Comparaison de situations homogène et hétérogène

2 extrêmes $\left\langle \begin{array}{l} \text{réseau type REP (cellule } UO_2 \text{ dans l'eau légère)} \\ \text{homogène (même masse moyenne par unité de volume)} \end{array} \right.$

L'oxygène et la gaine sont négligés

$\varepsilon = 1{,}07 \quad p = 0{,}75 \quad f = 0{,}92$ (cellule hétérogène)

$\sigma_c^8 = 2{,}7\,b \quad \nu_5 = 2{,}4 \quad \sigma_f^5 = 580\,b \quad \sigma_c^5 = 100\,b \quad e_5 = 3{,}3\,\%$

1) Calcul du facteur de régénération η

$$\eta = \frac{\text{nombre de } \underline{n} \text{ issus des fissions thermiques}}{\text{nombre de } \underline{n} \text{ absorbés dans le combustible}} = \frac{\nu_5 \sigma_f^5 N_5}{\sigma_a^8 N_8 + \sigma_a^5 N_5}$$

$$\eta = \frac{\nu_5 \sigma_f^5 e_5}{\sigma_a^5 e_5 + \sigma_a^8 (1-e_8)} = \frac{2{,}4 \times 580 \times 0{,}033}{\underbrace{580 \times 0{,}033}_{22{,}44} + \underbrace{2{,}7 \times 0{,}967}_{2{,}6109}} = \overset{45{,}936}{\boxed{1{,}8337}}$$

2) Modification des facteurs avec l'homogénéisation

En hétérogène $\quad k_\infty = \varepsilon p f \eta = 1{,}07 \times 0{,}75 \times 0{,}92 \times$

$$\boxed{k_\infty = 1{,}3538}$$

26 135 pcm

ε facteur de fission rapide

le $\underline{n}$ rapide a un libre parcours moyen très grand devant la taille de la cellule. Il perçoit donc le milieu comme homogène

ε varie peu, éventuellement en diminuant un peu (il rencontre H plus facilement)

p facteur antitrappe

3 facteurs jouent pour l'abaisser

- le $\underline{n}$ rencontre plus facilement l'U8 en homogène au cours de ses déplacements, donc il y a plus de captures
- le facteur d'autoprotection va remonter vers 1 (dilution de U8)
- l'autoprotection spatiale n'existe plus, le $\underline{n}$ peut aller partout à 6,67 eV

p va diminuer sans doute fortement.

f facteur d'utilisation thermique

Il dépend uniquement de R_m (rapport de modération inchangé) et du facteur de désavantage (rapport des flux)
Ce dernier (1,05 dans les questions suivantes) est toujours à l'avantage du Φ_{mod}. Ici en homogène il est ramené à 1

$$f = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_a^m}{\sigma_a^u} \underbrace{R_m}_{\text{identique}} \underbrace{\frac{\Phi_m}{\Phi_u}}_{\text{ramené à 1}}}$$

f remonte un peu

La dilution (homogénéisation ne joue pas sur les sections efficaces)

η est bien sûr inchangé pour cette dernière raison

k_∞ va donc diminuer essentiellement à cause de p.

3) Calcul de f en homogène

Il est plus facile de calculer f sous la forme

$$\frac{1}{f_{hom}} - 1 = \frac{\Sigma_{am} \Phi_m V_m}{\Sigma_{au} \Phi_u V_u}$$

La dilution affecte les Σ_a de la même manière, donc aucun effet
Les rapports de volume de matière restent les mêmes
Les quantités de matière sont identiques $(N_m V_m)_{hom} = (N_m V_m)_{hétéro}$.

donc $\left(\frac{1}{f_{hétéro}} - 1\right) = 1{,}05 \times \left(\frac{1}{f_{hom}} - 1\right)$

Seuls les rapports de flux sont différents $\boxed{f_{hom} = 0{,}9235}$

$$\frac{1}{f_{hom}} = 1 + \frac{1-f_h}{f_h} \cdot \frac{1}{1{,}05} = 1 + \frac{0{,}08}{0{,}92} \cdot \frac{1}{1{,}05} = 1{,}0828$$

ce qui provoque une variation de réactivité de l'ordre de

$$\frac{\Delta k_\infty}{k_\infty} = \Delta\rho = \frac{1}{f}\Delta f = + \frac{0{,}00352}{0{,}92} = 390 \text{ pcm}$$

4) Calcul du facteur p en hétérogène / homogène.

Le calcul de cellule nous donne $p = 0{,}75$

En hétérogène, le facteur p est donné par

$$p_{het} = \exp\left[- \frac{V_u N_8 I_{eff}}{V_m \xi \Sigma_{s,m}} \right]$$ Reuss p 209

puisque l'on néglige l'U_5, l'O et le ralentissement par U_8.

