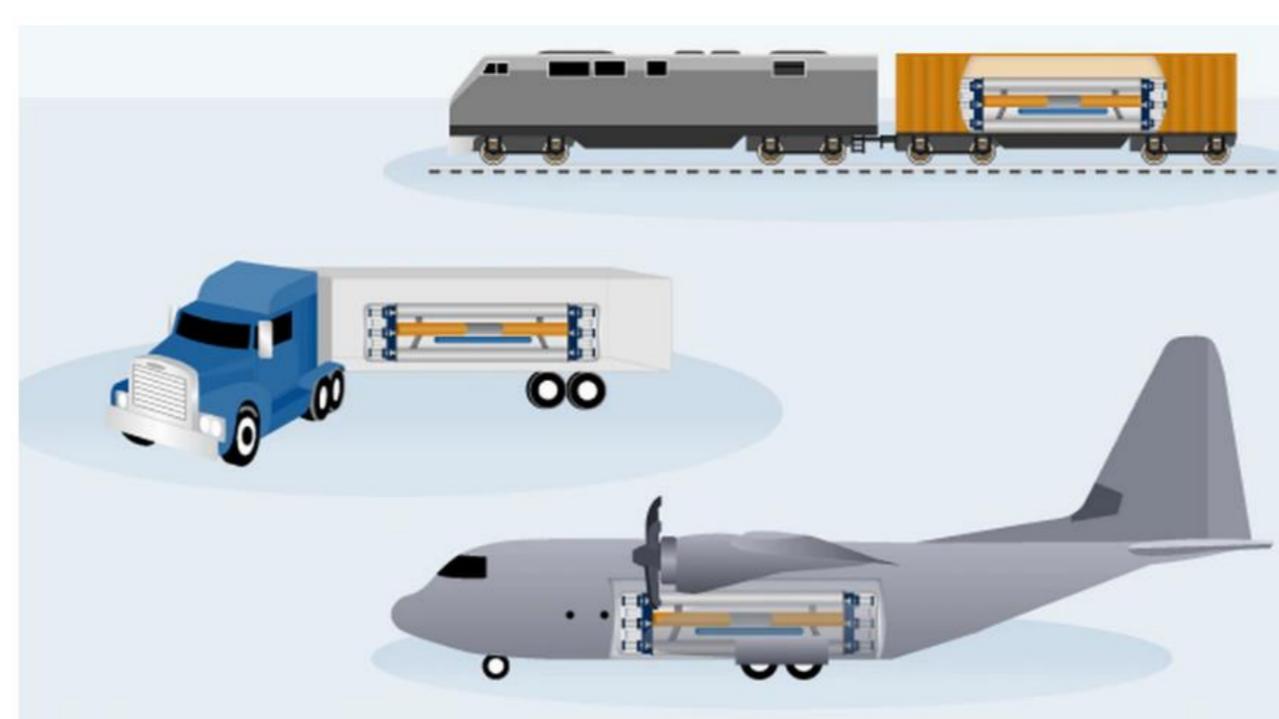


I – Introduction

Et si un réacteur nucléaire compact, transportable par n'importe quel moyen, pouvait être déployé en moins de 72 heures pour fournir une énergie sûre partout dans le monde ? Les centrales nucléaires sont conçues pour une production centralisée et de forte puissance. Le projet PELE, développé par le Département de la Défense américain avec l'Idaho National Laboratory, s'en distingue par la conception d'un micro-réacteur mobile, de faible puissance, intégrant des principes de sûreté intrinsèque et destiné à une exploitation autonome en environnements extrêmes..



Source: GAO | GAO-20-380SP
The Defense Department is moving ahead with an effort to develop small, portable nuclear reactors. These concepts from the Government Accountability Office show potential ideas for transport and deployment of nuclear power generation anywhere.

Figure n°1 : Les microréacteurs sont conçus pour être transportables par rail, camion ou avion-cargo. (GAO 2020)

Comment le projet PELE peut-il allier puissance nucléaire mobile et sûreté radiologique absolue en environnements hostiles ?

