

www.futuribles.com Le nucléaire à la recherche de nouvelles filières

L'industrie nucléaire cherche à défendre sa place dans la transition énergétique, en France comme dans les pays ayant développé l'électronucléaire, alors que les coûts de construction des réacteurs de la troisième génération, celle des EPR (European Pressurized Reactors), ont fortement grimpé (notamment celui de Flamanville construit par EDF) et que les filières renouvelables (le solaire et l'éolien) montent en puissance, avec des coûts de production des kilowattheures (kWh) qui ont fortement chuté. Elle envisage une double stratégie : mettre en œuvre des solutions innovantes pour améliorer la sûreté des réacteurs, faciliter leur entretien et la recharge du combustible ; réduire les coûts de fabrication par des effets de série (une construction par « pièces détachées » des composants du réacteur).

En France, le cœur des réacteurs d'EDF est refroidi avec de l'eau pressurisée (ce sont des REP, réacteurs à eau pressurisée), leur puissance électrique est de 900 à 1 500 mégawatts (MW). Plusieurs pays envisagent ainsi la construction de réacteurs modulaires de petite et de moyenne puissance qui seraient plus sûrs et construits en série. L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), qui évalue la sûreté des nouveaux réacteurs, a recensé, en 2020, 72 projets de construction de petits réacteurs modulaires dans 18 pays, dont beaucoup sont à l'état d'ébauche (un projet de réacteur de 30 MW est assez avancé en Argentine), et dérivés, notamment de la technique à eau pressurisée. Les marines militaires ont déjà l'expérience de bâtiments (porte-avions et sous-marins) propulsés par des réacteurs nucléaires de puissance moyenne qui fournissent de la vapeur à des turbines, le porte-avions Charles de Gaulle est ainsi équipé de deux réacteurs compacts de 150 MW, des REP.

Une entreprise américaine, NuScale Power, créée en 2007 dans l'Oregon, suite aux travaux en recherche nucléaire à l'université d'État de l'Oregon et au Laboratoire national de l'Idaho, a une certaine avance dans la mise au point de réacteurs modulaires, un concept sur lequel elle travaille depuis plusieurs années avec un mode de refroidissement plus simple et a priori plus sûr. Chaque réacteur, d'une puissance de 50-70 MW, est un cylindre de 25 mètres de haut et de 3 mètres de diamètre, inséré dans une enceinte de confinement en acier, l'ensemble des modules étant immergé dans une piscine. Les barres d'uranium, le cœur du réacteur, sont logées au fond du cylindre et refroidies par de l'eau circulant par convection ; réchauffée par la fission, elle est plus légère et remonte vers le haut du réacteur ; en passant dans un échangeur, elle fournit de la chaleur à un générateur de vapeur alimentant une turbine à l'extérieur. Cette solution évite l'utilisation d'eau sous haute pression comme dans les REP et l'utilisation de pompes, à l'origine d'incidents, et permet de gagner de la place dans l'enceinte ; l'eau contient du bore qui ralentit la fission. En cas d'incident sur un module, une surchauffe de l'eau par exemple, des barres de contrôle tombent et arrêtent la fission, des valves s'ouvrent et relâchent dans l'enceinte de confinement la vapeur qui se condense en se refroidissant et est réinjectée dans le cœur ; on peut arrêter les autres réacteurs, limitant ainsi la

gravité d'un incident.

La Commission de régulation nucléaire américaine a approuvé ce concept de réacteur, soutenu financièrement par le département de l'Énergie. NuScale et son partenaire Fluor ont reçu, en janvier 2021, une première commande par un pool de 48 compagnies productrices d'électricité dans six États, l'Utah Associated Municipal Power Systems. Chaque réacteur aura une puissance de 77 MW et la commande finale porterait sur une douzaine d'entre eux (le condenseur des turbines serait refroidi à l'air pour économiser l'eau) ; leur construction débuterait après 2025, l'ensemble de réacteurs devant être opérationnel au début des années 2030 pour un coût total de six milliards de dollars US (relativement élevé), avec l'objectif d'un coût de production de 55 dollars US par MWh. Il sera nécessaire de tester leur sécurité, mais NuScale étudie déjà la possibilité de construire des modules de 10 à 50 MW pour des usages industriels.

