

The background of the entire page is a grayscale photograph of the Atomium structure in Brussels, Belgium. The structure consists of three large spherical nodes connected by a network of tubular beams. The top node is the most prominent, with a flag on its peak. The structure is set against a light sky, with some trees and a fence visible in the lower-left corner.

**LE VÉRITABLE POUVOIR
DU SMR SUR LA VOIE
D'UN AVENIR
ÉNERGÉTIQUE DURABLE**

ISSAM TALEB

Associé chez EY-Parthenon, Paris



Par Issam Taleb,
Associé chez EY-Parthenon, Paris

LE VÉRITABLE POUVOIR DU SMR SUR LA VOIE D'UN AVENIR ÉNERGÉTIQUE DURABLE

*Dans cet article, **Issam Taleb**, Associé chez EY-Parthenon et spécialiste des systèmes énergétiques dévoile pour Confrontations Europe les principales conclusions de la grande étude menée par les bureaux d'EY-Parthenon en Europe, aux Etats-Unis et en Asie sur les enjeux de l'émergence du marché des SMR et AMR.*

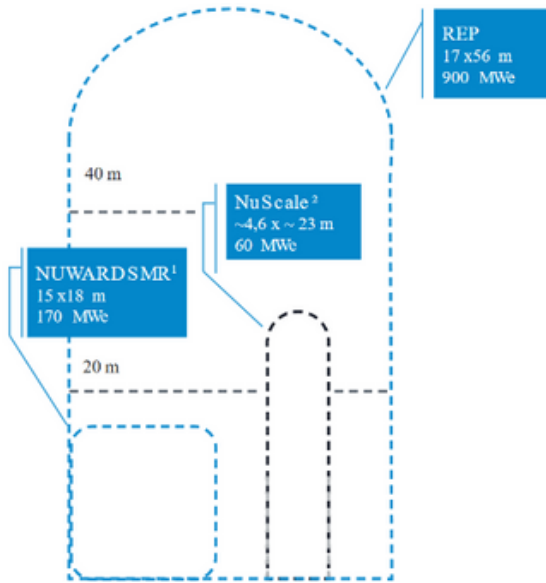
Alors que la deuxième moitié du 20ème siècle a vu l'essor rapide et massif de l'industrie nucléaire, le début du 21ème en a vu le ralentissement, alimenté par les accidents de Tchernobyl, de Fukushima et par leur impact sur les opinions publiques. Depuis 2020 pourtant, le nucléaire revient sur le devant de la scène et s'affirme comme l'une des briques techniques qui permettra de répondre à la demande massive d'énergie décarbonée que suppose l'électrification des usages, elle-même induite par la raréfaction des ressources fossiles et surtout par l'urgence climatique.

Ainsi, la source nucléaire est de plus en plus intégrée aux feuilles de route des Etats, aussi bien dans son format historique avec des réacteurs de génération III ou III+ de grande taille (à eau pressurisée ou bouillante, de 900 à 1600 MWe) que sous la forme de réacteurs plus petits de génération III+ ou IV : les SMR/AMR.

Les SMR (Small Modular Reactor) sont des réacteurs de génération III ou III+ de faible puissance.

Les AMR (Advanced Modular reactors) sont des réacteurs de génération IV (réacteurs à très haute température, sels fondus, métal fondu) permettant notamment de recycler du combustible usé ou de mettre en œuvre des solutions de sûreté passive mais dont la maturité est encore faible.

Nous désignons par abus de langage les SMR/AMR par le terme SMR.



Dimensions d'un réacteur à eau pressurisée (REP) conventionnel et des SMR.

Les SMR : définition et promesses

Les SMR sont des réacteurs nucléaires ayant trois caractéristiques majeures :

- Small – une puissance allant de 2 à 300 MWe
- Modular – une conception permettant la fabrication en usine et l'assemblage sur site d'unités de production qui peuvent être additionnées
- Reactors – le recours aux réactions de fission nucléaire pour produire de la chaleur et potentiellement de l'électricité

La promesse industrielle des SMR est de construire des installations nucléaires de façon plus industrielle et standardisée, ce qui tendrait à sécuriser les coûts de construction et à réduire les aléas tout en autorisant un apport d'électricité ou de chaleur décarbonée pour des usages très divers. Cette promesse est en rupture avec la tendance historique consistant à construire des centrales de plus en plus grosses permettant de mutualiser des coûts fixes.

Plusieurs industriels historiques ont monté leurs projets de SMR à l'image d'EDF, General Electric-Hitachi, Rolls-Royce ou Westinghouse, principalement dédiés à la production d'électricité avec des unités de taille moyenne (100-300 MWe) recourant à des technologies éprouvées (Réacteur à Eau Pressurisée) parfois déjà utilisées dans d'autres contextes (sous-marin nucléaire par exemple).