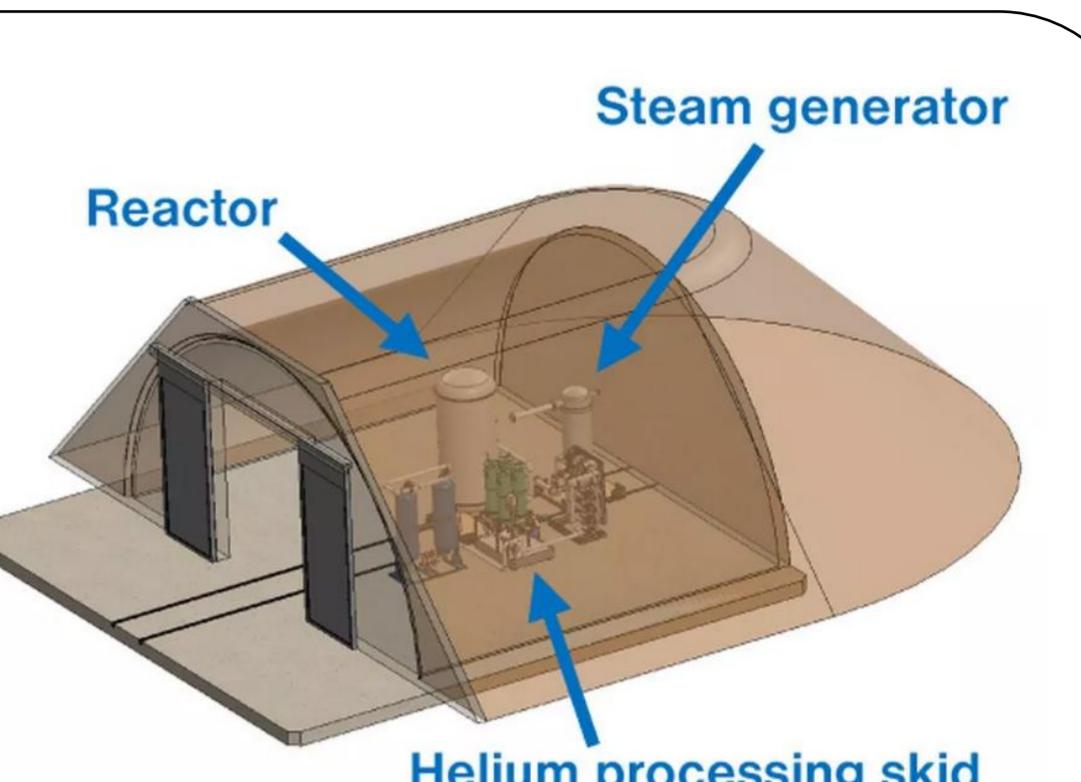


Figure n°2 : Modélisation 3D du projet PELE (BWXT 2025)

II – Architecture et sûreté du micro-réacteur mobile Pele.**Fiche Technique : Réacteur du projet Pele :**

Puissance électrique : 1 à 5 MWe

Refroidissement : Réacteur à haute température refroidi au gaz (HTGR), évitant le besoin d'une source d'eau externe.

Durée de vie du combustible : Plus de 3 ans d'opération continue sans recharge.

Mise en service : Déploiement et connexion au réseau en moins de 72 heures.

Démantèlement : Retrait du site en moins de 7 jours.



Figure n°3 : Un tracteur M915A5 de l'armée avec une semi-remorque M872A4 transportant un conteneur ISO de 20 pieds (NRC 2023)

→ Le combustible TRISO ←

Abréviaison de Tri-Structural Isotropic, le combustible TRISO est un des combustibles nouvelles générations. Il est utilisé dans les réacteurs à haute température, comme le projet pele, et a un grand intérêt pour la sûreté.

