

#### Introduction

Les réacteurs à sels fondus (Molten Salt Reactor ou MSR) ont été introduits il y a plus de 50 ans avec le réacteur à sels fondus expérimental (MSRE, 1965-1969). Bien que de nombreux projets de réacteurs de type MSR aient été conçus, cette technologie n'a jamais été commercialisée. Leur utilisation est néanmoins réenvisagée avec le forum international de Génération IV [1]. La conception SMR (Small Modular Reactor) pourrait être une possibilité de commercialiser les réacteurs MSR. L'utilisation de petits réacteurs SMR a été reconnue comme un moyen de revitaliser l'industrie électronucléaire en raison des améliorations qu'ils offrent en matière de sûreté (sûreté passive), de construction, d'exploitation et d'économie [2]. Néanmoins le niveau de maturité des nombreux projets de réacteurs SMR utilisant des technologies autres que les technologies de réacteurs à eau pressurisée (REP), est très en deçà de ce qui est attendu pour envisager leur autorisation à l'exception notable du réacteur intégral à sels fondus IMSR de la société *Terrestrial Energy*. Il s'agit du premier réacteur SMR à obtenir un avis réglementaire officiel d'une autorité de sûreté de la sphère européenne ou nord-américaine concernant la génération IV en novembre 2017.

Tableau n°1 : Présentation des principaux avantages des réacteurs à sels fondus

Avantages des Réacteurs à sels fondus (MSR)	
<b>Basse pression des sels et Absence d'eau</b>	Pas d'évaporation, de pression de vapeur ou de génération d'hydrogène → Rend impossible l'explosion de vapeur [3]
<b>Fluide caloporteur (sels fondus) excellentes qualités de transfert de chaleur et de réfrigération</b>	Capacité calorifique volumétrique 25 % > l'eau sous pression et 5 x > sodium liquide → Compaction des composants du circuit primaire : pompes et échangeurs de chaleur [1] → cœurs de réacteur compacts et moins coûteux [4]
<b>Combustible liquide (mélange de sels fondus + matière fissile)</b>	Élimine les problèmes liés à la perte de liquide de refroidissement [5]. Il n'y a aucun risque de fusion du cœur. Le combustible est déjà fondu [4]
<b>Haute Température</b>	Accroît considérablement l'efficacité de la production d'électricité → Utilisable comme source de chaleur industrielle (ciment, acier, pétrole et industrie chimique) [3]
<b>Usages Multiples et Différents types de combustible</b>	Impliquent un grand nombre de technologies et peuvent utiliser n'importe quel combustible fertile ou fissile, spectre à neutrons thermiques ou rapides suivant les besoins [3]

#### Matériels et méthodes : Le réacteur Integral Molten salt Reactor (IMSR)

→ **Combustible** mélange de sels fondus (stables chimiquement et thermiquement) à basse pression et à haute température et matière fissile (uranium faiblement enrichi à moins de 5 % d'U235) dans un réacteur à neutrons thermiques modérés par des éléments graphites.

→ **Architecture Intégrée** : La source de chaleur, le dissipateur thermique, les pompes primaires, les échangeurs de chaleur et les barres de contrôles sont tous contenus dans une seule cuve de réacteur intégrée. (Fig.1)

→ **Unité-Cœur Remplaçable** : remplacée complètement à la fin de sa durée de vie de 7 ans.

