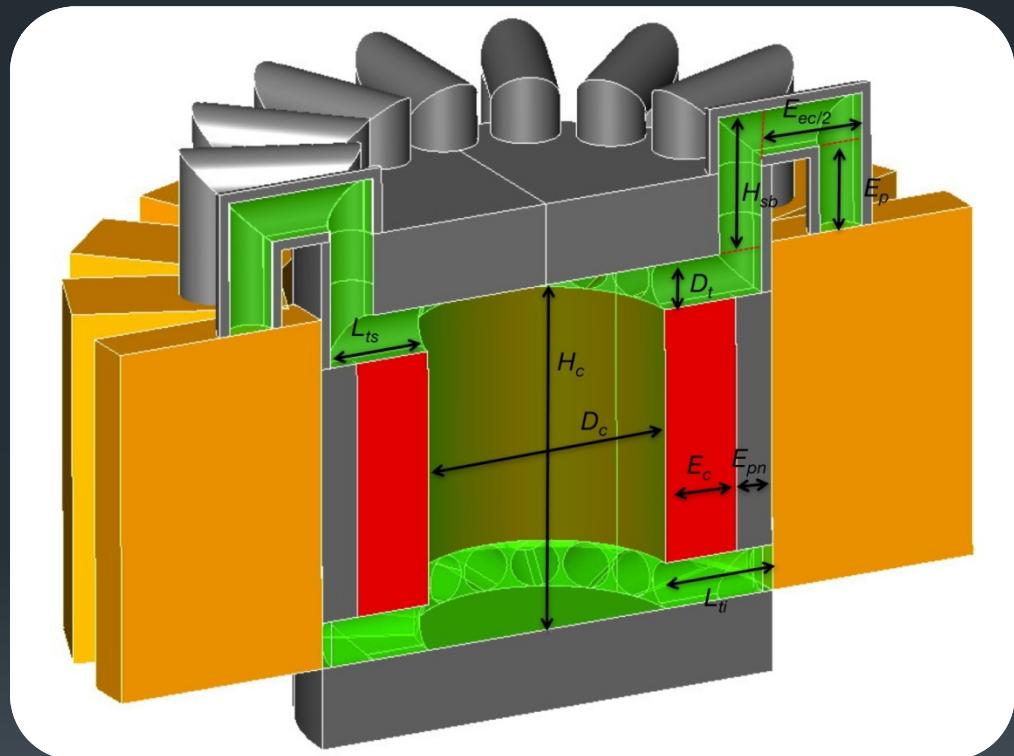


Méthodologie d'optimisation du design du MSFR

Daniel Heuer



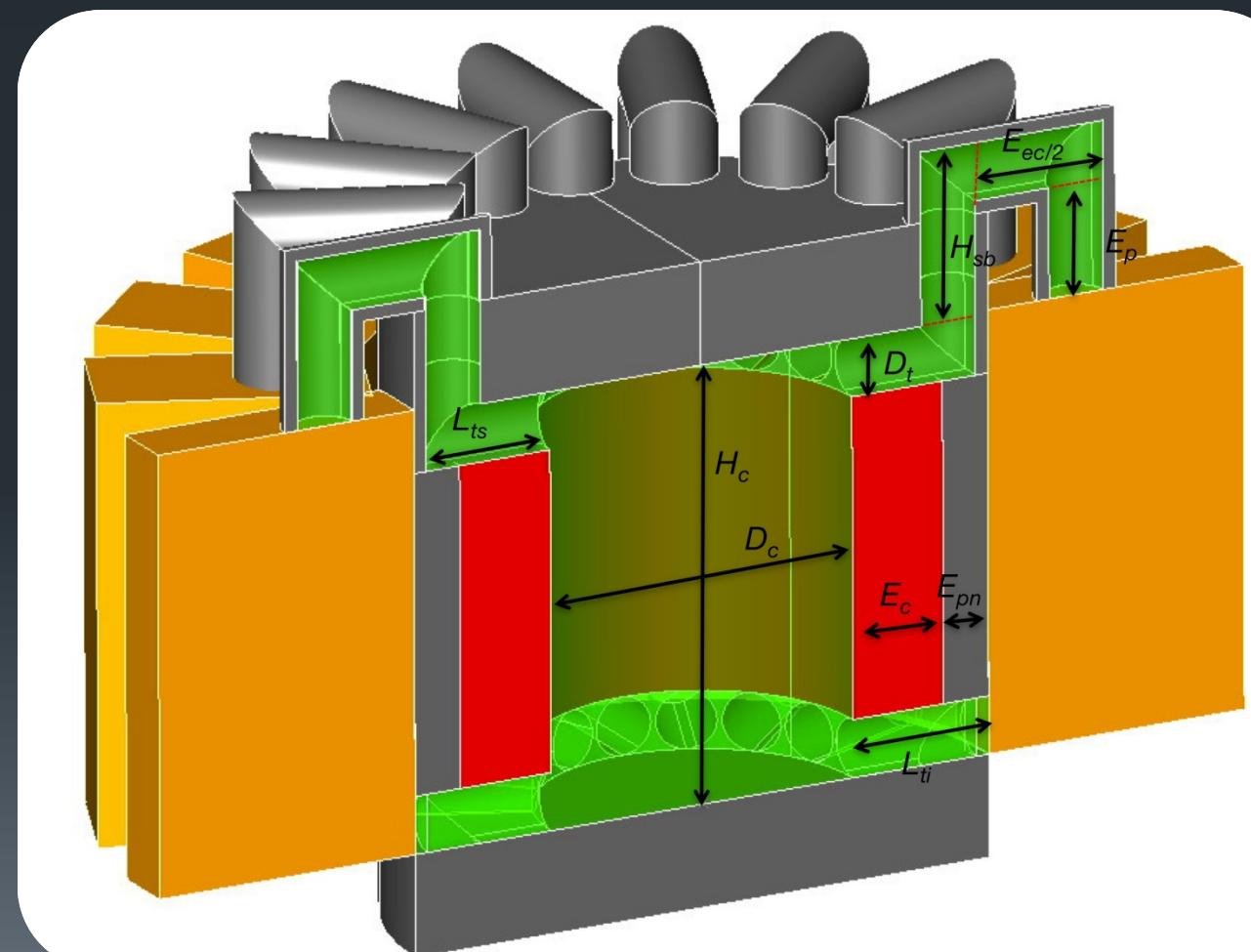
Optimisation pour la circulation du sel combustible



- § Le volume de sel combustible est limité à 18 m^3 pour une puissance totale de 3 GW_{th}
- § Il faut évacuer la puissance de fission tout en limitant les pertes de charge et l'inventaire fissile

§ Le circuit combustible comprend

- § La cavité centrale
- § Des séparateurs de bulles
- § Des pompes
- § Des échangeurs de chaleur
- § Des tuyaux entre chaque système
- § il faut contourner la couverture fertile et la protection thermique



Les transferts de chaleur (exemple sur les échangeurs de chaleur)

§ Si on suppose des échangeurs à plaques

§ Le coefficient de transfert thermique entre plaques est donné par:

$$h_c = \frac{l}{e_s} = \frac{N \cdot \nu}{D} \quad Nu = 0,0296 Re^{4/5} Pr^{1/3}$$
$$Re = r V D / \mu \quad Pr = C_p \cdot \mu / l$$

§ Où l est la conductivité thermique du sel

§ μ la viscosité dynamique du sel

§ r la masse volumique du sel

§ V la vitesse d'écoulement du sel

§ Imposée par le DT en cœur

§ C_p la capacité calorifique du sel

§ D la dimension caractéristique de l'écoulement

§ $D = 2b/(1+b/l)$

§ b = épaisseur de sel (gap)