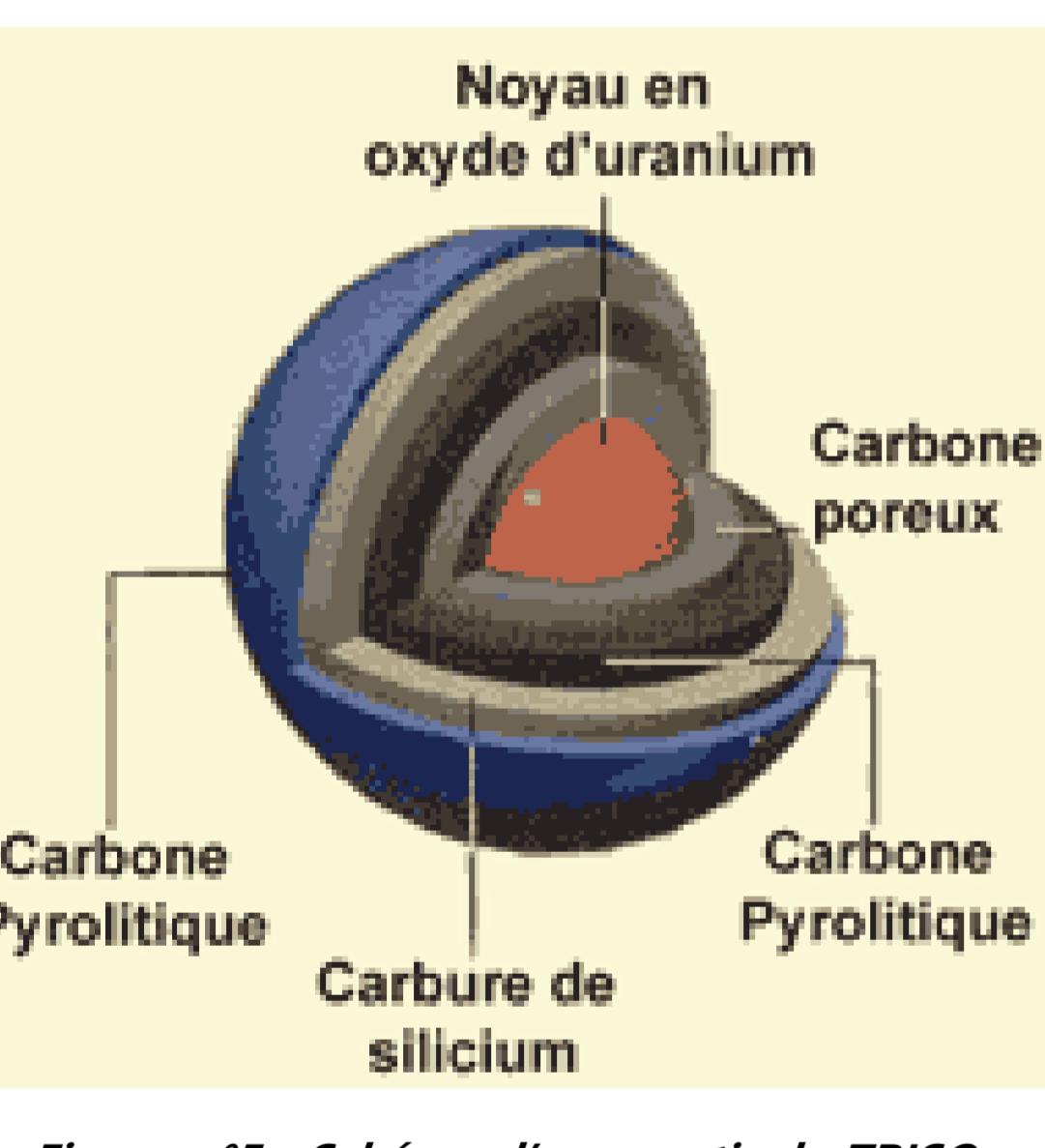


Figure n°5 : Schéma d'une particule TRISO (UARGA 2025)

Il possède 4 couches distinctes :

- Le carbone poreux -> d'expédition, est retiré du conteneur de transport du navire de confinement. (INL 2025)
 - Le carbone pyrolytique (2 couches) pour la résistance mécanique et l'étanchéité -> confinement assuré (barrière de sûreté).
 - Le carbure de silicium qui vient bloquer la diffusion de produits de fissions
- La stabilité de ces matériaux à très haute température ($\approx 1600^{\circ}\text{C}$) permet à chaque particule d'assurer son propre confinement. [5].

