

Le « second souffle »

Les centrales nucléaires innovantes à neutrons rapides : sans doute un impératif stratégique

du nucléaire

Evgeny Adamov

L'énergie nucléaire a mis 50 ans pour acquérir, dans la production mondiale d'énergie, la même place que celle acquise par l'hydroélectricité en plusieurs siècles. Toutes ces années, de nouveaux concepts de réacteur ont été proposés de temps à autre parallèlement aux réacteurs classiques. Dans les années 60 et 70, propices au nucléaire, certains de ces concepts innovants ont même donné lieu à des projets de démonstration ou projets pilotes.

Malgré la diversité des nouvelles idées, pourtant, l'énergie nucléaire a abordé notre siècle encore enlisée dans des techniques anciennes conçues, pour la plupart, à l'aube du nucléaire, dont le développement était mû par les réacteurs de production d'isotopes de qualité militaire et par ceux de sous-marins nucléaires.

À moins de comprendre pourquoi les techniques innovantes n'ont alors fait aucun progrès considérable, il est impossible de répondre à la question de savoir si ces techniques sont nécessaires aujourd'hui ou le seront dans un avenir prévisible.

Peu de gens, peut-être, se souviennent que l'énergie nucléaire n'a pas été inventée pour pallier un manque d'énergie. Elle doit son invention à la deuxième guerre mondiale et à l'urgente nécessité d'accroître la puissance des armes. Une fois la guerre terminée, les programmes nucléaires ont été alimentés par la volonté affichée par les concepteurs de ces armes (notamment le Russe I. Kourchatov, qui avait lancé à Obninsk la construction de la première centrale nucléaire, et les dirigeants américains, guidés par l'initiative « L'atome au service de la paix » lancée par le Président Dwight Eisenhower en 1953) de contrebalancer l'effort militaire en encourageant les applications pacifiques du nucléaire.

