

Introduction

Les réacteurs à sels fondus ont été théorisés dans les années 1960, utilisant des sels composés de chlorures, permettant la réaction de fission directement dans le liquide du circuit primaire (composé de sels), permettant de limiter le traitement physique de leurs combustibles, l'utilisation de radionucléides fertiles considérés comme déchets dans les autres réacteurs utilisés en France, ou d'avoir un meilleur rendu thermodynamique, permettant une meilleure conversion d'énergie (1)(2). Cependant la conception de design particulier pour la chaleur, la sûreté de l'installation, ou encore les déchets des sels utilisés (Cl 36) ont arrêté le développement de ce type de réacteur (2). Depuis l'arrêt des réacteurs surgénérateurs français au début des années 2000, il serait intéressant de regarder quels avantages de sûreté pourraient être apporté par un réacteur aux sels fondus comparé à un réacteur du parc français à l'horizon 2030 ?

Etat des connaissances

Les réacteurs à sels fondus sont aujourd'hui seulement étudiés de manière théorique, même si deux réacteurs expérimentaux ont pu exister. Leurs coefficients thermiques de contre-réaction étant globalement positif (3), l'instabilité des réacteurs et la vitesse de retraitement des sels trop lente pour avoir un fonctionnement à plein régime limitent leur utilisation industrielle, cependant leur capacité de surgénération théorique étant très convoitée, ils ont été et sont toujours largement étudiés comme une solution pour la séparation poussée-transmutation permise par les réacteurs à neutron rapide.(2)

