

Introduction

Les Small Modular Reactor (petits réacteurs modulaires) révolutionnent l'idée du réacteur nucléaire gigantesque nécessitant des travaux colossaux et destinés aux plus grandes puissances mondiales. En effet, ces réacteurs majoritairement cylindriques aux dimensions réduites et aux capacités de production électrique de l'ordre de 100 à 300 MWe (900 à 1600 MWe pour un réacteur à eau pressurisée (REP) classique) sont très simples de fonctionnement et d'installation tout en garantissant une sûreté efficace. En 2018, on comptait déjà une cinquantaine de projets ou concepts de SMR dans le monde.

À la fin de l'année 2019, la France a fait son entrée sur le marché mondial de la création de SMR avec l'annonce du projet NUWARD (acronyme de NUclear forWARD (« en avant le nucléaire »)). Ce projet est porté par le consortium français réunissant **EDF**, le **CEA**, **TechnicAtome** et **Naval Group**, qui ont pour objectif de développer un SMR de type réacteur à eau pressurisée capable d'évacuer la chaleur du réacteur de façon passive sur une période de 7 jours. Nous nous sommes intéressés de plus près à cette innovation majeure afin de comprendre **comment un SMR peut disposer d'une autonomie totale de 7 jours grâce à la sûreté passive lors d'un accident de dimensionnement ?**

Les caractéristiques de NUWARD

Ce SMR est un REP de **170 MWe** ayant une durée de vie estimée supérieure à **60 ans**. Il est conçu pour fonctionner « en grappe » de plusieurs réacteurs (2, 4, 6 voire 8 réacteurs) ce qui confèrera à l'installation une puissance totale de **340 à 1360 MWe**. C'est un réacteur à fission nécessitant de l'**UO2** enrichie à moins de **5%** dont la durée du cycle de ce combustible est comprise entre **24 et 36 mois**. Voici un tableau de comparaison des caractéristiques de NUWARD et « NuScale » (le SMR américain le plus avancé dans son projet de conception) :

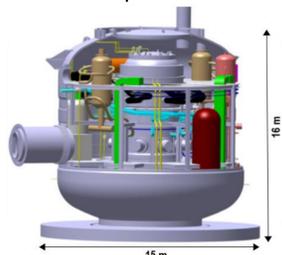


Figure 1 : modélisation 3D d'un module NUWARD (Technique de l'Ingénieur)

| | NUWARD | NuScale |
|---|-------------------|---------------------|
| dimensions d'un module (hauteur/largeur) | 16/15 m | 23,1/4,5 m |
| dimensions de la cuve du réacteur (hauteur/largeur) | 13,5/4 m | 17,8/3 m |
| puissance par module | 170 Mwe | 60 MWe |
| efficacité | 31,50% | 31% |
| masse d'un module | 310 t | 700 t |
| enrichissement de l'UO2 | <5% | <5% |
| pression de fonctionnement | 15 MPa (150 bars) | 12,8 MPa (128 bars) |
| autonomie suite à un accident de dimensionnement | 7 jours | 36 heures |

Figure 2 : tableau de comparaison des caractéristiques de NUWARD et NuScale (AIEA)

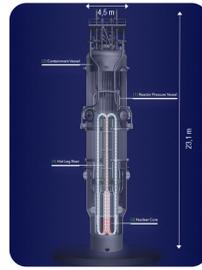


Figure 3 : module NuScale (greencarcongress)

Le réacteur du projet NUWARD

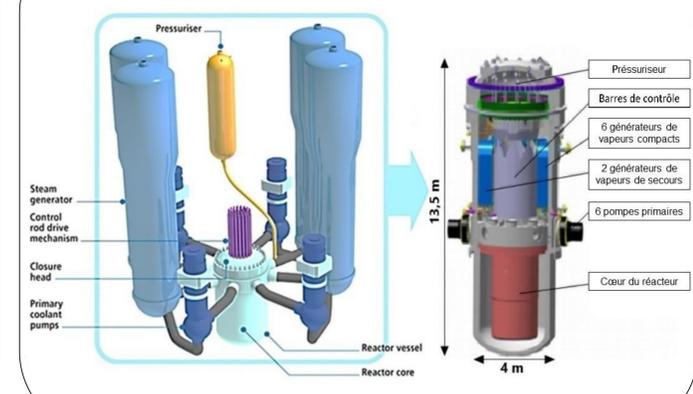


Figure 4 : représentation de la compacité de NUWARD (Technique de l'Ingénieur)