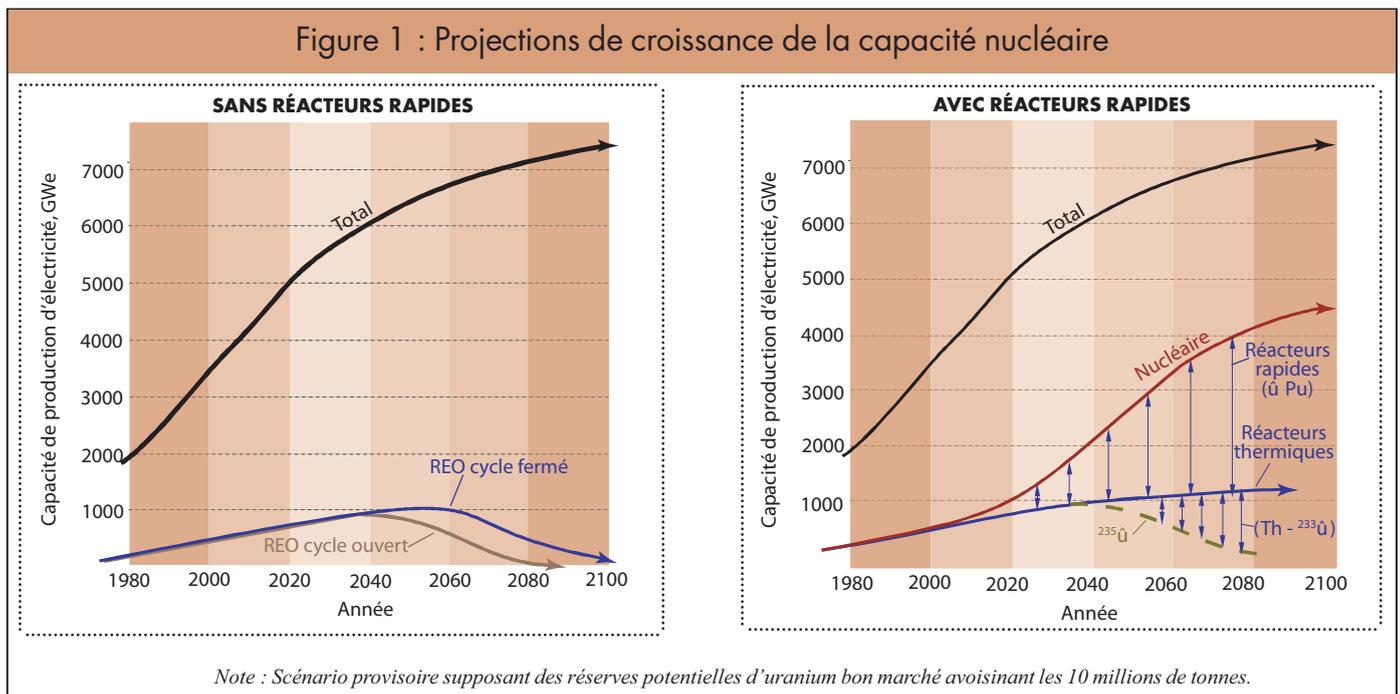
Changement de contexte

Aujourd'hui, la demande d'énergie demeure largement satisfaite par les combustibles fossiles, comme elle l'était aux débuts du nucléaire. Ces dernières décennies, les partisans du nucléaire ont à plusieurs reprises évoqué la pénurie imminente de ces combustibles, sombre perspective qui, de toute façon, ne menacera pas l'humanité avant une centaine d'années. Le risque de pénurie n'est donc ni le seul, ni le principal facteur qui pousse à rechercher activement de nouvelles sources d'énergie.

D'autres facteurs jouent davantage. L'un d'entre eux a trait à l'environnement. À la fin du siècle dernier, une prise de conscience aiguë des problèmes liés à l'environnement a contraint de s'intéresser de plus près, en matière d'énergie, à des solutions « vertes ». Après une évaluation, le nucléaire s'est révélé présenter, sur le plan de la protection de l'environnement, des avantages par rapport à la majorité des autres techniques. Toutefois, l'enthousiasme des partisans du Protocole de Kyoto est récemment tombé si bas que même avec des preuves plus convaincantes des risques liés à l'effet de serre, on trouve encore des raisons pour retirer le problème des émissions de gaz à effet de serre de la liste des priorités. Compte tenu de la part actuelle – 6% – qu'occupe le nucléaire dans le bilan énergétique mondial, on peut raisonnablement craindre que la contribution globale des sources dites alternatives (énergie éolienne, solaire, énergie marémotrice, biomasse, géothermie et autres formes d'énergie) n'entraîne l'expulsion du nucléaire sans perte notable d'approvisionnement énergétique pour la planète.

Un autre facteur est l'évolution du contexte politique. Aux débuts du nucléaire, on pensait que l'industrie commerciale se développerait dans le contexte d'une possession bipolaire de

Figure 1 : Projections de croissance de la capacité nucléaire



l'arme nucléaire (avec l'OTAN, menée par les États-Unis, et le Traité de Varsovie, mené par l'URSS). Comme on l'a vu par la suite, les techniques d'armement ne se sont pas confinées au cercle des cinq États membres du « club » nucléaire. Au lieu de cela, le problème de la non-prolifération a pris le pas sur les autres facteurs, en particulier dans le contexte de la recherche d'économies d'énergie et de la découverte de nouveaux gisements de pétrole et de gaz, y compris de gisements marins, qui ont réduit comme ils ne l'avaient jamais fait auparavant le prix des combustibles fossiles.

On peut encore se demander pourquoi l'énergie nucléaire n'a pas atteint – loin s'en faut – les niveaux de production prédits dans les années 70, mais aussi pourquoi elle risque fortement de continuer à perdre des parts de marché dans les 10 à 15 prochaines années. Ces questions, la Russie et d'autres pays se les sont posées. En fait, les critères imposés à l'énergie nucléaire n'étant pas ceux normalement imposés par le seul marché, celle-ci ne devrait pas être traitée comme un secteur traditionnel de l'activité commerciale (comme on le suggère continuellement depuis une dizaine d'années).

