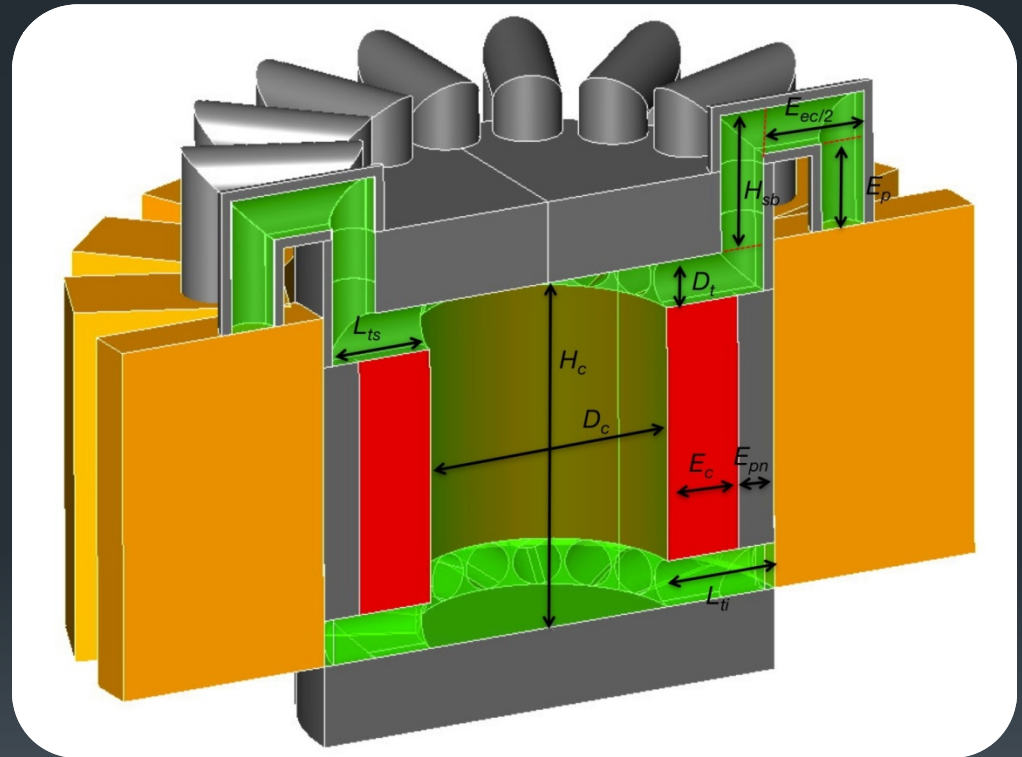


Méthodologie d'optimisation du design du MSFR

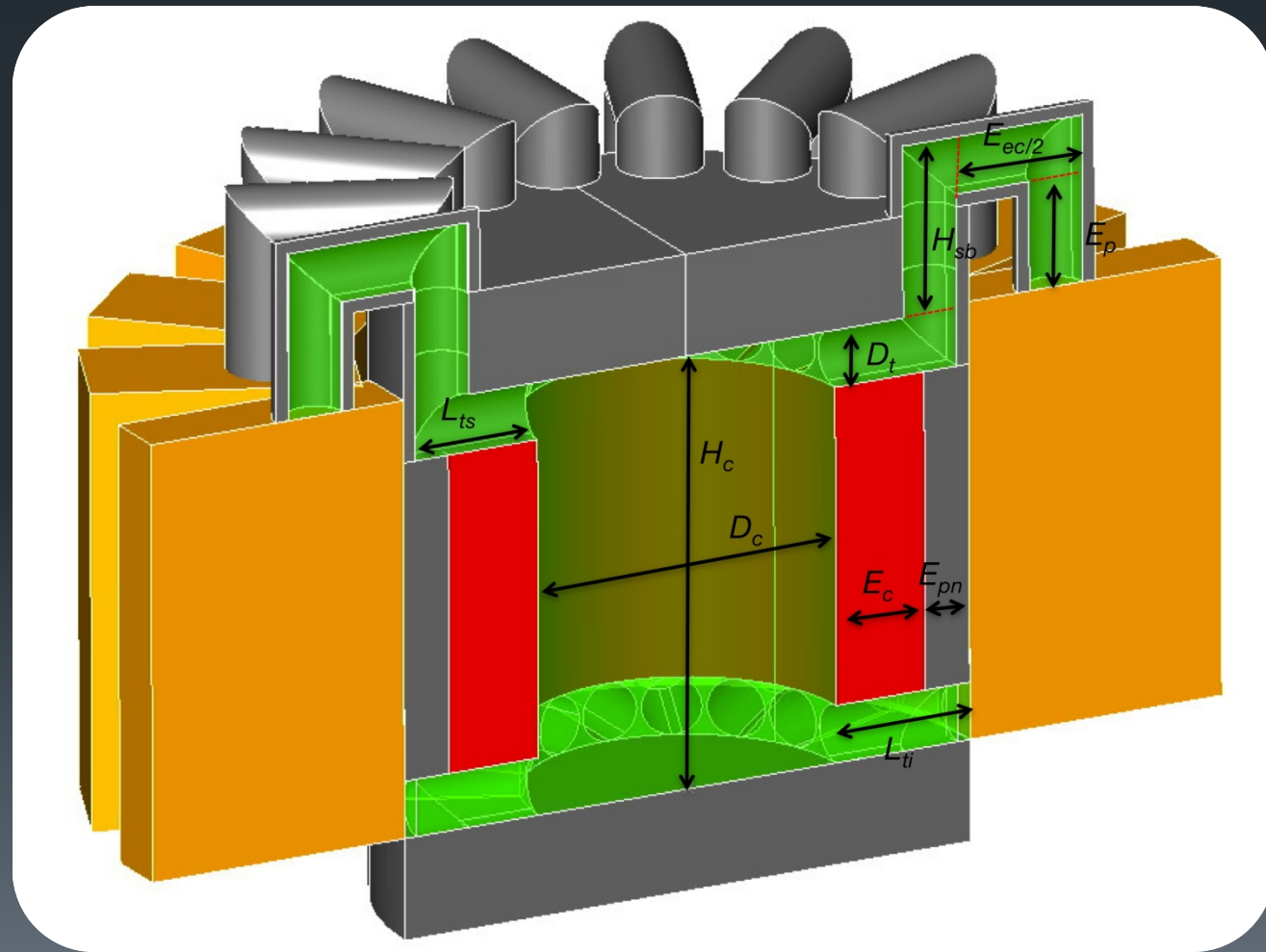
Daniel Heuer



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:

$$h_c = \frac{l}{e_s} = \frac{l N}{D} \quad \begin{array}{l} Nu = 0,0296 Re^{4/5} Pr^{1/3} \\ Re = rVD/\eta \quad Pr = C_p \eta / l \end{array}$$