→ Pas d'ouverture sur le site de cette **Unité-Cœur**

→ **Puissance** : 400 MW thermiques = 190 MW électriques

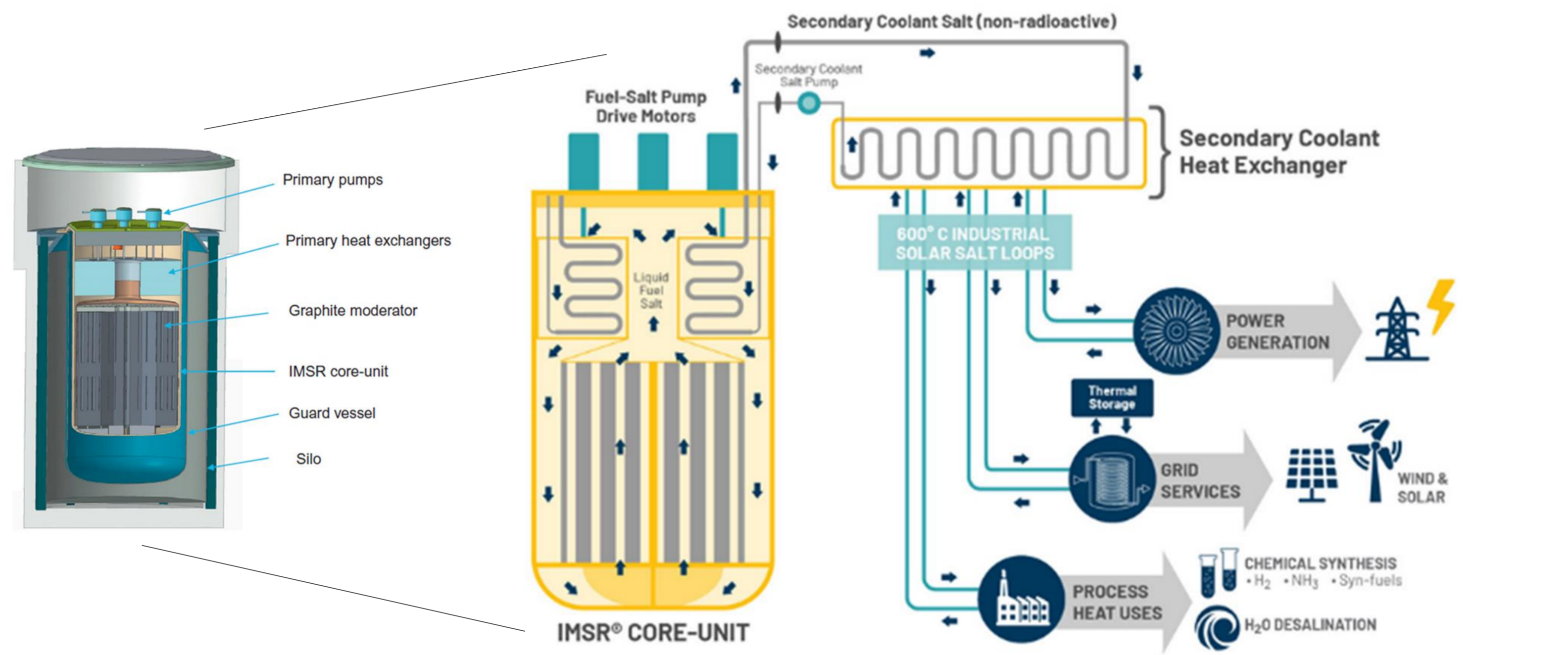


Fig.1 Unité-Coeur (Core-Unit) et cuve de garde de l'IMSR. (LeBlanc and Rodenburg, 2017) [6]

Fig.2 Représentation schématique du réacteur IMSR. (IAEA International Atomic Energy Agency, 2020) [7]

