



In2p3



Le problème des échangeurs de chaleur dans le MSFR

Daniel Heuer
LPSC



Contraintes sur les échangeurs de chaleur

- C'est le combustible qui va circuler dans les échangeurs de chaleur
 - Ils ont le même rôle que les gaines d'un réacteur à combustible solide
 - Sauf qu'ils ne sont pas sous flux !
 - Le combustible transporte les précurseurs de neutrons retardés
 - Pour garder un nombre de neutrons retardés suffisant dans le cœur il ne faut pas que le volume de sel mobilisé pour cet échange soit grand devant le volume utile en cœur.
 - Le volume mobilisé comprend les échangeurs, mais aussi les tuyauteries, les pompes et tout autre système utile !
 - Le volume utile dans le cœur est imposé par des considérations neutroniques pour assurer la régénération et la tenue des matériaux de structure
 - La quantité de matière fissile est proportionnelle au volume total (dans le cœur et hors cœur)
 - Si cette quantité est trop importante, le déploiement de la filière peut en être affecté
- Le volume de sel combustible dans les échangeurs est donc contraint et doit être le plus faible possible
 - Il faut pourtant évacuer la chaleur !

Hypothèse de travail

- On va supposer des échangeurs à plaques
 - Si on suppose un coefficient d'échange de chaleur par unité de surface de plaque on en déduit une surface totale de plaque pour échanger les 3 GW_{th}
 - Si on se donne un volume de sel extérieur disponible (par exemple 50% intérieur, 50% extérieur), une longueur et un diamètre de tuyauterie, on en déduit un volume dans les échangeurs et donc une entretoise entre plaques
 - Toutes ces données permettent de déterminer la dynamique de circulation du sel
 - Vitesse, perte de charge et coefficient réel d'échange
 - On recommence le calcul avec le nouveau coefficient d'échange
 - On minimise les pertes de charges en modifiant le diamètre de tuyauterie



Optimisation des échangeurs de chaleur

- Le coefficient de transfert thermique du sel vers une plaque (h_c en $W/m^2/K$) est donné par:

$$h_c = \frac{\lambda}{e_s} = \frac{\lambda Nu}{D}$$

$$Nu = 0,0296 Re^{4/5} Pr^{1/3}$$

$$Re = \rho v D / \mu \quad Pr = C_p \mu / \lambda$$

- Où λ est la conductivité thermique du sel
- μ la viscosité dynamique du sel
- ρ la masse volumique du sel
- C_p la capacité calorifique du sel
- v la vitesse d'écoulement du sel