(INL 2025)

Conclusion

Le projet PELE montre qu'il est possible de concilier énergie nucléaire mobile et haut niveau de sûreté radiologique en s'appuyant sur des choix de conception intrinsèquement sûrs. La faible puissance du micro-réacteur, combinée à une forte inertie thermique et à l'utilisation de matériaux résistants aux hautes températures, garantit un comportement stable même en conditions dégradées.

Toutefois, si la modularité du système renforce la sécurité opérationnelle et limite l'intervention humaine, elle introduit également des contraintes en matière de transport, de protection et de contrôle. Bien que la très faible puissance résiduelle permette une dissipation passive de la chaleur après l'arrêt, la sûreté globale du concept reste étroitement liée aux conditions réelles d'exploitation, encore peu documentées.

À terme, ce type de micro-réacteur pourrait également être envisagé pour alimenter des sites civils isolés ou des opérations de secours, au-delà de son usage militaire.

Bibliographie

1 : INL : INL advances Department of War's Project Pele demonstration microreactor with first TRISO fuel delivery : <https://inl.gov/news-release/inl-advances-department-of-wars-project-pele-demonstration-microreactor-with-first-triso-fuel-delivery/>

2 : BWXT : Project pele powering our military anywhere, anytime : <https://www.bwxt.com/who-we-are/purpose/>

3 : MDPI : Dynamic Modeling of a HeXe-Cooled Mobile Nuclear Reactor with Closed Brayton Cycle : <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/2/5396>

III – Modularité et prouesses industrielles

Il est constitué de quatre conteneurs de 20 pieds : un module réacteur, un module de conversion de puissance développé par Rolls-Royce, un module de contrôle conçu par Northrop Grumman, et un module logistique dédié aux équipements auxiliaires et aux raccordements.

Cela permettra d'effacer les transports des chaînes logistiques du carburant diesel, les plus vulnérables lors des opérations menées par l'armée américaine. [2].



Figure n°6 : Illustration artistique des modules de réacteur transportables du projet Pele de BWXT arrivant pour installation et mise en service (BWXT 2025)

