

Les systèmes nucléaires du futur

Christophe Béhar

L'industrie nucléaire présente des atouts forts au regard de la demande croissante en énergie et de la nécessaire limitation du réchauffement climatique. Les maintenir sur le long terme passe par la mise au point de systèmes innovants, dits « de quatrième génération », auxquels le CEA consacre de grands efforts.

Certains chiffres parlent d'eux-mêmes : en 2030, la consommation énergétique mondiale devrait augmenter de 50 % par rapport à celle de 2005, sous l'effet conjugué de l'augmentation de la population et de la croissance des pays émergents ; les pays non membres de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) devraient totaliser plus de 80 % de cette hausse.

En regard de cette demande, on trouve de nombreuses contraintes, parmi lesquelles la lutte contre le réchauffement climatique, la raréfaction des ressources énergétiques, la sûreté d'approvisionnement, la maîtrise des coûts de l'énergie et la préservation de la balance commerciale.

Quant à la contrainte climatique, le cinquième rapport du Giec, rendu public l'année dernière, est sans appel : d'une part, le réchauffement du climat est sans équivoque et sans précédent (les trois dernières décennies ont été les plus chaudes depuis au moins 1 400 ans) et, d'autre part, l'influence des activités humaines est clairement établie. Limiter la hausse des températures à 2 °C représente donc un objectif majeur (qui sera au cœur de la 21^e conférence internationale Climat, aussi nommée Cop21 ou Paris 2015 et organisée en France à la fin de l'année). Cela implique de diminuer le recours aux énergies fossiles et d'augmenter la part d'électricité dans le mix énergétique.

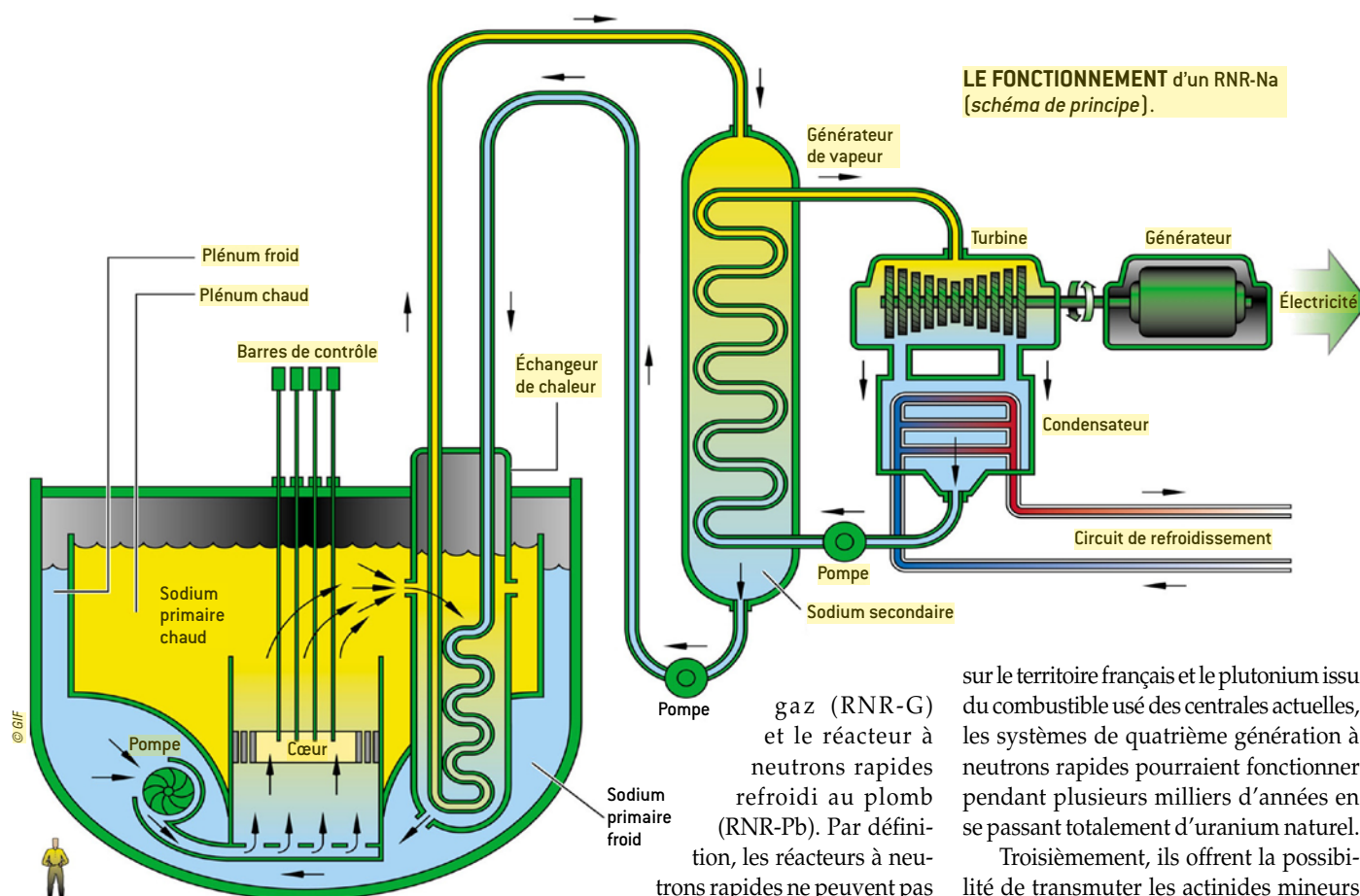
Christophe BÉHAR est Directeur de l'énergie nucléaire au CEA

Dans ce contexte, l'énergie nucléaire a un rôle incontournable à jouer en synergie avec les énergies renouvelables puisqu'elles constituent les seuls modes de production d'électricité qui émettent très peu de gaz à effet de serre. Dans le projet de loi française sur la transition énergétique et la croissance verte, elles interviennent en complémentarité : de grandes unités fonctionnant en base pour l'énergie nucléaire ; de petites unités décentralisées et intermittentes pour les énergies renouvelables.