#### Une avancée en terme de sûreté : Combinaison Sûreté MSR et Système Intégré

##### a) Un système de sûreté passive

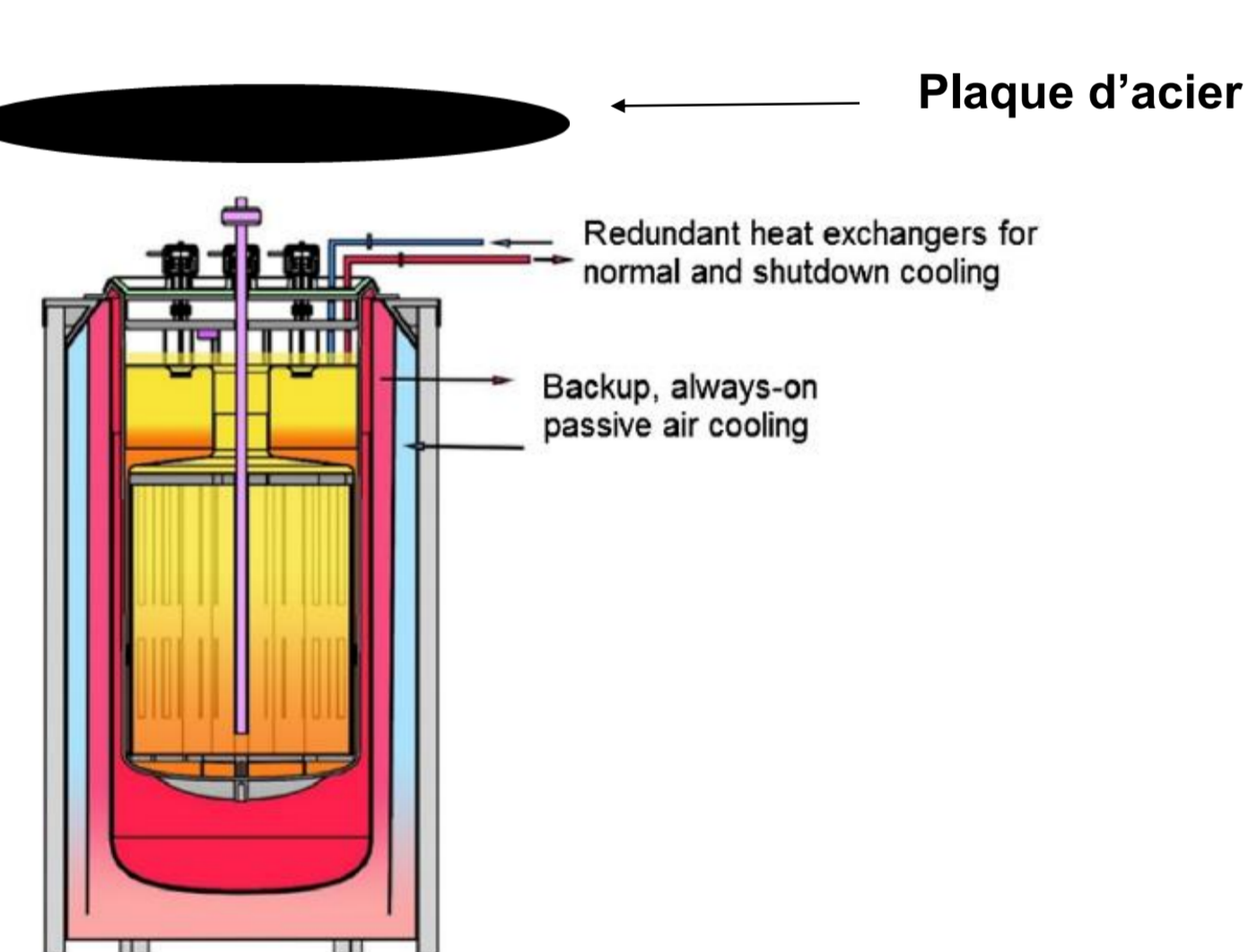


Fig.3 Système d'évacuation de la chaleur de l'unité-cœur (LeBlanc and Rodenburg, 2017) [6]

→ **Enveloppe passive de refroidissement par air**

→ **Contrôle de la criticité : rétroaction négative de la température (combustible de sels fondus)**

→ **Centrale IMSR est intrinsèquement sûr** : Aucune action de l'opérateur, aucun système mécanique ou électrique à alimentation externe n'est nécessaire pour assurer les fonctions de sûreté les plus élémentaires

##### b) Comparaison réacteurs MSR et REP

Barrière	REP	MSR	Intérêt pour les MSRs
1	Gaine de l'assemblage combustible (enveloppe les pastilles de combustibles)	Aucun (combustible liquide)	Pas d'accident de perte de réfrigérant primaire
2	Cuve sous pression, Confinement du circuit primaire	Cuve réacteur, Confinement par des boucles salines	Très basse pression / Pas de génération de vapeur ou de gaz inflammable
3	Bâtiment réacteur Enceinte de confinement	Bâtiment réacteur Enceinte de confinement	Identique aux REP

Tableau n°2 : Comparaison des barrières de confinement des matières radioactives entre les réacteurs à eau pressurisée (REP) et les réacteurs à sels fondus (MSR) adapté de (Elsheikh Badawy M, 2013) [8]

#### Compétitivité : Application de la méthode d'analyse G4-ECONS → Comparaison avec un réacteur REP avancé de génération III (AP1000)