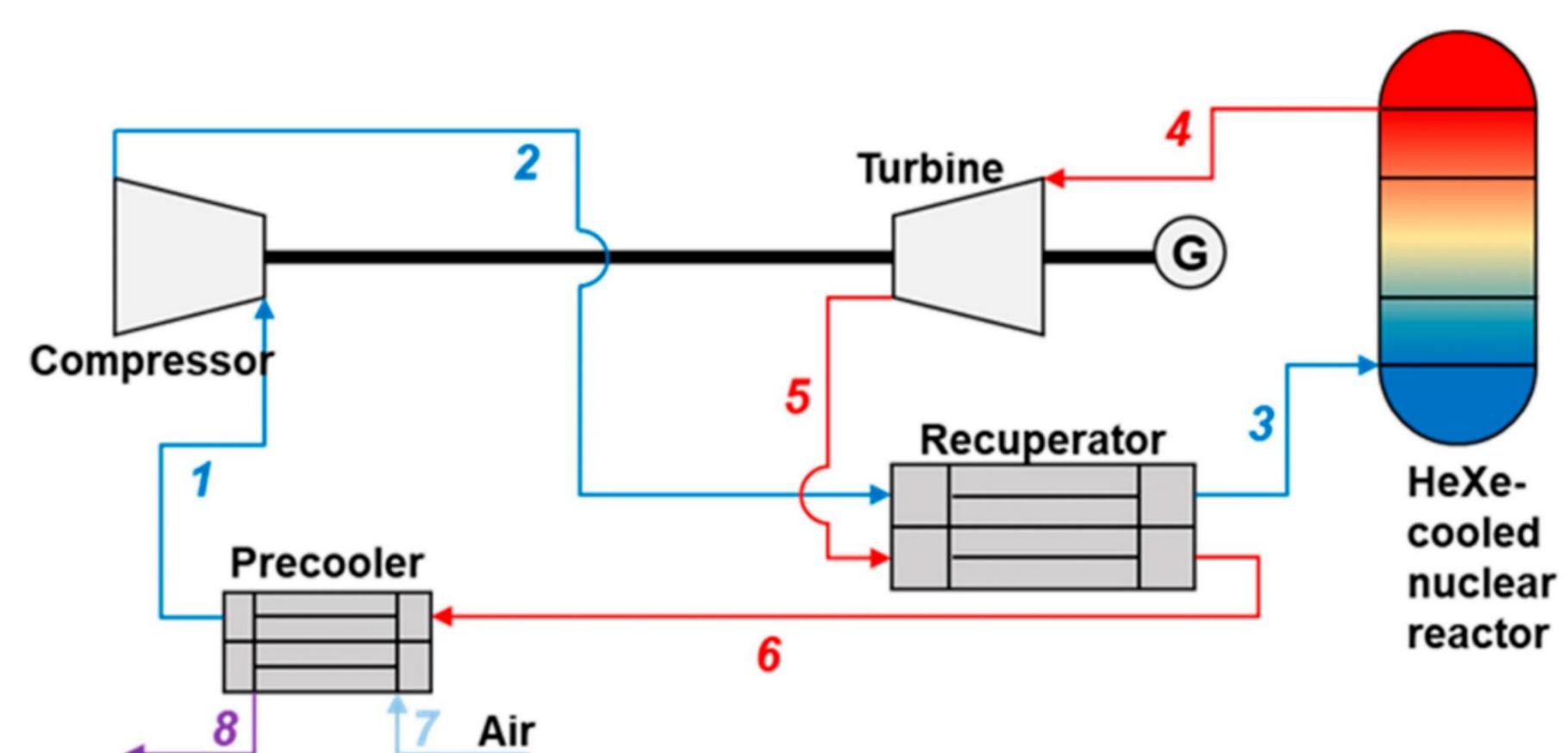


Figure n°7 : Schéma du cycle de Brayton fermé HeXe. (Mdpi 2024)

BXWT et Rolls-Royce ont imaginé un système capable de transformer la chaleur gazeuse en électricité via un cycle de Brayton fermé. [3].

C'est le système le plus intéressant pour ce genre de moteur car il vient recycler en continu le mélange HeXe. Ce qui minimise les pertes et améliore la conversion de l'énergie thermique en énergie électrique.

IV – Comparatif de la puissance résiduelle

La puissance résiduelle correspond à la chaleur produite après l'arrêt de la réaction en chaîne, due à la décroissance radioactive des produits de fission.

En comparant les REP et le micro-réacteur Pele, on observe rapidement son utilité pour les forces armées. Le refroidissement rapide et sans équipement permet une mise en service immédiate et un retrait accéléré sur les sites à risque.