§ Où l est la conductivité thermique du sel

§ η 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

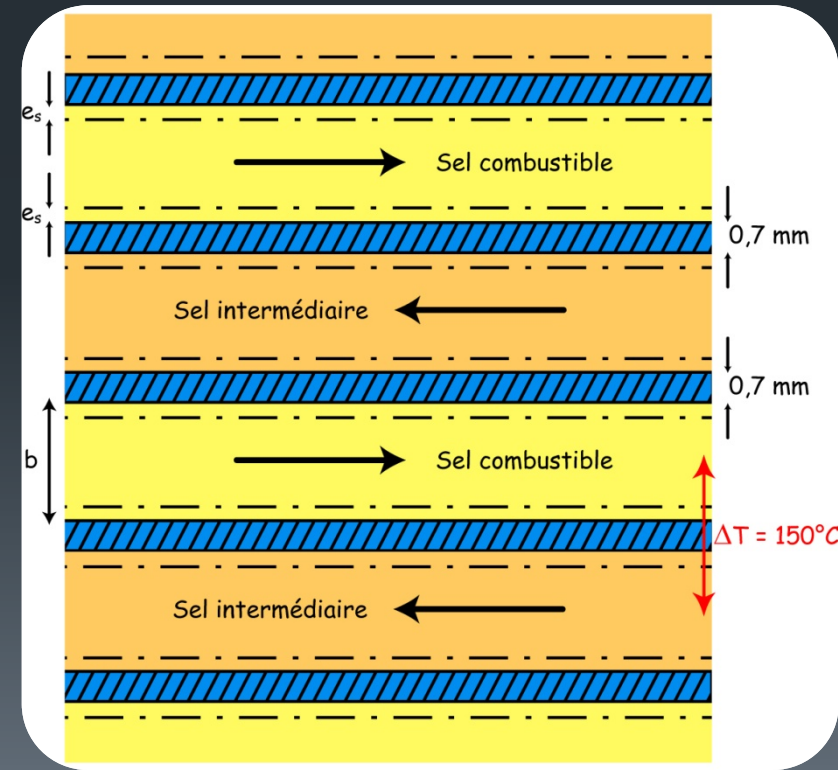
§ En quelques itérations on peut obtenir l'entretoise entre les plaques en fonction

§ 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

$$DP = \frac{1}{2} L \frac{r V^2}{D} \quad L^{\frac{1}{2}} = -1,8 \log \left[6,9 / Re + (e / (3,7 D))^{\frac{1}{11}} \right] \quad Re = r V D / m$$

§ Où L est la longueur des échangeurs

§ r 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

§ m la viscosité dynamique du sel

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

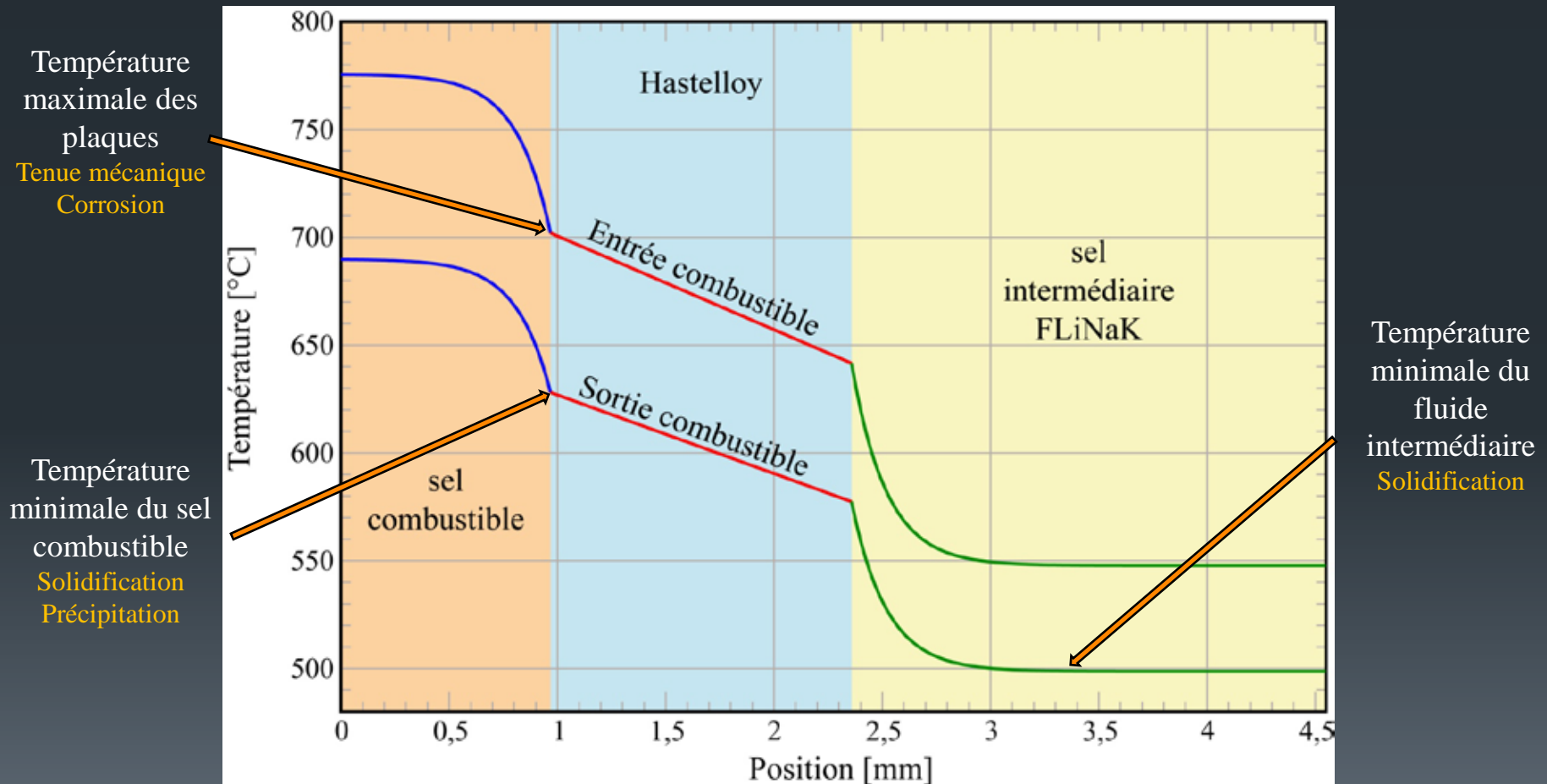
§ La puissance des pompes est déterminée par