§ l = largeur des plaques

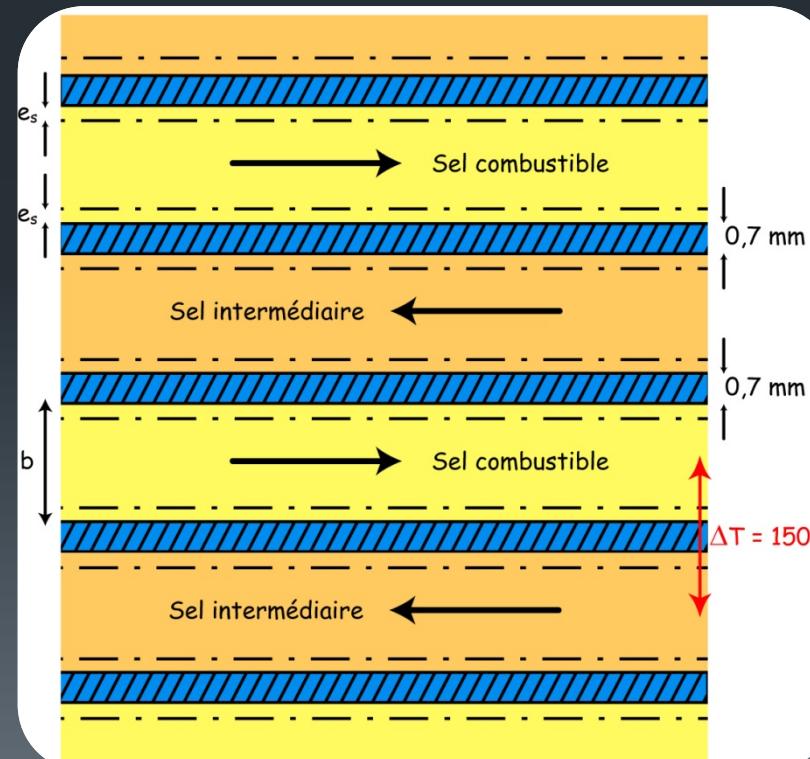
§ En quelques itérations on peut obtenir l'entretoise entre les plaques en fonction

§ du volume de sel

§ de la répartition du sel entre le cœur et le circuit extérieur

§ Ce coefficient de transfert thermique impose une surface d'échange pour évacuer les 3 GW_{th}

§ Le volume de sel combustible étant fixé, cela impose une épaisseur de sel entre les plaques, ce qui redéfinit D



Les pertes de charge (exemple sur les échangeurs de chaleur)

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

§ Cette perte de charge est donnée par

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

§ Où L est la longueur des échangeurs

§ ρ la masse volumique du sel

§ V la vitesse d'écoulement

§ Imposée par le DT en cœur

§ D la dimension caractéristique de l'écoulement

§ $D = 2b/(1+b/l)$

§ b = épaisseur de sel (gap)

§ l = largeur des plaques

§ μ la viscosité dynamique du sel

§ e la rugosité des parois (10^{-5} m)

