

La technologie moderne du cycle du combustible et les garanties de l'AIEA

L'évolution probable et ses conséquences

par Adolf von Baeckmann

Après l'ouverture du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) à la signature, en 1968, l'AIEA a reçu pour mission de mettre en œuvre un système de garanties dans les Etats non dotés d'armes nucléaires signataires du Traité, afin de veiller à ce que les activités nucléaires pacifiques ne soient pas détournées vers la fabrication d'engins explosifs nucléaires. A cette fin, l'Agence a dû développer et améliorer considérablement son système de garanties.

C'est ainsi que la plupart des concepts et des techniques de garanties ont été mis au point au début des années 70, à une époque où des cycles du combustible complets n'existaient que dans les pays dotés d'armes nucléaires. En particulier, seuls ces pays disposaient des moyens techniques d'enrichir l'uranium en isotope 235 et l'on se gardait bien de transférer cette technologie à des pays non dotés d'armes nucléaires. Le retraitement du combustible épuisé n'était pas alors considéré comme une opération sensible et, dans la pratique, on fabriquait très peu de combustible à mélange d'oxyde d'uranium et de plutonium (MOX), et l'usage du plutonium dans les pays non dotés d'armes nucléaires se limitait à l'étude de dispositifs tels que les assemblages critiques à neutrons rapides, destinés aux réacteurs surgénérateurs.

La situation a changé depuis, car plusieurs Etats non dotés d'armes nucléaires ont maîtrisé le cycle du combustible pour réacteurs à eau légère. Ils se sont dotés des moyens techniques d'enrichissement par ultracentrifugation et autres procédés dynamiques en phase gazeuse (UCOR et technique de la tuyère), et ont acquis une grande expérience du retraitement du combustible épuisé (par exemple EUROCHEMIC, WAK, Tokai Mura et Tarapur). Plusieurs pays non dotés d'armes nucléaires ont également travaillé sur les réacteurs surgénérateurs rapides et ont construit des usines de production d'eau lourde.

Les accidents de Tchernobyl et de Three Mile Island ont donné une nouvelle impulsion à cette évolution. A l'emballement de l'industrie nucléaire du début de la décennie 70 a succédé une phase de consolidation. Les

travaux sur les projets de réacteur surgénérateur rapide ont été arrêtés ou différés. Les nouvelles commandes de réacteurs de puissance sont devenues plus rares, la mise en exploitation d'usines de retraitement et de fabrication de combustible MOX a été considérablement retardée et, à l'exception peut-être des usines d'enrichissement en uranium 235 par ultracentrifugation, l'industrie du cycle du combustible nucléaire connaît une période de stagnation.

Ces événements mis à part, on constate, en y regardant de plus près, que l'horizon n'est pas aussi sombre: certes, de nombreux programmes ont été différés, mais ils n'ont pas été annulés, et comme l'urgence a disparu, les activités sont plus soigneusement étudiées et planifiées. Les nouveautés se remarquent surtout dans le domaine de l'automatisation — en ce qui concerne notamment le retraitement du combustible et la fabrication des combustibles MOX, l'économie du combustible pour réacteur et le stockage du combustible épuisé. Il se peut par ailleurs que la technique d'enrichissement au laser trouve sa place dans le cycle du combustible, et l'extraction du tritium de l'eau lourde utilisé comme modérateur et calorporteur peut devenir une opération courante.

Nous allons voir quelles peuvent être les conséquences sur les garanties de l'AIEA de certains aspects de cette évolution, sans toutefois oublier les effets d'importants facteurs non techniques dont le plus problématique sera peut-être l'application généralisée des garanties de l'AIEA à toutes les matières nucléaires utilisées à des fins pacifiques dans les pays dotés d'armes nucléaires.

Les progrès de l'automatisation

Le souci d'économie et la nécessité de réduire au minimum la radioexposition du personnel de l'industrie nucléaire incitent fortement à automatiser les installations du cycle du combustible, notamment les usines de retraitement du combustible épuisé et les usines de fabrication d'éléments combustibles. Or, il se peut que l'automatisation et la télécommande rendent les matières nucléaires moins accessibles aux fins des contrôles.

