

« LES RÉACTEURS À NEUTRONS RAPIDES NOUS GARANTISSENT LA SOUVERAINETÉ ÉNERGÉTIQUE POUR DES MILLÉNAIRES »

Un entretien avec **Claire Kerboul**, docteure en physique nucléaire.

Propos recueillis par Éric Leser

Transitions & Énergies : Les réacteurs nucléaires à neutrons rapides permettant la surgénération sont présentés comme étant la solution d'avenir pour le parc nucléaire français. Quels sont leurs atouts et leurs inconvénients ?

Claire Kerboul : Les réacteurs à neutrons rapides [RNR] sont les seuls qui sont capables d'utiliser pleinement la ressource en uranium. Ils fissionnent l'uranium 238, ce que les réacteurs à neutrons lents de type REP [réacteur à eau pressurisée] et EPR [European Pressurized Reactor] ne font pas. Avec ces technologies de réacteurs, REP, EPR, qui sont largement répandues dans le monde entier, on ne brûle que l'uranium 235, c'est-à-dire moins de 1 % de l'uranium récupéré dans la croûte terrestre. Rappelons que l'uranium est composé majoritairement d'uranium 238 à plus de 99,3 %. La problématique de l'énergie nucléaire n'est pas celle des déchets, comme on l'entend souvent, c'est celle de l'utilisation de la ressource en uranium. Sur le plan éthique, on ne peut pas continuer de gaspiller comme cela la ressource. Sur un plan stratégique, la filière à neutrons lents ne permet pas d'assurer l'approvisionnement énergétique d'un pays comme la France au-delà de quelques décennies. On n'ira pas au bout du siècle.

Il est important de faire un peu d'histoire de l'énergie nucléaire pour bien comprendre la problématique. Dès 1939, date de la découverte de la fission nucléaire, Niels Bohr [prix Nobel de physique en 1922] comprend que, dans le minerai d'uranium, seul l'uranium 235 est fissile parce qu'il comprend un nombre impair de composants (nucléons). Cela le prédispose à se déformer sous l'impact d'un neutron sans énergie cinétique, pour se scinder en deux tout en libérant une quantité considérable d'énergie. La fission d'un noyau libère également deux neutrons, ce qui permet d'entretenir une réaction en chaîne de fission.

En revanche l'uranium 238, qui comprend un nombre pair de composants, est intrinsèquement très cohésif. Il n'est pas fissile. Pour franchir la barrière de fission, le neutron incident doit avoir une énergie cinétique élevée. En d'autres termes, pour utiliser l'uranium 238 dans un réacteur, il faut des neutrons rapides. Bohr annonce également la possibilité de fabriquer un nouvel élément fissile, le plutonium 239, grâce à la capture du neutron par l'uranium 238 lorsque la fission n'a pas lieu. Ce processus de transmutation est la clé de la fission efficace de l'uranium, soit par fission directe de l'uranium 238, soit par fission du plutonium 239 qu'il a lui-même généré. Ce processus a été nommé surgénération. Dès la publication de l'article de Niels Bohr à l'été 1939, les physiciens comprennent que le processus de fission le plus abouti nécessite des neutrons rapides. En 1945, Enrico Fermi [prix Nobel de physique en 1938] écrit : « *Le pays qui développera le premier un réacteur surgénérateur bénéficiera d'un avantage concurrentiel considérable en matière d'énergie nucléaire.* » D'ailleurs, le premier réacteur électrogène mis en service dans le monde sera à neutrons rapides. L'EBR1 [Experimental Breeder Reactor] démarré dans le désert d'Idaho en 1951 fonctionne d'abord avec un cœur très enrichi en uranium 235 (67 %), puis en 1953, il est chargé en plutonium pour démontrer la surgénération.

La surgénération n'est possible qu'avec un combustible contenant du plutonium. En effet, la fission du plutonium libère en moyenne trois neutrons, alors que la fission de l'uranium en moyenne n'en libère que deux. Ce neutron supplémentaire permet de transmuter l'uranium 238 en plutonium en même temps que se produit la fission électrogène. Ainsi, un réacteur à neutrons rapides avec un combustible composé d'uranium et de plutonium fabrique de la matière fissile au moins autant, voire plus si nécessaire, qu'il n'en consomme.



CLAIRE KERBOUL

a été, entre autres, chercheuse au CEA (Commissariat à l'énergie atomique), directrice de cabinet du haut-commissaire à l'énergie atomique, professeure associée à Chimie-Paris Tech ; elle est membre du conseil scientifique de *Transitions & Énergies*. Claire Kerboul est l'auteur de *L'Urgence du nucléaire durable*, éditions De Boeck Supérieur.



La France dispose sur son sol de plus de 330 000 tonnes d'uranium 238 et de plusieurs dizaines de tonnes de plutonium séparé. Ce stock fabuleux de matière énergétique est un véritable trésor.