Une autre filière de petits réacteurs est étudiée par la société TerraPower, dont Bill Gates est à l'origine de la création en 2008. Il milite, en effet, pour la décarbonation de l'énergie afin de limiter le réchauffement climatique (Microsoft modélise le fonctionnement de nouveaux réacteurs). Celle-ci a conçu, en collaboration avec General Electric Hitachi et Bechtel, un réacteur à neutrons rapides très énergétiques, d'une puissance électrique de 345 MW. Il fonctionnera à plus haute température qu'un REP (près de 500 °C) et sera refroidi par du sodium liquide (d'où son nom natrium) qui n'a pas besoin d'être pressurisé. Celui-ci transite dans un échangeur où la chaleur est transférée à un sel fondu dans un circuit secondaire qui alimente, à l'extérieur du réacteur, soit le générateur de vapeur d'une turbine, soit un dispositif de stockage thermique, un réservoir de sel fondu ; celle-ci peut utiliser l'énergie thermique stockée et augmenter ainsi sa puissance de 150 MW pendant 5 heures 30. Ce réacteur de petite taille, car très compact, peut être utilisé comme appui à des centrales solaires ou des fermes éoliennes. TerraPower a pour objectif d'utiliser de l'uranium faiblement enrichi (5 % à 20 %) comme combustible (son exportation pourrait être problématique car en contradiction avec une politique de non-prolifération nucléaire). Le réacteur bénéficie, lui aussi, d'un soutien financier du département américain de l'Énergie, comme projet « avancé » ; son coût ne serait probablement pas inférieur à un milliard de dollars US (relativement modéré pour une puissance nominale de 500 MW). Il reste à tester sa sûreté (des réacteurs à sodium fondu ont déjà fonctionné, notamment en France). Un projet de la société américaine X-Energy utilise un concept semblable, mais pour un réacteur de 80 MW fonctionnant à 750 °C et refroidi à l'hélium.

La France a une longue expérience des petits réacteurs compacts, utilisés pour la propulsion navale (des sous-marins notamment) ; une vingtaine ont été construits pour la Marine nationale par TechnicAtome, en collaboration avec Naval Group (spécialisé dans la construction navale de défense). Cette expérience est mise à profit pour un programme de construction de petits réacteurs modulaires de 170 MW qu'il serait possible d'assembler pour réaliser une centrale de moyenne puissance. Chaque réacteur, baptisé Nuward, fonctionnerait selon le principe des REP, et avec de l'uranium faiblement enrichi comme combustible. La cuve du réacteur (13 mètres de haut et 4 mètres de diamètre) sera logée dans une enceinte métallique immergée dans une piscine. Ces réacteurs pourraient être fabriqués en série de façon modulaire, les équipements étant assemblés sur place. Le projet, porté par le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), EDF, TechnicAtome et Naval Group, bé-

néficie d'un soutien financier (170 millions d'euros) du Plan de relance économique adopté à l'automne 2020.

La Russie utilise des brise-glaces à propulsion nucléaire et en construit cinq nouveaux, équipés chacun de deux réacteurs de 175 MW ; la société Rosatom a prévu de construire en Sibérie orientale un prototype de réacteur modulaire de 50 MW. La Chine a mis en chantier un premier réacteur modulaire de 125 MW à eau pressurisée sur l'île de Hainan.

Les réacteurs modulaires qui ont une faible empreinte au sol visent plusieurs marchés : la fourniture d'une puissance d'appoint pilotable à des filières renouvelables spécifiques pour passer les pointes de consommation (les centrales solaires ne produisent plus en soirée) ou en cas de météorologie défavorable, la production d'électricité ou de chaleur par cogénération pour des activités industrielles (la désalinisation, par exemple). L'industrie nucléaire bénéficie de l'expérience des petits réacteurs de la propulsion navale, mais les projets novateurs doivent faire la preuve de leur sûreté et de leur rentabilité. Si c'était le cas, les réacteurs modulaires lui ouvriraient de nouvelles perspectives pour la prochaine décennie.

Sources : Cho Adrian, « Critics Question Whether Novel Reactor Is 'Walk-away Safe' », Science , vol. 369, n° 6506, 21 août 2020, p. 888-889 ; CEA, « Les réacteurs nucléaires du futur », De la recherche à l'industrie , 6 janvier 2021 ; Conca James, « NuScale Small Modular Nuclear Reactor Moves Another Step Forward » Forbes, 14 janvier 2021 ; « The Sodium Technology: Providing Reliable, Carbon-free Energy to Complement Wind and Solar », Nuclear Newswire , 6 avril 2021 ; Digges Charles, « Rosatom to Build Plant Running on Small Modular Reactors in Eastern Siberia », Bellona, 11 janvier 2021 ; AIEA, , Vienne : AIEA, 2020.