Il faut donc prévoir de nouvelles procédures pour la vérification des stocks en marche. Le contrôle comptable en temps proche du temps réel, l'inventaire

M. Baeckmann est conseiller auprès du Directeur général adjoint chargé du Département des garanties de l'AIEA. Les opinions personnelles qu'il expose dans cet article ne représentent pas la position officielle de l'AIEA ou de son Département des garanties.

des stocks en continu et le relevé des caractéristiques isotopiques des lots ont été proposés en complément ou en remplacement de la procédure habituelle d'inventaire. Un contrôle des opérations et l'application plus générale de mesures complexes de confinement et de surveillance sont également à l'étude. On étudie aussi la possibilité de calculer les stocks en marche et l'on envisage d'utiliser une instrumentation de mesure fixe (installée spécialement aux fins des garanties ou pour assurer le suivi de l'exploitation).

Ces nouvelles techniques ne sont pas sans poser des problèmes: il faut améliorer les dispositifs anti-fraude et l'authentification des données utilisées aux fins des garanties et disposer de renseignements plus détaillés sur la conception de l'installation et sur son fonctionnement. Comme l'automatisation est généralement associée à une informatisation très poussée, il faut être parfaitement au courant de l'emploi des ordinateurs. Ces considérations valent notamment pour les nouvelles installations de retraitement et les usines de fabrication de combustible MOX.

L'enrichissement en uranium 235

La technologie de l'enrichissement a fait des conquêtes. Au moins cinq des pays non dotés d'armes nucléaires exploitent des usines d'enrichissement auxquelles viennent s'ajouter plusieurs installations de recherche-développement. L'enrichissement de l'uranium à l'échelle industrielle ne peut plus être considéré comme la prérogative exclusive des Etats dotés d'armes nucléaires.

En ce qui concerne les usines d'enrichissement par ultracentrifugation, le projet hexapartite relatif aux garanties a mis au point une méthode de contrôle acceptable fondée sur le droit d'accès inopiné à fréquence limitée à la section des cascades*. Cette méthode concilie adroitement les exigences de la protection (commerciale) de renseignements sensibles avec la nécessité de procéder à des contrôles fiables. Comme les quantités d'hexafluorure d'uranium présentes dans la zone des cascades sont plutôt faibles, la méthode de contrôle consiste à combiner la clôture du bilan-matières hors de cette zone et la vérification de la non-production d'uranium fortement enrichi à l'intérieur de cette même zone.

Très rares sont les autres techniques d'enrichissement utilisées dans les installations de recherche-développement soumises aux garanties de l'Agence, mais la situation peut changer prochainement. Si le procédé sud-africain UCOR est placé sous les garanties, des mesures complémentaires seront éventuellement à prévoir car la zone des cascades contient d'assez grandes quantités d'hexafluorure d'uranium. Il en sera de même si le procédé germano-brésilien à tuyère est utilisé à l'échelle industrielle dans une installation soumise aux garanties ou si une usine à diffusion est placée sous les garanties. Comme plusieurs paramètres d'exploitation de ces installations sont jugés commercialement sensibles et qu'il est impossible de déterminer les (grandes) quantités en cours de traitement sans connaître certains de ces

paramètres, il peut s'avérer nécessaire de mettre au point des procédures spéciales de vérification.

Les installations d'enrichissement au laser ne poseront pas nécessairement de problèmes particuliers. Comme c'est le cas dans les usines d'enrichissement par ultracentrifugation, les quantités en traitement seront relativement modestes par rapport à une usine d'enrichissement par diffusion de même capacité et le point sensible que représente l'intervention du laser n'intéresse qu'un processus très court. Du point de vue de la prolifération, la difficulté majeure qui pourrait résulter de la technique d'enrichissement au laser est que l'installation peut être d'une taille assez réduite et donc facile à dissimuler au cas où le pays déciderait de s'équiper pour une production clandestine d'uranium fortement enrichi. Or, l'existence (possible) d'usines d'enrichissement échappant aux garanties mènerait à une modification des principes de contrôle appliqués à l'uranium faiblement enrichi. Aussi faudrait-il élaborer de nouvelles méthodes de contrôle de l'uranium fondées sur le travail de séparation que représenterait l'uranium enrichi, plutôt que sur la limite (artificielle) de 20% qui distingue l'uranium fortement enrichi (à usage direct) de l'uranium faiblement enrichi (à usage indirect).

