



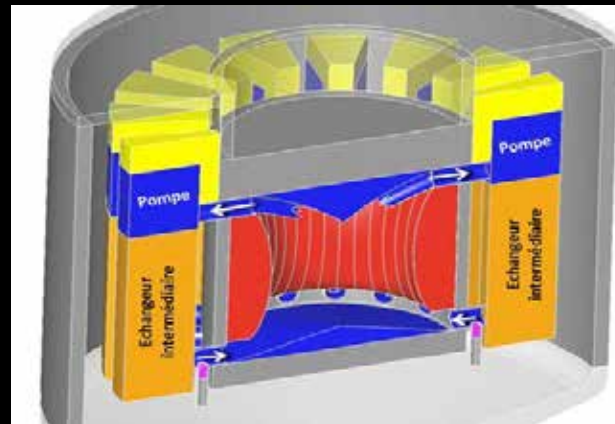
Le MSFR

Molten Salt Fast Reactor

vers un nucléaire socialement acceptable

Daniel Heuer

Directeur de recherche au CNRS



Motivation pour un nouveau type de réacteur nucléaire de fission

- L'augmentation de la population mondiale et l'accession à notre mode de vie par les pays émergents impliquent une augmentation de la demande énergétique mondiale
- L'utilisation des énergies fossiles provoque le changement climatique
- Il n'y a que 4 leviers pour réduire nos émissions de CO₂
 - Faire des économies d'énergie
 - Développer les énergies renouvelables
 - Développer la capture et séquestration du CO₂
 - Développer le nucléaire
- Si on veut que le nucléaire joue correctement son rôle il devra produire 10 fois plus d'énergie qu'actuellement
 - Mais le nucléaire est mal accepté à cause de la succession des accidents graves et de sa production de déchets hautement radioactifs
 - Les ressources en uranium pourraient ne pas être suffisantes pour pérenniser la filière actuelle

Il nous faut un nucléaire socialement acceptable

Quels sont les critères d'évaluation d'un réacteur nucléaire de fission du futur ?

- **Sûreté optimale**
 - Il ne doit jamais être nécessaire d'évacuer les populations vivant à proximité du réacteur
 - Ceci est facilité si
 - tous les coefficients de contre réaction sont négatifs
 - il n'y a pas de matériaux fortement réactifs dans et à proximité du cœur
 - En règle générale, s'il n'y a pas de risque de sur accident
- **Minimisation de la production de déchets**
 - Les actinides ne doivent pas être présent dans les déchets (sauf sous forme de traces)
 - Les actinides des réacteurs actuels doivent pouvoir être traités par ces réacteurs du futur
 - Les déchets dus aux éléments de structures et aux procédés de retraitement doivent être minimisés
- **Économie des ressources**
 - Le réacteur doit être au moins proche de la régénération (il doit produire lui-même sa matière fissile)
 - Cela impose que le combustible soit retraité régulièrement
- **Compétitivité économique**
 - Le coût du MWh produit ne doit pas (trop) excéder celui d'un réacteur actuel
 - La probabilité de perdre le réacteur doit être la plus faible possible
- **Acceptabilité sociale**
 - L'ensemble des critères précédents doivent être facilement explicables à un public de non spécialistes

Les combustibles liquides et le cycle thorium

Quelles sont les contraintes sur le type de liquide ?

- Température de fusion pas trop élevée
- Température d'ébullition suffisamment élevée
- Tension de vapeur faible
- Bonnes propriétés thermiques et hydrauliques
- Stabilité du liquide sous irradiation
- Solubilité des éléments fissiles et fertiles suffisante
- Pas de production de radio-isotopes difficilement gérables
- Possibilité d'un retraitement du combustible