Un dispositif de sûreté passif très performant

Les systèmes de sûreté passifs sont généralement considérés comme étant d'une plus grande fiabilité que les systèmes de sûreté actifs car ils nécessitent moins de matériels, moins d'interventions humaines mais également une moindre dépendance aux sources électriques. Dans le cas de NUWARD son dispositif de sûreté passive est très complet. Il est important de connaître sa composition afin de comprendre son impressionnante autonomie de **7 jours**.

→ Ce SMR est conçu pour être construit **sous le niveau du sol** et **immergé** dans une piscine d'eau (figure 5) qui a le rôle de :

- dissipateur thermique de la chaleur de désintégration
- confinement passif du liquide de refroidissement
- amortisseur sismique
- bouclier de rayonnement
- barrière supplémentaire contre le rejet de produits de fission
- obstacle à la sécurité physique.

De plus, Le réacteur sera souterrain et protégé par un monticule artificiel afin de le protéger contre l'homme et les risques naturels (figure 6).

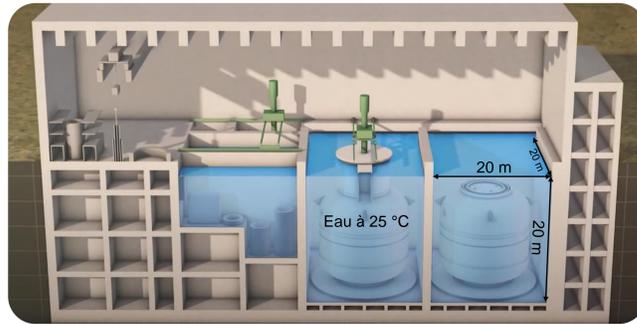


Figure 5 : installation souterraine de NUWARD (TechnicAtome)



Figure 6 : installation extérieure de NUWARD (TechnicAtome)

→ Des **recombineurs passifs** protègent aussi NUWARD contre les risques liés à l'hydrogène.

→ Un **système d'injection de liquide de refroidissement passif** via 2 accumulateurs est placé dans l'enceinte de confinement.

→ Le **diamètre des tuyaux** reliés à la cuve a été réduit à **30 mm** maximum afin de limiter la perte de liquide de refroidissement en cas de rupture.

→ Un **système de secours d'évacuation passive de la chaleur**. Il comprend 2 générateurs de vapeur de secours (un seul en fonctionnement lors d'un accident) reliés à un condenseur de secours.

En cas d'accident de dimensionnement, le système de secours d'évacuation passive de la chaleur peut fonctionner pendant au moins 7 jours sans dissipateur thermique externe ni alimentation électrique. La réalisation de cet objectif dépend grandement de la **présence d'eau** dans le réservoir afin d'éliminer efficacement la chaleur de désintégration. Par conséquent, nous allons observer comment évolue la **température de l'eau** du réservoir grâce aux deux scénarios ci-dessous.

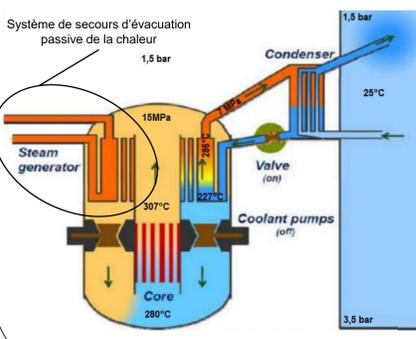


Figure 7 : système passif d'évacuation de la chaleur résiduelle en fonctionnement nominal (MIT)