L'économie du combustible pour réacteurs à eau légère et le recyclage thermique

Certaines mesures visant à améliorer l'économie du combustible pour réacteurs à eau légère ont mené à la réalisation d'éléments combustibles très perfectionnés à l'uranium faiblement enrichi et au recyclage du plutonium, les deux n'étant pas sans influencer sur le système des garanties de l'AIEA.

En effet, la vérification du contenu en combustible des assemblages neufs par analyse non destructive est assez compliquée si le taux d'enrichissement de l'uranium contenu dans les éléments combustibles n'est pas uniforme ou si des poisons à neutrons combustibles sont présents. De même, l'uranium recyclé, qui contient des traces d'uranium 236, complique les procédures habituelles utilisées pour mesurer le taux d'enrichissement et la teneur en uranium du combustible neuf. Bien que les techniques de spectrométrie gamma et de mesure annulaire des neutrons dont on dispose demeurent applicables en principe, il faut procéder à un étalonnage spécial des instruments en fonction des caractéristiques de l'installation. Cette opération demande du temps, coûte cher et risque de manquer de précision si l'on ne dispose pas de bons étalons.

Le remplacement des aiguilles complique encore les choses dans la plupart des cas lorsqu'il s'agit d'appliquer des garanties aux assemblages combustibles des modèles les plus récents de réacteurs à eau légère. En particulier, la possibilité de remplacer des aiguilles dans des éléments combustibles implique des mesures de contrôle plus complexes et plus intrusives, un renforcement du confinement et de la surveillance et diverses mesures complémentaires. La situation se compliquerait encore si, comme on l'a fait observer, les assemblages combustibles épuisés sont normalement démontés sur le site du réacteur et que seules les aiguilles sont envoyées au stockage provisoire, au retraitement ou au site de

* «The Hexapartite Safeguards Project, a Review by the Chairman», par F. Brown, IAEA-SM-260/57, Vienne (1983).

stockage définitif. En pareil cas, la surveillance qu'il y aurait lieu d'exercer au cours du démontage des assemblages combustibles et du chargement des châteaux de transport exigerait un très nombreux personnel.

Recyclage thermique. On produit actuellement davantage d'assemblages combustibles MOX afin de recycler, dans les réacteurs thermiques que sont les réacteurs à eau légère, le plutonium produit dans les réacteurs. L'une des principales difficultés que pose le plutonium extrait est la brièveté du facteur temps assigné à son contrôle: les assemblages combustibles MOX neufs doivent être inspectés assez fréquemment (une fois par mois). En outre, la vérification ou la révérification du plutonium contenu dans ces assemblages MOX pose des problèmes, car ce combustible à l'état neuf est souvent stocké dans l'eau sur le site du réacteur et il n'existe actuellement aucune méthode d'analyse non destructive applicable dans cette circonstance, de sorte qu'il faut soit procéder à une manipulation intrusive, soit appliquer des mesures supplémentaires de confinement et de surveillance.

Notons une autre complication due au fait que, bien souvent, la composition isotopique du plutonium contenu dans les aiguilles n'est pas uniforme de sorte que l'étalonnage devient très difficile. Il n'en reste pas moins que ce recyclage dans les réacteurs à eau légère est pour le moment le principal moyen de consommer le plutonium extrait.

Stockage du combustible épuisé

Comme il n'existe encore aucune installation pour l'évacuation définitive des assemblages combustibles épuisés, la plupart sont généralement stockés à long terme dans des dépôts provisoires spécialement aménagés. Nombreux sont les pays qui n'ont toujours pas décidé si ce combustible épuisé finira dans des dépôts permanents d'où il sera irrécupérable, ou s'il sera retraité. Presque partout, l'option retraitement reste ouverte.

Pour que les garanties appliquées au combustible épuisé soient efficaces, il faut élaborer de nouveaux principes et mettre au point de nouvelles techniques d'analyse non destructive et de confinement/surveillance. Quelques nouveautés sont à signaler, tels le scellé ultrasonique conçu pour être vérifié sous l'eau *in situ* et déjà couramment utilisé dans les bassins de stockage du combustible épuisé de certains réacteurs Candu, et les dispositifs automatiques installés auprès de certains réacteurs à eau légère pour contrôler le transfert des éléments combustibles épuisés dans les châteaux de transport.