Transitions & Énergies : Un réacteur à neutrons rapides fabrique en quelque sorte son propre plutonium, qui est fissile, et consomme l'uranium 238 qui est l'essentiel de la ressource présente sur terre ?

C.K. : Le RNR révolutionne complètement la question de la ressource en assurant son utilisation de façon très économe. Mais les neutrons rapides ont d'autres avantages également importants. Ils diminuent drastiquement la production de transuraniens (noyaux plus lourds que l'uranium), ce qui minimise la production de déchets de longue durée de vie. Le RNR permet d'atteindre exactement les exigences prioritaires de la durabilité au sens défini par l'ONU en 1987 : économie de la ressource et minimisation des déchets produits. Les RNR fonctionnant avec de fortes densités de matière fissile, la chaleur dégagée est importante, ce qui impose pour caloporteur un métal liquide. Le sodium liquide a été choisi quasi unanimement dans le monde en raison de ses capacités exceptionnelles : température de solidification assez basse, 98° C ; température d'évaporation élevée, 883° C, à comparer à la température moyenne de fonctionnement d'un RNR de 550° C. Un réacteur refroidi au sodium fonctionne à pression atmosphérique, ce qui est un grand avantage comparativement au réacteur à eau pressurisée. Le seul inconvénient du sodium est sa réactivité chimique à l'air et à l'eau, mais c'est un risque maîtrisé dans l'industrie nucléaire, comme dans d'autres industries telles que l'aéronautique ou l'automobile.

Mais j'insiste, au-delà des avantages technologiques nombreux du RNR comparé au réacteur à neutrons lents (rendement de 43 % versus 33 % pour un REP, taux de combustion doublé, diminution voire élimination de la production de transuraniens, pilotage facilité, exposition aux rayonnements plus faibles pour le personnel d'exploitation), l'atout majeur stratégique reste l'utilisation complète de la ressource dans un rapport considérable : 99,3/0,7 soit 140.

Or la France dispose sur son sol, à l'abri de tout risque géopolitique, de plus de 330 000 tonnes d'uranium 238, improprement appelé uranium appauvri. Il faut y ajouter plusieurs dizaines de tonnes de plutonium séparé. Ce stock fabuleux de matière énergétique est un véritable trésor. Il permettrait, à condition de disposer d'une filière de RNR, d'assurer sept mille années

de production d'électricité ! Rendez-vous compte, alors que l'Europe s'enfonce dans la crise énergétique et que l'insécurité énergétique est maintenant une réalité, la France dispose de plusieurs millénaires de production d'électricité, là maintenant, sans dépendre de personne.

T&E : Il y a tout de même quelques inconvénients aux réacteurs à neutrons rapides tant ils ont été victimes au fil des années en France de la vindicte des écologistes, d'un abandon et même d'un sabotage pur et simple des décideurs politiques ?

C.K. : Le seul argument invoqué, il n'y en a pas vraiment d'autre qui soit sérieux, pour disqualifier les RNR est celui de leur coût supposé. Mais ceux qui le font parlent dans le vide. Ils comparent un réacteur prototype de type RNR comme Superphénix à un réacteur commercial de type EPR conçu un demi-siècle plus tard. Ils comparent une technologie durable, celle des réacteurs rapides, avec une technologie qui ne l'est pas et nécessite des opérations minières et d'enrichissement, ainsi qu'une gestion des déchets de très long terme sur des dizaines de milliers d'années. Enfin, ils comparent une technologie, les réacteurs à neutrons lents, qui nous rend dépendants des producteurs de minerai, à une autre, les réacteurs à neutrons rapides, qui nous garantit la souveraineté énergétique pour des millénaires.

T&E : La France a-t-elle encore les moyens humains et financiers pour relancer un programme de construction de réacteurs à neutrons rapides ?

C.K. : La France n'a pas les moyens de courir tous les lièvres à la fois : relancer la filière REP-EPR et réactiver une filière RNR. Il faut choisir. Le statu quo actuel, le déni de réalité, où l'on fait semblant de faire les deux, est préoccupant. À court terme, la filière à uranium 235, REP et EPR, est condamnée. Dès la décennie 2050 – et ce n'est pas une surprise – apparaîtront les premières difficultés d'approvisionnement en uranium facilement récupérable. Comment alors projeter des EPR qui devront fonctionner au moins quatre-vingts années sans assurance sur leur matière première ? La filière RNR devrait être la seule priorité. En s'orientant d'emblée vers la seule filière d'avenir, on se donnerait aussi les meilleures chances de surmonter les difficultés actuelles humaines et financières qui sont bien réelles.



La vraie question de fond est de savoir pourquoi des politiques sabotent les plus hauts intérêts d'un pays ?