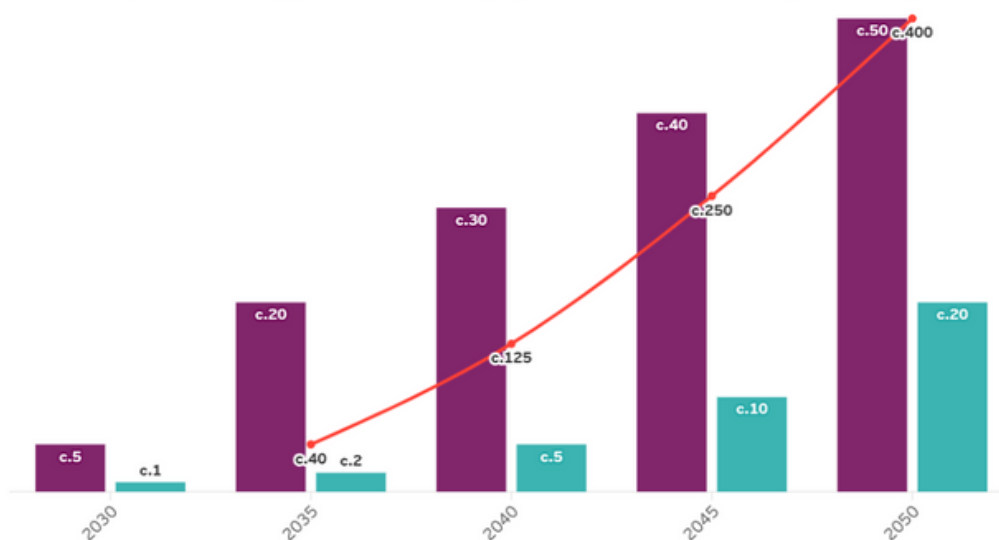
Parallèlement, un écosystème de start-up s'est constitué autour de projets de plus petites unités (10 à 100 MWe). Celles-ci sont majoritairement de génération IV et dédiées à la production de chaleur.

Le marché des SMR est estimé à 70-120 Mds\$ en 2050 et correspond à deux activités. En premier lieu, la construction des unités est une activité très capitalistique mais non récurrente estimée à 50-90 Mds\$/an en 2050, soit 5 à 10 GWe de capacité construite par an.

En second lieu, l'exploitation des unités de production couvre la fourniture du combustible et la gestion des installations. Cette activité est moins capitalistique mais récurrente et est estimée à 20-30 Mds\$/an en 2050 correspondant à une base installée de 60 à 100 GWe. La dynamique de ce marché suit de quelques années celle de la construction.

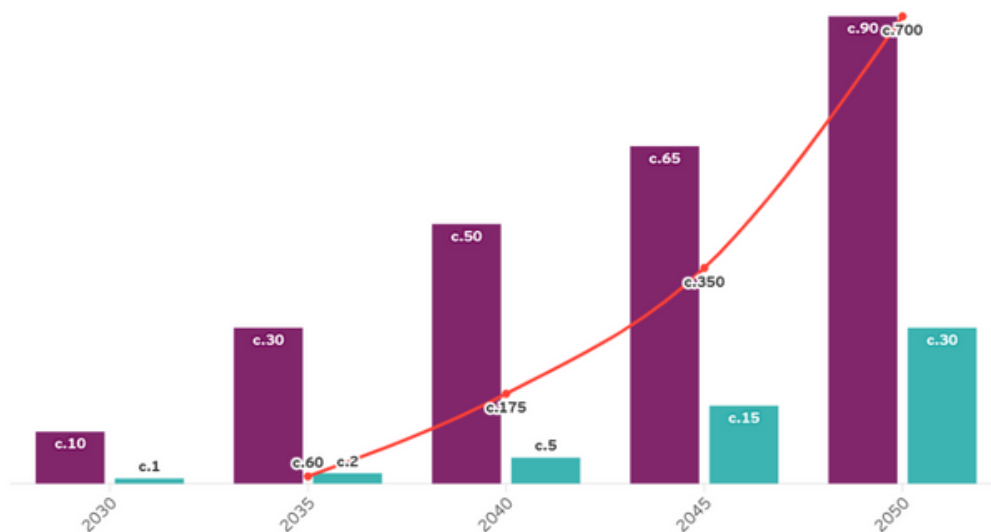
Scénario réaliste

■ Nombre de SMR (unités de 150 MWe) ■ Construction des SMR ■ Exploitation et maintenance des SMR (y.c. combustible)