Au final seuls les fluorures de Lithium sont possibles



Réacteurs à sels fondus



Les propriétés neutroniques du fluor sont défavorables au cycle uranium

La solubilité du plutonium dans les fluorures est limitée



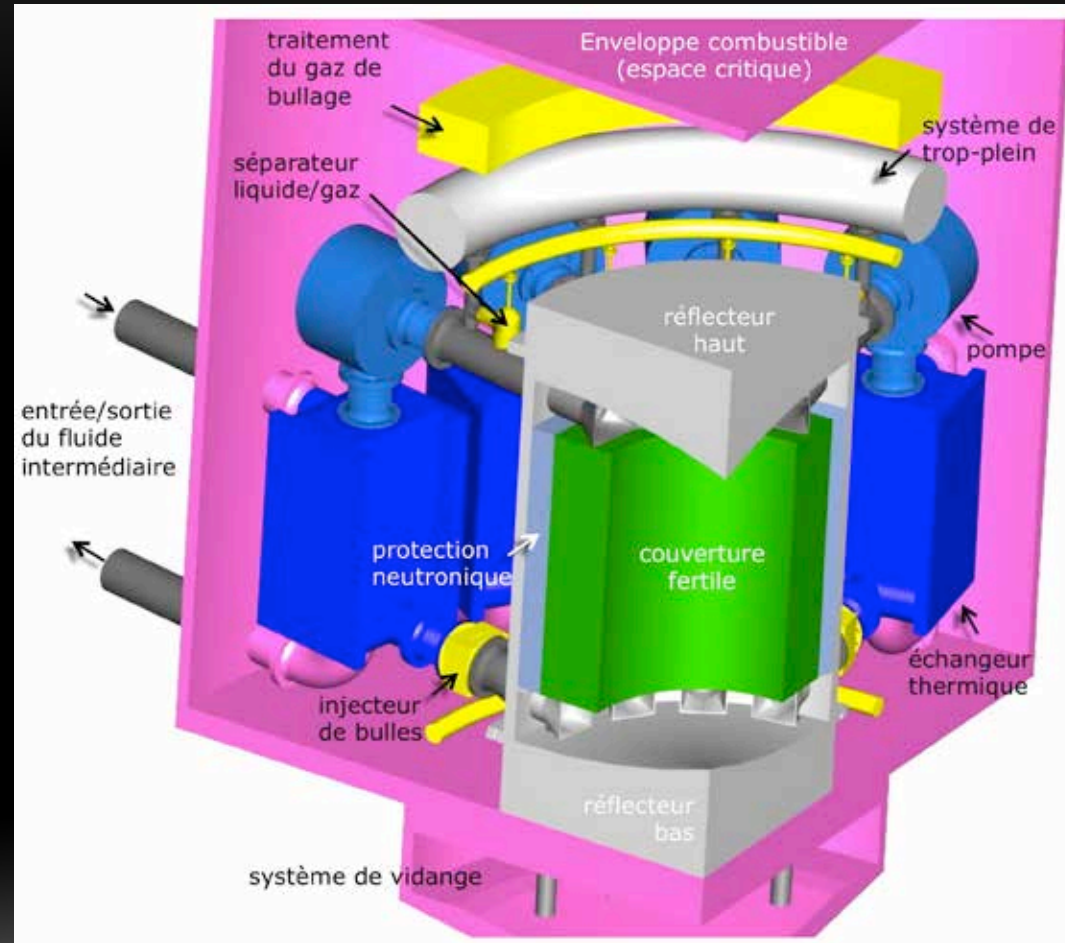
Cycle Thorium

Quels sont les avantages d'un combustible liquide ?