Trois calculs sont à faire : I_{eff}, N_8 et $\Sigma_{s,m}$ puisque il y aura homogénéisation

En hétérogène N_8 et $\Sigma_{s,m}$ sont donnés

Pour calculer I_{eff} il faut calculer σ_e

la section équivalente est donnée par : Reuss 208

$$\sigma_e \sim \frac{b}{\ell N_0} \quad \text{avec } b = \frac{(1-C)\,b^+}{1-C+Cb^+} \quad \text{et } \ell = 4\frac{V}{S} = 4\frac{\pi R^2 H}{2\pi R H} = d$$

la corde moyenne

$b^+ = 1{,}1 \quad C = 0{,}3 \quad$ d'où $\sigma_e = 42{,}47 . 10^{-24}\ cm^2$

$$\sigma_e = \frac{(1-C)\,b^+}{1-C+Cb^+} \; \frac{1}{dN_8} = \frac{0{,}7 \times 1{,}1}{(0{,}7+0{,}33)} \cdot \frac{1}{0{,}8 \times 2{,}2\ 10^{+22}}$$

$$I_{eff} = 2{,}4\sqrt{\sigma_e} + 3{,}1 = 18{,}74 \text{ barns (hété)}$$

d'où le facteur p du réseau hétérogène :

$$p_{het} = 0{,}75$$

Dans le cas homogène, on adopte la formule $p = \exp\left[- \frac{N_8 I_{eff}}{\xi \Sigma_s} \right]$

Mais attention, il s'agit maintenant de conditions homogènes

Il faut calculer I_{eff} en homogène, donc $\sigma_{dilution}$

et recalculer les N_8 et Σ_s en homogène.

$$\sigma_d = \left(\frac{\Sigma_{s,m}}{N_8} \right)_{hom} \qquad (\Sigma_{s,m})_{hom} = \frac{V_m}{V_m+V_u} (\Sigma_{s,m})_{hétéro}$$

$$(N_8)_{hom} = \frac{V_u}{V_m+V_u} (N_8)_{hétéro}$$

d'où $$\sigma_d = \frac{V_m}{V_u}\left(\frac{\Sigma_{s,m}}{N_8}\right)_{\text{hétérogène}}$$

application numérique

$$\sigma_d = 2 \times \frac{1,5}{2,2\ 10^{22}} = 136,36\ 10^{-24}\ cm^2$$

soit $$I_{eff} = 2,4\sqrt{\sigma_d} + 3,1 = 31,126\ cm^2\ 10^{-24} \text{ (homo.)}$$

La simple comparaison des deux écritures de p nous conduit à :

$$\frac{\ln p_{hom}}{\ln p_{hétéro}} = \frac{I_{eff,hom}}{I_{eff,hétéro}}$$

En effet l'effet de dilution sur N_8 et Σ_s est le même… mais pas dans le calcul de I_{eff} !

On en déduit donc $$p_{hom} = \left(p_{hétérogène}\right)^{I_{eff,hom}/I_{eff,hétéro}}$$

soit $$\underset{<0}{\ln p_{hom}} = \underset{<0}{\ln p_{hétéro}} \times \underbrace{\frac{I_{eff,hom}}{I_{eff,hétéro}}}$$ 4

p diminue ce qui est attendu.

$p_{hom} = 0,599 \sim 0,6$ (corrigé de Reuss 0,629 19000 pcm !)

$$\Delta\rho = \frac{\Delta p}{p} = 20000 \text{ pcm}$$

5) <u>Comparer les valeurs des k_∞ entre les deux situation</u>

ε considéré inchangé
η ne change pas

$$(k_\infty)_{hétérogène} = 1,3538$$

$$(k_\infty)_{homogène} = 1,07 \times 0,62 \times 0,9235 \times 1,834 = 1,1237$$

Soit une variation de $$\Delta\rho = \frac{\Delta k_\infty}{k_\infty} = -17000 \text{ pcm}$$

6) Calcul de l'enrichissement nécessaire pour ramener le k_∞

On voudrait ramener le k_∞ homogène à uniquement en jouant sur η par l'enrichissement

Il faut donc assurer un η de 2,209

puisque $$(\eta)_{hom} = (\eta)_{hétéro} \times \frac{(fp)_{hét}}{(fp)_{hom}}$$
$0,75 \times 0,92$
$(1,206)$
$0,62 \times 0,923$

soit $(\eta)_{hom} = 2,209$ Or on sait que $(\eta)_{MAX} = 2,09$ pour l'U_5 pur...

donc c'est impossible. A noter que le facteur p remonte si il y a plus d'U_5, donc moins d'U_8...
mais le calcul est plus délicat !

7) Découpage de la cellule hétérogène pour un code Apollo.

On doit considérer le matériau comme homogène quand il est neuf
donc
- symétrie radiale (pas d'effet angulaire)
- combustible homogène
- effet du ralentissement

$\longrightarrow$ découpage radial
- combustible (avec p autoprotégé)
- gaine
- eau (1 ou 2 pour effet ralentiss.)

8) usure

le dépot de Pu 9 se fait surtout en surface
(autoprotection spatiale)
donc on a besoin d'un découpage fin en couronne
et on garde gaine et eau, radials bien sûr