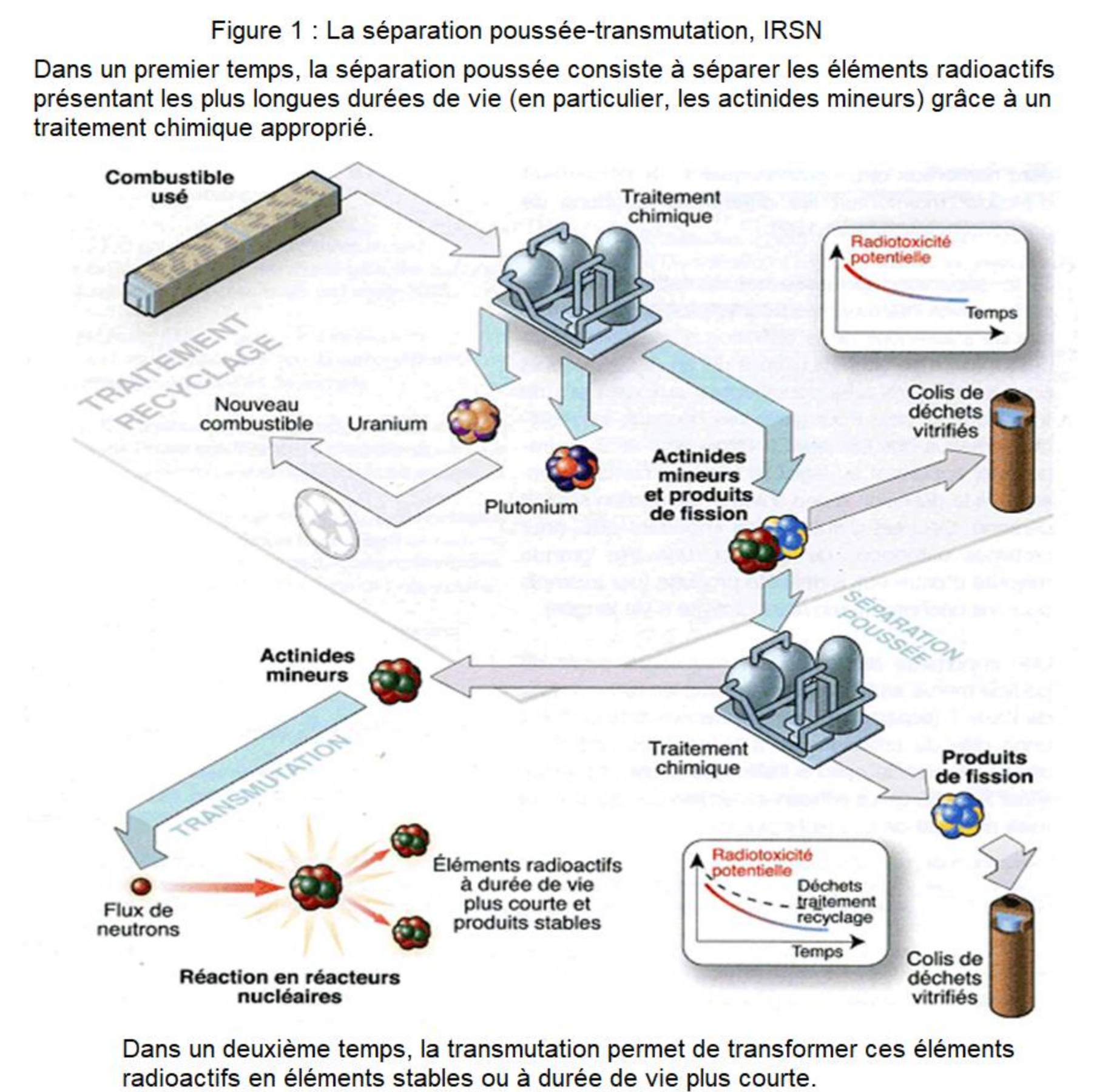
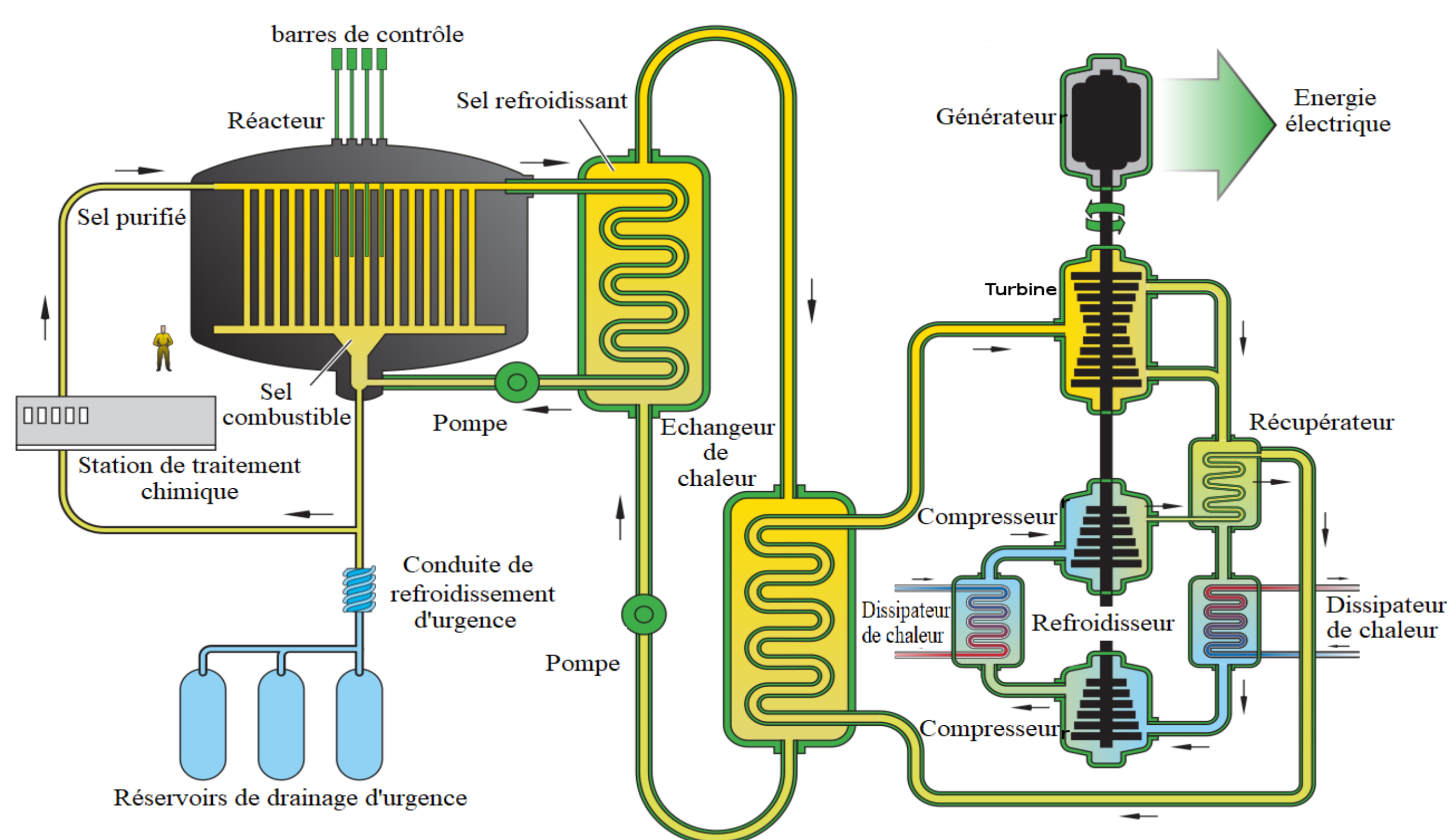


Figure 2 : Schéma conceptuel d'un réacteur à sel fondu (3)