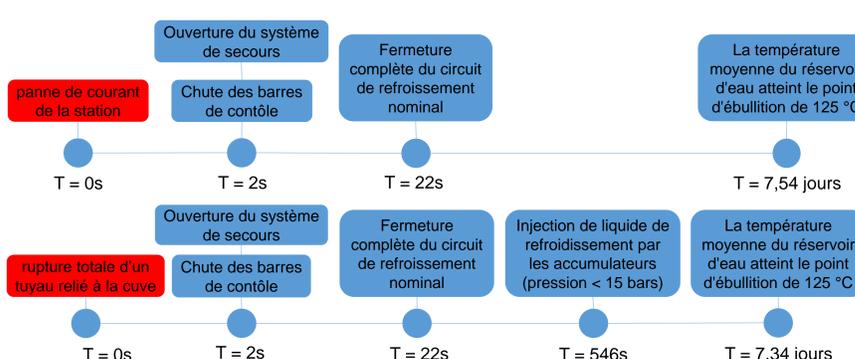


Figure 8 : chronologie des événements se produisant au sein de NUWARD lors d'un accident de dimensionnement

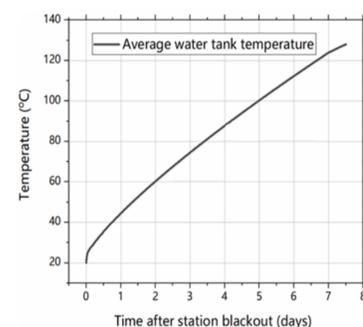


Figure 9 : graphique représentant l'évolution de la température de l'eau du réservoir en fonction du temps après une panne de courant de la station (MIT)

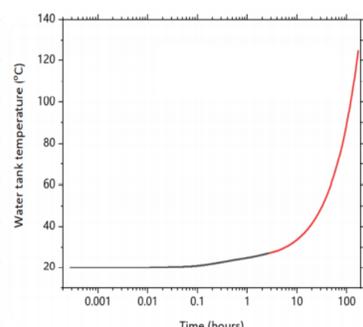


Figure 10 : graphique représentant l'évolution de la température de l'eau du réservoir en fonction du temps après rupture de tuyau (MIT)

Conclusion

Après un accident de dimensionnement tel qu'une panne de courant de la station ou encore une rupture totale d'un tuyau relié à la cuve, le réacteur pourra être refroidi en totale autonomie grâce au **système de secours d'évacuation passive de la chaleur** qui assurera ce refroidissement en offrant une période de grâce de **7 jours sans dissipateur de chaleur extérieure ou source d'alimentation**. En effet, ce circuit de secours disposant d'un **nombre de composants inférieur** à celui du circuit de refroidissement nominal, la chaleur résiduelle du combustible sera évacuée plus lentement vers le réservoir d'eau et ce, uniquement par **circulation naturelle**. Mais cette performance est également rendue possible grâce à **l'ensemble de ses éléments de sûreté** qui, lorsqu'ils sont mis bout à bout, lui offrent une immense fiabilité.

Ce SMR très prometteur est le plus sûr actuellement en projet, mais ce choix de la sûreté se fait probablement au détriment de son efficacité qui est de 31,5% tandis que les REP modernes ont souvent des rendements de 33%. Certains modèles plus avancés tels que l'EPR ont un rendement de 37%. Cette différence d'efficacité influencera le prix du kWh en sortie de réacteur, rendant probablement NUWARD moins compétitif sur le plan économique.

Bibliographie

- AIEA, 2018. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments.
- Cheng, Z., 2020. Safety Analysis of a compact Integral Small Light Water Reactor. Massachusetts Institute of Technology.
- Hussein, E.M.A., 2020. Emerging small modular nuclear power reactors: A critical review. ScienceDirect.
- Louis, N., n.d. Des petits réacteurs nucléaires en développement partout dans le monde. Techniques de l'Ingénieur. URL <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/des-petits-reacteurs-nucleaires-en-developpement-partout-dans-le-monde-84361/> (consulté le 05.11.20).
- Santinello et al., 2018. Preliminary analysis of an integral Small Modular Reactor operating in a submerged containment. Progress in Nuclear Energy 107, 90–99. ScienceDirect.