La quatrième génération de réacteurs

Si l'industrie nucléaire dispose d'atouts qui lui permettent de s'imposer comme l'une des solutions prometteuses pour l'avenir, au sein d'un mix énergétique décarboné, elle est aussi confrontée à des enjeux en termes de compétitivité, de disponibilité, de sûreté, de lutte contre la prolifération, de raréfaction de la ressource et de gestion des déchets. Autant de défis qui imposent de poursuivre sur la voie de l'innovation technologique qui a toujours été un moteur du développement de cette industrie. Aujourd'hui, cette innovation passe par le développement de systèmes nucléaires du futur, dits aussi de quatrième génération.

L'évaluation la plus récente et la plus aboutie des technologies capables de répondre aux objectifs définis pour ces



LE FONCTIONNEMENT d'un RNR-Na
[schéma de principe].

systèmes a été réalisée dans le cadre du Forum international Génération IV (GIF). Cette association intergouvernementale, lancée en 2000 à l'initiative des États-Unis, regroupe treize membres : l'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, le Canada, la Chine, les États-Unis, Euratom, la France, le Japon, la Corée du Sud, le Royaume-Uni, la Russie et la Suisse. Elle élabore et pilote des programmes coordonnés de recherche et développement en support aux systèmes nucléaires, qui doivent satisfaire aux critères de cette quatrième génération de réacteurs : durabilité, économie des ressources en uranium, poursuite des progrès en compétitivité et en sûreté atteints sur les réacteurs à eau de troisième génération, minimisation de la production de déchets radioactifs, plus grande résistance à la prolifération nucléaire, application de l'énergie nucléaire à d'autres voies que la production d'électricité.

Le GIF a sélectionné six concepts de réacteur, dont trois sont intrinsèquement à neutrons rapides : le réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium (RNR-Na), le réacteur à neutrons rapides refroidi au

gaz (RNR-G) et le réacteur à neutrons rapides refroidi au plomb (RNR-Pb). Par définition, les réacteurs à neutrons rapides ne peuvent pas comporter dans leur cœur d'éléments modérateurs des neutrons, ce qui est le cas de l'eau, par exemple. Le choix du caloporteur se limite à quelques matériaux présentant une bonne transparence aux neutrons, pour l'essentiel des métaux fondus (sodium ou plomb) ou des gaz (hélium).

L'énergie des neutrons rapides est typiquement plusieurs centaines de fois supérieure à celle des neutrons thermiques des réacteurs du parc actuel. Les systèmes à neutrons rapides (RNR) présentent de ce fait trois intérêts majeurs.

Premièrement, ils peuvent utiliser sans limitation tout le plutonium produit par le parc actuel des réacteurs à eau légère ou par eux-mêmes, ce qui permet d'assurer une gestion rationnelle et pérenne du plutonium, justifiant ainsi pleinement son statut de matière énergétique valorisée.

Deuxièmement, ils peuvent brûler tout type d'uranium, alors que dans les systèmes actuels, seul l'uranium 235 (un isotope minoritaire) est utilisé. En permettant de valoriser la totalité de l'uranium extrait du sol, ils multiplient par un facteur proche de 100 l'énergie que l'on peut extraire d'une masse donnée d'uranium naturel. Avec l'uranium appauvri présent

sur le territoire français et le plutonium issu du combustible utilisé des centrales actuelles, les systèmes de quatrième génération à neutrons rapides pourraient fonctionner pendant plusieurs milliers d'années en se passant totalement d'uranium naturel.

Troisièmement, ils offrent la possibilité de transmuter les actinides mineurs (l'américium, par exemple), qui sont les principaux contributeurs de l'émission de chaleur et de la radiotoxicité résiduelle à long terme des déchets ultimes. Il est ainsi possible d'envisager une réduction d'un facteur 10 de l'emprise de la zone de stockage des déchets de haute activité à vie longue, et, au bout de 300 ans, une diminution jusqu'à un facteur 100 de la radiotoxicité contenue dans ces déchets.

Les RNR représentent donc la composante clé d'une stratégie de cycle fermé permettant de gérer efficacement les matières valorisables présentes dans les combustibles usés, d'abord ceux d'un parc de réacteurs à neutrons thermiques, puis ultérieurement ceux d'un parc homogène de réacteurs à neutrons rapides.

Une filière de référence

Au sein du CEA, la Direction de l'énergie nucléaire est chargée de mener pour la France les recherches sur ces systèmes nucléaires en rupture technologique forte par rapport aux précédentes générations de réacteurs du même type. Les recherches se concentrent sur deux filières à neutrons rapides : celle des réacteurs refroidis au gaz, qui apparaît