Concepts de sûreté du RSF

Les trois grands concepts de la sûreté sont assurés (3) :

- **Contrôle** : la perte de contrôle dû aux systèmes ou à la réactivité du réacteur en cas d'injection de combustible mènent à la stabilisation de celui-ci par une dissipation de température (2)(3)
- **Refroidissement** : des dissipateurs thermiques sont présents pour absorber la chaleur résiduelle de la réaction et celle de transition, cette perte de chaleur permet le refroidissement à long terme, que ce soit dans le cœur ou dans la cuve en cas de fuite. (3)(4)
- **Compartmentation** : les sels sont chimiquement stables, a un point d'ébullition élevé et peuvent contenir les radionucléides en suspension. D'autres barrières physiques sont présentes pour assurer plusieurs couches de sûreté, comme des murs épais en béton et des plaques d'acier pour assurer la résistance à des événements externes comme les tremblements de terre, les explosions ou les crashes d'avions. (3)(4)

Comparaison avec la sûreté d'un REP

Le RSF dispose de systèmes d'arrêt similaires au REP. Cependant, il a un système en plus, le système permettant de contrôler la concentration en radionucléide du sel peut arrêter d'alimenter en réactif le cœur, permettant l'arrêt de la réaction.

Comparaison des fonctions d'arrêts (2)(4)

Fonction demandée	REP	RSF	Avantage du RSF
Système d'arrêt très grande vitesse	Barre de contrôle	Barre de contrôle	Suffisant pour les faibles concentrations
Second système d'arrêt	Système d'injection d'acide borique	Système de drain du sel combustible	Pas de fission dans le réservoir du drain
Troisième système d'arrêt	Pas d'équivalence	Système d'ajustement de composition du sel	Permet aussi la préparation du combustible

Comparaison des fonctions de refroidissement d'urgence (4)(5)

Fonction demandée	REP	RSF	Avantage du RSF
Préparation du refroidissement de l'eau	Système de refroidissement d'urgence du cœur	Non nécessaire	Le système de drain est suffisant, sans avoir besoin de système d'urgence
Dissipation de chaleur	Système de dissipation de la chaleur	Système de dissipation de la chaleur	Dernière contre-mesure pour les accidents sévères

Le RSF n'a pas de pastille ou de gaine de zircaloy, le combustible est sous forme liquide dissoute dans le sel. Il n'y a pas de gaz dû aux produits de fission, car le sel est filtré à chaque tour du circuit.

Comparaison des fonctions de confinement (5)

Nombre de barrière	REP	RSF	Avantage du RSF
1	Pastille	Aucune	Pas de fuite dû aux produits de fission (gaz), ils sont filtrés lors du recyclage du sel
2	Gaine de zircaloy	Aucune	Idem
3	Circuit primaire	Circuit primaire	Très faible pression (presque atmosphérique)
4	Circuit de puisard	Haute température, et Confinement	Pas de génération de vapeur, pas de gaz inflammable
5	Enceinte de confinement	Enceinte de confinement	Identique au REP

Conclusion

Le RSF dispose des concepts de sûreté nécessaire à une utilisation industrielle, il a pour avantage :

- Un contrôle de la réactivité du réacteur par la concentration en combustible dissout et par dissipation thermique.
- Possède des fonctions d'arrêts et de refroidissement équivalente ou supérieur au REP,
- Une pression du circuit primaire très faible, empêchant les dommages dû au gaz des produits de fission, ainsi que les risques d'explosions.
- Permet la transmutation des actinides mineurs.

Même si le RSF ne dispose pas de toutes les barrières de confinement d'un REP, il a les avantages lui permettant d'être considéré comme plus sûr qu'un REP par les Etats-Unis (seul pays ayant possédé des RSF).(5) Son plus gros défaut étant la vitesse de retraitement des sels qui est bien trop longue pour que le procédé soit rentable à échelle industrielle.(2)

Bibliographie

- 1 - Allibert M., Giot L., Heueur D., Laureau A., Merle E., « Conseil scientifique de l'IN2P3 » (2022)
 2 - Mariya Nrovchenko, « Etudes préliminaires de sûreté du réacteur à sels fondus » (2014)
 3 - Gerardin Delphine, « Développement de méthodes et d'outils numériques pour l'étude de la sûreté du réacteur à sels Fondus » (2018)
 4 - Leblanc D., Rodenburg C., « Integral molten salt reactor », Woodhead publishing, 2017, pages 541-556
 5 - Badawy M. Elsheikh, Safety assessment of molten salt reactors in comparison with light water reactors, Journal of Radiation Research and Applied Sciences, Volume 6, Issue 2, 2013, Pages 63-70, ISSN 1687-8507