L'AIEA étudie actuellement des méthodes de contrôle applicables au combustible épuisé en stockage de longue durée (bassins à plusieurs étages et dépôts ventilés) et songe aux possibilités d'appliquer ses garanties aux installations de stockage définitif (*voir l'article sur ce sujet, page 16*). Dans les cas où le combustible épuisé est déposé dans un conteneur de stockage à long terme déjà présent sur le site du réacteur, il semblerait que la surveillance à vue de l'opération de chargement soit le seul moyen raisonnable de vérification. Lorsque le conteneur est chargé, le seul moyen de s'assurer qu'il

n'y a pas eu détournement est d'appliquer des mesures de confinement/surveillance.

Une importante considération à cet égard est que le combustible épuisé entreposé — ou plus précisément le plutonium qu'il contient — devient plus accessible à mesure que le combustible se refroidit, grâce à la décroissance des principaux produits de fission. Il s'ensuit que le degré de radioprotection nécessaire pour s'en approcher diminue et que la tentation de détourner éventuellement le plutonium augmente. Les promoteurs du stockage à long terme oublient souvent cet aspect du problème. De fait, l'Agence n'a jamais carrément abordé la question mais a établi une distinction raisonnable entre le «plutonium extrait» (court délai de détection et forte intensité de vérification) et le «plutonium contenu dans le combustible épuisé» (délai moyen de détection et intensité moyenne de vérification). En réalité, le plutonium contenu dans du combustible à faible taux d'épuisement et refroidi pendant de longues périodes pourrait être bien plus intéressant pour la production d'armes nucléaires que le plutonium extrait d'un combustible à taux d'épuisement élevé, puis incorporé dans des éléments combustibles neufs à mélange d'oxyde frittés à haute température. Comme les périodes de refroidissement se prolongent dans l'ensemble, et que le taux de combustion du combustible pour réacteurs à eau légère augmente aussi, cet aspect du problème prendra de l'importance dans l'avenir et il faudra s'en occuper dans l'éventualité où l'on mettrait en service des dépôts pour le stockage définitif des éléments combustibles épuisés (mines de plutonium).

Usines d'eau lourde

La mise en service de la première usine d'eau lourde soumise aux garanties de l'Agence est prévue pour 1991. Pour notre organisation, c'est une nouvelle gageure. Ce genre d'installation n'appartient pas vraiment au cycle du combustible et ne contient pas de matières nucléaires à contrôler. C'est une usine chimique extrêmement complexe comportant des centaines de kilomètres de tuyauterie, des cuves, des colonnes échangeuses, des pompes, des échangeurs de chaleur, etc.

Travaillant en étroite collaboration avec l'Etat et le constructeur, l'AIEA étudie actuellement le principe du contrôle à appliquer à cette usine, lequel sera fondé sur la clôture du bilan de deutérium*. Une attention toute particulière est accordée à la conception de l'usine, au schéma des circuits, à l'extraction du deutérium, au stock en usine, aux pertes naturelles et à l'imprécision des mesures. Les principes et les techniques à l'examen prévoient une surveillance assez poussée des paramètres d'exploitation et ne seront applicables qu'à cette usine en particulier car certaines de ses caractéristiques principales sont uniques au monde. Une longue période d'essai et de démonstration sera nécessaire avant que l'on puisse appliquer un système de garanties satisfaisant, efficace et d'un bon rendement.

* «Selection of a Safeguards Approach for the Arroyito Heavy-Water Production Plant», par A. von Baeckmann et M.D. Rosenthal, IAEA-SM-293/140, Vienne (1987).

Quoi qu'il en soit, on a rappelé que l'eau lourde avait relativement peu d'importance en ce qui concerne la prolifération et que, vu les ressources limitées dont l'AIEA dispose pour les garanties, l'essentiel des activités de contrôle devrait porter sur le produit final.