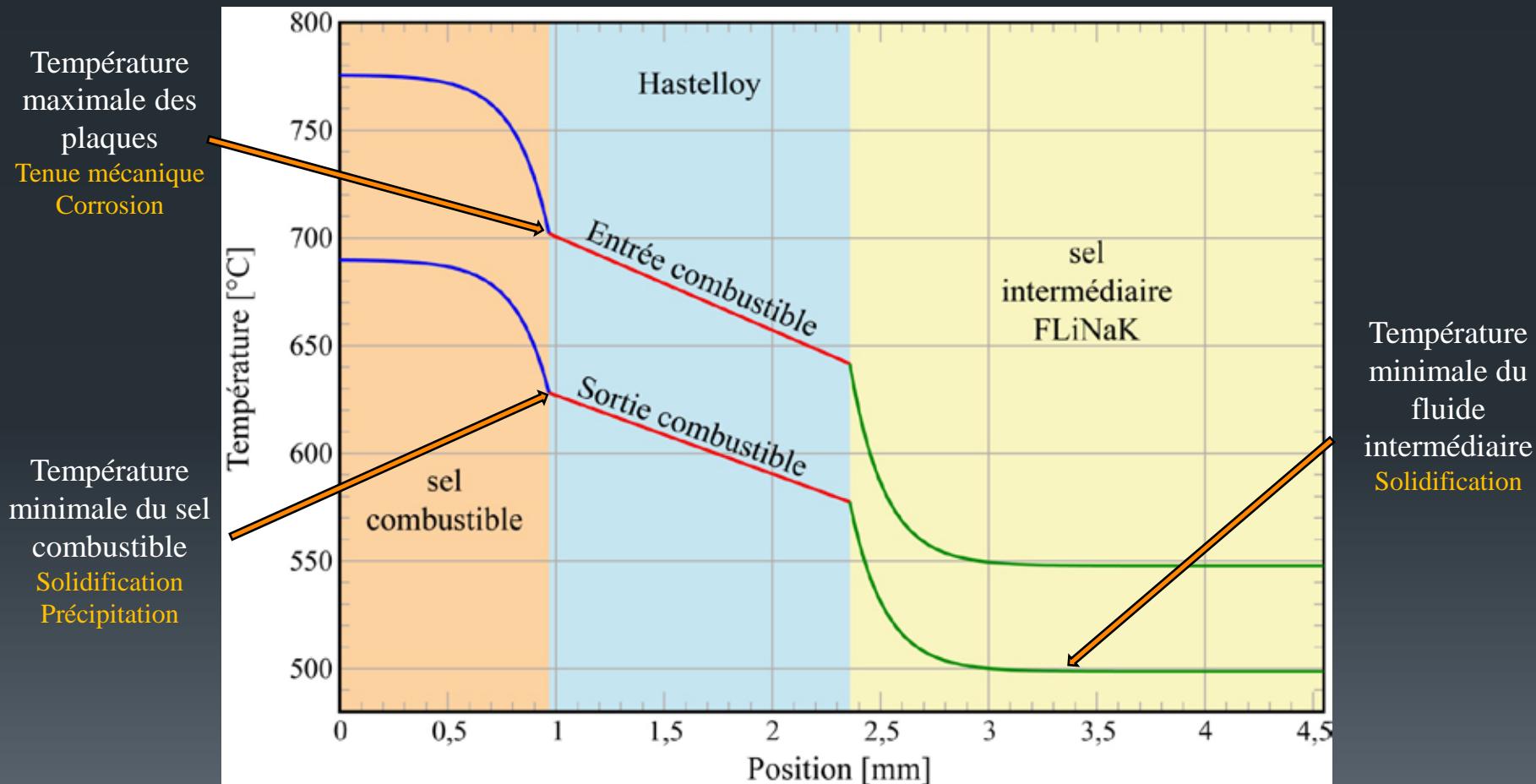
§ La puissance des pompes est déterminée par

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

§ Où R est le rendement des pompes

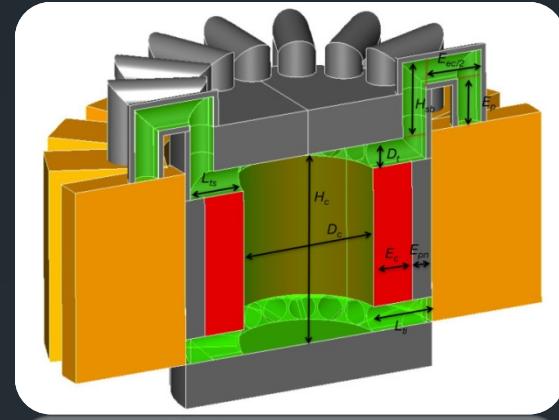
Les températures extrêmes

- § Tous les éléments de structure peuvent être protégés thermiquement
 - § Sauf les échangeurs de chaleur
- § La faible conductivité thermique des sels protège les plaques
 - § Certaines températures sont alors critiques



