrons ; les valeurs numériques qui les caractérisent sont données dans le tableau ci-dessous (pour les photo-neutrons, elles sont relatives à un réacteur à eau lourde de type CANDU). Le problème qui suit sera traité par le modèle de la cinétique ponctuelle.

Type des neutrons retardés	Proportion β (pcm)	Période T (s)	Constante radioactive λ (s^{-1})
Neutrons retardés usuels	679	7,84	0,0884
Photo-neutrons	33	1005	0,00069

1/ En supposant, comme on le fait usuellement, que la durée de vie moyenne du neutron libre, θ, peut s'écrire $\theta = k\ell$, où k est le facteur de multiplication et ℓ la durée de vie moyenne pour le réacteur critique, écrire les équations de la cinétique ponctuelle avec ces deux populations de neutrons retardés. Pour les applications numériques, on supposera que ℓ est négligeable.

2/ Expliciter l'équation de Nordheim associée à ces équations.

3/ Expliciter, pour le mode dominant, la dérivée $d\omega/d\rho$ au voisinage de la réactivité nulle. Comparer les valeurs numériques sans et avec les photo-neutrons.

4/ Pour une réactivité nulle, calculer numériquement les autres racines de l'équation de Nordheim, sans et avec les photo-neutrons.

5/ Indiquer qualitativement comment est modifié le comportement asymptotique du flux neutronique lorsque les photo-neutrons sont pris en compte.

III - "Échelle" de résonances

On considère un problème de ralentissement pur traité par le modèle "hydrogène". La section efficace macroscopique de diffusion, Σ_s est constante en léthargie. La section efficace macroscopique d'absorption est une "échelle" infinie de résonances, régulièrement réparties à raison de n résonances par unité de léthargie. Chaque résonance est assimilée à une "fenêtre" de largeur γ en léthargie dans laquelle la section efficace macroscopique d'absorption a une valeur constante Σ_a ; en dehors de ces "fenêtres", la section efficace d'absorption est nulle.

1/ Calculer la probabilité p qu'un neutron échappe à la capture entre deux léthargies séparées par une unité de léthargie (c'est-à-dire n résonances).

2/ Calculer la section efficace effective d'absorption, $\Sigma_{a,\text{eff}}$, qui donnerait la même probabilité p si la section efficace macroscopique d'absorption était constante en léthargie et égale à $\Sigma_{a,\text{eff}}$.

3/ Comparer $\Sigma_{a,\text{eff}}$ à la moyenne $\bar{\Sigma}_a$ de la section efficace macroscopique d'absorption. Mettre en évidence l'effet d'autoprotection des résonances.

4/ *Application numérique :* $n = 10$; $\gamma = 0,004$; $\Sigma_a/\Sigma_s = 100$; $\Sigma_s = 1$ (avec l'unité de longueur choisie). Calculer $\Sigma_{a,\text{eff}}$ et $\bar{\Sigma}_a$, ainsi que la probabilité d'échapper à l'absorption pour le ralentissement sur 7 unités de léthargie.

■