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

§ 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)

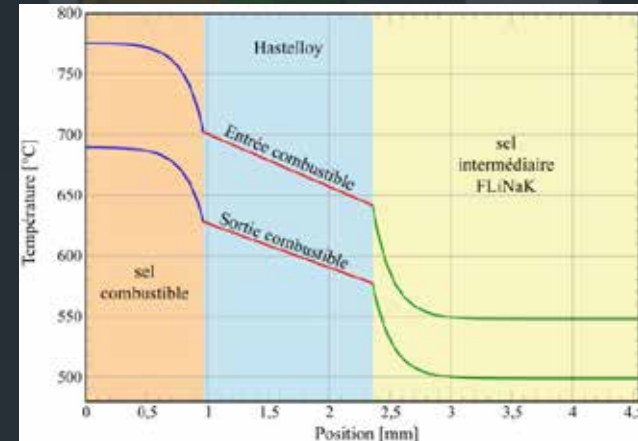
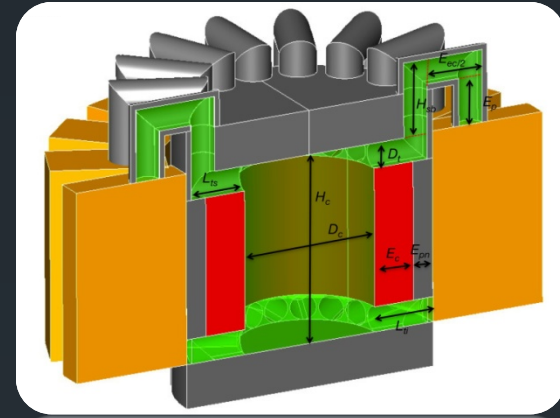
§ Puissance totale échangée