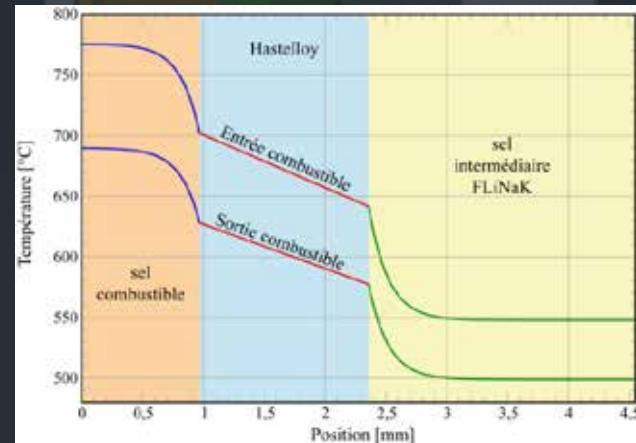
Stratégie d'optimisation

- § Ensemble des paramètres ajustables
 - § Géométrie des échangeurs
 - § Diamètre des tuyaux



§ Critères d'évaluation (contraintes technologiques ou buts recherchés)

- § Puissance totale échangée
- § Températures maximales ou minimales
- § Épaisseurs de plaques minimales
- § Perte de charge maximale
- § Vitesses d'écoulement maximales