Tritium

A mesure que les techniques de fabrication des armes nucléaires évoluent, les articles et les matières jugés critiques peuvent changer. Le graphite de pureté nucléaire était jugé sensible pendant les années 60 et au début des années 70, mais en fait il ne joue pratiquement aucun rôle dans le contexte des garanties de l'AIEA. En revanche, certains éléments transuraniens et le tritium pourraient acquérir de l'importance en ce qui concerne la non-prolifération, notamment en cas d'interruption de la production d'armes nucléaires dans les pays qui en sont dotés, à la suite d'accords éventuels sur la limitation des armes nucléaires.

Récemment, des discussions se sont engagées au sujet du tritium. Cet élément, semble-t-il, est essentiel à la fabrication de bon nombre d'armes nucléaires et le contrôle de sa production pourrait être un facteur limitatif du renouvellement et du maintien des arsenaux atomiques. Aussi a-t-on proposé de le placer sous les garanties de l'AIEA. Dans les pays dotés d'armes nucléaires, le tritium s'obtient généralement dans des réacteurs spécialement conçus pour que les réactions nucléaires le produisent ainsi que le plutonium. En principe, les inspections de l'AIEA pourraient servir à vérifier l'absence des installations d'irradiation nécessaires ou la non-utilisation des installations existantes à cette fin. Il ne faut d'ailleurs pas oublier que le tritium, en plus grande abondance encore, est un sous-produit involontaire de l'exploitation des réacteurs industriels refroidis et ralentis à l'eau lourde. Pour exclure l'éventualité d'un prélèvement non déclaré de tritium dans l'eau lourde de réacteurs soumis aux garanties, il faudrait surveiller en permanence les quantités de cet élément présentes dans ces réacteurs, opération qui serait d'ailleurs assez compliquée du fait que la séparation du tritium de l'eau lourde peut être pratiquée pour des raisons de radioprotection et éventuellement aussi à des fins commerciales pacifiques.

Pour le moment, le système de garanties de l'AIEA n'est pas apte à détecter ou à contrôler la production de tritium. De fait, le tritium n'est même pas mentionné dans les accords de garanties, ni dans le Statut de l'Agence, ni dans les renseignements sur la réglementation des exportations de certains Etats Membres à destination de l'AIEA (INFCIRC/209 et INFCIRC/254). Si la question du tritium devait relever des garanties, il faudrait étudier et mettre en œuvre de nouvelles mesures de contrôle. Il faudrait aussi réviser le document INFCIRC/153 et amender tous les accords de garanties pertinents en vigueur.

Autres aspects de la situation

Ce qui intéresse les garanties, ce n'est pas seulement le progrès de la technologie nucléaire pacifique dans les pays non dotés d'armes nucléaires. A mesure que de

nouvelles techniques apparaissent et sont mises au service des installations du cycle du combustible ou du dispositif de vérification, elles peuvent aussi être à la portée de ceux qui envisageraient de détourner des matières nucléaires, et doivent donc être prises en considération dans l'analyse des stratégies de détournement. L'amélioration des programmes informatiques peut aider l'AIEA à analyser de manière plus crédible les données relatives aux courants et aux stocks de matières nucléaires intéressant les garanties, mais elle peut aussi aider l'auteur éventuel d'un détournement à optimiser sa stratégie. C'est l'une des raisons pour lesquelles les garanties de l'AIEA ne doivent pas reposer sur des principes et des critères immuables taillés dans le roc; il faut au contraire qu'elles soient en constante mutation afin de s'adapter.

Les événements politiques doivent aussi entrer en ligne de compte. En dernière analyse, la politique de non-prolifération ne se justifie que si elle est complétée à la longue par une politique de contrôle des armes nucléaires et de désarmement. Si des accords de réduction des armements entraient en vigueur, les garanties de l'AIEA appliquées dans les Etats dotés d'armes nucléaires pourraient se transformer en un système plus complet de vérification sur le plan international. Ce serait là, en fait, leur plus grande épreuve au cours de la prochaine décennie.