$$v = L / t_{Echangeur}$$

$$t_{Echangeur} = \frac{V_{Sel\text{-}echangeur}}{V_{Total}} t_{Cycle}$$

$$t_{Cycle} = \frac{P_{th}}{\rho C_p \Delta T_{Coeur}}$$

$$V_{Sel\text{-}echangeur} = V_{Total} - V_{Coeur} - V_{Tuyaux}$$

L la longueur des échangeurs

P_{th} la puissance thermique du réacteur

ΔT_{coeur} la différence de température entre le bas et le haut du cœur

D la dimension caractéristique de l'écoulement

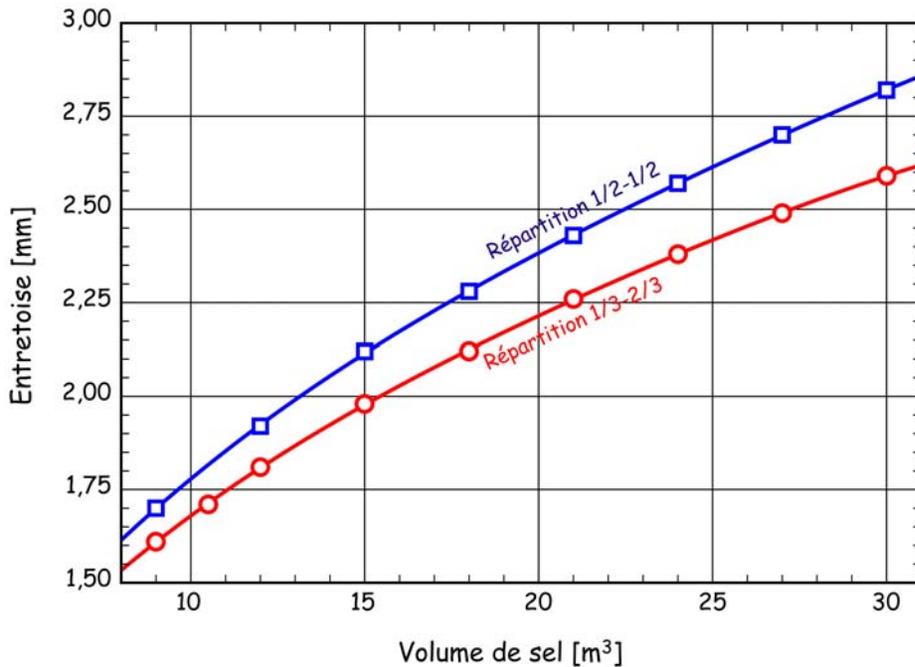
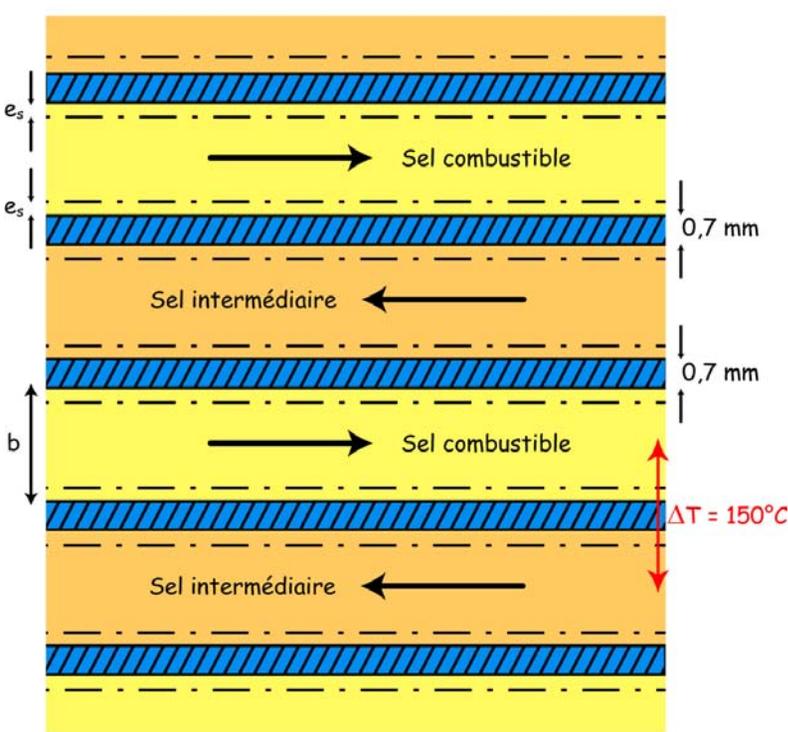
- $D = 2b / (1 + b/l)$

- b = épaisseur de sel (entretoise)

- l = largeur des plaques

$$b = \frac{V_{Sel\text{-}echangeur}}{S_{Plaques}} = V_{Sel\text{-}echangeur} \frac{h_c \Delta T_{Plaques}}{P_{th}}$$

- $\Delta T_{plaques}$ la différence de température entre le sel et la plaque



Optimisation des échangeurs de chaleur

- L'écoulement dans les échangeurs et les canalisations induit une perte de charge qui se traduit par une puissance imposée des pompes

- Cette perte de charge est donnée par

$$\Delta P = \frac{1}{2} L \Lambda \rho v^2 / D \quad \Lambda^{1/2} = -1,8 \text{Log} \left[6,9 / \text{Re} + \left(\varepsilon / (3,7 D) \right)^{1,11} \right] \quad \text{Re} = \rho v D / \mu$$