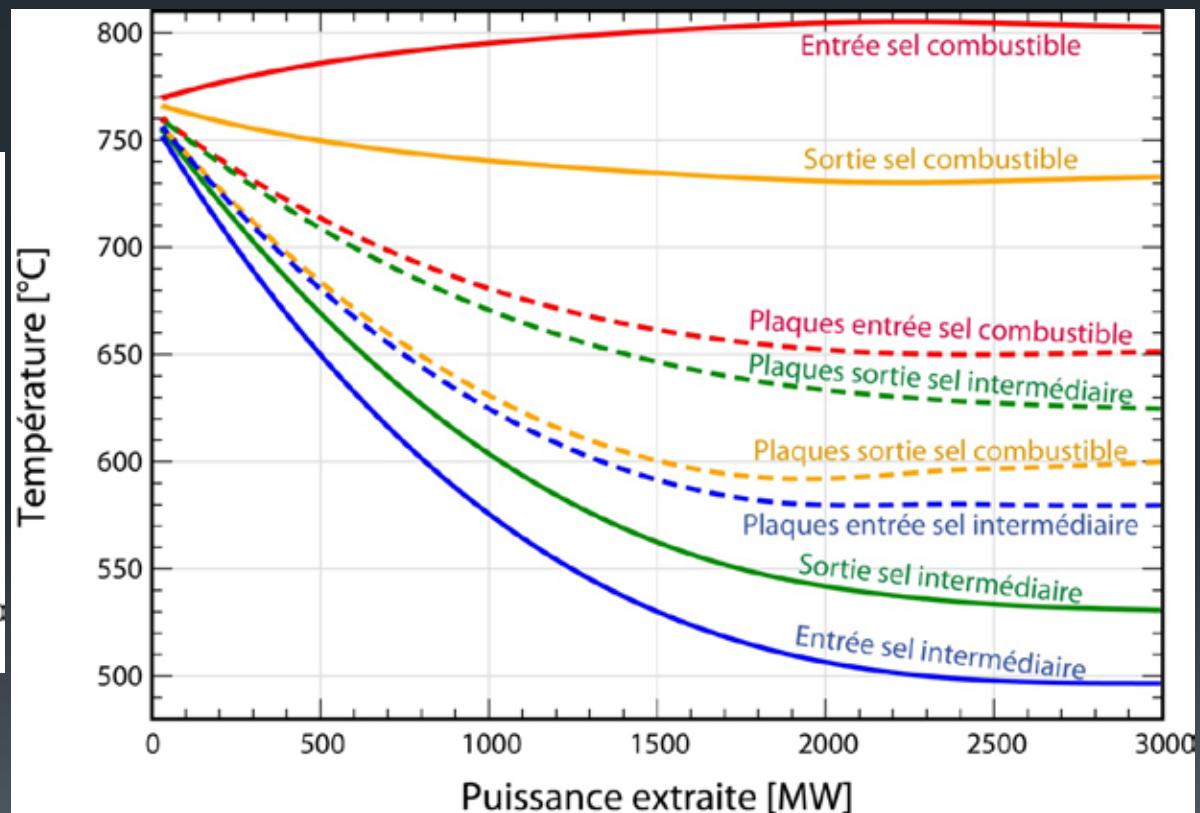
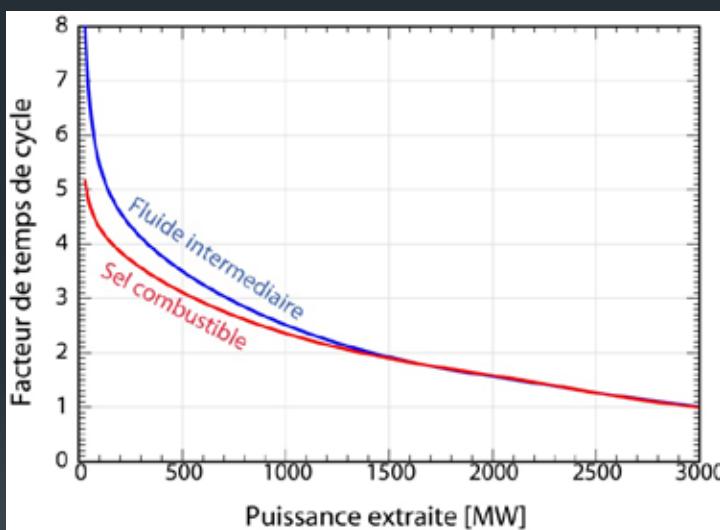
§ Note d'évaluation : $\sum_i \exp\left(\pm \frac{P_i - P_{0i}}{\sigma_i}\right)$ ("+" pour un max et "-" pour un min)

- § P_i la valeur prise pour un critère d'évaluation
- § P_{0i} la valeur cible pour le critère d'évaluation P_i
- § σ_i l'écart acceptable de P_i à la valeur cible P_{0i}

§ On cherche alors à minimiser la note d'évaluation (algorithme génétique, ...)

Utilisation d'une configuration optimisée

- § La puissance fournie par le cœur peut varier en jouant sur 3 paramètres :
 - § La vitesse de circulation du sel combustible
 - § La vitesse de circulation du sel intermédiaire
 - § La température d'entrée du sel intermédiaire



- § Cet exemple montre qu'il est possible de réaliser des variations de puissance de 50% sans variation importante de température des plaques des échangeurs

Conclusions et perspectives

§ On dispose d'une méthode pour designer le MSFR

- § Les paramètres sont nombreux
- § Les corrélations entre paramètres sont non linéaires
- § Les contraintes ne sont pas bien définies

§ Mais la méthode est adaptée à cette complexité

- § Elle a été testée sur des cas particuliers (échangeurs de chaleur)
- § Il reste à implémenter un code générique "code système MSFR"
 - § Dans le cadre de SAMOFAR si le projet est accepté
 - § Dans tous les cas, dans le cadre de NEEDS

§ Cette méthode peut aussi être appliquée à la définition du réservoir de vidange

- § La physique du refroidissement du système de vidange peut s'avérer plus couteuse en temps de calcul
- § Il faudra développer des méta-modèles

