Génie Atomique

EXAMEN ÉCRIT

Neutronique (bases de physique neutronique)

3 novembre 2004

Remarques :

- Durée de l'examen : 3 heures.
- Les documents de cours ne sont pas autorisés.
- Le premier problème est indépendant du deuxième.
- Les questions **2** et **3** du deuxième problème sont indépendantes.
- Barème de notation (sur un total de 20 points) :

Premier problème : 7 points

1a	1b	1c	1d	2	3	4	5
0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,5	1,5	1

Deuxième problème : 13 points (plus 3 pour les questions facultatives)

1	2a	2b	2c	2d	2e	2f	3a	3b	3c	3d
2	2	1,5	1,5	1	1	(1)	2	2	(2)	(2)
							1,5	1,5	1	

I - Comparaison de divergences par “ créneau ” et par “ rampe ”

À partir d'une situation critique à l'équilibre, on veut faire diverger un réacteur pour accroître sa puissance. On hésite entre deux méthodes pour introduire de la réactivité :

— la méthode du “ créneau ” consistant à introduire de façon supposée instantanée une réactivité positive, puis à la maintenir constante pendant un certain temps jusqu'au retour à la criticité ;

— la méthode de la “ rampe ” consistant à introduire progressivement de façon supposée proportionnelle au temps t une réactivité positive $\rho = \pi t$ (où π est une constante), puis de revenir à la criticité au bout d'un certain temps.

On se propose de comparer ici ces deux scénarios en utilisant le modèle de cinétique lente avec un seul groupe de neutrons retardés.

Données pour les applications numériques :

- Proportion des neutrons retardés : $\beta = 679$ pcm.
- Constante de décroissance radioactive des précurseurs : $\lambda = 0{,}0884$ s^{-1}.

1/ Établissement du modèle.

a/ Écrire les équations de la cinétique ponctuelle avec un seul groupe de neutrons retardés donnant l'évolution pour un facteur de multiplication k. On introduira la réactivité ρ et on écrira le temps de vie θ sous la forme $\theta = \ell k$ en supposant ℓ indépendant de k.

b/ Remplacer dans ces équations la fonction inconnue n (nombre de neutrons) par la fonction inconnue $\alpha = n/\ell$; quelle est l'interprétation physique de α ?

c/ Faire tendre ℓ vers zéro.

d/ Écrire l'équation différentielle régissant dans ces conditions la concentration c des précurseurs.

2/ Résoudre cette équation différentielle pour le scénario “ créneau ” et en déduire l'évolution de la puissance normalisée à la puissance initiale, $p(t)/p(0)$. (Remarque : on négligera le “ saut prompt ” au moment de l'insertion de réactivité.)

3/ Résoudre cette équation différentielle pour le scénario " rampe " et en déduire l'évolution de la puissance normalisée à la puissance initiale, $p(t)/p(0)$.

4/ Calculer les valeurs de, respectivement, ρ et π de façon que la puissance soit doublée au bout d'une minute.

5/ Comparer les deux scénarios aux instants 30 s, 90 s, 120 s, 150 s et 180 s. Commenter les résultats.

II - Effet d'un absorbant sur la distribution de puissance

On place des absorbants dans les réacteurs pour réduire la réactivité lorsque que cela est nécessaire ; mais outre cet effet en réactivité, ils modifient la distribution de puissance. C'est ce deuxième aspect qui est examiné ici.

Dans un premier temps, c'est la distribution de puissance dans les assemblages d'un réseau infini et régulier qui sera examinée ; dans un deuxième temps, c'est la distribution de puissance d'un cœur qui sera examinée.

Dans les deux cas, la géométrie réelle est remplacée par une géométrie plane (problème ne dépendant que de x, les milieux étant infinis selon y et z).

L'absorbant ou les absorbants sont assimilés à des plaques infiniment minces, supposées, dans les deux cas, placées sur des plans de symétrie, et caractérisées par leur albédo β, nombre de neutrons sortant par unités de surface et de temps rapporté au nombre de neutrons entrant par unités de surface et de temps.

Les autres matériaux constituant les assemblages dans le premier cas ou le cœur dans le second cas sont supposés constituer un milieu homogène.

La migration des neutrons est traitée par l'approximation de la diffusion. Dans le problème du réseau d'assemblages, on s'intéresse au flux des neutrons thermiques seulement ; le flux des neutrons épithermiques — et donc les sources des neutrons thermiques — sont supposés uniformes en espace. Dans le problème du cœur, on utilise un groupe unique pour traiter l'ensemble des neutrons.

Les notations non définies ont leur signification habituelle.