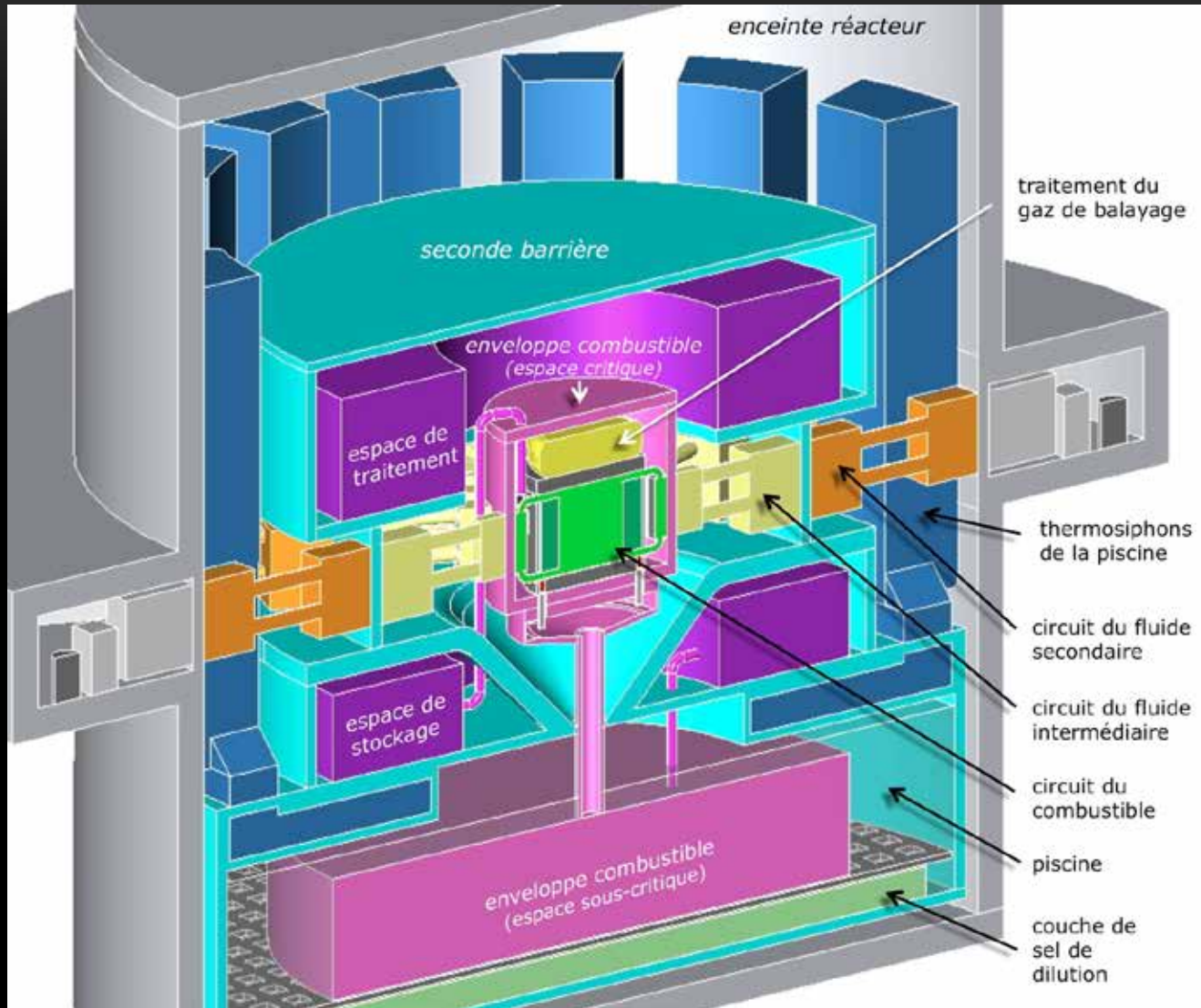
- ∅ Homogénéité du combustible (pas de plan de chargement)
- ∅ Chaleur produite directement dans le caloporteur
- ∅ Possibilité de reconfigurer le cœur en quelques minutes
 - ∅ Une première configuration permet d'optimiser la production d'énergie en gérant le risque de criticité
 - ∅ Une deuxième configuration permet un stockage avec refroidissement passif
- ∅ Possibilité de retraiter le combustible sans arrêter le réacteur
 - ∅ Pas de réserve de réactivité
 - ∅ Meilleure gestion des produits de fission neutrophages
 - ∅ Besoin d'un seul inventaire fissile initial

Définition du MSFR

- Pour respecter l'ensemble des critères précités, nous avons défini un nouveau type de réacteur dérivant des réacteurs à sels fondus étudiés dans les années 60-70
- L'évolution essentielle est le passage
 - d'un spectre neutronique thermique
 - les neutrons sont ralentis dans le cœur avant qu'ils n'interagissent
 - à un spectre neutronique rapide
 - les neutrons ne sont pas ralentis
- Ceci permet
 - Un comportement extrêmement stable
 - Pas besoin de barres de commande ni d'arrêt d'urgence
 - Le réacteur s'accommode de tout type de fissile
 - En particulier il peut incinérer les actinides du cycle actuel (Np, Pu, Am, Cm)
 - La vidange du combustible peut se faire en quelques minutes



Vue globale du MSFR



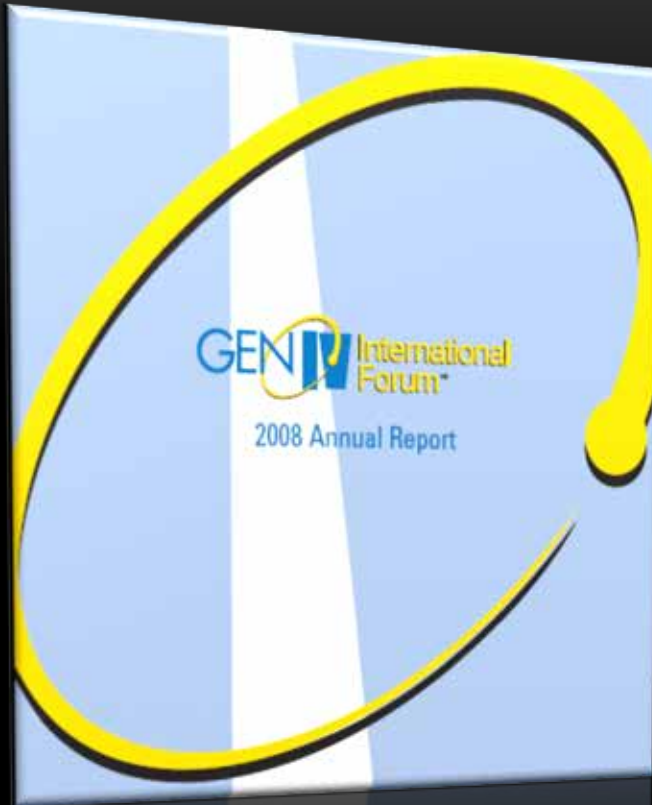
Cette vue montre les différents espaces à gérer ainsi que l'organisation des barrières de confinement