En outre, le processus d'intégration économique que connaît l'Europe occidentale renforcera l'interdépendance des cycles du combustible nucléaire des pays et de la région, de sorte que le retraitement du combustible épuisé pourrait se concentrer dans les deux d'entre eux qui sont dotés d'armes nucléaires, à savoir la France et le Royaume-Uni. De plus, la nouvelle évolution politique et économique de l'Europe orientale peut aboutir à une centralisation encore plus poussée des services du cycle du combustible en Europe, si bien que les activités de l'AIEA en matière de garanties finiraient par ne porter essentiellement que sur quelques grandes installations.

Un autre aspect du problème qui est loin d'être sans importance quant à l'efficacité des garanties est l'augmentation du nombre d'installations et des quantités de matières nucléaires qui échappent aux garanties dans ceux des Etats non dotés d'armes nucléaires qui n'ont pas accepté les garanties généralisées. Dans ces pays, des réacteurs et des installations de pratiquement tous les types que comporte le cycle du combustible, dont des usines d'enrichissement de l'uranium et des usines d'eau lourde, sont exploités sans être sous les garanties, dont l'universalité est ainsi de plus en plus compromise, ce qui a pour effet non seulement de compliquer leur application aux matières nucléaires qui y sont soumises, mais aussi d'affaiblir l'élan mondial vers une politique de non-prolifération sous contrôle international. Pour assurer l'avenir du régime de non-prolifération et des garanties de l'AIEA, il est essentiel d'inverser le mouvement.

Enfin, la tendance croissante à surréglementer les activités nucléaires que l'on peut observer dans certains pays dans la traînée de l'accident de Tchernobyl peut retarder ou compromettre l'application des mesures de contrôle. En ce qui concerne notamment les expéditions d'échantillons, les mouvements de combustible et les

procédures d'accès, nous avons constaté qu'il est de plus en plus difficile de se conformer aux nouvelles règles et normes nationales.

Les perspectives

Comment l'Agence fait-elle face à ces dures réalités? Les problèmes techniques sont généralement traités par ses inspecteurs et son personnel spécialisé, en collaboration avec des consultants, des groupes consultatifs et les programmes de soutien aux garanties auxquels participent des laboratoires de recherche-développement de plusieurs Etats Membres*. Pour sa part, le Groupe consultatif permanent pour l'application des garanties se penche souvent sur les nouveautés intéressant les garanties et donne son avis à l'Agence.

Les projets nationaux ou internationaux d'appui aux travaux de recherche-développement en matière de garanties et les contrats passés avec des établissements peuvent être mis à profit pour élaborer des principes de contrôle et mettre au point des instruments, des méthodes et des techniques. L'opération TASTEX**, le projet hexapartite relatif aux garanties et le programme

* «Le rôle des programmes d'appui» par H. Kurihara, *Bulletin de l'AIEA*, Vol. 30, n° 1, Vienne (1988).

** Voir *Tokai Advanced Safeguards Technology Exercise*, Rapport technique n° 213, AIEA, Vienne (1982).

sur l'application des garanties dans les grandes usines de retraitement (LASCAR) sont autant d'exemples d'initiatives internationales dans ce sens. Dans certains cas, les exigences particulières du contrôle ont été prises en considération pendant la construction de nouvelles installations nucléaires industrielles, mais la question doit être étudiée plus à fond. En outre, le Département des garanties a mobilisé ses diverses divisions en vue de régler les problèmes que pose l'application des garanties aux installations de structure complexe.

Pour mener son action face aux événements nouveaux, l'Agence doit pouvoir compter sur de saines finances. Malheureusement, elle est contrainte depuis plusieurs années de s'en tenir à un budget de croissance pratiquement nulle qui l'a contrainte à utiliser des ressources destinées aux travaux de recherche et développement pour financer en priorité l'expansion des opérations d'inspection. Les équipes de recherche sont donc à court de moyens et les conséquences n'en deviendront que plus apparentes avec le temps. Si le champ d'application des garanties devait s'étendre encore dans les pays dotés d'armes nucléaires, il faudrait disposer d'un important complément de ressources ou réduire l'intensité des contrôles. Pour que l'Agence s'acquitte de sa tâche grandissante dans le domaine des garanties, il faut absolument qu'elle puisse compter sur des moyens suffisants et sur une coopération permanente à l'appui des activités de recherche-développement et de l'application des garanties.

Les garanties de l'AIEA s'appliquent à plus de 900 installations nucléaires dans le monde.