1/ *Dérivée logarithmique du flux au niveau d'une plaque absorbante.* Exprimer en fonction de l'albédo β de la plaque et du coefficient de diffusion D du milieu environnant les dérivées logarithmiques $(d\Phi/dx)/\Phi$ à droite et à gauche de la plaque (on rappelle que le plan où se trouve la plaque est un plan de symétrie) ; on notera Λ la valeur absolue de cette dérivée logarithmique ; on rappelle qu'en approximation de la diffusion les courants traversant dans chaque sens un élément de surface unité perpendiculaire à une direction N sont donnés par les formules :

$$J_+ = \frac{\Phi}{4} - \frac{D}{2}\frac{\partial \Phi}{\partial N} \quad \text{et} \ : \ J_- = \frac{\Phi}{4} + \frac{D}{2}\frac{\partial \Phi}{\partial N}.$$

2/ *Problème du réseau d'assemblages (problème de la « palissade » infinie).* Le milieu diffusant et absorbant occupe tout l'espace ; il est alimenté par une source uniforme d'intensité q (nombre de neutrons émis par unités de volume et de temps) ; les plaques absorbantes ~~sont~~ y sont régulièrement disposées et espacées d'une distance $2e$ l'une de l'autre. On traitera le problème pour $0 \leq x \leq e$, le plan $x = 0$ étant un plan médian entre deux plaques absorbantes et le plan $x = e$ étant occupé par une plaque ; ces deux plans sont des plans de symétrie.

a/ Écrire l'équation de la diffusion régissant le flux des neutrons et donner sa solution générale. Déterminer les constantes d'intégration en tenant compte des conditions aux limites, symétrie en $x = 0$ et dérivée logarithmique du flux égale à Λ en valeur absolue en $x = e$. (On pourra utiliser dans les formules la grandeur κ défini comme la racine carrée de Σ_a/D.)

b/ Calculer le facteur d'utilisation des neutrons, f, défini comme le rapport entre le nombre de neutrons absorbés dans le milieu entre les plaques absorbantes et le nombre de neutrons émis. (On pourra déterminer f soit en calculant le produit de la section efficace d'absorption par l'intégrale du flux, soit en calculant le courant net en $x = e$.)

c/ Calculer le facteur de forme F défini comme le rapport entre le flux maximum et le flux moyen.

d/ En éliminant Λ entre les expressions de F et f, exprimer F en fonction de f, e et κ.

e/ Examiner les valeurs extrêmes de F lorsque e tend vers zéro et vers l'infini. Calculer F pour $f = 0,7$ (ordre de grandeur pour un assemblage de REP contenant une grappe de commande) et les valeurs suivantes de κe : 1 ; 1,25 ; 1,667 ; 2,5 ; 5 (ces valeurs correspondent ~~respectivement~~ approximativement à 5, 4, 3, 2 et 1 plaque(s) absorbante(s) pour un assemblage).

f/ *[Question facultative].* Calculer les valeurs de β des plaques à placer dans les cas précédents pour obtenir la valeur requise de f ; données : $D = 0,3$ cm ; $\kappa = 0,5$ cm^{-1}. Commenter les résultats.

3/ *Problème du cœur.* Rappelons que nous nous proposons de traiter ce deuxième problème par la théorie " un groupe - diffusion ". Le cœur est compris entre les plans d'abscisses $-a$ et $+a$ auxquelles le flux s'annule (distances d'extrapolation négligées) ; la plaque absorbante est placée au niveau du plan $x = 0$.

a/ Expliciter le flux (à une constante multiplicative près) et la condition critique en fonction du paramètre Λ défini à la première question ; on pourra poser $\chi^2 = (k_\infty - 1)/M^2$ où k_∞ est le facteur de multiplication infini et M^2 l'aire de migration.

b/ Calculer, en fonction de χa, le facteur de forme F défini comme le rapport entre le flux maximum et le flux moyen.

c/ Expliciter l'équation donnant la valeur u de χa conduisant au meilleur (plus petit) facteur de forme ; résoudre numériquement cette équation. Indiquer l'allure de la courbe représentative de $\Phi(x)$.

d/ *[Question facultative].* Le milieu constituant le cœur est caractérisé par $D = 1$ cm, $M^2 = 50$ cm^2 et une valeur de k_∞ telle que le réacteur, de demi-épaisseur a, soit critique avec la plaque absorbante telle que le facteur de forme du flux soit optimum. Déterminer :

— l'albédo β que doit avoir la plaque,

— le facteur de multiplication effectif k_{eff} du cœur si on ôte la plaque,

pour les valeurs suivantes de a : 20 cm, 50 cm, 100 cm, 200 cm.