Claire Kerboul

Mais sans ce cap clairement annoncé, pas en catimini au détour d'un communiqué du Conseil de politique nucléaire, il ne se passera rien. Je ne crois pas à la mobilisation des meilleurs sur des objectifs flous et filandreux. On est depuis dix ans maintenant dans ce marasme décisionnel.

T&E : Et pendant ce temps-là, d'autres pays investissent aujourd'hui dans la technologie des neutrons rapides et ont rattrapé voire dépassé ce que faisait la France au siècle dernier ?

C.K. : Deux pays font la course en tête et sont depuis 2023 officiellement partenaires dans le développement d'une filière de RNR surgénérateurs : la Russie (avec le BN600 en service depuis 1980 et le BN800 depuis 2016) et la Chine (avec le CFR 600 en 2023, un 2^e CFR 600 en 2026 et le CFR 1 000 annoncé pour 2035 dans une version commerciale). L'objectif affiché publiquement par la Chine est de faire de la filière rapide au sodium la colonne vertébrale de l'électricité nucléaire chinoise d'ici à 2050. Nul doute que l'analyse stratégique sur la ressource uranium a été faite en Chine, qui anticipe sa rareté et s'y prépare.

Il faut aussi souligner que l'Inde vient de mettre en service son premier RNR à caloporteur sodium de 500 MW, le PFBR 500 suivant un design similaire à celui de Phénix que nous avons transféré. La France, qui fut longtemps le leader mondial reconnu de la filière, est maintenant reléguée en 2^e division.

T&E : C'est une honte. Comment expliquer que la France ait délibérément saboté cette technologie et comment expliquer la haine, je pense que le mot n'est pas trop fort, que les écologistes portent aux réacteurs à neutrons rapides au point d'en avoir fait un élément de chantage au sein de plusieurs gouvernements ?

C.K. : La question est dans le champ des sciences politiques et de la sociologie... On peut comprendre assez facilement les manœuvres des écologistes politiques. Leur identité fondatrice est la haine du nucléaire. Depuis, elle leur sert de prêt-à-penser au point d'en avoir totalement négligé les vrais sujets : le dérègle-

ment climatique, l'effondrement de la biodiversité, la pollution globale par les PFAS... Pour les Verts, le nucléaire durable préservant la ressource et minimisant ses déchets est un véritable cauchemar. C'est pourquoi, à peine Superphénix était-il sur la planche à dessin (1984) que les attaques, outrances et mensonges ont commencé, jusqu'à avoir sa peau en 1997. La vraie question de fond, celle qui laisse sans voix, c'est de savoir pourquoi des politiques sabotent les plus hauts intérêts d'un pays ? Et pourquoi la mise au jour de leurs agissements par les commissions d'enquêtes parlementaires ne fait l'objet d'aucune poursuite ? Pendant que les politiques, je parle en généralité car il y des exceptions qui confirment la règle, ont largement oublié « l'idéal politique » qui est d'œuvrer pour le bien commun, les scientifiques se sont laissés enfermer dans le mantra « le problème du nucléaire c'est les déchets ».

Enfin, depuis une trentaine d'années, a grossi la cohorte de ceux qui ne sont ni politiques ni scientifiques. On les retrouve, incompetents et préoccupés de leur carrière, dans les administrations centrales et dans les institutions de la filière. Ils contribuent, sans nécessairement en avoir conscience, à la perte de vision d'ensemble et d'analyse stratégique qui a fait dérailler le nucléaire français. C'est d'ailleurs pourquoi une véritable politique de relance du nucléaire en France, qui passera par les RNR ou ne sera pas, nécessitera une réorganisation des institutions afin de redéfinir rôles et missions, et remettre à niveau les compétences.

T&E : Est-ce plus réaliste de miser sur les neutrons rapides que sur la fusion nucléaire qui bénéficie d'un battage médiatique permanent ?

C.K. : Oui c'est bien plus réaliste. J'emprunterai ici au titre *L'insaisissable Graal* du livre de Jean-Louis Bobin (2023) sur la fusion inertielle. La fusion, magnétique ou inertielle, en tant que processus électrogène maîtrisé est à ce jour un Graal insaisissable. Elle ne peut répondre aux besoins ni d'aujourd'hui ni de demain. Là encore, dire n'est pas faire ; la communication n'est pas la réalité. La fusion pour un réacteur électrogène, si on y arrive, si on démontre sa faisabilité, ce sera peut-être le ^{XXIII}^e siècle, pas le ^{XXII}^e siècle !

Nous sommes à un moment charnière de l'histoire. L'Europe est en pleine déroute énergétique. Et nous avons cette chance incroyable de maîtriser la fission nucléaire avec des neutrons rapides. Cette maîtrise n'a pas cent ans. C'est une technologie pilotable, décarbonée, souveraine, qui assure la stabilité des réseaux parce qu'on a de l'inertie électromécanique. Et nous nous égarons avec des projets qui ne tiennent pas la route, qui ne verront peut-être jamais le jour.