- Où ε est la rugosité des parois (10^{-5}m)

- La puissance des pompes est déterminée par

- $P[\text{W}] = \text{débit} [\text{m}^3/\text{s}] * \Delta P [\text{Pa}] / R$

- Où R est le rendement des pompes

- Supposé à 60%

- Si on réduit la longueur des échangeur (L)

- La perte de charge devrait être plus faible

- Mais la longueur de tuyau est plus importante

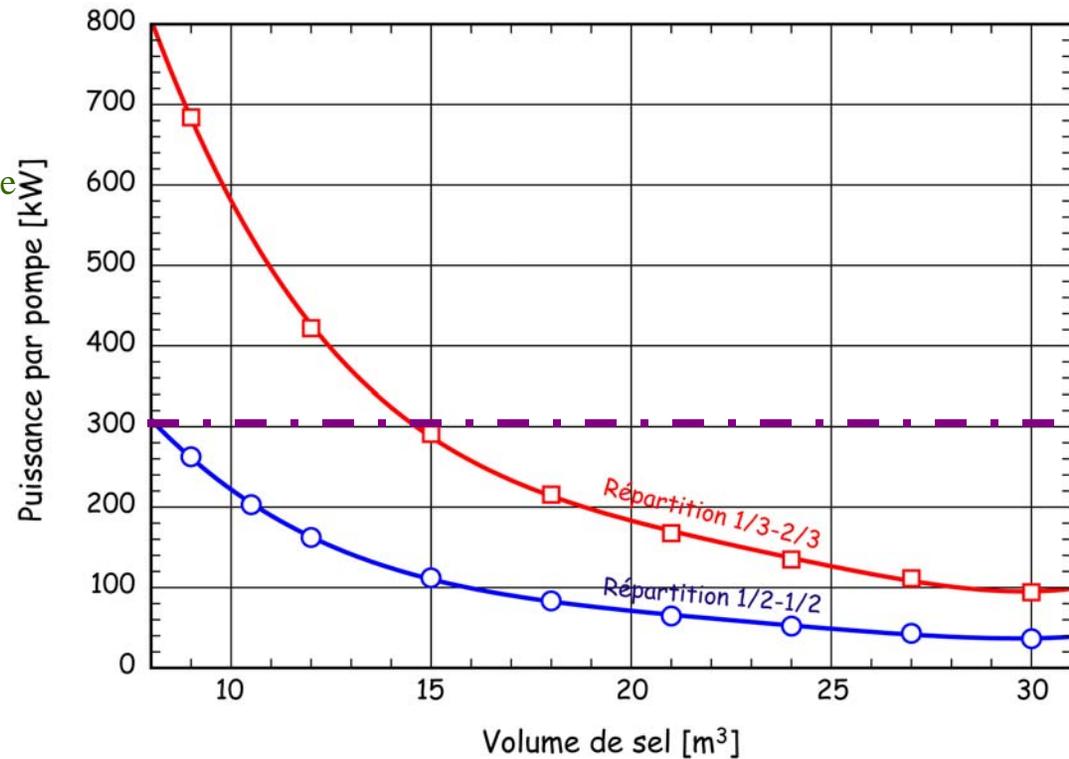
- Il y aurait moins de sel pour les échangeurs
 - L'entretoise serait plus faible

- En réalité la perte de charge augmente

- Si on suppose une puissance maximum de 300 kW (cas MSBR)

- Il faut au moins 15 m^3 pour le cas 1/3-2/3

- 8 m^3 est acceptable pour le cas 1/2-1/2



Il va falloir étudier des échangeurs de chaleur spécifiques qui prennent en compte ce volume limité de sel

Les échangeurs de chaleur : Une technologie qui dimensionne le MSFR

- Le volume de sel combustible disponible pour évacuer la chaleur du cœur est limité
- Cette limitation est directement reliée aux performances du MSFR
- La solution passe par une amélioration des capacités d'échange (coefficient de transfert thermique)
 - Toutes les idées sont les bienvenues...