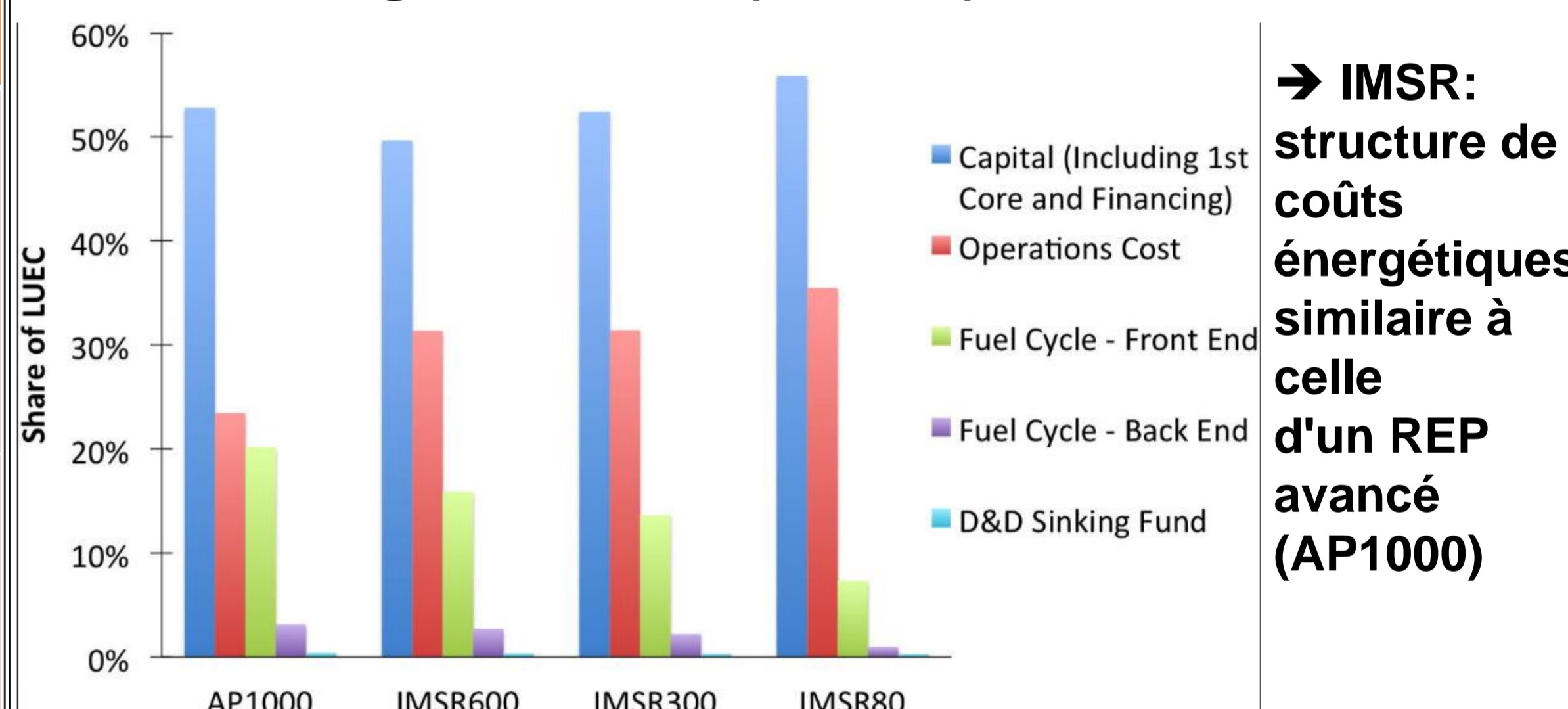


Fig.5 Part des différents composants du coût LUEC pour les réacteurs IMSRs et l'AP1000 (Samalova et al., 2017) [9]