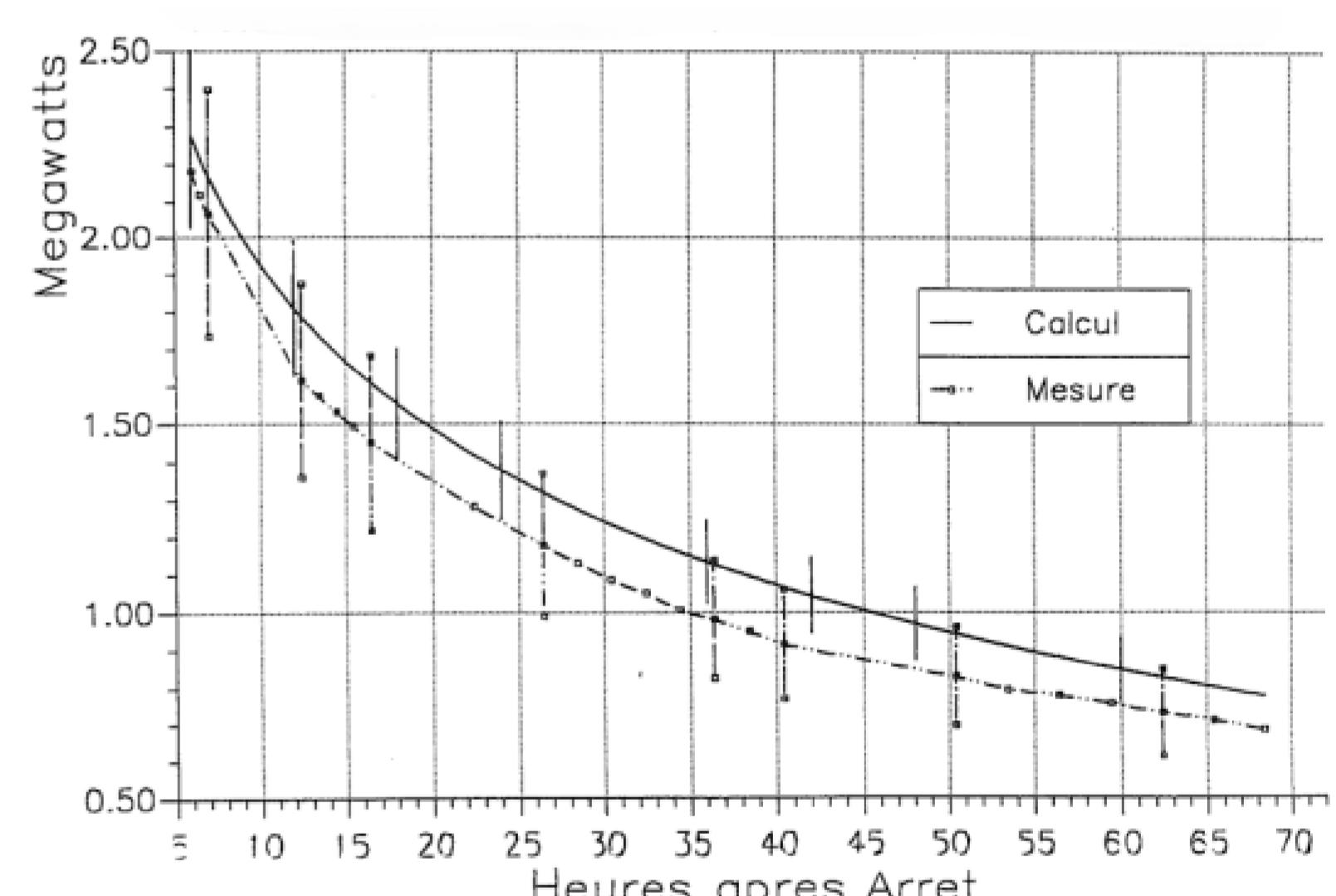


Figure n°8: Evolution de la Puissance Résiduelle en fonction du temps de refroidissement

Paramètre / Temps	Réacteur Classique (REP 1300)	Micro-réacteur (Projet Pele)
Type de technologie	Eau pressurisée (REP / PWR)	Haute température (HTGR)
Combustible	Pastilles d'UO ₂ (Gaine Zircaloy)	Particules TRISO (Céramique)
Puissance Nominale	~3 900 MWth (1 300 MWe)	~10 à 15 MWth (1 à 5 MWe)
À l'arrêt (t=0)	~270 MWth (7 %)	~0,7 à 1 MWth (7 %)
Après 1 heure	~60 MWth (1,5 %)	~0,15 MWth (~1,5 %)
Après 1 jour	~20 MWth (0,5 %)	~0,05 MWth (Quelques dizaines de kW)

4 : TANDFONLINE : Fluoride-Salt-Cooled High-Temperature Reactor (FHR) Using British Advanced Gas-Cooled Reactor (AGR) Refueling Technology and Decay Heat Removal Systems That Prevent Salt Freezing : https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00295450.2019.1586372?utm_source=researchgate.net&utm_medium=article#abstract

5 : CEA : Le combustible à particules : <https://www.cea.fr/Documents/monographies/Combustibles-nucl%C3%A9aires-%C3%A9lecteurs-gaz.pdf>