



Le nucléaire du futur : pour une



Laurence Godart/CEA

Philippe Pradel

Les constantes de temps dans l'énergie nucléaire sont longues : il faut plusieurs décennies pour mettre au point une nouvelle génération de systèmes nucléaires (réacteurs et cycle), et les réacteurs qui sont construits aujourd'hui fonctionneront encore dans la deuxième moitié du siècle. La R&D nucléaire exige donc une continuité dans la politique énergétique. Si la France est aujourd'hui en position de *leadership* mondial dans ce secteur, c'est parce qu'elle a pu obtenir un certain consensus politique sur l'intérêt du nucléaire.

En même temps, le contexte énergétique mondial varie très rapidement : dans les années 2000, les prix des hydrocarbures étaient bas et l'on s'interrogeait, dans les pays occidentaux, sur l'avenir du nucléaire réputé plus complexe que le gaz pour produire de l'électricité. Aujourd'hui, la croissance des besoins en énergie, et en particulier en électricité, les fortes tensions sur les prix des hydrocarbures, les incertitudes géopolitiques sur l'approvisionnement en pétrole et en gaz et l'émergence du risque climatique comme enjeu environnemental majeur du siècle qui vient de commencer entraînent une renaissance du nucléaire partout dans le monde, en particulier aux États-Unis, et une accélération des programmes en Asie, en Inde, en Russie. L'Europe, détentrice d'un savoir-faire et d'un retour d'expérience inégalés, amorce un regain d'intérêt pour cette source d'énergie indispensable dans le cadre d'une stratégie de sécurité

énergétique et de limitation des émissions de CO₂. Forte d'un engagement constamment réaffirmé, la France est dotée des meilleurs atouts pour participer à cette renaissance du nucléaire, sur le plan industriel, avec les réacteurs de troisième génération tels que l'EPR, avec un cycle du combustible performant, mais aussi grâce aux progrès attendus des systèmes de génération IV, qui doivent permettre une réelle durabilité du nucléaire de fission par une meilleure utilisation des ressources et une réduction du volume et de la radiotoxicité des déchets ultimes.

La renaissance puis la durabilité du nucléaire au-delà de ce siècle posent la question des ressources en uranium. Ce numéro de *Clefs CEA* fait le point sur les connaissances disponibles en la matière et les stratégies de R&D qui en découlent.

Compétition industrielle, coopération dans la R&D

Si la 3^e génération de réacteurs, déjà en cours d'industrialisation, donne lieu à une sévère compétition internationale, dans laquelle le groupe Areva est bien placé avec l'EPR, la 4^e génération se prépare dans le cadre de coopérations internationales avec le Forum international Génération IV lancé en 2000, qui regroupe aujourd'hui douze grands pays nucléaires, ainsi que l'Union européenne via Euratom. Au-delà du cadre multilatéral, de nombreuses coopérations bilatérales existent entre la France et la plupart d'entre eux – USA, Japon, Chine, Russie... – sur les systèmes nucléaires de 4^e génération. Le cadre du GEN IV est destiné à mutualiser les efforts de R&D et à maintenir ainsi ouvert le champ des possibles. La France s'est engagée dans des programmes de R&D sur des filières dans lesquelles elle dispose déjà d'une expertise importante – les réacteurs rapides refroidis au sodium – ou qui paraissent particulièrement prometteuses : la filière des réacteurs rapides refroidis au gaz, demandant davantage d'innovations technologiques, notamment sur les matériaux et combustibles. Des recherches se font aussi en partenariat avec les industriels sur

renaissance durable

les réacteurs à très haute température, qui pourraient avoir des applications non électrogènes : production de chaleur pour l'industrie, dessalement de l'eau de mer. Ces recherches sont présentées en détail dans ce numéro de *Clefs CEA*.

Parallèlement aux études sur les réacteurs sont menées des recherches sur le cycle du combustible – traitement et recyclage des combustibles usés. La stratégie française du cycle fermé apparaît aujourd'hui, même aux États-Unis avec l'initiative GNEP, comme la seule option durable, c'est-à-dire permettant à la fois d'économiser les ressources en uranium et de réduire

et permettra de travailler à la fois sur les réacteurs du parc actuel (2^e et 3^e générations) et sur les réacteurs de 4^e génération.

Le CEA, pilote de l'Espace européen de la recherche

Les installations expérimentales nécessaires à la R&D nucléaire, tant sur les systèmes actuels que sur les systèmes du futur, sont aujourd'hui conçues à l'échelle de l'Europe, et permettent une spécialisation et une complémentarité des pays membres. De nombreux projets sont menés en partenariat avec des laboratoires européens et le Centre commun de recherche dans le cadre du 6^e PCRD, notamment sur la sûreté,

sur la réduction de la toxicité et du volume des déchets ultimes.

La constitution d'une plateforme technologique sur le nucléaire de fission,

“*Un engagement à long terme, condition de l'innovation nucléaire.*”

les déchets ultimes afin d'en assurer une gestion optimale. Le procédé mis au point par le Commissariat à l'énergie atomique, mis en œuvre à l'échelle industrielle par Areva et transféré à l'usine de Rokkasho-Mura au Japon, est aujourd'hui le seul bénéficiant d'un retour d'expérience industriel. Des évolutions innovantes pour les systèmes de 3^e génération puis de 4^e génération sont à l'étude.

Ils viseront à assurer une gestion encore plus performante des déchets et à préserver des risques de prolifération en proposant des options de traitement des actinides mineurs. Ces recherches sont également exposées dans ce dossier.

Ce numéro présente aussi les outils nécessaires à la R&D sur les systèmes nucléaires du futur : outils de simulation multi-échelle et multi-physique d'une part, outils expérimentaux d'autre part, avec le futur Réacteur Jules Horowitz (RJH) dont la construction a démarré sur le site de Cadarache, et qui associe au CEA, outre EDF et Areva, de nombreux partenaires industriels et de R&D étrangers. Ce réacteur expérimental est destiné à succéder aux installations existantes, notamment Osiris,

regroupant organismes de recherche, industriels et autres parties prenantes, à l'instar de celles qui existent sur d'autres technologies de l'énergie, va permettre de renforcer encore et d'optimiser ces partenariats.

Aujourd'hui, le nucléaire représente environ 30 % de la production électrique européenne et contribue à limiter les émissions de CO₂ tout en garantissant des coûts de production bas et stables. Il est vital pour maintenir l'attractivité économique de l'Europe vis-à-vis des industries électro-intensives de conserver ces atouts. Pour cela, il est nécessaire, dès aujourd'hui de renforcer encore les programmes de R&D nucléaires au niveau européen, afin de bénéficier des meilleures synergies d'expertise et d'outils expérimentaux.

Cette édition de *Clefs CEA* cherche à donner une vision panoramique des avancées, innovations et ruptures technologiques nécessaires à la construction d'un nucléaire durable, sûr, économe en ressources naturelles et davantage résistant au risque de prolifération.

➤ **Philippe Pradel**

Directeur de l'Énergie Nucléaire
CEA