Le « second souffle » du nucléaire

Ce qui importe, c'est d'évaluer la nécessité de techniques nucléaires innovantes dans ce contexte changeant. Ce qu'il faut, c'est étudier les conditions dans lesquelles peut naître une demande et celles dans lesquelles le nucléaire peut acquérir un « second souffle ». Dans des pays tels que la France et le Japon, l'absence de ressources propres en pétrole ou en gaz est en soi une raison suffisante de maintenir le nucléaire parmi les sources utilisées. Pour d'autres, la priorité est de diversifier le secteur énergétique ou d'assurer l'autonomie du pays.

Une énergie nucléaire sûre peut également produire, par exemple, de l'hydrogène et ce de façon rentable. Cette technique permettrait de réduire, à l'avenir, les quantités de

combustibles fossiles utilisées pour produire de l'électricité et de les employer dans des secteurs plus appropriés tels que les transports et les industries à forte intensité énergétique. Même aujourd'hui, cette option pourrait séduire certaines économies solides.

Ce qu'il faut, c'est étudier les conditions dans lesquelles peut naître une demande et celles dans lesquelles le nucléaire peut acquérir un « second souffle ».

Pourtant, aussi paradoxal que cela puisse-t-il sembler, le second souffle du nucléaire pourrait devoir son existence à l'accroissement des coûts, aux inquiétudes suscitées par la prolifération des armes et à la façon de gérer les risques. À moins que l'on interdise et élimine totalement les armes nucléaires, il subsistera un risque de prolifération qui obligera à veiller à ce que les matières et techniques correspondantes ne tombent pas en de mauvaises mains. Aujourd'hui, les activités menées pour maintenir et perfectionner les techniques, le savoir-faire et les installations utilisées aux seules fins de l'armement nucléaire représentent, en termes de dépense publique, un fardeau social et économique bien plus important que si ce savoir-faire était canalisé et partagé pour produire de l'énergie.

En Russie, par exemple, les activités menées pour remédier aux conséquences des programmes d'armement nucléaire coûtent, selon les estimations, des dizaines de milliards de dollars qu'il reste à trouver dans le budget national. Pendant ce temps, la mise en œuvre rationnelle de la stratégie de développement dynamique de l'énergie nucléaire d'ici à 2050, déjà approuvée par le Gouvernement russe, est un moyen d'éviter que ces fonds ne soient détournés d'autres secteurs de la demande sociale.

La solution consiste, selon moi, à mettre au point des réacteurs avancés utilisant des techniques qui aident à combattre la prolifération des armes nucléaires. Les grandes centrales doivent se construire autour de modèles de réacteur et de cycles du combustible innovants à même de faciliter, d'un point de vue technique, le régime de non-prolifération tout en aidant à satisfaire les besoins de la planète en électricité.

Des centrales nucléaires « rapides »

La solution la plus prometteuse, dans l'optique de la non-prolifération et d'autres préoccupations, réside dans la conception de réacteurs à neutrons rapides (voir encadré). N'utilisant que de l'uranium 238, ces réacteurs permettraient de supprimer du cycle du combustible actuel les phases d'enrichissement de l'uranium et de séparation du plutonium. À la différence des modèles antérieurs, ils ne comprendraient aucun dispositif permettant de produire clandestinement du plutonium de qualité militaire.

Cette solution permettrait de détacher davantage, sur le plan technique, le développement de l'énergie nucléaire de la production de matières de qualité militaire. Elle faciliterait en outre la mise en œuvre d'autres éléments du régime de non-prolifération, y compris des arrangements politiques et juridiques tels que les inspections. On pourrait considérablement faciliter ces dernières en utilisant, par exemple, des systèmes de satellites pour observer la configuration de bâtiments du cycle du combustible.