§ 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

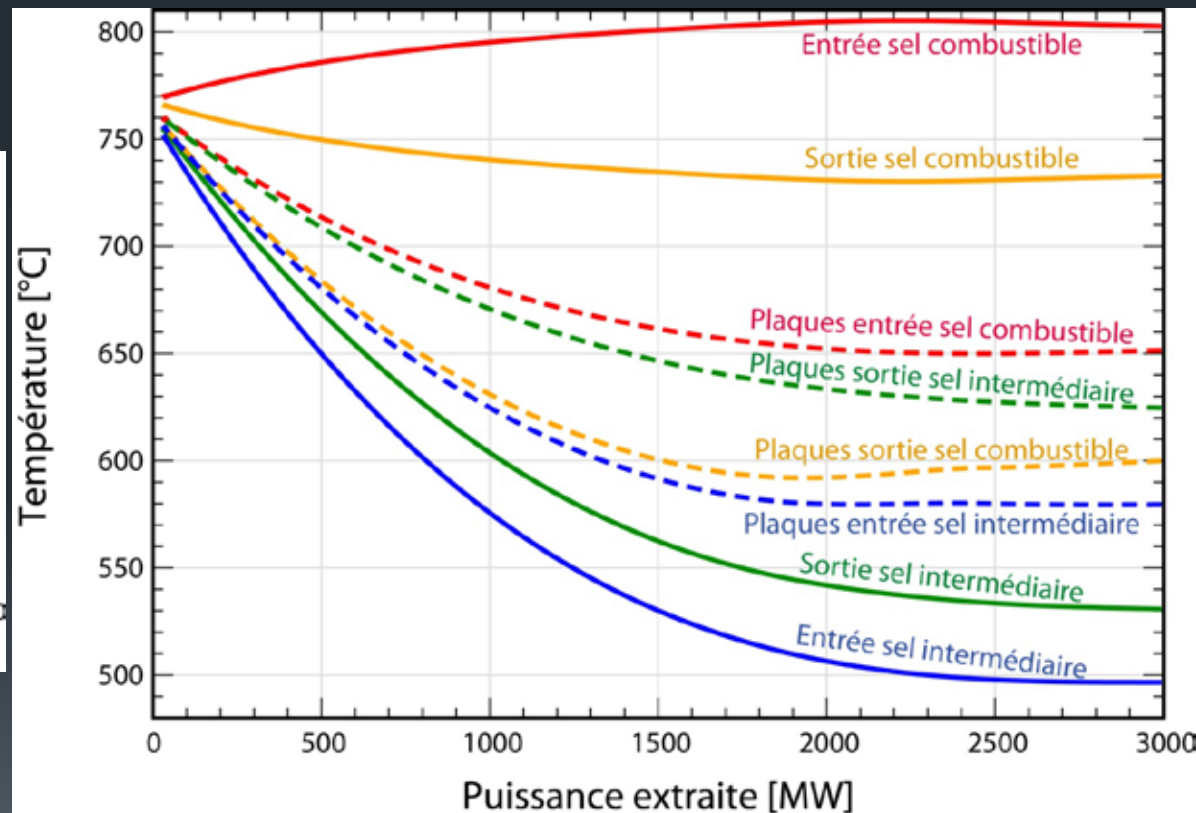
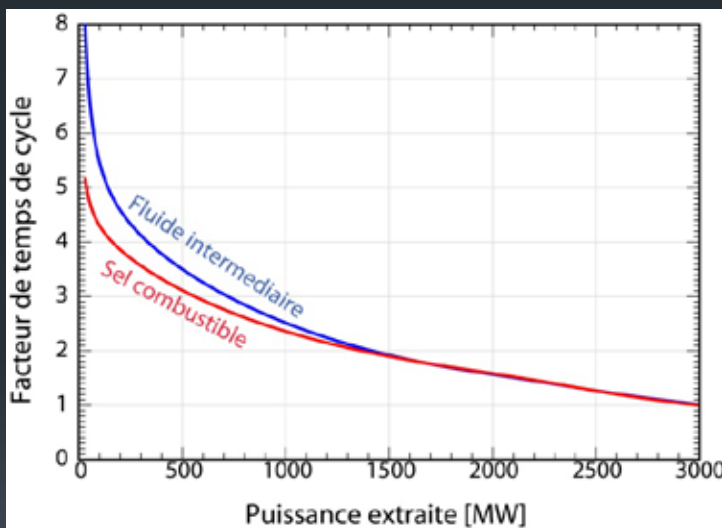
§ σ_i l'écart acceptable de P_i à la valeur cible P_{0i}

§ 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

