



Figure 1 : Structure type d'un petit réacteur nucléaire de moins de 300 MWe. Source : GAO, based on Department of Energy Documentation.

Les réacteurs nucléaires modulaires

Une alternative prometteuse aux réacteurs traditionnels

Gérald Sanchis

Expert CIGRE

Introduction

Pourquoi les petits réacteurs nucléaires connaissent-ils un regain d'intérêt dans le monde ? De nombreuses applications seraient possibles dans différents domaines, tout d'abord pour le remplacement des centrales à énergies fossiles, dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, mais aussi pour bien d'autres usages. Ce dossier présente un panorama des recherches et développements menés dans plusieurs pays sur ces petits réacteurs, pour faire de l'énergie nucléaire une solution pertinente, en complément des énergies renouvelables intermittentes.

Au moment où les pays ont besoin d'énergie bas carbone, on constate un regain d'intérêt dans le monde pour l'énergie nucléaire et plus particulièrement pour un nouveau concept de centrale : les petits réacteurs modulaires, encore appelés SMR (*Small Modular Reactor* en anglais).

Les SMR constituent une nouvelle solution qui présente bien des atouts par rapport aux centrales nucléaires classiques, à forte puissance. Tout d'abord un avantage économique lié à leur taille. De quelques dizaines de MW jusqu'à environ 500 MW, ils sont bien moins chers que les centrales nucléaires classiques de 1500 MW. Ils sont aussi plus simples, très compacts, présentant l'avantage d'être à sécurité passive, c'est-à-dire qu'ils s'arrêtent automatiquement en cas de dysfonctionnement. Le caractère modulaire permet une fabrication en usine, puis un assemblage sur site, réduisant fortement les coûts, les délais et aléas de chantier.

Les marchés visés par les SMR sont multiples. Ils pourront remplacer les centrales à énergie fossile et profiter de l'infrastructure électrique existante. Les SMR sont bien adaptés également pour alimenter les régions isolées. Leur taille réduite leur permet d'être installés à proximité des villes, pour répondre au besoin de chauffage des habitations et des usines, en utilisant la cogénération. Le marché visé est aussi celui de la production d'eau douce, par dessalement de l'eau de mer, de même que celui de la production d'hydrogène « vert ». Ils devraient en outre constituer un moyen complémentaire pour pallier l'intermittence des énergies renouvelables, en fournissant une énergie bas carbone et pilotable.

Une course mondiale s'est engagée pour mettre en service ces nouveaux concepts à l'horizon 2030-2035. Un enjeu industriel important consiste à parvenir à imposer une solution standardisée, car l'effet de série est déterminant pour atteindre la compétitivité économique.

Dans l'immédiat, les pays les plus avancés sont les Etats-Unis et la Russie. Côté russe, la première centrale nucléaire flottante du monde a été mise en service fin 2020 par le constructeur Rosatom. Cette centrale comprend deux petits réacteurs de 35 MWe qui servent à alimenter une petite ville isolée de Sibérie orientale.

Aux États-Unis, le SMR est vu comme une composante importante du parc américain dans le futur et comme un facteur de croissance de l'industrie nucléaire américaine. Le ministère de l'Énergie américain (DOE) envisage un doublement, d'ici 2050, de la capacité nucléaire américaine, passant de 100 GW à 200 GW, grâce au déploiement des nouveaux petits réacteurs nucléaires. Fin 2020, le DOE a annoncé son soutien à de nombreux projets pour déployer les premiers SMR d'ici à 2030, mais aussi pour développer des technologies avancées, en rupture avec les réacteurs d'aujourd'hui.

De son côté, le Canada a un programme ambitieux d'installation de plusieurs SMR. Il vise le remplacement d'ici 2030 de toutes les centrales à charbon raccordées au réseau électrique. Il s'agit aussi d'assurer la production combinée de chaleur et d'électricité pour l'alimentation des sites industriels, le développement du chauffage urbain, et le dessalement de l'eau dans les communautés éloignées.

Au Royaume-Uni, le gouvernement britannique a dévoilé en novembre 2020 son plan en dix points (*Ten Point Plan*) avec l'ambition d'investir massivement pour faire du pays un leader mondial des technologies vertes. Ce plan accorde une place de choix à la fourniture d'énergie nucléaire modernisée car le nucléaire y garde un rôle clé dans le mix énergétique. Un fonds spécial de 215 millions de livres est dédié aux SMR et jusqu'à 170 millions de livres pour les réacteurs modulaires avancés (réacteurs de quatrième génération). Les investissements dans les petits réacteurs nucléaires devraient jouer un rôle clé dans les plans bas carbone du Royaume-Uni et pour accompagner les exportations industrielles. Le pays a apporté son soutien au consortium britannique SMR dirigé par Rolls-Royce, qui prévoit de construire 16 SMR dans tout le territoire au cours de la prochaine décennie.

La France a la volonté de bien se positionner dans cette compétition mondiale. Dans le plan de relance diffusé fin 2020, le gouvernement s'est engagé à renforcer la compétence et la compétitivité de la filière nucléaire. Des appels à projet vont être lancés pour soutenir la modernisation et la relocalisation des sites industriels au service de la filière électronucléaire. L'impact sur l'emploi est estimé à 220 000 postes directs et indirects selon le mi- ●●●



Figure 2 : Centrale russe Akademik Lomonosov – Commons-CC BY-SA 4.0. Crédit photo : Elena Didier.