Grâce à cela, les États qui endossent actuellement le coût de la prolifération nucléaire pourraient orienter différemment leurs efforts. Ils pourraient définir les conditions dans lesquelles ils pourraient partager les avantages des nouvelles techniques avec des pays qui sont dépourvus d'armes nucléaires et qui, dans le même temps, éprouvent un besoin pressant de développer leurs propres systèmes de production d'énergie.

Ainsi, par exemple, tout en offrant un accès maximum aux techniques nucléaires, les États dotés d'armes nucléaires pourraient combattre la prolifération en facilitant, en premier lieu et à leur initiative, la production d'énergie dans des régions pauvres d'Asie et d'Afrique. L'exploitation de l'énergie nucléaire, subventionnée dans ces régions pendant sa phase de développement initial, serait essentiellement non commerciale et relèverait de l'assistance internationale. Cette initiative pourrait aider de façon déterminante à stabiliser la situation politique dans les zones de conflit – tant celles connues actuellement que celles susceptibles d'apparaître à l'avenir. Elle s'intégrerait aussi parfaitement aux programmes de « conception-construction-exploitation » mis en œuvre actuellement et pourrait générer, pour les entreprises d'État ou internationales, une importante activité à l'heure où les marchés énergétiques se développent.

La solution consiste, selon moi, à mettre au point des réacteurs avancés utilisant des techniques qui aident à combattre la prolifération des armes nucléaires.

Le nucléaire peut-il satisfaire les besoins ?

Pour pouvoir convaincre que l'énergie nucléaire est un impératif stratégique pour l'économie et la sécurité mondiales, il faut avoir une idée précise de son potentiel. Avec les réacteurs actuels et un cycle du combustible ouvert (sans retraitement), l'industrie nucléaire épuiserait les réserves disponibles d'uranium à prix raisonnable vers la fin de ce siècle. La capacité totale des centrales nucléaires ne dépasserait pas de beaucoup le niveau

