

DEUXIÈME PROPOSITION

Génie Atomique

EXAMEN ÉCRIT

Neutronique (bases de physique neutronique)

Novembre 2005

Remarques :

- Durée de l'examen : 3 heures.
- Les documents de cours sont autorisés.
- Le deuxième problème est indépendant du premier (hormis les données numériques).
- Barème de notation (sur un total de 20 points) :

Premier problème : 10 points (+ 2 points pour la question facultative)

1-a	1-b	1-c	2	3-a	3-b	4
2	1,5	1,5	1,5	2	1,5	(2)

Deuxième problème : 10 points

1	2	3-a	3-b	4
2	2	1,5	1,5	3

I - Étude de la criticité d'une solution fissile

On s'intéresse dans ce problème à une solution d'un sel d'uranium 235 dans l'eau, contenue dans un récipient parallélépipédique. Dans un premier temps, on explicite la condition pour que cette configuration soit critique ; dans un deuxième temps, on examine comment varie la réactivité autour de la criticité si l'on ajoute soit un peu de sel d'uranium, soit un peu d'eau.

La solution, dans son récipient, sera assimilée à une pile homogène et nue de dimensions a selon l'axe $\vec{x}$, b selon l'axe $\vec{y}$ et c selon l'axe $\vec{z}$ (distances d'extrapolation négligées). La neutronique sera traitée par la théorie "un groupe-diffusion" explicitée sous la forme :

$$M^2 \Delta \Phi + (k_{\infty} - 1) \Phi = 0 \quad \text{avec : } k_{\infty} = \epsilon p f \eta.$$

On fera, en outre, les approximations suivantes :

- $\epsilon = 1$ et $p = 1$.
- Aire de migration M^2 indépendante de la concentration en sel d'uranium.
- Sections efficaces des composants du sel autres que l'uranium négligeables.

On désignera par $\Sigma_{a,u} = N_u \sigma_{a,u}$ et $\Sigma_{a,m} = N_m \sigma_{a,m}$ les sections efficaces macroscopiques d'absorption respectivement de l'uranium et de l'eau. On posera $v = \Sigma_{a,u} / \Sigma_{a,m}$. On désignera par f la proportion des neutrons absorbés par l'uranium parmi les neutrons absorbés dans la solution, et par η le nombre moyen de neutrons ré-émis par fission lorsqu'un neutron est absorbé par l'uranium.

Données pour les applications numériques :

- Uranium : $\sigma_{a,u} = 680$ b ; $\eta = 2$.
- Eau : $\sigma_{a,m} = 0,6$ b ; $M^2 = 36$ cm².

1-a/ Expliciter la condition critique en fonction des paramètres énumérés ci-dessus.

1-b/ Calculer les dimensions critiques du récipient, supposé cubique, respectivement pour $v = 2$ et $v = 5$.

1-c/ Calculer dans ces deux cas les concentrations d'uranium 235 en grammes par litre et les masses critiques.

2/ Calculer dans les deux cas la variation de réactivité obtenue si l'on augmente de un pour cent la masse d'uranium 235 dans la solution (sans changer les dimensions).

3-a/ Calculer dans les deux cas la variation de réactivité obtenue si l'on augmente de un pour cent la masse d'eau dans la solution (en accroissant donc de un pour cent la hauteur de la solution) ; on supposera que l'eau ajoutée est parfaitement homogénéisée avec le reste. Commenter.

3-b/ Déterminer la valeur de ν pour laquelle la variation de réactivité serait nulle au premier ordre lorsqu'on ajoute de l'eau.

2-4/ (Question facultative) Pour quelle valeur de ν la masse critique est-elle minimale ? Calculer cette masse minimale.

II - Étude de quelques paramètres d'une pile homogène

On envisage d'utiliser la pile homogène étudiée dans le premier problème pour réaliser un dispositif expérimental d'irradiation à faible puissance.

Sauf indication contraire, on utilisera les données numériques indiquées dans le premier problème et on adoptera $N_m/N_u = 343,15$.

1/ Calculer l'effet en réactivité de l'ajout de 1 ppm de bore dans la solution. (Le bore naturel est constitué de 20 % de ^{10}B ayant une section efficace d'absorption de 3 800 b et de 80 % de ^{11}B ayant une absorption négligeable.)

2/ On ajoute au réacteur critique la quantité de bore nécessaire pour le rendre sous-critique de 50 pcm : combien faut-il introduire de ppm de bore pour cela ? En supposant que ce bore est instantanément homogénéisé, calculer au bout de combien de temps la puissance sera réduite à 1 % de sa valeur initiale. (On fera le calcul avec un seul groupe de neutrons retardés caractérisés par $\beta = 679$ pcm et $\tau = 11,31$ s, et un temps de vie des neutrons prompts très court.)

3-a/ On fait fonctionner cette pile à une puissance de 100 watts par litre. Calculer le flux neutronique. (On prendra, pour l'uranium 235, une

section efficace de fission de 580 b.)

3-b/ En supposant la puissance stabilisée, calculer au bout de combien de temps on aura consommé 1 % de la quantité initiale d'uranium.

4/ On envisage de remplacer l'uranium 235 pur par de l'uranium "non proliférant" contenant 20 % d'isotope 235 et 80 % d'isotope 238 (proportions en nombres de noyaux). On fait en sorte que la masse d'uranium 235 par unité de volume reste inchangée. Calculer les nouvelles valeurs des facteurs f et η . (On prendra, pour l'uranium 235, les données nucléaires indiquées précédemment et, pour l'uranium 238, une section efficace d'absorption égale à 2,7 b.) En utilisant la formule classique du facteur p , calculer la probabilité qu'un neutron se ralentisse sans être capturé dans une résonance de l'uranium 238. (On pourra adopter l'approximation :

$$I_{\text{eff}} \simeq 2,4\sqrt{\sigma_d} + 3,1$$

(I_{eff} et σ_d en barns) et calculer σ_d en prenant, dans le domaine du ralentissement, une section efficace de diffusion de 40 b par molécule d'eau ; pour le calcul du gain moyen de léthargie par diffusion, on négligera les diffusions par l'oxygène.) En déduire la nouvelle valeur de k_{∞} ; comparer à la précédente. De combien faut-il accroître le volume (en gardant une forme cubique) pour conserver la criticité ?