●●● nistère de l'économie. Le projet Nuward développé dans ce dossier présente le choix de SMR retenu par le consortium français. Ce projet associe le savoir-faire du CEA en matière de recherche et de qualification de nouvelles technologies, l'expérience d'architecte-ensemblier et d'exploitant d'EDF, celle de Naval Group pour ce qui concerne les structures modulaires, et l'expertise de TechnicAtome pour la conception de réacteurs compacts.

Au Danemark, l'entreprise Seaborg, créée en 2014, a récemment levé un fonds de 20 millions d'euros pour la construction de barges équipées de SMR à sels fondus. Les modules de puissance unitaire de 200 MW sont associés pour constituer des installations flottantes de 200, 400 ou 600 MW. Un premier prototype devrait voir le jour en 2025.

D'autres pays dans le monde s'intéressent beaucoup aux petits réacteurs nucléaires. Parmi les plus actifs, citons notamment le Japon, la Chine, l'Australie et la Corée du sud.

Ainsi, les SMR font l'objet de beaucoup d'attention ces dernières années. L'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) les considère comme un domaine d'étude prioritaire, en rupture avec les concepts des réacteurs existants, et présentant des bénéfices potentiels tant économiques que de sûreté. Toutefois, le pari ne sera gagné que si l'harmonisation des normes industrielles et de sûreté est assurée, et ce grâce à une approche plus concertée entre pays.

Contenu du dossier

Ce dossier vise à mieux comprendre les enjeux des petits réacteurs nucléaires. L'article introductif de **Bernard Boullis**, directeur des programmes « aval du cycle nucléaire » au CEA, présente la place que pourraient occuper les petits réacteurs nucléaires dans un mix énergétique mondial sans émission de carbone. Il précise aussi les défis que devront relever ces nouveaux types de réacteurs.

Ensuite **Joël Guidez**, conseiller scientifique au CEA, présente le contexte économique et la stratégie de déploiement des SMR dans le monde. Pour ce faire, il s'appuie sur le retour d'expérience des gros réacteurs nucléaires, mettant en évidence la dérive des délais de fabrication sur site ainsi que des coûts. Toutefois, avec une meilleure maîtrise industrielle, les gros réacteurs devraient rester la solution la plus compétitive pour les centrales nucléaires de demain. Les SMR pourraient constituer une solution alternative compétitive dans les zones ne pouvant pas accueillir ces gros réacteurs, notamment les zones isolées ou celles dont les réseaux sont de faible puissance. L'article donne également une vision panoramique des projets de SMR engagés dans le monde.

Le troisième article, élaboré par **Dan Moneghan** de l'EPRI, institut américain de recherche en électricité, met en évidence le facteur clé que constitue le volume de main d'œuvre nécessaire aux travaux d'installation d'une centrale nucléaire pour assurer leur compétitivité économique dans le futur. Un des enjeux majeurs des SMR va donc porter sur la capacité à bien standardiser le design et l'industrialisation, pour réduire le coût de fabrication et les délais. L'article présente les pistes de design explorées aux Etats-Unis.

Le quatrième article, écrit par **Alan Woods**, présente la vision de l'industriel Rolls-Royce, acteur industriel clé du renouveau britannique sur la scène mondiale. Rolls-Royce et ses partenaires ont concentré leurs efforts sur l'optimisation de la fabrication et de l'assemblage sur site. Le petit réacteur nucléaire de troisième génération à eau pressurisée retenu a une puissance de 470 MWe, La durée totale de fourniture devrait être de l'ordre

L'auteur



Gérard Sanchis est Secrétaire général de la SEE et conseiller stratégique auprès du Président d'ENTSO-E, association européenne des

gestionnaires de réseaux de transport d'électricité. Membre senior de l'IEEE et membre émérite du CIGRE, dont il dirige les études sur les interconnexions mondiales. Il a occupé différentes fonctions d'expertise et de management chez RTE et dans le groupe EDF, en France et en Allemagne. Il a dirigé le projet européen e-Highway2050 sur les besoins de réseaux électriques en Europe.

de quatre années, bien inférieure aux délais constatés actuellement pour les grandes centrales nucléaires. La mise en service du premier modèle est prévue en 2031.

Le dossier se termine par la présentation du projet français Nuward de **Renaud Crassous** d'EDF. Ce SMR ultra-compact de 2x170 MWe utilise la technologie de l'eau pressurisée, bien éprouvée depuis des décennies. Un premier prototype devrait voir le jour en 2035. ■

La SEE remercie vivement l'Institut Pierre Lamoure pour son précieux soutien à la revue REE.

Les articles

Les SMR, un renouveau nucléaire ?	p.41
Contexte économique et stratégie de déploiement des SMR	p.46
The US Small Modular Reactor, perspectives and research	p.54
The UK Small Modular Reactor, perspectives and projects	p.60
Nuward™, le premier SMR français	p.68