Les réacteurs rapides

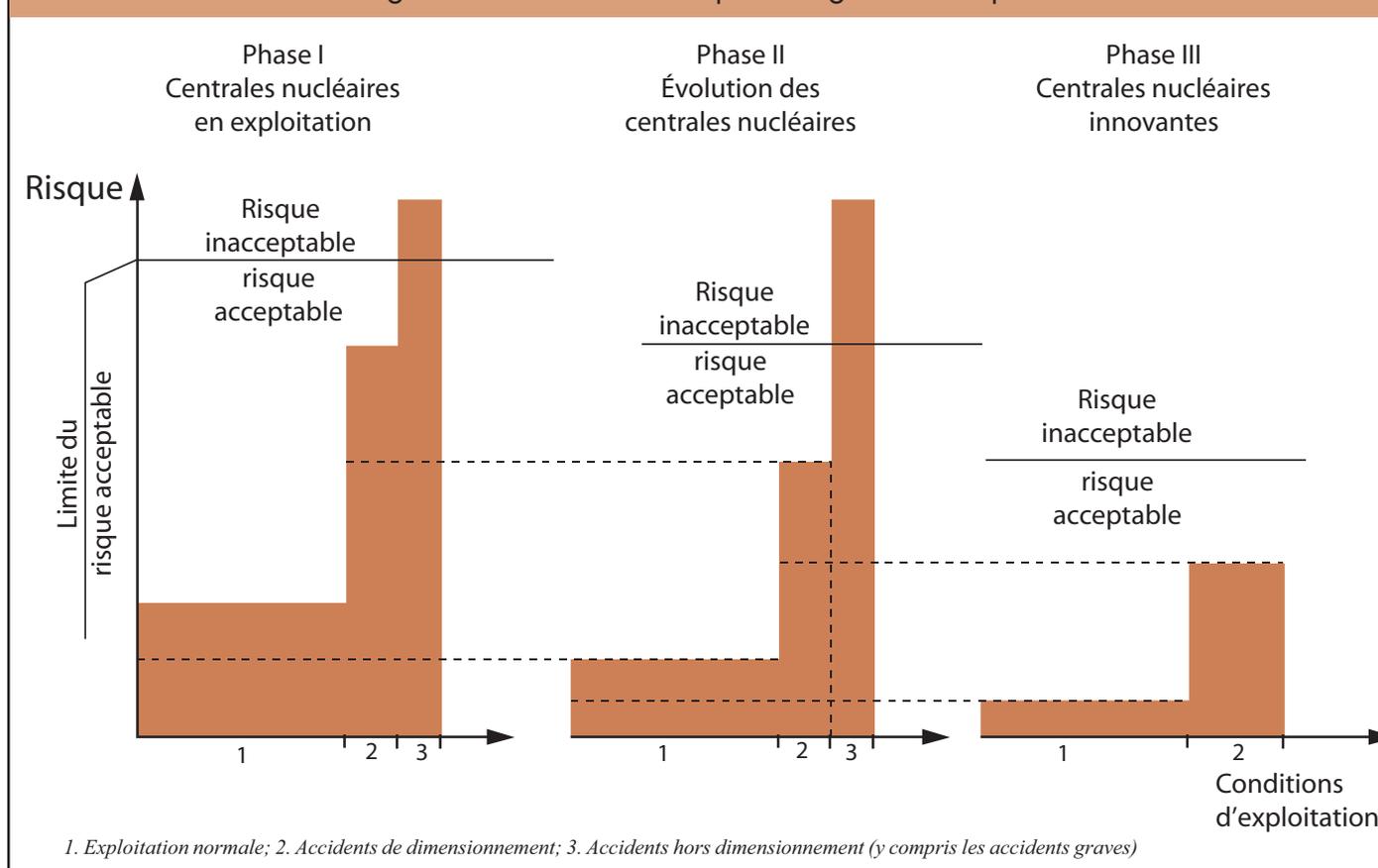
Les réacteurs rapides ne sont pas nouveaux, mais leur conception ouvre de nouvelles perspectives. Initialement, ils étaient conçus et configurés pour à la fois consommer et produire du combustible. Ces « surgénérateurs » consomment de l'uranium et produisent du plutonium, qui peut être retraité et recyclé pour alimenter de nouveau des réacteurs. La France, la Russie, le Japon et d'autres pays ont mis au point des surgénérateurs rapides, dont seuls quelques-uns produisent actuellement de l'électricité à titre commercial. Le BN-600 russe, par exemple, fournit de l'électricité au réseau depuis 1981.

Aujourd'hui, les centrales nucléaires commerciales sont principalement des réacteurs « thermiques », qui retraitent ou non le combustible. Fondamentalement,

les termes « rapide » et « thermique » renvoient à ce qui se passe dans le cœur du réacteur. Dans tous les types de réacteur, la fission – ou réaction en chaîne – qui génère de la chaleur est entretenue par la collision énergétique qui se produit entre les neutrons et le combustible. Dans un réacteur thermique, on ralentit les neutrons pour les ramener à ce que les physiciens appellent « basse énergie » au moyen d'un modérateur tel que le graphite ou l'eau. Dans un réacteur rapide, les neutrons provenant de la réaction en chaîne ne sont pas ralentis et restent à « haute énergie ».

Pour tout complément d'information sur les réacteurs rapides et sur ce que font les pays, consulter le site web de l'AIEA à l'adresse www.iaea.org.

Figure 2: Sûreté nucléaire par catégorie de risque



actuel, qui est d'environ 350 GWe. En retraitant et en réutilisant le combustible dans des réacteurs thermiques, comme cela se fait dans certains pays, on pourrait accroître la production totale d'électricité de 15 à 20%. En utilisant, comme combustible, du thorium en sus de l'uranium naturel, on pourrait au mieux doubler la contribution potentielle du nucléaire.