Scénario accéléré

■ Nombre de SMR (unités de 150 MWe) ■ Construction des SMR ■ Exploitation et maintenance des SMR (y.c. combustible)



Marché annuel des SMR (2030-2050), (Md USD - y.c. inflation de 2%)

Les principaux domaines de développement des SMR correspondent à des secteurs à fort besoin d'énergie décarbonée où les SMR sont techniquement et financièrement compétitifs. Cette correspondance entre les besoins de chaque marché et les caractéristiques techniques des SMR dépend notamment de la puissance du réacteur et de sa température. Ainsi, les réacteurs à eau pressurisée dont la technologie est mature mais dont la température de l'ordre de 300°C correspondront à des usages de type réseau électrique ou réseau de chaleur alors que des réacteurs fonctionnant à plus haute température permettront d'adresser les besoins de la métallurgie ou de la chimie à l'instar des HTGR (High Temperature Gas-cooled Reactor, 800°C).

■ Injection sur le réseau ■ Hydrogène ■ Acier et aluminium ■ Chauffage urbain ■ Ciment, verre et céramique ■ Autres* ■ Dessalement
■ Pâte à papier



* "Autres" inclut d'autres applications telles que l'alimentation, le textile, les segments des centres de données et d'autres utilisations industrielles.

Répartition des SMR par application en 2050

En tenant compte des considérations ci-dessus, et de la maturité des différentes technologies, les principaux secteurs de développement des SMR identifiées en 2050 sont l'injection d'électricité sur le réseau (particulièrement en lieu et place de centrales à charbon), la production d'hydrogène (en pétrochimie notamment) et la métallurgie. D'autres usages ont un potentiel de développement significatif, tels que la production de chaleur domestique, l'alimentation de fours de cimenterie, la désalinisation d'eau de mer, les processus de fabrication de papier et de fibres ou encore l'alimentation de data centers.

Les régions où les SMR ont le plus de chances de se développer sont celles proposant à la fois un tissu industriel à décarboner, un vivier de compétences, un fort soutien financier et réglementaire ainsi qu'une politique volontariste de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les régions répondant à ces critères sont l'Asie, l'Europe et l'Amérique du Nord. Ces régions bénéficient en effet d'une filière nucléaire existante (CGNPG, EDF, GE-Hitachi, Rolls-Royce, Westinghouse...) et d'un fort soutien public qui a notamment permis l'émergence et le financement de nombreuses start-up dans une logique de foisonnement technologique.

■ Asie-Pacifique ■ Europe ■ Amérique du Nord ■ CEI ■ Moyen-Orient ■ Amérique Latine ■ Afrique



Répartition des SMR par localisation en 2050

Quatre défis à relever pour permettre le développement des SMR

Alors que des SMR existent depuis longtemps à l'état de projets non-industriels, la filière bénéficie aujourd'hui d'une conjonction inédite de facteurs qui la crédibilisent. En premier lieu, les technologies de génération III+ et IV peuvent s'appuyer sur un retour d'expérience abondant et disponible, en deuxième lieu, le soutien public renaissant de la filière conduit à en reconstituer massivement les capacités industrielles et financières, enfin, la demande de clients finaux émerge et entraîne un investissement privé de plus en plus significatif.

Néanmoins, pour préserver et accélérer sa dynamique, une industrie aussi capitalistique a besoin d'un fort soutien financier et d'un engagement à long terme de toutes les parties prenantes. A ce titre, quatre principaux défis doivent être relevés pour permettre le développement des SMR :

- Soutien gouvernemental : des programmes de financement gouvernementaux pluriannuels doivent donner de la visibilité à la filière afin de permettre l'investissement dans des conditions financières et opérationnelles saines et transparentes
- Capacité réglementaire : le mandat et les ressources des régulateurs doivent être adaptés aux SMR qui devront pouvoir être construits par plusieurs acteurs pour être implantés dans plusieurs régions avec une fabrication aussi standardisée que possible
- Renforcement de la supply chain : la filière dans son ensemble doit organiser sa montée en compétence par la formation et la capitalisation d'expériences pour accélérer sa courbe d'apprentissage sans oublier les enjeux d'approvisionnement en combustible nécessaire à l'ensemble des projets SMR/AMR
- Coordination de l'écosystème : les constructeurs, leurs sous-traitants et les régulateurs doivent coordonner leurs travaux afin de maximiser l'effet de série et de minimiser les contraintes de qualification tout en assurant la sûreté des installations et la maîtrise du risque de prolifération