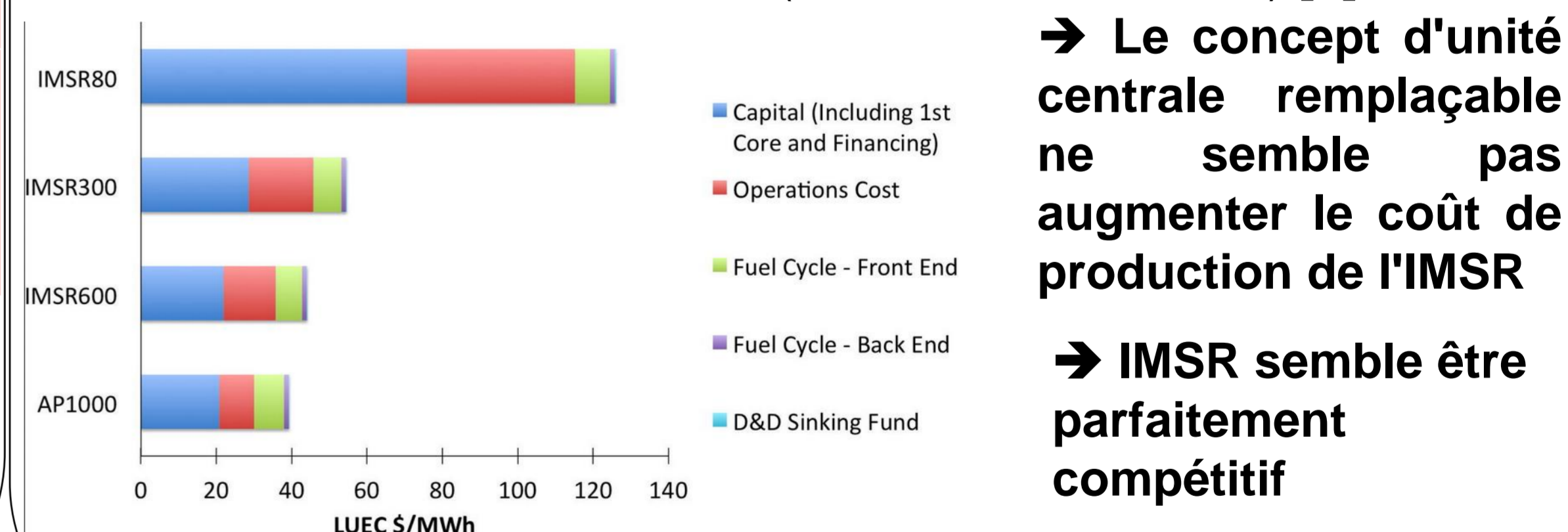


Fig.6 Résultat du calcul du coût LUEC pour les réacteurs IMSRs et AP1000 (Samalova et al., 2017) [9]

→ **IMSR: structure de coûts énergétiques similaire à celle d'un REP avancé (AP1000)**

→ **Le concept d'unité centrale remplaçable ne semble pas augmenter le coût de production de l'IMSR**

→ **IMSR semble être parfaitement compétitif**

**Conclusion** : L'IMSR est un réacteur à sels fondus dont la technologie repose sur la conception reconnue du MSRE et ce réacteur pourrait mettre en œuvre les avantages des petits réacteurs SMR. Il dispose d'un substantiel système de sûreté passive et les premiers résultats sont particulièrement encourageants du point de vue du coût estimé pour la production d'électricité. *Terrestrial Energy* développe actuellement son prototype de centrale nucléaire productrice d'électricité IMSR en vue de son déploiement au Canada avant 2030.

[1] LeBlanc, D., 2010. Molten salt reactors: A new beginning for an old idea. Nuclear Engineering and Design 240, 1644–1656. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2009.12.033>

[2] Hussein, E.M.A., 2020. Emerging small modular nuclear power reactors: A critical review. Physics Open 5, 100038. <https://doi.org/10.1016/j.physo.2020.100038>

[3] Serp, J., Allibert, M., Beneš, O., Delpech, S., Feynberg, O., Ghetta, V., Heuer, D., Holcomb, D., Ignatiev, V., Kloosterman, J.L., Luzzi, L., Merle-Lucotte, E., Uhlir, J., Yoshioka, R., Zhimin, D., 2014. The molten salt reactor (MSR) in generation IV: Overview and perspectives. Progress in Nuclear Energy 77, 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.02.014>

[4] Dolan, T.J., 2017. 1 - Introduction, in: Dolan, T.J. (Ed.), Molten Salt Reactors and Thorium Energy. Woodhead Publishing, pp. 1–12.

[5] Ignatiev, V.V., 2021. Molten Salt Reactors, in: Greenspan, E. (Ed.), Encyclopedia of Nuclear Energy. Elsevier, Oxford, pp. 553–568.

[6] LeBlanc, D., Rodenburg, C., 2017. 19 - Integral molten salt reactor, in: Dolan, T.J. (Ed.), Molten Salt Reactors and Thorium Energy. Woodhead Publishing, pp. 541–556. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101126-3.00018-X>

[7] IAEA International Atomic Energy Agency, 2020. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition.

[8] Elsheikh, B.M., 2013. Safety assessment of molten salt reactors in comparison with light water reactors. Journal of Radiation Research and Applied Sciences 6, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2013.10.008>

[9] Samalova, L., Chvala, O., Maldonado, G.I., 2017. Comparative economic analysis of the Integral Molten Salt Reactor and an advanced PWR using the G4-ECONS methodology. Annals of Nuclear Energy 99, 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.09.001>