Les projections changent radicalement si l'on utilise des réacteurs rapides et un cycle fermé, ce qui permet de retraiter et de recycler le combustible utilisé pour le réutiliser. Le nucléaire pourrait alors assurer toute l'augmentation requise de la production d'électricité prévue par le Conseil mondial de l'énergie (CME) au cours des prochaines décennies. À un stade ultérieur, le nucléaire pourrait même échapper aux contraintes de ressources en combustible. Les critères du Protocole de Kyoto seraient automatiquement respectés et l'on pourrait figer à tout niveau prédéterminé les volumes de gaz à effet de serre émis par les producteurs d'électricité.

Si nous voulons que l'énergie nucléaire à grande échelle devienne une option réaliste, nous n'avons pas d'autre choix que de la faire reposer sur l'utilisation de réacteurs rapides.

Ces dernières années, le pessimisme des années 90 a fait place, dans plusieurs grands pays tels que la Chine, l'Inde, l'Iran et la Russie, à une tendance à réintroduire, en tant que

priorité, le nucléaire dans les stratégies énergétiques. À cet égard, la politique énergétique des États-Unis est elle aussi symptomatique. Néanmoins, et quels que puissent être les motifs de ce renouveau, la non-prolifération demeurera l'une des priorités constantes de la politique internationale. Si nous voulons que l'énergie nucléaire à grande échelle devienne une option réaliste, nous n'avons pas d'autre choix que de la faire reposer sur l'utilisation de réacteurs rapides. Plus tard, la résolution du problème de la fusion thermonucléaire contrôlée ne pourra que renforcer l'aptitude du nucléaire à satisfaire une demande mondiale en constante augmentation.

Sûreté et déchets

Au-delà des questions d'énergie et de prolifération, il est deux points dont il faut tenir compte : la sûreté des centrales nucléaires et le stockage des déchets radioactifs.

S'agissant des déchets, les compétences techniques accumulées au fil des ans ont aidé à trouver, pour les stocker, des moyens efficaces. On peut notamment, de diverses façons, les isoler de l'environnement et les enfouir dans des formations géologiques soigneusement choisies. Il est toujours difficile, cependant, de démontrer la sûreté d'une installation de stockage – sans parler de celle d'un dépôt de combustible usé – sur une durée géologiquement significative. C'est pourquoi il faut mettre au point un cycle du combustible qui n'aggrave pas le problème, mais l'atténue.

Un système de production d'électricité utilisant des réacteurs rapides et un cycle du combustible fermé permettrait de

pratiquer ce qu'on appelle une « gestion par équivalent de rayonnement » des matières nucléaires. Celle-ci fait appel à une procédure dite de « transmutation » des actinides mineurs et des produits de fission, qui doit servir de stratégie de substitution pour réduire et gérer les déchets radioactifs à longue période. Avec des réacteurs rapides dotés d'un cycle fermé, par exemple, l'activité totale des déchets nucléaires avoisinerait, dans pas plus de 150 à 200 ans, celle du minerai extrait, ce qui ne manquerait pas d'influencer la perception qu'a le public de la gestion des déchets.

En ce qui concerne la sûreté, je ne peux que constater les impressionnants résultats obtenus, grâce aux analyses probabilistes et à d'autres mesures, dans l'amélioration des centrales existantes. En poursuivant sur la voie de l'innovation, de surcroît, on pourrait concevoir des réacteurs qui ne présenteraient, de par leur conception, leurs caractéristiques physiques et leurs matériaux, aucun risque d'accident grave. Ces avantages joueraient probablement un rôle décisif dans le choix que ferait le public.

Ces réacteurs ont récemment été baptisés « installations à sûreté naturelle ». Cette sûreté se fonderait sur les lois de la nature plutôt que sur des systèmes ou du personnel supplémentaires. Les réacteurs rapides, par exemple, pourraient être conçus de façon que leurs caractéristiques physiques excluent toute possibilité d'accidents graves tels que ceux survenus à Tchernobyl en 1986 ou à Three Mile Island en 1979 (*les différences sont illustrées à la figure 2*).