Rose pour la première, bleue pour la deuxième et grise pour la troisième

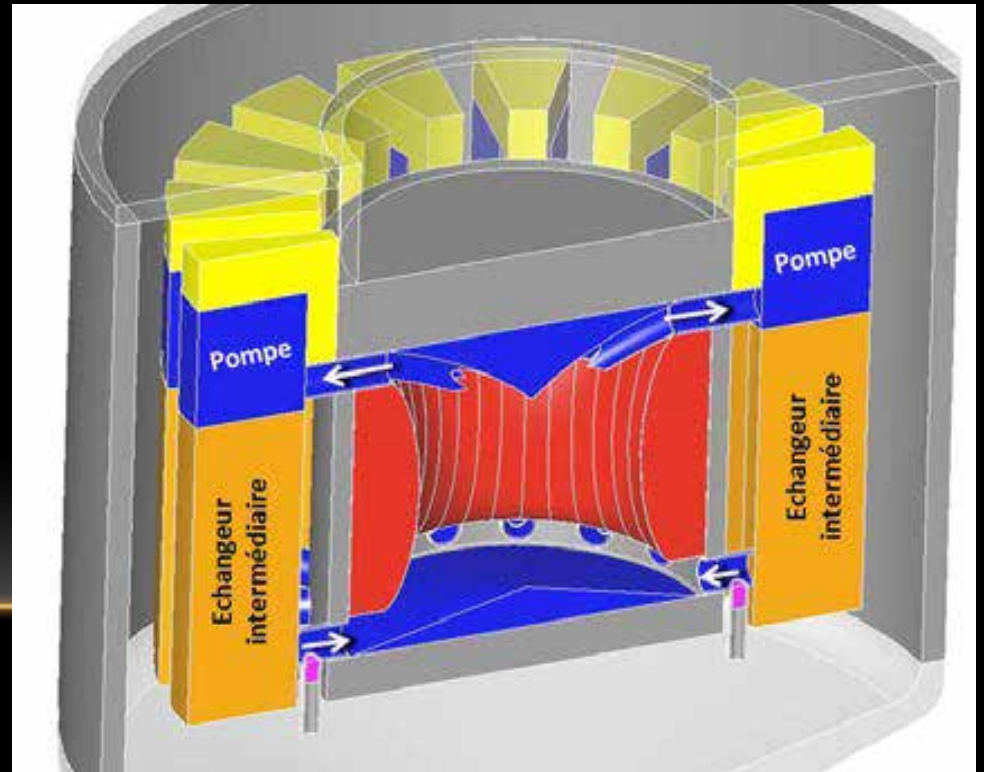
Bilan

- Nous disposons d'un concept satisfaisant l'ensemble des critères pour un réacteur du futur
 - Sûreté accrue
 - Tous les coefficients de contre réaction sont dans le vert
 - Dans les situations anormales, le combustible peut être mis à l'abri en quelques minutes
 - Minimisation de la production de déchets
 - Recyclage des actinides
 - Prise en compte des actinides du cycle actuel
 - Réduction de l'inventaire final
 - Économie des ressources
 - Régénération
 - Compétitivité économique
 - La simplification de tous les systèmes devrait permettre une réduction des coûts

Le MSFR et le forum international GEN IV



- Le forum international GEN IV dans le cadre du "MSR Steering Committee" a validé ce concept de réacteur à sels fondus en spectre rapide en lui donnant le nom de "MSFR"
- Ce choix a été entériné par le "Policy Group" en 2008
- Les aspects technologiques spécifiques doivent être investigués
- Une approche de sûreté spécifique doit être établie



MERCI POUR VOTRE ATTENTION