Coopération et soutien internationaux

À divers titres, par conséquent, les réacteurs rapides pourraient ouvrir au nucléaire de nouvelles perspectives de compétitivité. Dans ce nouveau chapitre du développement du nucléaire, il va falloir que se mette en place, si l'on veut atteindre les objectifs relatifs à l'énergie et à la non-prolifération, un soutien national et international.

De nombreuses études ont analysé et défini les critères fondamentaux de sûreté, d'économie et autres que doivent remplir les réacteurs innovants. Ces critères, qui diffèrent totalement de ceux des années 60 et 70, ont trouvé leur traduction dans les principes clés énoncés dans la Stratégie de développement de l'énergie nucléaire en Russie dans la première moitié du XXI^e siècle et ont été cités par le Président russe dans son Initiative de coopération internationale annoncée au Sommet des Nations Unies pour le Millénaire, tenu à New York en septembre 2000.

En 2000, de surcroît, la Conférence générale de l'AIEA a donné naissance au programme INPRO (projet international sur les réacteurs nucléaires et les cycles du combustible nucléaire innovants), dans le cadre duquel de nombreux pays collaborent (*voir dans le présent numéro : « Alimenter l'innovation »*). Les récentes déclarations de M. ElBaradei, directeur général de l'AIEA, sont largement en accord avec l'initiative mondiale du Président Poutine.

Parallèlement, le changement d'attitude des politiques à l'égard de l'énergie nucléaire, qui trouve son expression dans la stratégie énergétique des États-Unis, a conduit certains pays

à coopérer dans le cadre du Forum international Generation IV (GIF) en vue de mettre au point des réacteurs nucléaires avancés. Six concepts de réacteur, y compris des réacteurs rapides, ont été retenus afin d'être soumis à un examen approfondi dans l'optique d'une décision finale.

Dans ce nouveau chapitre du développement du nucléaire, il va falloir que se mette en place, si l'on veut atteindre les objectifs relatifs à l'énergie et à la non-prolifération, un soutien national et international.

À ce propos, un travail de ce type a été mené en Russie ces dix dernières années et a conduit à choisir un réacteur rapide refroidi au plomb, de conception très pointue. Ce projet est à un stade très avancé et un site a été choisi dans l'Oural en vue de l'éventuelle construction d'une usine de démonstration. Pendant ce temps, il a été mené, afin de faciliter la mise en place d'une gestion par équivalent de rayonnement des matières nucléaires, des activités de recherche-développement dont les conclusions pourraient servir à effectuer des comparaisons avec d'autres concepts de réacteur et d'autres méthodes de réalisation des objectifs du cycle du combustible.

L'examen des progrès accomplis par l'INPRO et par le GIF a montré que les deux activités pouvaient être coordonnées à condition d'en harmoniser le but final et de le définir comme étant la mise au point de grandes centrales nucléaires économiquement compétitives utilisant un cycle du combustible fermé et des techniques anti-prolifération. Compte tenu de l'intérêt croissant que suscite, dans le domaine de l'énergie nucléaire, l'étude de nouveaux concepts, il serait peut-être opportun d'associer les activités de l'INPRO et du GIF afin de faciliter la réalisation de leurs objectifs communs par une coopération internationale. La mise en œuvre réussie du projet de réacteur expérimental thermonucléaire international (ITER), même si elle anticipe le besoin réel de telles installations, illustre d'excellente façon comment une coopération efficace permet de mener à bien les tâches techniques les plus difficiles.

Une électricité bon marché produite par des centrales nucléaires innovantes représente, pour le futur développement économique, une base attrayante. Elle pourra aider à supprimer la disparité oppressante des niveaux de vie régionaux et, au bout du compte, aider à résoudre les problèmes fondamentaux qui sous-tendent les tensions politiques et les conflits internationaux.

Evgeny Adamov (avde@nikiet.ru) a été Ministre de l'énergie atomique de la Fédération de Russie de 1998 à 2001, et est conseiller du Président du Gouvernement russe depuis 2002. Pour des références complètes et de plus amples renseignements techniques, contacter l'auteur.